

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Evaluación Hidráulica Del Puente Shilla Sobre La Quebrada Ulta _
Carhuaz 2022”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

Autores:

Bach. Miranda Blas, Hans Paul

Bach. Vásquez Flores, Antony Guillermo

Asesora:

Ms. Saavedra Vera, Janet Verónica

DNI 32964440

Código ORCID: 0000-0002-4195-982X

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Evaluación Hidráulica Del Puente Shilla Sobre La Quebrada Ulta _
Carhuaz 2022”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

REVISADO Y APROBADO POR:

A handwritten signature in blue ink, which appears to be 'Janet Saavedra Vera', is written over a horizontal line.

Ms. Janet Verónica Saavedra Vera

Asesora

DNI: 32964440

Código ORCID: 0000-0002-4195-982X

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Evaluación Hidráulica Del Puente Shilla Sobre La Quebrada Ulta _
Carhuaz 2022”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

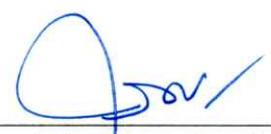
REVISADO Y APROBADA POR LOS SIGUIENTES JURADOS:



Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo
Presidente
DNI: 32904375
Código ORCID: 0000-0003-4469-0288



Dr. Atilio Rubén López Carranza
Secretario
DNI: 32965940
Código ORCID: 0000-0002-3631-2001



Ms. Janet Verónica Saavedra Vera
Integrante
DNI: 32964440
Código ORCID: 0000-0002-4195-982X

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ
2024



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
- EPIC -

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 03 días del mes de octubre del año dos mil veinticuatro, siendo las 16: 00 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 516-2024-UNS-CFI, con fecha 15.08.2024, integrado por los siguientes docentes: Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo (Presidente), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Secretario), Ms. Janet Verónica Saavedra Vera (Integrante), Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González (Accesitario) en base a la Resolución Decanal N° 589-2024-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA – CARHUAZ 2022", presentado por los Bachilleres: MIRANDA BLAS HANS PAUL con cód. N° 0200813035 y VASQUEZ FLORES ANTONY GUILLERMO con cód. 0200813011, quienes fueron asesorados por la docente Ms. Janet Verónica Saavedra Vera según lo establece la T. Resolución Decanal N° 125 -2022-UNS-FI, de fecha 02.03.2022.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
MIRANDA BLAS HANS PAUL	16	REGULAR

Siendo las 17.00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 03 de octubre de 2024.


Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo
Presidente


Dr. Atilio Rubén López Carranza
Secretario


Ms. Janet Verónica Saavedra Vera
Integrante



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

- EPIC -

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 03 días del mes de octubre del año dos mil veinticuatro, siendo las 16: 00 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 516-2024-UNS-CFI, con fecha 15.08.2024, integrado por los siguientes docentes: Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo (Presidente), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Secretario), Ms. Janet Verónica Saavedra Vera (Integrante), Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González (Accesitario) en base a la Resolución Decanal N° 589-2024-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA – CARHUAZ 2022", presentado por los Bachilleres: MIRANDA BLAS HANS PAUL con cód. N° 0200813035 y VASQUEZ FLORES ANTONY GUILLERMO con cód. 0200813011, quienes fueron asesorados por la docente Ms. Janet Verónica Saavedra Vera según lo establece la T. Resolución Decanal N° 125 -2022-UNS-FI, de fecha 02.03.2022.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
VASQUEZ FLORES ANTONY GUILLERMO	10	REGULAR

Siendo las 17.00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 03 de octubre de 2024.

Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo
Presidente

Dr. Atilio Rubén López Carranza
Secretario

Ms. Janet Verónica Saavedra Vera
Integrante



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Antony Vásquez Flores
Título del ejercicio: Tesis 2024
Título de la entrega: Evaluación hidráulica del puente Shilla sobre la quebrada U...
Nombre del archivo: Miranda_Blas_y_V_squez_Flores_Tesis_final.pdf
Tamaño del archivo: 3.5M
Total páginas: 108
Total de palabras: 32,630
Total de caracteres: 131,042
Fecha de entrega: 17-oct.-2024 09:18p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2488831583

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



"Evaluación Hidráulica Del Puente Shilla Sobre La Quebrada Ulta _
Carhuaz 2022"

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL

Autores:

Bach. Miranda Blas, Hans Paul
Bach. Vásquez Flores, Antony Guillermo

Asesora:

Ms. Saavedra Vera, Janet Verónica
DNI 32964440
Código ORCID: 0000-0002-4195-982X

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ
2024

Evaluación hidráulica del puente Shilla sobre la quebrada Ulta _ Carhuaz 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	1%
4	www.riego.mx Fuente de Internet	1%
5	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
6	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	

DEDICATORIA

A Dios quien nos enseña el buen camino y por llevarme a su lado a lo largo de esta vida, permitiéndome gozar de buena salud para poder lograr mis sueños y metas.

A mi madre Consuelo por todo su apoyo y amor incondicional. Ella ha sido mi inspiración y la razón por la que comencé este viaje y todo lo que realizo lo hago por ella.

En recuerdo de mi abuelo Berardo y mi padre Nicanor, quienes, sabiamente, han ascendido al cielo para interceder por mí desde más cerca. Sus presencias siguen guiándome, asegurándose de que cada uno de mis pasos sea el correcto.

Bach. Miranda Blas, Hans Paul

DEDICATORIA

A Nuestro Padre Creador por ser quien guía mis pasos
día a día y me conduce por el camino del bien.

A mi madre Adriana, mi tía Mery, mi tía Alicia, mi tía
Maribel y en memoria de mi abuela Teodocia, por educarme
e inculcarme buenos sentimientos y valores, lo cual me
ayuda a salir adelante.

A toda mi familia y mi querida Yosi, por
darme las fuerzas para no rendirme y siempre
recordarme que nunca es demasiado tarde
para terminar lo que se empieza.

Bach. Vásquez Flores, Antony Guillermo

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por permitirnos contar con una familia unida, por brindarnos salud y bienestar en todo momento, sobre todo en los tiempos difíciles de nuestras vidas.

Agradecemos a la Ms. Janet Verónica Saavedra Vera, por sus valiosos conocimientos y soporte durante el proceso de elaboración del informe de tesis.

Agradecemos a los Docentes, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Santa, por su valiosa contribución en nuestra formación profesional.

Miranda Blas y Vásquez Flores

Índice General

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 Antecedentes.....	17
1.1.1 Internacionales	17
1.1.2 Nacionales.....	19
1.2 Formulación del problema.....	21
1.3 Objetivos.....	22
1.3.1 Objetivo General.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos	22
1.4 Formulación de la hipótesis	22
1.5 Justificación e Importancia	22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	26
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	26
2.1 Bases Teóricas	28
2.1.1 Cuenca	28
2.1.2 Hidráulica y drenaje.....	37
2.1.3 Puentes.....	40
2.1.4 Softwares para el modelamiento hidráulico.....	48
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	53
3.1 Enfoque.....	53
3.2 Alcance	53

3.3	Diseño de la Investigación.....	53
3.4	Población y muestra.....	53
3.5	Unidad de análisis.....	54
3.6	Variables y Operacionalización.....	54
3.6.1	Variables.....	54
3.6.2	Operacionalización de variables.....	54
3.7	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	55
3.7.1	Técnicas.....	55
3.7.2	Instrumentos.....	55
3.8	Técnicas de análisis de datos.....	57
3.8.1	Estudios Topográficos.....	57
3.8.2	Mecánica de suelos.....	58
3.8.3	Estudios Hidrológicos.....	58
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		62
4.1	Resultados.....	62
4.1.1	Aspectos geomorfológicos de la zona.....	62
4.1.2	Parámetros Hidrológicos e Hidráulicos de la quebrada Ulta _ Carhuaz para la modelación hidráulica.....	67
4.1.3	Evaluación del desempeño hidráulico del puente Shilla.....	97
4.2	Discusión.....	110
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		113
5.1	Conclusiones.....	113
5.2	Recomendaciones.....	114
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES.....		116

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración</i>	36
Tabla 2. <i>Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad</i>	40
Tabla 3. <i>Valores de coeficientes k, ω y η</i>	44
Tabla 4. <i>Valores del coeficiente K_f</i>	45
Tabla 5. <i>Valores de Período de Retorno T (Años</i>	47
Tabla 6. <i>Valores Máximos Recomendados de Riesgo Admisible de Obras de Drenaje</i>	48
Tabla 7 <i>Operacionalización de la Variable Independiente</i>	54
Tabla 8 <i>Operacionalización de la Variable dependiente</i>	55
Tabla 9 <i>Valores de K_n para prueba de datos dudosos</i>	60
Tabla 10. <i>Parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24 hora - Recuay</i>	67
Tabla 11: <i>Datos meteorológicos estación Recuay</i>	68
Tabla 12: <i>Datos meteorológicos estación Pira</i>	69
Tabla 13: <i>Datos meteorológicos estación Chacchan</i>	70
Tabla 14: <i>Datos meteorológicos Sihuas</i>	71
Tabla 15: <i>Datos meteorológicos Buenavista</i>	72
Tabla 16 <i>Nuevos parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24horas - Recuay</i>	73
Tabla 17 <i>Información corregida de la máxima precipitación en 24 horas estación Recuay</i>	74
Tabla 18 <i>Parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24horas - Pira</i>	75
Tabla 19 <i>Nuevos parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24horas - Pira</i> .	75
Tabla 20 <i>Parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24horas - Chacchan</i>	76
Tabla 21 <i>Información corregida de la máxima precipitación en 24 horas estación Pira</i> ..	77

Tabla 22 <i>Nuevos parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24horas - Chacchan</i>	78
Tabla 23 <i>Información corregida de la máxima precipitación en 24 horas estación Chacchan</i>	79
Tabla 24 <i>Parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24horas - Sihuas</i>	80
Tabla 25 <i>Coordenadas de las estaciones obtenidos del Google Eart Pro</i>	81
Tabla 26 <i>Cálculo de las precipitaciones diarias máximas para distintas frecuencias</i>	89
Tabla 27 <i>Datos de la cuenca Shilla</i>	90
Tabla 28 <i>Cálculo del coeficiente de escorrentía ponderado para la cuenca Shilla</i>	92
Tabla 29 <i>Coeficientes de escorrentía Método Racional</i>	92
Tabla 30 <i>Cálculo de caudales máximos para distintos periodos de retorno - Método Racional</i>	94
Tabla 31 <i>Caudales para diferentes duraciones y periodos de retorno</i>	95
Tabla 32 <i>Criterios y valores numéricos para la ecuación de Cowan</i>	96
Tabla 33 <i>Cálculo del coeficiente de Manning por el método de Cowan</i>	97
Tabla 34 <i>Estimación de la profundidad de socavación general - Método Lacey – R 50años</i>	104
Tabla 35 <i>Estimación de la profundidad de socavación general - Método Lacey – R 100años</i>	105
Tabla 36 <i>Estimación de la profundidad de socavación general - Método Lacey – R 139años</i>	106
Tabla 37 <i>Estimación de la profundidad de socavación general - Método Lacey – R 500años</i>	107
Tabla 38 <i>Matriz de consistencia</i>	122
Tabla 39 <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	123

Tabla 40 <i>Resumen cálculo de las precipitaciones diarias máximas para distintas frecuencias</i>	131
Tabla 41 <i>Factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria</i>	132
Tabla 42 <i>Intensidades de precipitación, para diferentes duraciones y periodos de retorno</i>	135
Tabla 43 <i>Cálculo del Caudal Máximo para diferentes duraciones y periodos de retorno</i>	137
Tabla 44 <i>Cálculo de caudales para diferentes duraciones y periodos de retorno</i>	138
Tabla 45 <i>Datos de Arc Map 10.8.1</i>	139
Tabla 46 <i>Características de la Cuenca</i>	139
Tabla 47 <i>Curvas características de la cuenca</i>	140
Tabla 48 <i>Frecuencia de altitudes</i>	140
Tabla 49 <i>Cálculo de la elevación media</i>	141
Tabla 50 <i>Cálculo rectángulo equivalente</i>	141
Tabla 51 <i>Perfil Longitudinal de la cuenca</i>	142
Tabla 52 <i>Pendiente del cauce principal</i>	143
Tabla 53 <i>Resultados de tirantes críticos para QR 50años</i>	162
Tabla 54 <i>Resultados de tirantes críticos para QR 100años</i>	163
Tabla 55 <i>Resultados de tirantes críticos para QR 139años</i>	164
Tabla 56 <i>Resultados de tirantes críticos para QR 500años</i>	165

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Determinación del Coeficiente $K\theta$</i>	46
Figura 2. <i>Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil</i>	47
Figura 3. <i>Ubicación hidrográfica de la cuenca del rio Santa</i>	63
Figura 4. <i>Ubicación hidrográfica de la quebrada Ulta</i>	64
Figura 5. <i>Ubicación política de la quebrada Ulta</i>	64
Figura 6. <i>Ubicación geopolítica del distrito de Shilla</i>	65
Figura 7. <i>Ubicación de las estaciones meteorológicas mediante el Google Eart Pro</i>	81
Figura 8. <i>Ubicación de las estaciones en el ArcMap 10.8.1</i>	82
Figura 9. <i>Método del Polígono de Thysen en el ArcMap 10.8.1</i>	83
Figura 10. <i>Ubicación del Punto de aforo de la Cuenca Shilla en el ArcMap 10.8.1</i>	84
Figura 11. <i>Delimitación de la cuenca Shilla en el ArcMap 10.8.1</i>	85
Figura 12. <i>Áreas de la cuenca delimitada obtenidos del ArcMap 10.8.1</i>	85
Figura 13. <i>Datos de curvas características de la cuenca Shilla obtenidos del ArcMap 10.8.1</i>	87
Figura 14. <i>Tipo de Suela en la cuenca delimitada en ArcGIS 10.8.1</i>	91
Figura 15. <i>Cobertura vegetal en la cuenca delimitada en ArcGIS 10.8.1</i>	91
Figura 16. <i>Áreas del suelo obtenidos del ArcGIS 10.8.1</i>	92
Figura 17. <i>Modulo para la estimación de curvas de Intensidad Duración Frecuencia (IDF)</i>	94
Figura 18. <i>Elevación Frontal del Estribo</i>	97
Figura 19. <i>Planta Estribo</i>	98
Figura 20. <i>Detalle de Sección de Losa</i>	98
Figura 21. <i>Detalle Lateral Estribo</i>	99

Figura 22. Modelamiento Hidráulico en RAS Mapper de la avenida máxima para un tiempo retorno de 139 años	102
Figura 23. Cross Section Quebrada Ulta, con avenida máxima para un periodo de retorno de 139 años	102
Figura 24. Profundidad de socavación general – Método Lacey Retorno 139años	103
Figura 25. Gráfico Serie Anual Precipitaciones Máximas Estación Sihuas	124
Figura 26. Grafico de Barras Serie Anual Precipitaciones Máximas Estación Sihuas.....	124
Figura 27. Grafico de Distribución Normal Precipitaciones Máximas Estación Sihuas...	125
Figura 28. Grafico de Distribución LogNormal Precipitaciones Máximas Estación Sihuas	125
Figura 29. Grafico de Distribución Pearson III Precipitaciones Máximas Estación Sihuas	126
Figura 30. Gráfico de Distribución LogPearson III Precipitaciones Máximas Estación Sihuas.....	126
Figura 31. Grafico de Distribución Gumbel Max Precipitaciones Máximas Estación Sihuas	127
Figura 32. Grafico de Distribución Gev Max Precipitaciones Máximas Estación Sihuas	127
Figura 33. Resultados Test Kolmogorov – Smirnov de las Max Precipitaciones Estación Sihuas.....	128
Figura 34. Resultados Test Chi cuadrado Precipitaciones Máximas Estación Sihuas	128
Figura 35. Grafico de Distribución LogNormal, Pearson III, LogPearson II y Gumble Max de Precipitaciones Máximas Estación Sihuas.....	129
Figura 36. Datos de la Precipitación Máxima – Sihuas, para periodo de retorno de 2 años	130
Figura 37. Datos de la Precipitación Máxima para periodo de retorno de 5 años.....	130

Figura 38. Datos de la Precipitación Máxima para periodo de retorno de 100 años.....	131
Figura 39. <i>Precipitación Máxima de 24H</i>	133
Figura 40. <i>Modulo para la estimación de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)</i>	134
Figura 41. Curva Duración - frecuencia en diferentes periodos de retorno	134
Figura 42. Curva S Intensidad, Duración y Frecuencia - IDF de diferentes periodos de retorno.....	136
Figura 43. <i>Perfil longitudinal de la cuenca</i>	142
Figura 44. <i>Plano topográfico exportado al ArcMap 10.8.1 en formato TIF</i>	144
Figura 45. Plano topográfico en formato RASTER en el ArcMap 10.8.1	144
Figura 46. <i>Proyecto Shilla en HEC-RAS 6.3.1</i>	145
Figura 47. <i>Sistema de coordenadas en RAS Mapper</i>	145
Figura 48. <i>Terreno de estudio en formato TIFF</i>	146
Figura 49. <i>Superficie de estudio en Ras Mapper</i>	146
Figura 50. <i>Geometría Shilla, márgenes del rio márgenes y Cross Sections en RAS Mapper</i>	147
Figura 51. <i>Geometría Shilla en Geometry Data</i>	147
Figura 52. Vista de la Geometría Shilla en Geometric Data del HEC RAS.....	148
Figura 53. Ingresando valores de n Manning obtenidos de la Tabla 35 al HEC RAS 6.3.1	148
Figura 54. Secciones de la Quebrada Ulta - Sta 500	149
Figura 55. Secciones de la Quebrada Ulta - Sta 540	149
Figura 56. Secciones de la Quebrada Ulta - Sta 460	150
Figura 57. Selección de condiciones de contorno	150
Figura 58. Registro de hidrograma de caudal unitario	151

Figura 59. <i>Gráfico de Hidrograma Unitario</i>	152
Figura 60. Valor de condiciones críticas, aguas arriba y aguas abajo	152
Figura 61. Análisis de flujo - condiciones inestables	153
Figura 62. Proceso concluido del análisis de flujo inestable	153
Figura 63. <i>Resultados en RAS Mapper</i>	154
Figura 64. Resultados del análisis del flujo en RAS Mapper	154
Figura 65. Resultados del análisis del flujo (Q Máximo) en RAS Mapper.....	155
Figura 66. Resultados del análisis del flujo (Q Mínimo) en RAS Mapper	155
Figura 67. Perfil de la quebrada con Intensidad de flujo máximo.....	156
Figura 68. <i>Datos de flujo constante</i>	156
Figura 69. Proyecto Tesis Shilla - Caudal Máximo.....	157
Figura 70. <i>Análisis de flujo - Caudal Máximo</i>	157
Figura 71. <i>Análisis concluido sin errores</i>	158
Figura 72. Sección Sta-480 de la quebrada con Q R50años.....	158
Figura 73. Sección Sta-460 de la quebrada con Q R50años.....	159
Figura 74. Sección Sta-500 de la quebrada con Q R100años.....	159
Figura 75. Sección Sta-480 de la quebrada con Q R100años.....	160
Figura 76. Sección Sta-500 de la quebrada con Q R139años.....	160
Figura 77. Sección Sta-480 de la quebrada con Q R139años.....	161
Figura 78. Sección Sta-560 de la quebrada con Q R500años.....	161
Figura 79. Sección Sta-500 de la quebrada con Q R 500años.....	162
Figura 80. <i>Puente Shilla sobre la quebrada Ulta</i>	173
Figura 81. <i>Vista del Puente Shilla</i>	173
Figura 82. <i>Tránsito de Vehículos sobre el puente Shilla</i>	174
Figura 83. <i>Vista aguas abajo de la Quebrada Ulta</i>	174

Figura 84. <i>Vista aguas arriba de la quebrada Ulta</i>	175
Figura 85. <i>Levantamiento topográfico de la quebrada</i>	175
Figura 86. <i>Levantamiento topográfico – zona del puente, de la quebrada Ulta</i>	176
Figura 87. <i>Levantamiento topográfico aguas abajo de la quebrada Ulta</i>	176
Figura 88. <i>Vista de la Calicata 1 para EMS</i>	177
Figura 89. <i>Vista de la Calicata 2 para EMS</i>	177
Figura 90. <i>Vista de la Calicata 3 para EMS</i>	178
Figura 91. <i>Análisis granulométrico en laboratorio de la EPIC</i>	178
Figura 92. <i>Determinación de Límites de Atterberg</i>	179
Figura 93. <i>Análisis de plasticidad de suelos</i>	179
Figura 94. <i>Determinación del contenido de humedad</i>	180
Figura 95. <i>Vista general del puente Shilla</i>	180

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal realizar la Evaluación hidráulica del Puente Shilla sobre la quebrada Ulta utilizando los softwares Arc GIS 10.8.1 y HEC RAS 6.3.1. El desarrollo de la investigación se realizó en dos etapas; en la primera fase se realizó la inspección del puente Shilla, así como el reconocimiento de la zona de estudio, registrando las características topográficas, estudios geomorfológicos e hidráulicos de cuenca, luego elaboramos el modelo digital en Arc GIS 10.8.1 de la cuenca a partir del plano topográfico. En la siguiente fase se realizó la Modelación Hidráulica del tramo Puente Shilla, utilizando la aplicación HEC- RAS 6.3.1, para determinar las condiciones críticas de diseño en la quebrada Ulta. La simulación hidráulica proporcionó los tirantes de socavación del puente para diferentes periodos de retorno.

Palabras Claves: Quebrada, Cuenca, puente.

ABSTRACT

The main objective of this investigation was to carry out the hydraulic evaluation of the Shilla bridge over the Ulta creek using the Arc GIS 10.8.1 and HEC RAS 6.3.1 software.

The development of the investigation was carried out in two stages; In the first phase, the inspection of the Shilla bridge was carried out, as well as the recognition of the study area, recording the topographic characteristics, geomorphological and hydraulic studies of the basin, then we elaborated the digital model in Arc GIS 10.8.1 of the basin from of the topographic map. In the next phase, the Hydraulic Modeling of the Puente Shilla section was carried out, using the HEC-RAS 6.3.1 application, to determine the critical design conditions in the Ulta creek. The hydraulic simulation provided the scour stays of the bridge for different return periods.

Keywords: *Quebrada, Cuenca, bridges.*

Capítulo I

Introducción

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.1.1 Internacionales

Mehta, D. J., & Yadav, S. M. (2020) en su investigación “*Analysis of scour depth in the case of parallel bridges using HEC-RAS. Water Science and Technology*”, utilizan un modelo hidráulico para simular la estabilidad de un puente en el área de estudio, concretamente el 'Puente Sardar' sobre el río Tapi. Evaluaron perfiles de socavación para varios eventos de inundación para un puente en particular. La velocidad del flujo se usó para estimar las profundidades de socavación en diferentes pilas y estribos. La estimación de la profundidad de la socavación durante el diseño puede reducir significativamente el costo total de la construcción de los cimientos del puente. Los resultados del estudio mostraron que la construcción de un nuevo puente debe proponerse en el lado de aguas arriba en lugar de en el lado de abajo del puente existente, para asegurar la estabilidad hidráulica del puente existente”

Noor M Arshad H. Khan M et al. See more (2020) en su investigación “*Experimental and HEC-RAS modelling of bridge pier scouring*”, analizaron la socavación de un puente ubicado en el río Kabul cerca de Peshawar, Pakistán. El análisis se realizó de forma experimental y los resultados se compararon con los obtenidos a partir de la modelización del Centro de Ingeniería Hidráulica, Simulación de Análisis de Ríos (HEC-RAS). La forma real del pilar era circular y por motivos de comparación, realizaron un análisis tanto para pilares circulares como cuadrados. Los datos para el modelado fueron recolectados usando el Sistema de Información Geográfica (Arc GIS) y luego un software de modelado hidráulico. En el análisis experimental, realizaron 10 experimentos usando descargas y profundidades de flujo variables. Los resultados de la profundidad de socavación aguas arriba fueron comparados con los resultados del modelo hidráulico. Los resultados

mostraron que las pilas cuadradas dan como resultado una mayor profundidad de socavación en comparación con las pilas circulares. Observaron la misma tendencia para las dimensiones de los agujeros de socavación. Al comparar los resultados experimentales con el software hidráulico (HEC-RAS) mostró que este último dio valores de profundidad de socavación ligeramente mayores en condiciones similares, pero esa diferencia fue disminuyendo con el aumento de la descarga”

D’angelo et al. (2022) evaluaron la seguridad estructural del Puente Baghetto, un puente fluvial de 50 años en el norte de Italia sobre el río Adda. Los procesos hidráulicos solían causar fallas en los puentes, y aunque las cargas hidrodinámicas y de socavación habían sido ampliamente estudiadas, a menudo faltaba la integración con el análisis estructural. Esta investigación propuso un procedimiento multidisciplinario que combinó estudios hidráulicos y dinámicos para verificar y monitorear puentes fluviales con apoyos mecánicos tradicionales. Se estudió la interacción del tablero con el río y la influencia de la acumulación de escombros, siguiendo recomendaciones del código italiano y realizando suposiciones adicionales. Los resultados presentaron un procedimiento rápido para la verificación estructural y un método para evaluar la correlación temperatura-frecuencia para inspecciones futuras.

Schaap, HS y Caner, A. (2022) en su investigación “*Puente se derrumba en Turquía: causas y remedios*”, analiza las causas de los colapsos de puentes y evaluar las posibles medidas de prevención basadas en las lecciones aprendidas. En ese ámbito, por primera vez en Turquía recopiló información de varios derrumbes de puentes informados en una base de datos que ocurrieron principalmente entre los años 2000 y 2019. En su estudio de más de 80 puentes que experimentaron fallas reveló que, en los puentes de carretera, los eventos hidráulicos y las colisiones de vehículos en los puentes peatonales fueron las causas principales. Analizó brevemente la ingeniería de puentes en Turquía para proporcionar una

mejor comprensión de las condiciones ese país. También analizó algunos puentes históricos significativos cuyo diseño les ha ayudado a resistir las condiciones que aún luchaban por superar en el siglo XX”

1.1.2 Nacionales

En su investigación, Esteves (2018) evaluó métodos para calcular la socavación en puentes, específicamente en el caso del puente sobre el río Shanusi, en Yurimaguas. La investigación se desarrolló entre junio y noviembre de 2018, utilizando los programas ArcGIS y HEC-RAS para el modelamiento hidráulico. Se consideraron métodos para la socavación general, como el de velocidad crítica y agua clara, Lichtvan-Levediev y Laursen, y para la socavación en estribos, los métodos de Liu, Chang y Skinner, Artamonov, Laursen, Froehlich, Melville y HIRE. La investigación fue de tipo transversal y se centró en una cuenca hidrográfica, utilizando datos pluviométricos y geomorfológicos extraídos de imágenes satelitales. El análisis de datos se realizó con la prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov. Las secciones de análisis fueron generadas por el programa HEC-RAS, y las fórmulas de los diversos métodos se extrajeron del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenajes del MTC. Los resultados mostraron que los métodos más adecuados para la cuenca del río Shanusi son el método de Lichtvan-Levediev para la socavación general y el método de Artamonov para la socavación en estribos. Estos métodos fueron seleccionados a partir de simulaciones considerando un tiempo de retorno de 140 años (Esteves, 2018).

Vilchez Cerna y Toledo Mejía (2018) investigaron alternativas para prevenir la socavación en el río Rímac entre los puentes Libertadores y Talavera, en el distrito de El Agustino. Propusieron dos opciones de diseño: un muro de mampostería con sistema terramesh y un muro de mampostería con gaviones. Primero, realizaron un levantamiento topográfico y estudios geológicos y geotécnicos para determinar la resistencia del suelo.

También recopilaron datos de caudales máximos anuales y de diseño, utilizando la teoría de Lischtván-Lebediev para calcular la profundidad de socavación. Para evaluar la mejor alternativa, realizaron un análisis comparativo que incluyó evaluaciones técnicas, económicas y de gestión-construcción. Utilizaron los programas SLIDE y GEO5 para evaluar la estabilidad del talud y del muro, y prepararon un presupuesto para cada propuesta. Entrevistaron a ingenieros especialistas y, tras comparar y evaluar cada alternativa, concluyeron que el muro de mampostería con sistema terramesh es la opción más viable para construir en el futuro (Vilchez Cerna & Toledo Mejía, 2018).

Maza-Sócola (2019) analizó el comportamiento hidráulico del río Piura en el tramo Los Ejidos-Puente Independencia mediante la modelación numérica con el software HEC-RAS. Consideró tres escenarios basados en secciones transversales obtenidas de la topografía de 2015, la topografía de 2015 con Puente Independencia ensanchado y sin dique fusible, y la topografía de 2017. La topografía de 2015 se utilizó porque no hubo eventos significativos que modificaran la topografía entre 2015 y 2017. El objetivo fue evaluar la eficacia del software comparando resultados in situ con la modelación para el primer escenario, obtener un modelo calibrado y predictivo con cualquier caudal, evaluar la influencia del ensanchamiento del Puente Independencia para el segundo escenario y caracterizar el FEN Costero 2017 mediante la comparación de los resultados obtenidos con ambas topografías para el tercer escenario. La investigación confirmó la eficacia del software HEC-RAS al obtener tirantes de agua similares a los observados y concluyó que el ensanchamiento del Puente Independencia no influye en los puentes aguas arriba, excepto en su sección hidráulica, donde el nivel de agua descendió 0,91 m. Finalmente, determinó las características del comportamiento hidráulico del río Piura en el tramo Los Ejidos-Puente Independencia ante un caudal de 3,468 m³/s (Maza-Sócola, 2019).

Almonte Pilco y De La Cruz Vega (2021) explicaron que cuando el caudal del río aumenta, puede ocurrir un fenómeno de socavación que afecta la subestructura del puente, como estribos y pilares, resultando en colapsos parciales o totales. Este proceso es clave para su investigación, cuyo objetivo fue evaluar y diseñar protecciones contra la socavación hidráulica del puente Unocolla en Juliaca, Puno. El estudio se centró en el puente Unocolla y su subestructura, utilizando un método aplicado con diseño experimental puro y métodos cuantitativos. Se describió el problema y se obtuvieron resultados realistas. Se recolectó información topográfica, hidrológica y sedimentológica para realizar un modelado hidráulico en Hec-Ras. Las profundidades de socavación se determinaron en los pilares: pilar 1 con 1.2 m, pilar 2 con 2.46 m, y pilares 3 y 4 con 1.2 m cada uno. Como solución, se propuso el proceso de enrocado.

1.2 Formulación del problema

Las sociedades han cambiado a lo largo del tiempo en respuesta a diversas demandas, entre ellas el deseo de crecer y explorar nuevas zonas para avanzar en las operaciones cotidianas. En este contexto surgieron las infraestructuras, que permitieron conectar territorios dispares y acceder a regiones hasta entonces inalcanzables. Entre estas infraestructuras destacan los puentes, cuya función principal es permitir el acceso a lugares que de otro modo no sería posible. Debido a la importante interacción entre el río y el puente, en el desarrollo de estas estructuras intervienen diversos campos de la ingeniería civil, con especial énfasis en los elementos hidráulicos. Aunque el río es naturalmente dinámico, el puente requiere estabilidad y durabilidad a lo largo del tiempo.

Del mismo modo, la socavación de las pilas y los estribos de los puentes ha sido tradicionalmente la principal causa de fallo de estas estructuras. Además, cuando los pilares de los puentes se sitúan en suelos erosionables, la elevada velocidad del flujo local de la

interacción fluido-estructura socava las zonas que rodean los pilares, extendiéndose finalmente por debajo y destruyéndolos.

Por lo descrito nos realizamos la siguiente pregunta:

¿Cómo es el desempeño hidráulico del puente Shilla sobre la quebrada Ulta en la provincia de Carhuaz 2022, considerando escenarios de crecidas extremas??

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el desempeño hidráulico actual del puente Shilla sobre la quebrada Ulta en la provincia de Carhuaz 2022, considerando escenarios de crecidas extremas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir los aspectos geomorfológicos de la quebrada Ulta en el tramo del puente Shilla en Carhuaz utilizando el software Arc GIS 10.8.1.
- Determinar los parámetros hidrológicos e hidráulicos de la quebrada Ulta _ Carhuaz para la modelación hidráulica.
- Evaluar el desempeño hidráulico del puente Shilla sobre la quebrada Ulta en la provincia de Carhuaz bajo condiciones de flujo normales y escenarios de crecidas extremas, mediante modelación hidráulica utilizando el software HEC-RAS 6.3.1.

1.4 Formulación de la hipótesis

El desempeño hidráulico actual del puente Shilla sobre la quebrada Ulta en la provincia de Carhuaz, presenta deficiencias bajo escenarios de crecidas extremas.

1.5 Justificación e Importancia

Las lluvias intensas que se registran en la sierra de Áncash originan constantemente huacos que ha afectan viviendas, puentes y carreteras, dicha situación “natural” producen daño al hombre directamente e indirectamente, de allí la importancia de realizar una evaluación hidráulica al Puente Shilla.

La evaluación hidráulica del puente Shilla en la quebrada Ulta de Carhuaz, provincia de 2022, resulta crucial debido a diversos factores críticos que inciden tanto en la infraestructura como en la seguridad de los habitantes locales. El puente Shilla puede verse afectado por las variaciones estacionales en el caudal de la quebrada Ulta, ya que esta es un cuerpo de agua importante cuya influencia debe ser considerada. De acuerdo al Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), las infraestructuras construidas sobre los ríos pueden verse afectadas por las fluctuaciones en el caudal (INDECI, 2020, p.45). Debido al clima montañoso de la región, las inundaciones son eventos hidrológicos extremos comunes. La evaluación hidráulica permite conocer las limitaciones y capacidades del puente ante este tipo de situaciones.

Asimismo, el cambio climático intensifica los deslizamientos y aluviones en la provincia de Carhuaz. Es necesario que la infraestructura del puente esté diseñada para soportar estos eventos, así asegurando la conectividad y protección de las comunidades que se benefician de su uso. Es imprescindible llevar a cabo una evaluación detallada que nos brinde la información necesaria para planificar medidas de reducción y realizar las mejoras estructurales requeridas, con el objetivo de prolongar la vida útil del puente y garantizar su funcionamiento constante.

La importancia de esta investigación radica en varios aspectos:

Seguridad Pública: La región depende en gran medida del puente Shilla para el transporte de personas y mercancías. Realizar una evaluación hidráulica adecuada posibilita la detección de potenciales peligros y puntos débiles, lo que facilita tomar medidas preventivas en aras de salvaguardar a la población ante eventuales accidentes o desastres asociados con fallos estructurales del puente. Según la American Society of Civil Engineers (ASCE) en 2014, se resalta que "mediante una evaluación y un diseño adecuados es posible evitar fallos catastróficos de infraestructura durante eventos extremos" (p. 12).

Conectividad y Desarrollo Regional: Es imprescindible que el puente Shilla en Carhuaz mantenga su estabilidad y funcionalidad para garantizar la conexión entre comunidades rurales y urbanas. El acceso a servicios básicos, mercados y oportunidades de empleo se ve directamente afectado por esto, lo cual tiene un impacto significativo en el desarrollo económico y social de la región.

Sostenibilidad de la Infraestructura: Obtener una evaluación hidráulica detallada es importante para garantizar la sostenibilidad de la infraestructura, ya que nos proporciona información crítica para el mantenimiento y mejora del puente. Además de reducir los costos a largo plazo, garantiza la durabilidad del puente ante condiciones climáticas adversas y eventos extremos.

Información Técnica y Científica: Estos hallazgos de la investigación enriquecen el entendimiento técnico y científico relacionado con la ingeniería hidráulica y el manejo de riesgos asociados al agua. Además de ser valiosa para la provincia de Carhuaz, esta información también puede servir como referencia para otras áreas que presenten condiciones geográficas y climáticas similares.

Políticas Públicas y Planificación: Los datos obtenidos en la investigación son esenciales para poder formular políticas públicas y llevar a cabo una planificación territorial adecuada. Los responsables de tomar decisiones pueden utilizar esta información para desarrollar estrategias eficientes en la gestión de riesgos, infraestructuras resilientes y promover un desarrollo sostenible. Según el MTC, la utilización de datos técnicos precisos en la planificación es fundamental para garantizar un desarrollo seguro y eficiente de la infraestructura (MTC, 2018, p. 68).

Capítulo II

Marco Teórico

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Internacionales

Noor et al. (2020) analizaron que un puente es esencial para el transporte y sus pilares y estribos deben estar bien diseñados para prevenir erosión y daños. Un diseño óptimo para resistir la erosión requiere un análisis adecuado que combine enfoques experimentales y de modelado. Sin esta base investigativa, predecir los efectos de la erosión y sus impactos en los pilares resulta difícil. Esta investigación examina la erosión de un puente sobre el río Kabul cerca de Peshawar, Pakistán, utilizando un análisis experimental y comparándolo con simulaciones en el software HEC-RAS. Se estudiaron tanto pilares circulares como cuadrados. Los datos fueron recopilados con ArcGIS y se realizaron 10 experimentos con diversas descargas y profundidades de flujo. Los resultados mostraron que los pilares cuadrados presentaron mayor profundidad de socavación en comparación con los circulares. Aunque HEC-RAS mostró profundidades ligeramente mayores, esta diferencia disminuyó con caudales más altos.

Bento et al. (2020) destacaron que el colapso de puentes puede causar pérdidas económicas significativas y, en algunos casos, muertes. La erosión local alrededor de la base del puente es una causa común de fallos. A pesar de décadas de estudio, las variables hidrológicas e hidráulicas aún presentan incertidumbres críticas en el diseño de pilares de puentes, especialmente con la intensificación reciente de las inundaciones que aumenta la vulnerabilidad a la erosión. Este trabajo propone una metodología basada en el riesgo para abordar la erosión en las bases de los puentes, que incluye: (i) evaluación de eventos hidrológicos extremos, (ii) modelado del comportamiento del río con el cálculo de características del flujo y profundidades de erosión, y (iii) evaluación del riesgo asociando la profundidad de erosión con la base y el factor de vulnerabilidad. La metodología se valida

con el puente Hintze Ribeiro en Portugal y puede integrarse en programas de inspección de puentes para mejorar la gestión de riesgos y prevenir fallos catastróficos.

Agus et al. (2020) destacaron que la socavación alrededor de los pilares puede ser extremadamente peligrosa y comprometer la estabilidad del puente. Un ejemplo notable es el colapso del puente Batang Kalu en Korong Pasa Usang Nagari Kayu Tanam, Padang Pariaman Regency, el 10 de diciembre de 2018, causado por fricción en los dedos de los pies. Se realizó un estudio de caso sobre la socavación en este puente, utilizando datos de precipitaciones de la estación Kandang Empat para mejorar la precisión en el diseño de descarga de inundaciones. Se utilizó el software HEC-RAS para modelar numéricamente la socavación y se aplicaron ecuaciones empíricas para estimar la profundidad de socavación en el pilar. La simulación reveló una profundidad promedio de 2,731 m, cercana a la profundidad observada en el campo (2,83 m). La socavación local se sospecha que es resultado del aumento de la pendiente del río, posiblemente debido a la extracción de arena en los tramos superiores, lo que requiere más investigación.

Nacionales

Guillen y Gálvez (2019) evaluaron la socavación en pilares y estribos del puente Libertad, afectado por el fenómeno El Niño en Guadalupe, La Libertad. Utilizaron un enfoque cuantitativo correlacional para relacionar el caudal con el nivel de socavación. Calcularon morfológicamente una pendiente de 0.003 m/m y un ancho promedio del río de 200 m; hidrológicamente, un caudal de 1235 m³/s para un periodo de retorno de 500 años; y geotécnicamente, un diámetro de partículas de 47.25 mm, identificando el suelo como GP y SP. Usaron HEC-RAS y Hcanales, obteniendo una profundidad de socavación de 2.3 m. Los métodos Lischtvan-Levediev, Artamonov y Neill indicaron socavación de 0.10 m en general, 2.4 m en estribos y 3.14 m en pilares. Concluyeron que el puente resiste caudales durante El

Niño, recomendando más calicatas para definir mejor el tipo de suelo (Guillen & Gálvez, 2019).

Almonte Pilco, N., & De La Cruz Vega, S. (2021), en su investigación “Evaluación y diseño de protección frente a la socavación hidráulica del puente Unocolla, Juliaca – Puno, realizaron una evaluación y diseño de protección contra el proceso de socavación hidráulica del puente Unocolla de la ciudad de Juliaca, Puno. La población de estudio, fue el puente Unocolla y la muestra considerada fue la subestructura del puente. Para determinar los efectos de socavación del puente, recolectaron información topográfica, hidrológica y sedimentológica, posteriormente, mediante un modelamiento hidráulico en el programa Hec – Ras, determinaron las profundidades de socavación en los pilares del puente; en el pilar 1 profundidad de socavación fue de 1.2 m, en el pilar 2 profundidad de socavación 2.46 m, en el pilar 3 profundidad de socavación 1.2 m, en el pilar 4 profundidad de socavación 1.2m, por lo cual propusieron como alternativa de solución la protección de los pilares, mediante un enrocado”

Castillo y Ramírez (2022) realizaron un estudio hidrológico e hidráulico para el diseño del puente Pucayacu, ubicado en el tramo Mayocc-Huanta, usando los softwares HEC-HMS e IBER V2.0. Determinaron la cota mínima del fondo de la viga de tablero y la cota máxima de socavación en las cimentaciones. Concluyeron que el tirante del puente Pucayacu no es suficientemente grande, lo que permite explorar diferentes opciones para su dimensionamiento (Castillo & Ramírez, 2022).

2.1 Bases Teóricas

2.1.1 Cuenca

Cuenca Hidrográfica se refiere a "el contorno o límite de la misma que drena agua en un punto en común" (Smith, 2020, p. 45). Por otro lado, Cuenca Hidrológica se entiende

como "una unidad para la gestión que se realiza dentro de la cuenca hidrográfica" (Jones, 2019, p. 32).

Una cuenca incluye "ecosistemas terrestres (selvas, bosques, matorrales, pastizales, manglares, entre otros) y ecosistemas acuáticos (ríos, lagos, humedales, etc.), y sus límites se establecen por el parteaguas desde donde escurre el agua que se precipita en el territorio delimitado por éste, hasta un punto de salida" (Brown & Green, 2021, p. 78). En la cuenca hidrográfica se distinguen generalmente tres sectores: Alto, Medio y Bajo, que "en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos" (Miller, 2018, p. 61).

2.1.1.1 Tipos de cuencas

2.1.1.1.1 Por su tamaño geográfico. Tipos de cuencas, por su tamaño geográfico, pueden ser clasificadas como: "Grandes, Medianas o Pequeñas" (Smith, 2020, p. 22).

Los conceptos de "pequeñas cuencas o microcuencas" pueden ser muy relativos cuando se desarrollan acciones, por lo que se recomienda "utilizar criterios conjuntos de comunidades o unidades territoriales manejables desde el punto de vista hidrográfico" (Jones, 2019, p. 58).

2.1.1.1.2 Por su ecosistema. Según el medio o el ecosistema en la que se encuentran, establecen una condición natural así tenemos:

- Cuencas áridas, (Cuenca del río Cañete)
- Cuencas tropicales (Cuenca del Canal de Panamá)
- Cuencas frías (Cuenca del Lago Titicaca)
- Cuencas húmedas

2.1.1.1.3 Por su objetivo. Por su vocación, capacidad natural de sus recursos, objetivos y características, las cuencas pueden denominarse:

- Hidroenergéticas

- Para agua poblacional,
- Agua para riego,
- Agua para navegación
- Ganaderas
- De uso múltiple

2.1.1.1.4 Por su relieve: Cuencas planas, Cuencas de alta montaña y Cuencas accidentadas o quebradas

2.1.1.1.5 Por la dirección de la evacuación de las aguas. Por la dirección de la evacuación de las aguas, se distinguen tres tipos de cuencas: Exorreicas, Endorreicas y Arreicas.

"Exorreicas o abiertas: drenan sus aguas al mar o al océano. Un ejemplo es la cuenca del Río Rímac, en la Vertiente del Pacífico" (Smith, 2020, p. 35).

"Endorreicas o cerradas: desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar. Por ejemplo, la cuenca del río Huancané, en la Vertiente del Titicaca" (Jones, 2019, p. 44).

"Arreicas: las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Los arroyos, aguadas y cañadones de la meseta patagónica central pertenecen a este tipo, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia. También son frecuentes en áreas del desierto del Sáhara y en muchas otras partes" (Brown & Green, 2021, p. 52).

2.1.1.2 Caracterización de la cuenca

2.1.1.2.1 Parámetros físicos. El Tipo de la Cuenca de desarrolla en el ítem 2.2.1.1

- Área de la Cuenca (A) se define como la "superficie limitada por la proyección horizontal del parteaguas. Se obtiene en el SIG, planímetro o cuadrícula y se reporta en km² en superficies grandes y en ha en superficies pequeñas" (Smith, 2020, p. 58).

- El Perímetro de la Cuenca (P) se refiere a la "medición lineal del parteaguas y se expresa en km, obtenido en el SIG y medido en metros o km" (Jones, 2019, p. 61).
- La Longitud de la Cuenca (L) es la "distancia medida desde la salida de la cuenca hasta el límite del cauce principal, a lo largo en línea recta, medida con SIG y expresada en metros o km" (Brown & Green, 2021, p. 77).
- En cuanto a la Forma de la Cuenca (Rf), se utilizan dos parámetros teóricos: el índice de Gravelius o coeficiente de compacidad y el factor de forma.
- El Índice de Gravelius (Kc) relaciona la forma de la cuenca con la de una circunferencia usando la fórmula: $Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$ donde P es el perímetro de la cuenca y A es el área de la cuenca (Miller, 2018, p. 84).
- El factor de forma (Kf) es relevante porque "influye en el comportamiento del escurrimiento. Una cuenca ancha, con una tendencia a formar un círculo, tiende a formar flujos con escurrimientos pico muy altos" (Smith, 2020, p. 62). Se define como la relación entre "el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud de la misma" mediante la fórmula: $Kf = \frac{A}{L^2}$ donde Kf es el factor de forma, A es el área de la cuenca (km²), y L es la longitud de la cuenca (km) (Jones, 2019, p. 68).

Un factor pequeño (menor de 0.22) indica una cuenca alargada, mientras que un valor mayor a 1.50 indica una cuenca ancha, con forma tendiendo a un círculo, lo que puede causar problemas de escurrimiento, ya que "el escurrimiento se concentra en la salida de la cuenca al mismo tiempo" (Brown & Green, 2021, p. 83).

- La pendiente media de la cuenca (S) "influye en la respuesta hidrológica en una cuenca", reflejando la tasa de cambio de la elevación con respecto a la longitud del cauce principal, calculada como la diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal y la longitud de la cuenca usando la fórmula: $S = \frac{(H-h)}{L}$, donde S

es la pendiente de la cuenca (m/m), H es el punto más alto en la cuenca (m), h es el punto más bajo en la cuenca (m), y L es la longitud de la cuenca (m) (Miller, 2018, p. 92).

2.1.1.2.2 Parámetros hídricos. Cauce Principal, se analiza considerando "la longitud del cauce principal, la altura mayor, la altura menor y la diferencia entre altitudes (msnm)", lo cual es crucial para la planificación de infraestructura hídrica y obras de regulación en conjunto con la pendiente media del cauce (Smith, 2020, p. 75).

- La longitud total de cauces (km) es "la medida total de la longitud de todas las corrientes, expresada en kilómetros". La corriente principal se mide desde la salida de la cuenca hasta el parteaguas, mientras que las demás corrientes se miden desde su nacimiento hasta que desembocan en otro cauce, normalmente de orden mayor. Es posible obtener un promedio de longitud de corrientes de cada orden dividiendo el total de la longitud de las corrientes de un orden por el número de corrientes de ese mismo orden (Jones, 2019, p. 85). Es posible obtener un promedio de longitud de corrientes de cada orden. Esto se obtiene al dividir el total de la longitud de las corrientes de un orden por el número de las corrientes de ese mismo orden. $L\hat{u} =$

$$L\hat{u} = \sum_{i=1}^n Lu/Nu$$

Donde:

$L\hat{u}$ = Longitud media de los cauces del orden (u)

$\sum_{i=1}^n Lu$ = Longitud total de los cauces de orden (u)

Nu = Número de cauces de orden (u)

- El orden de corrientes es una clasificación que refleja "el grado de ramificación de los cauces en la cuenca" (Brown & Green, 2021, p. 90). Esta clasificación permite entender cómo se organizan los cauces, arroyos y ríos dentro de una cuenca, proporcionando una visión estructural sobre la red de drenaje y su complejidad
-

(Miller, 2018, p. 102). Número de orden de cauce: Refleja el grado de ramificación de una cuenca.

Río primer orden : tributario pequeño sin ramificación

Río segundo orden : cuenta con cauces de primer orden

Río tercer orden : cuenta con cauces de primer y segundo orden

y así sucesivamente.

- La densidad de corrientes se define como "la longitud de las corrientes de todos los órdenes dividida por el área total de la cuenca (A)" (Smith, 2020, p. 82). Este índice proporciona una medida de la concentración de corrientes en una cuenca, ayudando a evaluar la distribución y la red de drenaje en relación con el tamaño total de la cuenca (Jones, 2019, p. 91). Donde:

D_d = Densidad de drenaje (km/km^2)

L = Longitud total de las corrientes de todos los órdenes (km)

A = Área total de la cuenca (km^2)

Un valor alto de la densidad de drenaje "se asocia usualmente con una superficie impermeable, vegetación escasa y relieve montañoso", mientras que un valor bajo indica un suelo "pobrementemente drenado" y de respuesta hidrológica lenta. En este último caso, se infiere que una gran parte de la precipitación se infiltra en el suelo o se encharca sobre la superficie (Brown & Green, 2021, p. 97; Miller, 2018, p. 105).

2.1.1.3 Precipitación. La precipitación se define como "el agua aportada al terreno en forma de líquido, sólido (nieve, granizo) y vapor" (Smith, 2020, p. 110).

Las nubes están formadas por corpúsculos o gotitas de agua con un diámetro medio de 0.02 mm, y estos corpúsculos se mantienen en el aire mientras su tamaño no aumente (Jones, 2019, p. 120). La precipitación se clasifica según la forma en que se elevan las masas de aire, siendo estos procesos "convección, orográfica y ciclónica" (Brown & Green, 2021, p. 135).

2.1.1.3.1 La precipitación de convección. La elevación convectiva del aire, causada por el calentamiento del aire por radiación solar, resulta en la condensación del vapor al alcanzar zonas más frías. Este tipo de precipitación, que "suele ir acompañado por efectos de descarga eléctrica", es común en "zonas ecuatoriales y templadas" (Smith, 2020, p. 115; Brown & Green, 2021, p. 140).

2.1.1.3.2 La precipitación orográfica. La elevación del aire es producida por la existencia de una cadena montañosa, donde "los vientos procedentes del océano y cargados con aire húmedo se encuentran con una cadena montañosa que eleva a capas más frías el aire, condensándose el vapor y constituyendo nubes y, por tanto, posibles precipitaciones" (Smith, 2020, p. 120; Jones, 2019, p. 125).

2.1.1.3.3 La precipitación ciclónica. En el caso de la elevación de masas de aire sobre una masa de aire frío, "se produce por un pasaje frontal o superficie de contacto, donde las masas más húmedas y cálidas se elevan hasta zonas frías, se condensan y originan las precipitaciones" (Smith, 2020, p. 125; Brown & Green, 2021, p. 150). La precipitación se mide en altura de láminas de agua caídas sobre una superficie plana e impermeable, comúnmente expresada en milímetros. Para obtener esta medición, se utilizan "dos aparatos: el pluviómetro y el pluviógrafo" (Jones, 2019, p. 130). La evaluación de los datos pluviométricos es crucial, ya que representan la principal fuente de agua de una cuenca. Se debe verificar la consistencia de los datos registrados, considerando su confiabilidad y completando cualquier dato faltante mediante métodos matemáticos como la regresión (Smith, 2020, p. 130).

En el análisis de consistencia de datos históricos de información pluviométrica, es crucial comprender el significado de registros inconsistentes. La lluvia de diseño es el "evento hipotético pluvial más intenso, estadísticamente previsible, para una duración dada y una recurrencia asignada", que se utiliza para alimentar modelos lluvia-escorrentía y

evaluar la creciente de proyecto, la cual es esencial para el diseño de medidas estructurales y no estructurales (Smith, 2020, p. 140). El tiempo de concentración se define como el "tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la cuenca contribuya al sitio de la obra de drenaje" (Jones, 2019, p. 135). En otras palabras, es el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la cuenca hasta llegar a su salida. Hay varios métodos propuestos por diferentes autores para el cálculo de éste tiempo, el MTC presenta algunas ecuaciones para calcular el tiempo de concentración en la Tabla 1.

Para evaluar la precipitación en un área determinada, se utilizan los **Polígonos de Thiessen**, que se basan en la posición relativa de los pluviómetros respecto a la cuenca. Si hay solo un pluviómetro, este puede representar toda el área de la cuenca. Sin embargo, cuando hay varios pluviómetros en la zona, se emplean métodos como la media aritmética, el método de los polígonos de Thiessen y el método del inverso de la distancia al cuadrado para determinar el valor de lluvia asociado a cada área (Smith, 2021, p. 75). Los polígonos de Thiessen ayudan a definir qué porción de la cuenca corresponde a cada pluviómetro, permitiendo una asignación precisa de los datos pluviométricos a las distintas partes de la cuenca (Jones, 2020, p. 82).

Tabla 1
Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración

Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley (1965) Aron y Erborge (1973)	$t_c = \frac{7.L^{0.6}.n^{0.6}}{I^{0.4}.S^{0.3}}$ <p>L = longitud del flujo superficial, m. n = coeficiente de rugosidad de Manning. I = intensidad de lluvia, mm/h. S = pendiente promedio del terreno-m/m.</p>	<p>Ecuación para flujo superficial desarrollada a partir de análisis de onda cinemática de la escorrentía superficial desde superficies desarrolladas; el método requiere iteraciones debido a que tanto I (Intensidad de lluvia) como t_c son desconocidos, la superposición de una curva de intensidad – duración – frecuencia da una solución gráfica directa para t_c.</p>
Ecuación de retardo SCS (1973)	$t_c = \frac{0.0136.L^{0.8}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{S^{0.5}}$ <p>L = longitud hidráulica de la cuenca mayor trayectoria de flujo), m. CN = Número de curva SCS S = pendiente promedio de la cuenca, m/m.</p>	<p>Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 800 Ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que $t_c = 1.67$ x retardo de la cuenca.</p>

Fuente: MTC 2011

2.1.2 *Hidráulica y drenaje*

2.1.2.1 Canales naturales. Los ríos, quebradas y arroyos son canales naturales que se forman en depresiones del terreno y se estabilizan con el tiempo para formar cauces constantes. Para su estudio, se han desarrollado teorías empíricas que permiten calcular los diferentes niveles en un río, dado que sus secciones transversales son irregulares. Los flujos en los canales abiertos se pueden clasificar por su comportamiento en el espacio y el tiempo. Los flujos permanentes mantienen sus propiedades a lo largo del tiempo, mientras que los no permanentes presentan variaciones. Además, los flujos pueden ser uniformes, con propiedades constantes a lo largo de un tramo, o no uniformes, con propiedades variables. Los flujos no uniformes pueden ser gradualmente cambiantes o rápidamente cambiantes (Smith, 2020, p. 58).

Entonces, en base a estos conceptos, se pueden generar otras clasificaciones más compuestas, donde incluyen el tiempo y el espacio:

- Flujo permanente
 - Flujo uniforme permanente
 - Flujo variado
- Flujo no permanente
 - Flujo uniforme no permanente
 - Flujo variado no permanente

Cabe destacar que, al hablar de propiedades en el contexto de flujos en canales naturales, nos referimos a los elementos geométricos de cada sección del canal. Dado que los cauces naturales suelen ser irregulares y variados, se aplican teorías tanto de flujo permanente como no permanente para calcular los niveles de agua. Los flujos permanentes mantienen propiedades constantes en el tiempo, mientras que los flujos no permanentes presentan variaciones. Además, los flujos pueden ser uniformes, donde todas las propiedades

en un tramo se mantienen constantes, o no uniformes, con propiedades que cambian. Los flujos no uniformes se subdividen en gradualmente cambiantes o rápidamente cambiantes, según la velocidad con la que varían (Smith, 2020, p. 59).

2.1.2.2 Elementos geométricos

2.1.2.2.1 La profundidad de flujo (y). Es la altura de agua desde el fondo del canal hasta la superficie libre, influenciada por la pendiente. Este nivel se expresa como una cota de elevación en un sistema geográfico cartesiano, obtenida de un estudio topográfico-batimétrico. En planta, forma un espejo de agua con un ancho superficial (T). Esta área moja el suelo por debajo, definiendo un área mojada (A) y un perímetro mojado (P) (Jones, 2021, p. 78).

$$R_H = \frac{A}{P} \quad D = \frac{A}{T} \quad Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}}$$

Donde:

R_H = radio hidráulico

T = ancho superficial

A = área mojada

P = perímetro mojado

D = profundidad hidráulica

Z = factor de sección flujo crítico $Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}}$

Z = factor de sección flujo uniforme $Z = AR_H^{2/3}$

2.1.2.2.2 Distribución de velocidades. Las velocidades en una sección de canal varían según la geometría y la rugosidad. Las zonas profundas, con mayor rugosidad, tienen velocidades más bajas, mientras que las áreas cercanas a la superficie presentan velocidades más altas (Smith & Johnson, 2019, p. 102).

2.1.2.2.3 Rugosidad compuesta en canales naturales. La rugosidad de un cauce natural es difícil de definir debido a su superficie variada. Aunque no hay un método exacto, se emplean tablas con valores experimentales o se seleccionan valores según la experiencia de los ingenieros (Díaz & Fernández, 2020). Los valores usados son llamados *coeficientes de Manning* (n), que parte de la ecuación:

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Donde:

V = velocidad media

R = radio hidráulico

S = pendiente de la línea de energía

n = coeficiente de rugosidad de Manning.

Elegir un solo valor para n en canales artificiales es ideal, pero en la práctica, es complicado debido a diversos factores. Estos incluyen la rugosidad superficial, la vegetación que varía estacionalmente, la irregularidad del canal, procesos de sedimentación y socavación, obstrucciones, el nivel de agua, y la carga de lecho (Gómez & Silva, 2021). Estos elementos influyen significativamente en el valor de n , haciendo que sea necesario ajustar el valor según las condiciones específicas del canal.

2.1.2.2.4 Método de Cowan. El modelo de Cowan está definido por la ecuación:

$$n = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

Los valores de rugosidad se obtienen de la Tabla 2, y dependen de factores como el perímetro, irregularidades, sección transversal, obstrucciones, vegetación y meandros. Aquí, n_0 representa la rugosidad en un canal recto y liso, mientras que n_1 ajusta por rugosidad superficial, n_2 por tamaño y forma del canal, n_3 por obstrucciones, n_4 por vegetación, y m_5 es un factor que corrige la rugosidad por la influencia de los meandros. La Tabla 2 presenta estos valores corregidos.

Tabla 2
Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad

Condición del cauce		Valores
Material considerado	Tierra	0,020
	Corte en roca	0,025
	Grava fina	0,024
	Grava gruesa	0,028
Grado de Irregularidad	Suave	0,000
	Menor	0,005
	Moderado	0,010
	Severo	0,020
Variación de la Sección Transversal	Gradual	0,000
	Ocasionalmente alternante	0,005
	Frecuentemente alternante	0,010–0,015
Efecto de las Obstrucciones	Insignificante	0,000
	Menor	0,010–0,015
	Apreciable	0,020–0,030
	Severo	0,040 - 0,060
Vegetación	Baja	0,005–0,010
	Media	0,010–0,025
	Alta	0,025–0,050
	Muy alta	0,050–1,000
Cantidad de Meandros	Menor	1,000
	Apreciable	1,150
	Severa	1,300

Fuente: Chow 1994

2.1.3 Puentes

2.1.3.1 Definición. Un puente es una estructura diseñada para superar obstáculos y mantener la continuidad de una vía, ya sea de carretera, férrea o para el transporte de tuberías y líneas de energía. Los puentes sobre canales se denominan acueductos.

Aquellos construidos sobre terreno seco o en un valle, viaductos. Los que cruzan autopistas y vías de tren se llaman pasos elevados. Los puentes constan fundamentalmente de dos partes:

2.1.3.1.1 La superestructura. La superestructura de un puente comprende varios elementos clave que trabajan en conjunto para soportar y distribuir las cargas.

El componente principal es el tablero, que recibe el peso del tráfico. Este se apoya en varios elementos estructurales como arcos, vigas, cables y bóvedas, función es transferir las cargas

desde la mesa hacia los apoyos. En el tramo horizontal del puente se encuentran tres componentes fundamentales:

La estructura portante, que cumple la doble función de sostener el tablero y conectar con la subestructura. Estación de las cargas recibidas del tablero hacia las pilas o estribos.

El Tablero, diseñado para tomar directamente el peso de los vehículos. Puede presentar o no una superficie de rodamiento específica y enconar a través de se sostiene otros elementos estructurales.

Los accesorios del Tablero, que no son estructurales, son esenciales para la funcionalidad y seguridad del puente. Estos elementos incluyen como barandas, barreras y cordones, que protegen tanto a guisados como a vehículos durante su tránsito por el puente.

2.1.3.1.2 La Subestructura. Se compone de los cimientos, que transfieren todos los esfuerzos al suelo, los pilares, que sirven de soportes intermedios, y los estribos, que actúan como soportes extremos que sostienen directamente la superestructura.

Cada uno de los componentes que le constituye llega a sostener el tramo horizontal del puente. Entre estos componentes se encuentra:

Estribos: Parte de la subestructura que proporciona soporte y conecta con el terraplén. Diseñados para soportar la carga de la superestructura, transmiten las presiones del suelo y el peso de la losa de transición. Incluyen una losa de fundación que transfiere directamente el peso al suelo y se utiliza como cubierta para pilotes que soportan el muro frontal y otras cargas del puente.

Bastión: parte que sirve de soporte a un intervalo del puente.

Tramo: Es la parte que sirve como soporte de las pilas y bastidores del puente.

Pilares: Elementos intermedios del puente que transfieren las cargas de la superestructura a las fundaciones. Diseñados para resistir viento, presiones hidráulicas y cargas de impacto, pueden ser de acero o concreto, con sección transversal variable o constante según la altura.

Estos también pueden poseer una sección hueca o llena, donde su elección dependerá directamente de la estética y de la contractibilidad.

2.1.3.2 Clasificación de Puentes. A los puentes podemos clasificarlos:

2.1.3.2.1 Según su función. Peatonales, Carreteros, Ferroviarios.

2.1.3.2.2 Por los materiales de construcción, Madera, albañilería, Acero Estructural, compuestos, Concreto Armado y Concreto Presforzado.

2.1.3.2.3 Por el tipo de estructura. Simplemente apoyados, Continuos, Simples de tramos múltiples, Cantilever (brazos voladizos), En Arco, Atirantado (utilizan cables rectos que atirantan el tablero), Colgantes, Levadizos (basculantes), Pontones (puentes flotantes permanentes).

2.1.3.3 Ubicación y elección del tipo de Puente. Para el diseño de puentes, es esencial considerar varios factores: la ubicación y alineación de la estructura, el tipo de puente más adecuado según estética, coste, seguridad y funcionalidad, así como la forma y dimensiones, incluyendo accesos, superestructura, infraestructura, cauce y fundaciones. También se deben planificar las obras complementarias, como barandas, drenaje, protección de márgenes y, si es necesario, forestación e iluminación. Para puentes especiales, es crucial recomendar métodos constructivos, equipos y etapas de construcción para asegurar la estabilidad y correcta ejecución del proyecto.

2.1.3.4 Socavación en puentes. La socavación es un fenómeno hidráulico que afecta el lecho fluvial y es común en la falla de puentes. También conocida como erosión, remueve partículas sólidas del cauce debido a corrientes rápidas que levantan y arrastran los sedimentos, aumentando la profundidad del lecho. Los eventos que provocan socavación incluyen crecidas, estrechamiento del cauce, flujos en curvas, confluencias fluviales y la construcción de pilares y estribos.

2.1.3.4.1 Erosión general. La erosión general es la tendencia de un río a profundizarse según el caudal, tanto en avenidas como en estiaje.

Los problemas surgen durante avenidas máximas, cuando el caudal alto y las altas velocidades pueden limpiar el fondo del canal, exponiendo las cimentaciones del puente y provocando fallas.

2.1.3.4.2 Erosión local. La erosión local ocurre cerca de estructuras como pilares o estribos, donde las velocidades de corriente aumentan y generan vórtices. Estos vórtices causan socavación al crear movimientos de corrientes laterales, frontales y de estela alrededor de la estructura. En estribos, la máxima erosión se da en la cara aguas arriba y se intensifica con el caudal interceptado, aumentando la corriente y la erosión. Estos movimientos levantan partículas del lecho, provocando socavación y potencial falla aguas arriba.

2.1.3.4.3 Erosión por contracción. La erosión por contracción o estrechamiento ocurre cuando se reduce la sección del cauce natural, lo que provoca altas velocidades de flujo y una depresión aguas abajo, con un remanso aguas arriba. Esta depresión causa una erosión significativa aguas abajo de la estructura. Los valores de contracción y expansión de un puente pueden superar los del cauce natural, con valores típicos de 0.3 y 0.5 frente a 0.1 y 0.3, respectivamente.

2.1.3.5 Métodos de cálculo para estimar la altura de socavación. Para calcular la profundidad de socavación general, se utilizan varias metodologías. Una de ellas es el método de velocidad competente, que supone que la erosión ocurre cuando la velocidad del flujo alcanza un nivel crítico en equilibrio con la velocidad media del flujo.

Este método generalmente ofrece estimaciones conservadoras, considerando que la socavación se produce cuando la velocidad crítica y la del flujo se igualan para un caudal determinado. Esto se puede expresar, mediante algunos artilugios matemáticos, en función

del *caudal unitario* (q) y del diámetro D_{50} , teniéndose la siguiente expresión:

$$h_s = k \frac{q^\omega}{D_{50}^\eta}$$

De dicha expresión, se tiene los coeficientes k , ω y η que resulta experimentación en laboratorios, por ello diferentes investigadores plantean los siguientes valores para dichos coeficientes en la siguiente Tabla:

Tabla 3

Valores de coeficientes k , ω y η

<i>Método</i>	<i>k</i>	<i>ω</i>	<i>η</i>
Maza Alvarez & Echavarría Alfaro (1973)	0.365	0.784	0.157
Lischtvan-Lebediev (1959)	0.310	0.758	0.212
Laursen (1963)	0.210	0.857	0.285
Maza Alvarez & García Flores (1978)	0.209	0.870	0.304
Neill (1980)	0.320	0.798	0.200
Lacey (1930)	0.351	0.667	0.167
Blench (1939)	0.692	0.667	0.083

Fuente: Barbosa 2013

Además, cabe resaltar que, para la obtención de la profundidad de socavación, se debe descontar al valor de h_s el tirante del cauce.

La socavación por contracción ocurre cuando los estribos y pilares de un puente reducen el ancho del cauce, generando velocidades altas que provocan erosión. El método de Straub se utiliza para calcular esta socavación, con una fórmula específica:

$$H_s = \left(\frac{B_1}{B_2} \right) 642 h_1$$

Donde:

B_1 = ancho de la superficie libre del cauce aguas arriba de la contracción

B_2 = ancho de la superficie libre del cauce en la contracción debido al puente

h_1 = profundidad de agua ubicado aguas arriba de la reducción de la sección

Al igual que en la socavación general, para calcular la socavación local en estribos, se debe restar el tirante de Hs. El método de Froehlich, basado en 170 mediciones de socavación en lecho móvil y ampliamente usado en EE. UU., se usa para este propósito. La ecuación de Froehlich se detalla a continuación:

$$\frac{d_s}{h_e} = 2.27K_f K_\theta \left(\frac{L}{h_e}\right)^{0.43} Fr_e^{0.61} + 1$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación

h_e = profundidad media del flujo aguas arriba del puente

K_f = coeficiente que depende de la forma del estribo

K_θ = variable que depende el ángulo de ataque del flujo

L = longitud del estribo proyectada normalmente al flujo

Fr_e = número de Froude en la sección próxima a la obstrucción producida por el estribo.

De esta forma, se presenta la Tabla 4 para la determinación del coeficiente K_f :

Tabla 4

Valores del coeficiente 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

Fuente: Universidad del Cauca 2014

El coeficiente K_θ , se presenta el gráfico de la Figura 1.

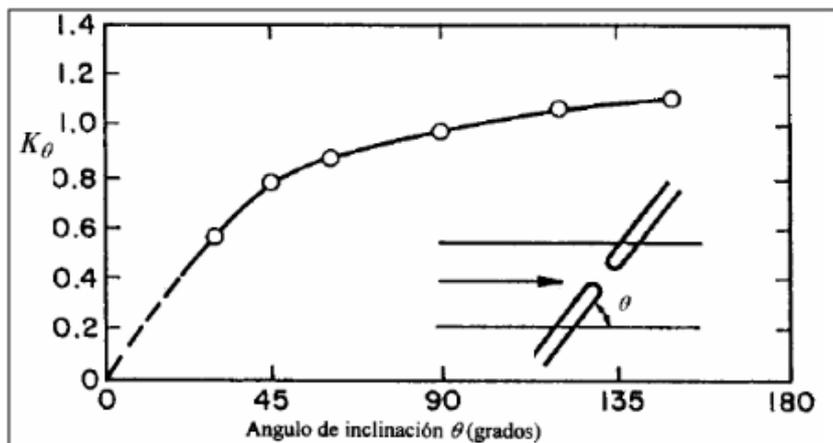
El número de Froude (Fr_e), este se determina con la siguiente expresión:

$$Fr_e = \frac{V_e}{\sqrt{9.81h_e}}$$

Donde, V_e es la velocidad media dada aguas arriba de la sección contraída.

Figura 1

Determinación del Coeficiente K_θ



Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC 2011

2.1.3.6 Selección del Período de Retorno. El Período de Retorno "T" es el intervalo de años en el que se iguala o supera el caudal pico de una creciente. Si los eventos anuales son independientes, se puede calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años.

Para seleccionar el período de retorno en el diseño de una obra, se debe evaluar la relación entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla aceptable, considerando factores económicos, sociales y técnicos.

El criterio de riesgo implica determinar previamente el nivel de riesgo aceptable para una obra durante su vida útil, asegurando que no ocurra un evento mayor al considerado en el diseño en cada año. El riesgo admisible se calcula en función del período de retorno y la vida útil de la estructura.

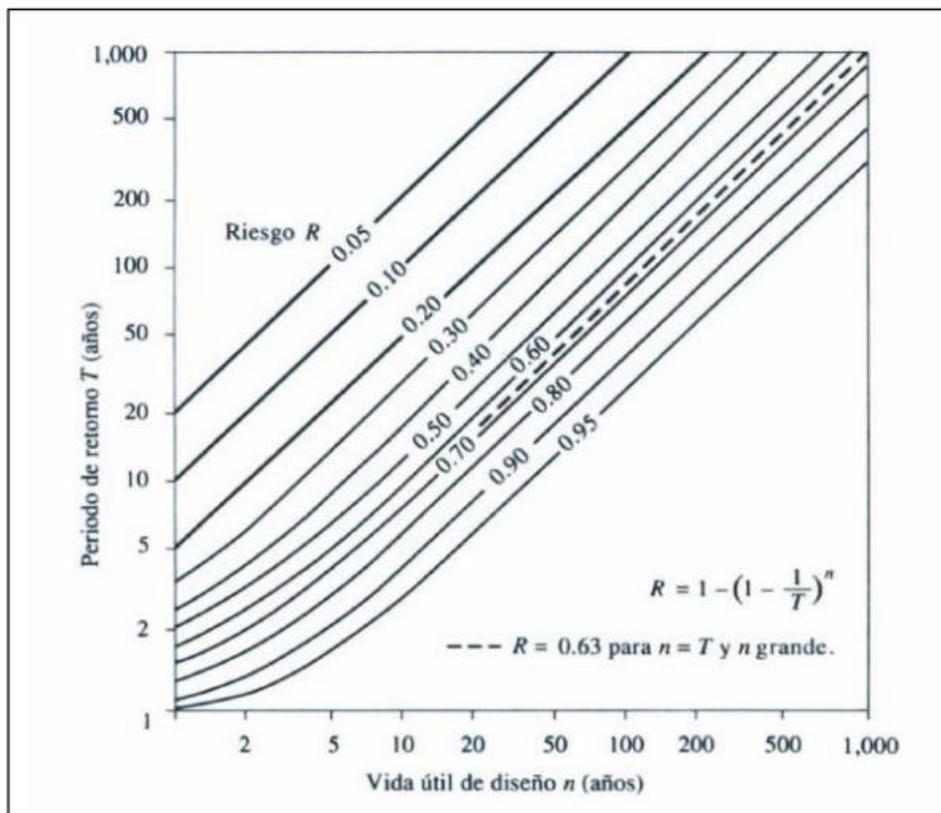
$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno T, fijando el riesgo de falla admisible R, el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra.

En la Tabla 5 se presenta el valor T para varios riesgos permisibles R y para la vida útil n de la obra.

Figura 2

Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil



Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC 2011

Tabla 5

Valores de Período de Retorno T (Años)

RIESGO ADMISIBLE	VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0,01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0,02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0,05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0,10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0,20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0,25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0,50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0,75	1,3	2	2,7	4,1	7,7	15	18	37	73	144

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC 2011

Tabla 6
Valores Máximos Recomendados de Riesgo Admisible de Obras de Drenaje

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

(*) - Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.
 - Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

(**) - **Vida Útil considerado (n)**

- Puentes y Defensas Ribereñas n= 40 años.
 - Alcantarillas de quebradas importantes n= 25 años.
 - Alcantarillas de quebradas menores n= 15 años.
 - Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años.
- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.
 - El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC 2011

2.1.3.7 Normativas. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones detalla la metodología para estudios hidrológicos e hidráulicos en estructuras de drenaje vial, incluyendo el uso de software como HEC-RAS y HEC-HMS. Estos programas facilitan la modelación de ríos, quebradas y cuencas para calcular el caudal de diseño de las obras proyectadas.

2.1.4 Softwares para el modelamiento hidráulico

Se utilizan herramientas comunes como Excel y Word, además de software especializado para agilizar cálculos y análisis en el trabajo de gabinete.

En esta investigación se emplean herramientas como Global Mapper, HidroEsta, WMS, HEC-HMS y HEC-RAS.

2.1.4.1 Global Mapper. Global Mapper es una aplicación de SIG versátil y económica que ofrece soluciones completas para procesar datos espaciales y soporta diversos formatos usados en CAD, SIG e ingeniería.

Global Mapper destaca en el procesamiento de datos 3D y terrenos, ofreciendo funciones para modelar cuencas visuales, delinear cuencas hidrográficas, medir volúmenes, optimizar cortes y rellenos, calcular ráster, crear cuadrículas y terrenos personalizados, y generar contornos.

La nueva versión Global Mapper Pro integra todas las funciones del antiguo Módulo LiDAR, como el procesamiento y clasificación de nubes de puntos y la extracción de características del terreno. Además, ofrece herramientas avanzadas de procesamiento espacial, como la vectorización automatizada de imágenes y soporte para scripting en Python.

2.1.4.2 ArcGIS. Es un sistema integral para gestionar, analizar y distribuir información geográfica, y es la plataforma líder global en sistemas de información geográfica (SIG).

ArcGIS facilita la publicación de información geográfica, haciéndola accesible desde navegadores web, dispositivos móviles y equipos de escritorio.

ArcGIS permite crear, usar y compartir datos geográficos desde cualquier dispositivo. Facilita el acceso a información actualizada y colaboración, ayudando incluso a usuarios novatos a realizar análisis espaciales sin necesidad de conocimientos avanzados en SIG.

Los usuarios pueden acceder a los productos de información creados por especialistas a través de sitios web, aplicaciones y sistemas móviles. Estas herramientas facilitan la integración de datos en actividades diarias para analizar modelos, tomar decisiones, presentar planes y extraer información.

Todo esto permite pueda ser utilizado en una gran gama de ámbitos, como ciencia, educación, negocios, gobiernos, entre otros más.

ArcGIS permite crear y compartir mapas inteligentes, compilar y administrar información y bases de datos geográficas, resolver problemas mediante análisis espacial, desarrollar aplicaciones basadas en mapas y divulgar información a través de la geografía y la visualización.

ArcGIS facilita la creación, compartición y uso de mapas inteligentes, que organizan y presentan información de manera clara y universal. Permite generar una variedad de mapas, como web, impresos, en informes, presentaciones, libros y aplicaciones, integrando y sintetizando capas de datos geográficos y descriptivos de diversas fuentes en un formato accesible y comprensible.

ArcGIS crea mapas que facilitan consulta, análisis, planificación y gestión de información. En ArcGIS, los mapas sirven tanto como producto final como herramienta de trabajo. Son ventanas interactivas que permiten a los usuarios visualizar, explorar y analizar información geográfica. Además de mostrar datos, los mapas facilitan la búsqueda de patrones, el análisis y modelado para resolver problemas, la visualización de estados, la entrada de datos y la comunicación de ideas, planes y diseños.

ArcGIS permite diseñar, crear y gestionar bases de datos geográficas, que son fundamentales en el trabajo con SIG. Estas bases de datos organizan la información geográfica de manera estructurada, facilitando su administración, actualización y compartición. Son esenciales para almacenar capas clave como parcelas, redes de servicios y datos hidrológicos, entre otros. Los usuarios, ya sean individuales o en grandes empresas, pueden gestionar, procesar y visualizar estos datos en mapas de ArcGIS, creando símbolos y publicando la información en diversas formas.

2.1.4.3 HEC RAS (Hydrological Engineering Center - River Analysis System). Es una aplicación gratuita y ampliamente utilizada en ingeniería hidráulica para modelizar flujos en cauces naturales y canales artificiales. Diseñada para modelización unidimensional y bidimensional, es una de las herramientas más reconocidas y empleadas a nivel internacional en su campo.

Es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelación de flujo en régimen permanente
- Modelación de flujo en régimen no permanente
- Modelización del transporte de sedimentos
- Análisis de calidad de aguas

Permite simular flujos en cauces naturales y canales artificiales para evaluar niveles de agua y zonas inundables. Este software gratuito, en constante actualización y mejora, se ha generalizado en su uso. Cada vez más administraciones requieren estudios del impacto en la dinámica de los cauces, utilizando modelos hidráulicos confiables como HECRAS.

Capítulo III

Metodología

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque

El Enfoque de la investigación fue Mixto (predominantemente cuantitativo con elementos cualitativos).

Se utilizó un enfoque cuantitativo para la recolección y análisis de datos hidráulicos y geomorfológicos, y un enfoque cualitativo para interpretar los resultados y formular recomendaciones.

3.2 Alcance

El alcance de la investigación fue descriptiva-explicativa.

Se concentró en describir las condiciones hidráulicas actuales del Puente Shilla y la Quebrada Ulta, y en explicar las relaciones causales entre los elementos del sistema hidráulico

3.3 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación fue **Estudio de caso**, no experimental y transversal.

Estudio de caso único: El Puente Shilla y la Quebrada Ulta constituyen un sistema hidráulico único con características particulares.

No experimental: Tratándose de una investigación descriptiva-explicativas, se buscó entender el fenómeno tal como ocurre naturalmente, sin intervención. Además, que las condiciones hidráulicas del puente y la quebrada no pueden ser manipuladas experimentalmente, tampoco fue posible alterar las condiciones del puente porque pondría en riesgo la infraestructura y la seguridad pública.

Transversal: la investigación se realizó el año 2023, proporcionando una "fotografía" de las condiciones de ese momento.

3.4 Población y muestra

Población: Puente Shilla y la Quebrada Ulta en Carhuaz

Muestra: No aplicable (estudio de caso único)

3.5 Unidad de análisis

El sistema hidráulico compuesto por el Puente Shilla y la Quebrada Ulta.

3.6 Variables y Operacionalización

3.6.1 Variables

En un estudio de caso, las variables se utilizan como guías conceptuales y descriptivas y no como elementos para manipulación o control experimental. Ayudaron a estructurar la recolección de datos y el análisis, proporcionando un orden para entender la investigación.

VARIABLE INDEPENDIENTE: **Quebrada Ulta**

VARIABLE DEPENDIENTE: **Puente Shilla**

3.6.2 Operacionalización de variables

Tabla 7

Operacionalización de la Variable Independiente

Variable Independiente	Definición Conceptual	Dimensión	Definición Operacional Indicador	Unidad
Quebrada Ulta	Según Martínez (2022), "Quebrada, El término quebrada definen un desfiladero, abertura o valle y escarpado que, encajonado, diseca releva positivos o discurre entre montañas, formando una hondonada profunda laderas 'caen' abruptamente el fondo" (p. 58).	Topografía	Secciones Transversales	m
			Perfil Longitudinal	m
			Pendiente	m/m
		Características hidrológicas	Longitud del Cauce	Km
			Área de la Cuenca	Km ²
			Caudal	m ³ /s
			Precipitación	mm
			Perímetro de la cuenca	Km
		Geotécnico	Coeficiente de Uniformidad	m/m
			Coeficiente de Curvatura	m/m
	Uso del suelo	-		

Tabla 8
Operacionalización de la Variable dependiente

Variable dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional		
		Dimensión	Indicador	Unidad
Puente Shilla	Según Martínez (2022), “Puente, estructura de luz alcalde o igual a 6.00 metros que se levanta sobre una depresión del terreno (río, canal, foso, etc.) o en otro sitio para comunicar dos lados" (p. 72).	Parámetros hidráulicos	Ancho estable	m
			Tirante de agua	m
			Caudal máximo	m
		Efectos Hidráulicos	Socavación general y local	m

3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1 Técnicas:

Se aplicó la Técnica de **Observación directa**, que consistió en la realización de calicatas para el estudio de Mecánica de suelos y levantamiento topográfico para elaboración de planos. También, se realizaron visitas al sitio para observar las condiciones actuales del puente y la quebrada, prestando especial atención a signos de erosión, socavación o daños visibles en el puente y sus soportes.

Otra técnica utilizada fue la **Simulación Hidráulica**, que involucró el uso de software especializado para modelar el comportamiento de flujos de agua en entornos específicos.

3.7.2 Instrumentos de recolección de datos

Para la técnica de Observación, se utilizó la Ficha de Observación: CONDICIÓN GLOBAL DEL PUENTE según la Directiva N° 01-2006-MTC/14 “GUÍA PARA INSPECCIÓN DE PUENTES”

Para la Simulación hidráulica, se utilizó herramientas como HEC-RAS, se simularon diferentes condiciones hidráulicas y eventos extremos para prever su impacto en infraestructuras como puentes. La simulación permitió analizar cómo variables como caudal, velocidad del flujo y nivel del agua afectaron la estabilidad y la seguridad de la estructura, facilitando la evaluación y el diseño de medidas preventivas.

3.8 Técnicas de análisis de datos

3.8.1 Estudios Topográficos

La metodología para el levantamiento topográfico se basó en el "Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje" del MTC (2014), que estipula:

"En ríos donde el puente no produzca contracción del flujo de avenida y ofrezca una pendiente pronunciada, el levantamiento topográfico debe cubrir 8 veces el ancho del cauce principal aguas arriba del eje propuesto y 4 veces aguas abajo. El levantamiento no debe ser menor a 150 m en ambas direcciones del eje del puente. También se recomienda incluir la estructura existente, niveles de agua actuales, marcas en la estructura, el perfil longitudinal, secciones transversales espaciadas no mayores a 0.5 veces el ancho del cauce, y otras características relevantes, considerando la forma irregular de los cauces naturales para identificar puntos altos, bajos e irregularidades" (MTC, 2014).

La secuencia de trabajo, fue como sigue:

- Se recopiló y evaluó la información topográfica existente.
- Se hizo un reconocimiento del terreno y se estableció una línea base para establecer el azimut de partida, al inicio del tramo en estudio, a la cual se le dio coordenadas y cotas relativas usando un Navegador GPS.
- El levantamiento de las poligonales de apoyo se hizo mediante coordenadas relativas y se nivelaron para el control vertical, las cuales se enlazan a la base antes mencionadas, para lo cual se empleó una Estación Total Digital Trimble 5500 la misma que viene integrada con un sistema de puntero láser para poder levantar puntos en los cuales no es posible usar el prisma.

- Luego en gabinete se procedió al Ajuste y Compensación de las Poligonales de Apoyo para el cálculo de las coordenadas corregidas y compensadas.
- Para culminar el trabajo de campo del Levantamiento Topográfico, usando una Estación Total Digital se rellenó las poligonales, mediante la toma de datos en un número adecuado de puntos y toma de vistas fotográficas mediante una cámara digital.
- Procesamiento de la data topográfica en Autodesk Civil 3D 2019.
- Elaboración de Planos a escalas adecuadas utilizando el software Autocad 2021.

3.8.2 Mecánica de suelos

El objetivo del muestreo y caracterización del material del lecho es la determinación del tamaño representativo que englobe todo el espectro de tamaños presentes en él.

El muestreo del material de cauce deberá ser representativo, para determinar su gravedad específica y análisis granulométrico. Las muestras del material del cauce deben ser tomadas al menos en tres puntos, uno en el eje del puente, y a 0.5B y B metros aguas arriba, donde B es el ancho promedio del río. En cada punto se deben tomar tres muestras: en la superficie, a 1.5 veces el tirante promedio del río, y a una profundidad intermedia, siempre y cuando las condiciones de excavación y la presencia de agua lo permiten.

3.8.3 Estudios Hidrológicos

3.8.3.1 Análisis de Consistencia de datos Hidrológicos. Los valores atípicos son datos que se desvían considerablemente de la tendencia general y pueden influir significativamente en los parámetros estadísticos, especialmente en muestras pequeñas. La elección del método para detectar estos valores se fundamentó en la prueba de varios procedimientos utilizando un logaritmo simulado de Pearson Tipo III.

Si la asimetría de estación es mayor que +0.4, se consideran primero las pruebas para detectar datos dudosos altos.

- Si la asimetría de estación es menor que -0.4, primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos.
- Cuando la asimetría de la estación esta entre -0.4 y +0.4, deben aplicarse pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos.

Ecuación de frecuencias para detectar datos dudosos altos:

$$X_H = X + k_n * S$$

X_H = Alto Umbral atípico en unidades de registro

X = Logaritmo medio de los picos sistemáticos

S = Desviación estándar de X 's

K_n = Valor K de la Tabla N° 08 para tamaño de la muestra n.

Si los logaritmos de los picos de una muestra son mayores a X_H , entonces se consideran altos valores atípicos.

Si no se dispone de información histórica útil para ajustar los valores atípicos altos, entonces, deben de ser retenidos como parte del registro de la sistematización.

El tratamiento de todos los datos históricos de inundaciones y los valores atípicos altos deben estar bien documentados en el análisis.

Ecuación se utiliza para detectar valores atípicos bajos:

$$X_L = M - k_n * S$$

X_L = Alto Umbral atípico en unidades de registro

M = Logaritmo medio históricamente ajustado

S = Desviación estándar de X 's

K_n = Valor K de la Tabla 9 para tamaño de la muestra N

Si los logaritmos de cualquier pico anual de una muestra son inferiores a X_L , entonces se consideran valores atípicos bajos.

Tabla 9
Valores de K_n para prueba de datos dudosos

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

Fuente: U.S. Water Resources Council, 1981. Tabla de valores de kn para una distribución normal.

3.8.3.2 Cálculo de Precipitaciones Máximas a diferentes Periodos de Retorno.

El análisis de datos hidrológicos abarca el procesamiento de series temporales, como la agregación, interpolación, análisis de regresión, manejo de valores faltantes, pruebas de consistencia, filtrado y visualización de datos. Se utilizaron los programas Hydrognomon y Excel. El Cálculo del caudal máximo se realizó por el Método racional en ArcGIS 10.8.1

3.8.3.3 Delimitación de la Cuenca. La delimitación de la cuenca Shilla se realizó mediante el software: ArcGIS 10.8.1.

3.8.3.4 Modelamiento Hidráulico. Para el modelamiento hidráulico se utilizaron los softwares: ArcGIS 10.8.1, Global Mapper, WMS y HEC – RAS 6.3.1

Capítulo IV

Resultados y Discusión

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Aspectos geomorfológicos de la zona

4.1.1.1 Ubicación

La ubicación de la quebrada Ulta se describe a continuación.

4.1.1.1.1 Ubicación hidrográfica. La quebrada Ulta desemboca a la quebrada Buín que es afluente del río Santa. La ubicación hidrográfica es:

- Hoya Hidrográfica : Océano Pacífico
- Cuenca : Shilla
- Río : Buín
- Quebrada : Ulta

4.1.1.1.2 Ubicación política

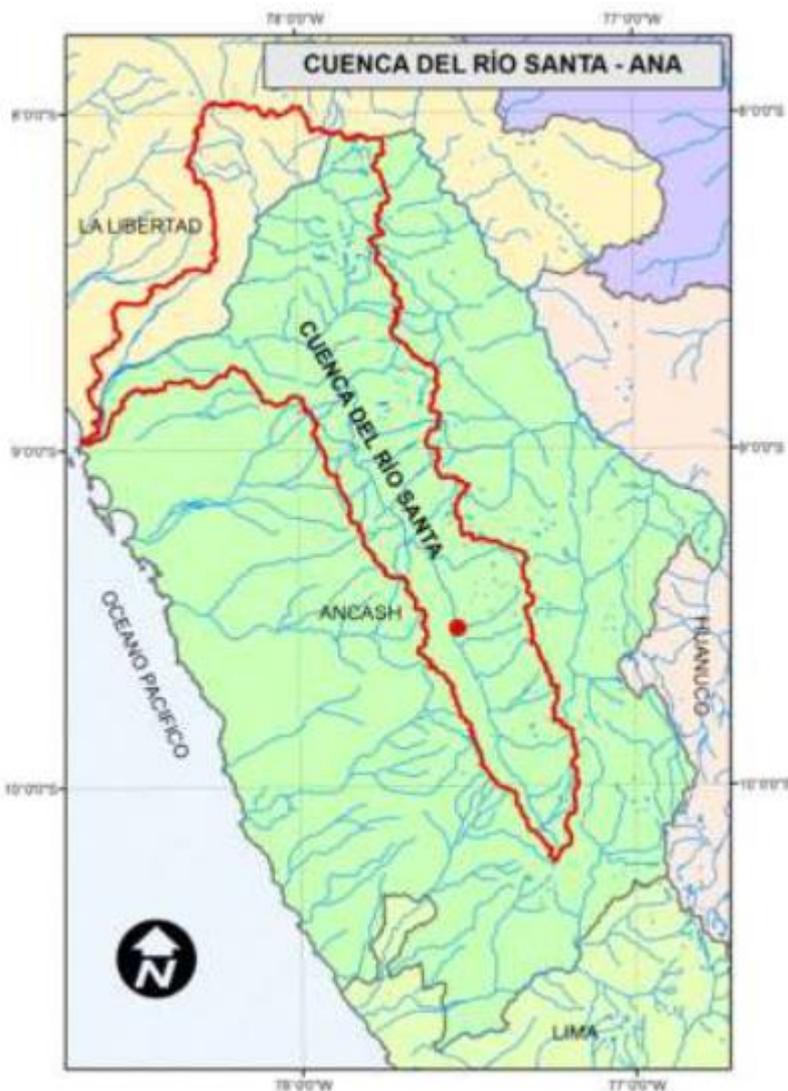
- Región : Ancash
- Provincia : Carhuaz
- Distrito : Shilla.

4.1.1.2 Accesibilidad. El del Distrito de Shilla, se encuentra al norte de Huaraz, se puede llegar desde la ciudad de Huaraz de la siguiente manera:

- Huaraz – Carhuaz 31.60 km. (40 min) carretera asfaltada.
- Carhuaz – Shilla (10 minutos) carretera afirmada.

Figura 3

Ubicación hidrográfica de la cuenca del río Santa



Fuente: Proyecto "Adaptación de la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Santa ante la incidencia del Cambio Climático en la cuenca del río Santa" Folleto Informativo N° 1: CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA

Figura 4

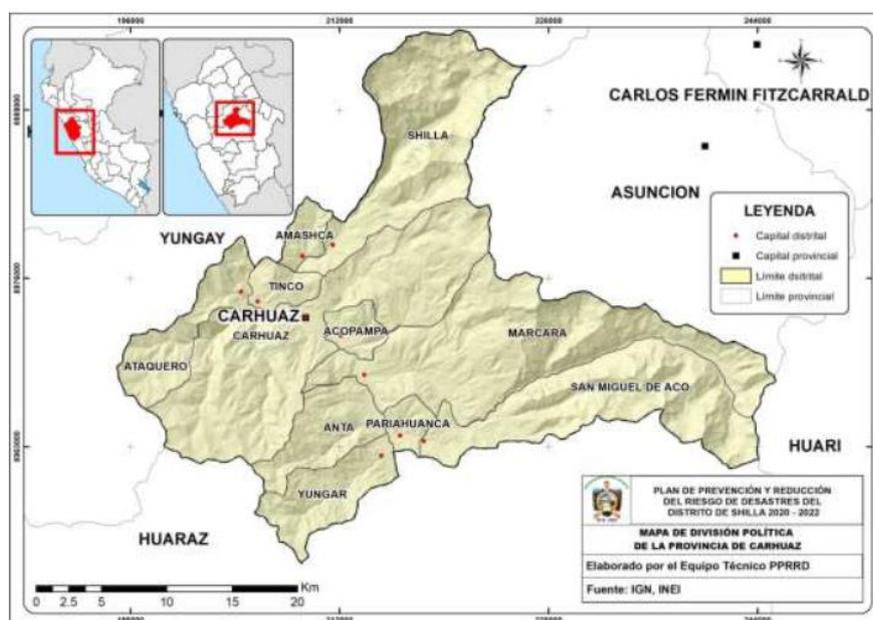
Ubicación hidrográfica de la quebrada Ulta



Fuente: Google maps (10.11.22)

Figura 5

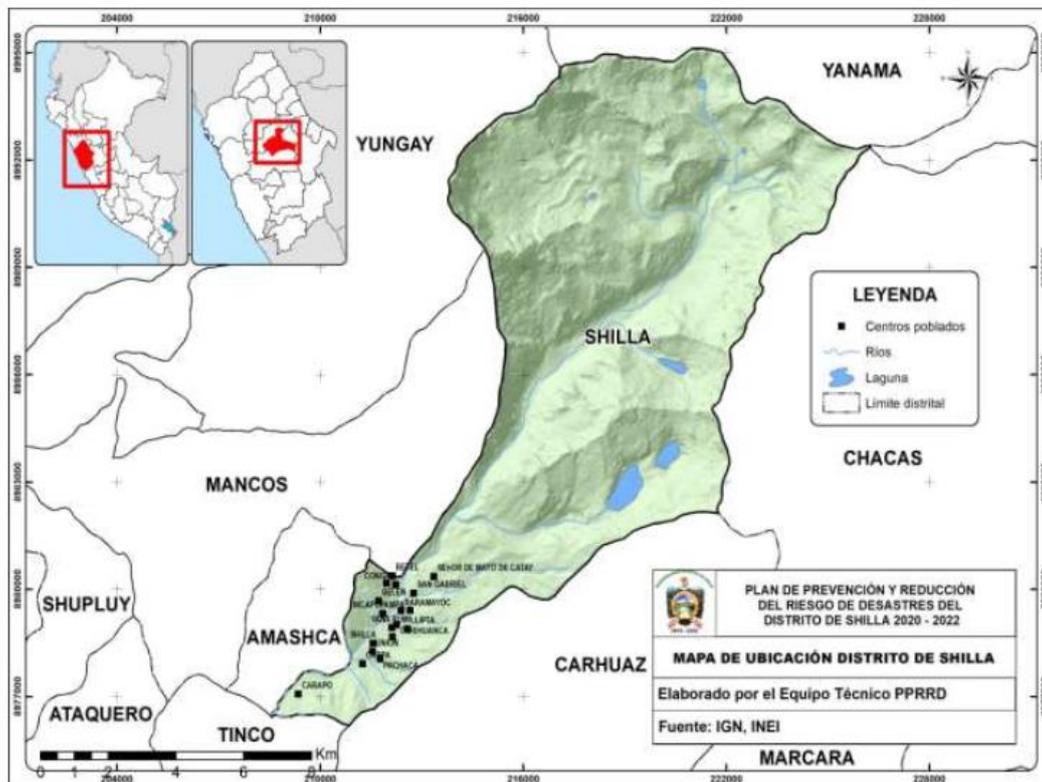
Ubicación política de la quebrada Ulta



Fuente: Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres del Distrito de Shilla 2021 – 2023

Figura 6

Ubicación geopolítica del distrito de Shilla



Fuente: Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres del Distrito de Shilla 2021 – 2023

4.1.1.3 Coordenadas Puente Shilla. Del levantamiento topográfico se determinaron las coordenadas UTM del Puente Shilla.

Norte 8979000 N

Este 212400 E

4.1.1.4 Suelos. Cálculo del Diámetro medio: El Diámetro Medio Aritmético, D50, corresponde al diámetro del material promedio en peso; es decir, el tamaño del material en las abscisas de la curva granulométrica que corresponde al 50 por ciento en las ordenadas. A partir de la curva granulométrica del Anexo 7, se tiene:

Calicata	C1	C2	C3
Dm	12.5mm	7.5mm	2.4mm

En el Anexo 07 se adjuntan los Estudios de Mecánica de Suelos.

4.1.1.5 Clima. La quebrada Ulta en Carhuaz, Perú, presenta un clima de alta montaña caracterizado por temperaturas frías durante casi todo el año y con mínimas que pueden descender considerablemente por la noche. La región experimenta estaciones secas de mayo a octubre, con menor probabilidad de precipitaciones y cielos despejados, y estaciones lluviosas de noviembre a abril, con lluvias frecuentes e intensas que pueden provocar desbordamientos. La humedad varía, siendo más alta durante la temporada de lluvias y más seca en la estación seca. Además, es común la presencia de niebla y neblinas, especialmente en las mañanas durante la estación húmeda, y las condiciones meteorológicas pueden cambiar rápidamente debido a la altitud y la topografía montañosa.

4.1.1.6 Morfología. La quebrada Ulta, presenta una morfología marcada por un paisaje montañoso y accidentado con laderas empinadas y altas cumbres, lo cual genera un entorno escarpado y áspero. El río Ulta ha creado valles estrechos y profundos en la quebrada, con un perfil de erosión fluvial en forma de "V". La actividad geológica y la erosión frecuentemente causan un terreno irregular con rocas expuestas, suelos inestables y depósitos aluviales. Los ríos y arroyos que atraviesan la quebrada moldean el paisaje a través de procesos de erosión y sedimentación. La vegetación es escasa debido a las condiciones áridas y montañosas, pero se compone principalmente de arbustos resistentes y plantas xerófitas que son capaces de sobrevivir en situaciones con poca agua y temperaturas extremadamente altas. La dinámica hidráulica y la gestión de recursos en la región se ven afectadas por este paisaje accidentado.

4.1.2 *Parámetros Hidrológicos e Hidráulicos de la quebrada Ulta _ Carhuaz para la modelación hidráulica.*

4.1.2.1 Información Meteorológica. En el distrito de Shilla no existe estación pluviométrica; sin embargo, de acuerdo al portal web del SENAMHI, en la región Ancash hay disponibilidad de datos históricos de 8 estaciones meteorológicas: Ocros, Recuay, Mayorarca, Sihuas, Buena vista, Pira, Chacchan y Milpo que podían proporcionar valores mensuales máximos en 24 horas de precipitación en milímetros y valores totales mensuales de precipitación (mm). En la investigación se trabajó con las estaciones de Recuay, Sihuas, Pira, Chacchan y Buena vista, cuya información meteorológica se muestra en las Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15 respectivamente.

El MTC recomienda contar con un mínimo de 25 años de registro que permita a partir de esta información histórica la predicción de eventos futuros con el objetivo que los resultados sean confiables. Los registros obtenidos corresponden desde el año 1964 al año 2013.

4.1.2.2 Determinación de la Descarga Máxima. Análisis de Consistencia de datos Hidrológicos

a) Estación N° 01 (RECUAY)

Tabla 10

Parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24 hora - Recuay

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P 24H	Log (P 24H)
Número de datos	50	50
Sumatoria	1427.90	69.33
Valor Máximo	53.30	1.73
Valor Mínimo	0.00	0.00
Media (\bar{X})	28.56	1.38
Varianza	108.80	0.135
Desviación Estándar (S)	10.43	0.37
Coficiente Variación	0.37	0.27
Coficiente de Sesgo	-0.44	-3.29
Se Considera	Detectar datos dudosos bajos	

Tabla 12:
Datos meteorológicos estación Pira

 Dep.: ANCASH Prov.: HUARAZ Dist.: PIRA
 Lat.: 9°35'7" S Long.: 77°42'25.9" W Alt.: 3720 msnm.
 Tipo: Convencional - Meteorológica
 Código: 109048

Año	Máxima Precipitación en 24 horas												Precip. Máx 24H
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
1963	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.30	13.00	14.30
1964	7.2	8.40	37.60	11.50	0.00	0.00	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	37.60
1965	23.9	42.50	23.00	8.50	6.00	0.01	0.01	0.00	3.50	10.30	5.20	13.90	42.50
1966	10.8	9.30	13.70	12.20	4.50	0.01	0.00	0.01	1.30	34.00	17.90	14.70	34.00
1967	29.2	26.90	17.60	7.20	4.30	0.00	7.30	10.10	11.00	29.90	5.70	8.50	29.90
1968	10.1	10.40	32.80	6.00	11.70	0.01	0.00	0.01	0.01	7.50	12.60	6.50	32.80
1969	19.7	16.70	20.30	21.90	9.90	0.01	0.00	3.20	1.30	21.80	23.00	15.80	23.00
1970	29.8	9.60	18.70	10.60	5.80	5.60	5.00	0.00	10.70	15.50	13.80	7.70	29.80
1971	9.7	31.70	21.80	10.60	2.30	0.00	0.00	5.90	4.50	7.90	7.80	12.70	31.70
1972	25.5	24.10	14.90	9.00	8.80	6.80	6.90	16.80	5.80	5.80	6.80	9.10	25.50
1973	12.5	9.90	10.70	8.70	7.70	0.01	11.80	9.50	9.60	10.50	10.40	5.60	12.50
1974	12.5	9.20	7.40	7.60	10.70	5.90	4.60	2.30	2.50	3.80	4.30	12.20	12.50
1975	36	23.80	40.80	8.90	4.50	1.20	0.00	3.20	5.30	6.00	18.20	11.00	40.80
1976	12.6	15.80	15.00	4.90	6.70	5.00	0.00	0.00	0.00	3.50	6.00	8.00	15.80
1977	7	10.80	11.70	6.00	4.80	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	6.80	8.00	11.70
1978	5.7	3.80	9.20	4.40	2.50	0.00	2.70	0.00	3.70	18.40	11.00	14.80	18.40
1979	4.8	3.00	33.80	23.10	10.70	2.50	0.00	0.01	3.70	2.90	11.00	1.20	33.80
1980	24.2	13.70	10.50	9.60	4.90	6.20	1.50	6.00	7.70	18.00	9.40	2.50	24.20
1981	8.8	21.40	37.50	9.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.50
1982	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1983	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984	8.9	5.60	6.60	2.20	2.50	0.00	0.00	0.20	0.01	4.70	12.10	7.70	12.10
1985	8.5	12.00	13.70	7.70	6.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.70
1986	20.5	19.00	11.60	15.60	0.01	0.01	0.00	6.00	2.50	2.50	0.00	11.00	20.50
1987	15.9	14.70	19.20	11.60	5.90	0.01	0.00	0.01	8.00	6.00	10.10	20.00	20.00
1988	9.8	14.80	10.80	11.30	7.80	0.00	0.00	0.01	1.70	7.00	3.50	7.40	14.80
1989	8.3	12.00	18.30	14.80	3.90	0.01	0.00	0.00	8.40	12.20	5.20	11.00	18.30
1990	0	6.00	2.50	4.00	1.20	3.50	0.00	0.00	0.00	8.70	17.30	7.00	17.30
1991	6	6.70	10.00	4.00	0.00	1.70	3.00	6.00	0.00	0.90	13.70	9.50	13.70
1992	6.9	8.60	12.60	5.70	10.00	3.00	0.00	0.01	3.40	10.00	10.40	10.70	12.60
1993	18	20.80	20.80	8.40	8.50	0.00	0.01	0.01	3.70	5.70	17.00	11.20	20.80
1994	15.6	13.70	21.10	0.00	12.80	5.70	0.00	0.00	1.20	2.80	7.00	9.90	21.10
1995	12.7	16.60	15.20	11.00	3.00	0.01	0.01	0.01	5.70	10.50	10.30	17.50	17.50
1996	11.9	29.30	21.70	15.70	5.20	0.00	0.00	1.70	2.50	8.20	2.50	2.80	29.30
1997	14.7	14.90	19.60	5.70	1.50	0.01	0.00	0.00	5.20	7.90	12.30	23.00	23.00
1998	26.2	25.60	19.70	13.70	4.10	9.40	0.00	0.00	5.20	18.30	2.60	14.70	26.20
1999	18.7	34.20	16.50	8.40	3.80	1.10	1.30	0.00	5.20	4.30	7.80	10.20	34.20
2000	21.7	31.00	22.20	16.80	10.00	0.00	2.30	1.00	2.90	3.90	7.70	18.40	31.00
2001	24.1	12.30	23.70	13.80	3.00	0.00	0.70	0.00	5.90	15.60	20.80	12.20	24.10
2002	14.2	54.70	19.00	13.10	2.00	0.00	0.60	0.00	9.10	16.30	24.70	12.30	54.70
2003	16.4	17.60	11.70	3.20	0.80	0.70	0.00	0.00	0.00	7.40	6.40	22.20	22.20
2004	6.3	18.70	10.50	10.00	0.50	1.50	0.00	0.01	5.40	9.20	18.00	24.00	24.00
2005	10.4	18.40	20.10	12.20	3.20	0.00	0.00	0.40	0.30	6.80	2.30	17.30	20.10
2006	12.5	17.20	30.70	18.10	1.50	0.00	0.80	0.40	1.30	8.00	8.20	13.40	30.70
2007	11.8	11.10	22.00	24.30	8.10	2.10	0.40	0.30	0.30	10.00	5.20	7.10	24.30
2008	20.9	24.00	22.80	21.60	0.20	2.50	0.00	0.01	1.20	12.30	5.90	10.90	24.00
2009	23.7	26.80	20.80	22.00	2.20	0.20	0.20	7.30	1.70	11.30	12.20	8.80	26.80
2010	18.4	0.00	18.80	7.10	2.80	0.80	0.00	0.50	3.10	7.70	8.30	18.50	18.80
2011	18.4	13.30	12.60	15.90	1.00	0.20	1.50	2.60	4.30	2.60	9.60	17.20	18.40
2012	12.1	24.10	15.40	15.10	6.00	1.00	0.00	0.00	8.10	10.40	46.30	8.00	46.30
2013	13.9	20.60	30.00	5.50	2.80	0.00	0.00	0.20	3.10	14.50	9.40	20.00	30.00
2014	10.6	18.00	14.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00

Fuente: SENAMHI 14.11.2022

Tabla 13:
Datos meteorológicos estación Chacchan

 Dep.: ANCASH Prov.: HUARAZ Dist.: PARIACOTO
 Lat.: 9°32'6.68" S Long.: 77°46'31.29" W Alt.: 2266 msnm.
 Tipo: Convencional - Meteorológica
 Código: 109045

Año	Precipitación Mensual 24 horas												Precip. Máx 24H
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
1964	1.30	0.70	1.70	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20
1965	1.60	4.10	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10
1966	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	6.30	1.60	4.10	6.30
1967	11.80	32.00	5.70	0.90	3.70	0.00	0.90	0.01	1.20	5.60	1.10	0.01	32.00
1968	3.80	1.20	7.10	1.50	0.01	0.00	0.00	0.01	0.10	3.10	2.20	1.30	7.10
1969	6.10	6.10	8.90	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.90	8.70	9.00	9.90
1970	42.50	3.40	12.30	9.20	0.00	0.00	0.00	0.80	9.60	11.40	9.30	9.40	42.50
1971	10.00	19.20	9.40	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	5.00	12.20	19.20
1972	13.60	16.60	15.80	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	8.00	16.60
1973	14.10	12.30	9.90	7.80	0.00	0.00	0.00	6.10	7.10	7.80	0.90	6.60	14.10
1974	4.20	17.40	10.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	2.50	3.00	3.70	3.20	17.40
1975	9.10	19.00	21.20	10.20	6.10	0.00	0.00	0.01	5.20	2.20	3.90	7.10	21.20
1976	13.70	12.30	8.70	0.00	1.00	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	2.40	13.70
1977	3.50	9.70	9.10	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20	3.20	7.90	0.01	9.70
1978	5.00	4.90	7.50	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	0.00	2.70	7.50
1979	3.20	5.70	19.40	5.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	6.90	19.40
1980	4.20	6.90	7.10	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.30	3.00	2.70	10.30
1981	18.40	15.00	20.90	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60	0.00	4.80	5.10	8.70	20.90
1982	10.10	3.00	14.40	10.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	2.80	5.30	14.40
1983	20.50	10.50	22.70	13.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.60	0.00	15.90	22.70
1984	10.70	0.00	2.80	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	0.00	0.00	10.70
1985	0.00	3.70	7.10	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	7.10
1986	3.40	7.30	8.70	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	8.70
1987	7.10	8.10	4.10	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	8.10
1988	4.80	12.20	7.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	1.20	2.10	8.80	12.20
1989	13.50	17.20	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	2.50	0.00	0.00	17.20
1990	0.70	2.50	7.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.40	0.00	3.90	7.40
1991	3.00	6.30	11.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	3.20	10.10	11.20
1992	6.20	10.00	8.30	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	4.00	10.30	0.01	2.30	10.30
1993	5.30	4.80	4.70	8.20	5.20	0.00	0.01	0.00	1.50	2.80	9.30	2.80	9.30
1994	5.40	7.40	13.00	7.70	2.10	0.00	0.00	0.00	2.30	0.01	1.30	14.30	14.30
1995	1.50	8.30	6.00	3.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	3.80	9.90	9.90	9.90
1996	8.80	12.60	15.70	10.30	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.01	2.00	15.70
1997	10.50	9.90	5.90	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	2.30	14.70	12.50	14.70
1998	39.00	20.00	24.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	6.50	3.30	8.40	39.00
1999	9.20	27.70	9.60	7.90	5.50	0.00	0.00	0.00	1.50	2.30	4.90	4.30	27.70
2000	8.60	19.00	18.30	7.10	6.30	0.00	0.00	1.20	2.50	2.00	4.10	13.30	19.00
2001	10.10	7.50	12.90	5.70	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	0.00	7.40	3.50	12.90
2002	2.40	63.60	13.80	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	3.70	6.40	3.20	63.60
2003	4.70	6.60	6.40	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	1.50	15.30	15.30
2004	5.10	8.50	5.50	7.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	5.50	7.20	9.50	9.50
2005	0.00	4.80	11.00	3.20	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	12.20	12.20
2006	8.70	7.90	15.10	16.40	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	2.30	5.20	10.40	16.40
2007	5.20	6.90	12.40	12.50	6.20	0.0	0.0	0.0	0.0	2.10	3.10	7.70	12.50
2008	13.90	7.10	12.50	5.40	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	8.10	4.60	0.00	13.90
2009	25.00	19.60	15.30	15.30	4.30	0.0	0.0	0.0	0.0	6.20	5.10	11.30	25.00
2010	9.30	3.20	3.10	4.70	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	11.00	11.00
2011	14.10	7.80	12.60	4.60	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	3.90	5.00	13.60	14.10
2012	6.10	17.40	10.50	11.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	5.30	4.30	17.40
2013	0.00	60.20	13.40	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	3.90	0.00	12.40	60.20
2014	3.50	12.10	9.90	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	12.10

Fuente: SENAMHI 14.11.2022

Tabla 14:
Datos meteorológicos Sihuas

 Dep.: ANCASH Prov.: SIHUAS Dist.: SIHUAS
 Lat.: 8°34'0" S Long.: 77°39'0" W Alt.: 2716 msnm.
 Tipo: Convencional - Meteorológica
 Código: 108047

Año	Precipitación Mensual en 24 horas												Pmáx24H
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
1964								15.2	26.4	79.4	99.3	43.4	99.3
1965	40.1	99.7	176	54.5	20.1	0	10.8	9.7	74.9	64.2	38.6	115.3	175.9
1966	68	105	47.5	59.7	40.7	0	0.02	2.4	9.3	91.93	70.9	17	104.6
1967	120.7	148	134	22.9	21.2	6.71	4.02	5.6	18.5	139.7	37.4	55.7	147.6
1968	79.9	58	74.2	44	13.4	9.4	4.7	14.7	54	115.5	31.64	45.6	115.5
1969	34.21	89.3	128	83.6	16.4	5.21	7.82	3.32	12.1	72.5	86.01	123.7	127.81
1970	78.4	79.5	91.2	91.8	20.5	11.8	13.1	5.31	59.1	63.2	352.4	188.1	352.4
1971	113.9	114	198	136	22	22.2	6	14	27.6		82.9	202.9	202.9
1972	105.9	164	227	50.5	66.4	28.9	0	14.3	79	35	44.2	52.1	227.4
1973	189.8	159	205	243	42.2	66.3	26.1	6.3	43.5	59.6	109.6	119.7	243.1
1974	82.2	135	95.9	22.6	2.1	36.4	17.1	22.6	29.7	109.6	65.5	71.9	135.4
1975	49.6	51.9	177	71.9	34.1	21.5	14.3	28.7	40.5	37.8	63.9	44.5	176.8
1976	138	144	142	56.3	18.7	0.3	0	0	6.31	47.01	51.5	37	143.9
1977	108.6	126	132	93.8	33.3	15.6	4	3.1	32.4	91.3	140.6	29	140.6
1978	158.2	55.2	68.9	58.2	48.9	6.7	43.4	26.4	69.5	136	107	97.3	158.2
1979	60.8	207	197	90.1	3.1	0	16	36.4	85.2	2.8	160	73.8	206.9
1980	61.4	45.3	26.2	37.7	1.6	0.61	0	5.21	0	221.3	107.5	52	221.3
1981		156	81.1	59.8	15	35.5	0	2	0	102.3	88.8	127	155.5
1982	60.6	73.5	58.6	84.7	24.5	0.8	8.3	0	35.5	122.3	93.8	93.7	122.3
1983	99.5	25.5	125	76.8	8.8	21.8	0.01	12.1	16.3	49.7	121.5	129.6	129.6
1984	49.1	265	141	30	26.9	24.4	3.5	5	49.1	65.6	71.5	28.52	264.7
1985	43.7	34.8	40.7	51.1	19.3	5.3	0	22.7	12	44.6	50.5	53.1	53.1
1986										46.9	57.1	119.7	119.7
1987	246	168	78.1	65.2	44.2		24.6	42.5	24.4	36	55.6	93.4	246
1988	357.2	202	36.9	133	0								357.2
1989													
1990													
1991										140.30	97.01	83.1	140.3
1992	7.3	49.5	159	168	48.3	1.12	9.9	6.31	24.8	0	0	0	167.5
1993	33.3	388	659	174	0	0	31.8	48.5	58.4	101.1	134.3	422.1	658.8
1994	273.7	285	210	168	0	0	0	0	0	30	164.8	74.8	284.8
1995	70.8	121	106	46	11.7	15.5	0	5.6	10.5	58.8	100.4	75.33	121.1
1996	143.2	124	140	198	58.6	0	0	4.5	42	177.6	69.8	60.1	197.8
1997	98.7	234	185	99.2	38.5	55.4	11.8	48.6	94.1	247.5	245.8	417.4	417.4
1998	353.4	346	494	104	32.4	44.9	0	43	78	225	137.5	126.8	494
1999	183.1	463	171	80.6	34.7	68.1	20	31.1	190	91.9	82.9	82.9	462.5
2000	57.3	114	76.2	104	37.5	0	0	42.3	0	0	78.2	65.1	113.9
2001	237	80	167	13	15.6	58.7	41.1	0	124	115	165.7	131.2	237
2002	50.5	71.1	138	42	0	0	33.5	0	26.1	166	258	171.2	258
2003	26.8	65.3	171	92	0	0	0	0	43.3	58.6	81.9		171.2
2004	58.4	93	107	33.4	49.8	10.2	27.3	1.6	57	125.5	142.1	91.6	142.1
2005	69.5	63.8	191	79.9	0	0	0	13.9	12.1	94.5	26.9	130.2	190.5
2006	113.7	85.3	212	88.6	15.8	16.8	0	15.4	74.5	117.8	119.6	228.5	228.5
2007	145.9	70.1	237	177	5.9	0	31.7	12.1	17.8	150	108.3	94.8	237.1
2008	139.4	143	155	96.1	19.3	23.3	0	5.6	73.3	179.6	84.7		179.6
2009	231	241	298	193	53.1	28.1	32.2	75.1		140.7	108.8	162.8	298.2
2010	83.5	86.4	136	109	67.6	14.4	4.5	3.1	10.1	65.3	146.6	159.9	159.9
2011	109.7	71.5	145	151	19.6	0	14.1	4.7	49.6	44.3	82.1	157.2	157.2
2012	221	171	176	101	57.5	15	0	1.3	8.6	117.5	117.8	122.9	221
2013	89.7	152	185	112	30.2	14.8	6.9	32.9	24.5	121.4	49.8	122.2	185.1
2014	102.4	148	247	83.7	68.7	7.2	1.8						246.7
Total	5245	6367	7442	4231	1208	693	470	693	1823	4403	4791	4994	7441.6

Fuente: SENAMHI 14.11.2022

Tabla 15:
Datos meteorológicos Buenavista

 Dep.: ANCASH Prov.: CASMA Dist.: BUENA VISTA ALTA
 Lat.: 9°26'1.38" S Long.: 78°12'29.8" W Alt.: 206 msnm.
 Tipo: Automática - Meteorológica
 Código: 109096

Año	Precipitación Mensual en 24 horas												Pmáx24H
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
1964								0.01	0	0	0	0	0.01
1965										0	1.31	0	1.31
1966	1.6	0			0	0.06	0.04	0.02	0.02	0.18	0.11	0.01	1.6
1967	3.31	10.8	0.04	0.03	0	0.01	1.06	0.05	0.04	0.04	0.11	0.02	10.77
1968	0.01	0.05	0.04	0	0.02	0.05	0.06	0.01	0.02	0	0	0	0.06
1969	0	0.62	0.52	0	0	0.03	0.09	0.02	0.01	1.02	0	0.1	1.02
1970	0	0.8	0.4	0	0.4	0	0		0	1.2	5.3	0	5.3
1971	0.4	4.61	3.63	0	0	0	0	0	0	1.2	0.2	0	4.61
1972	0	0.01	0.51	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0.51
1973	5.12	3.6	0.5	0					0	0.01	0	0	5.12
1974	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1975	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0.01
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.6	0	0	3.6
1981	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983	0	0	7.5	7.7	0	0	0	27.2	0	0	0	0	27.2
1984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0.01
1987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0.01
1991	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0.01
1992	0	0	0	0									0
1993	0	0	0	0			0.01	0.04	0.03	0	0	0	0.04
1994	0	0	0	0			0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.02
1995	0	0	0	0	0	0.03	0.02	0	0	0	0	0	0.03
1996	0	0.03	0	0	0	0.01	0	0.03	0	0	0.01	0.01	0.03
1997	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0.01	0.03	0.03
1998	0.03	6.4	7.72	0	0.02	0.01	0.02	0	0.01	0	0	0	7.72
1999	0.01	15.4	0	0	0	0.04	0.01	0	0	0	0	0	15.4
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91	0.91
2001	0.01	0.01	0	0.01	0.02	0.09	0.03	0.05	0	0	0.01	0.02	0.09
2002	0	2.8	0	0	0	0.02	0	0.02	0	5.3	2.31	0.01	5.3
2003	0.01	0	0	0	0	0.01	0.41	0	0	0	0	0	0.41
2004	0.5	0.6	1.5	0	0	0.01	0	0	0	1.7	0	0	1.7
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	1.5
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	0	3.5
2009	15.5	0	1.2	0	0	0	0	0	0	1.53	0	0	15.5
2010	0	4	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2011	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	2
2012	2	41	0	1.1	0	0	0	0.01	0	0	0	0	41
2013	0.7	13.2	14.6	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	14.6
2014	0	1.2	1.7	0	0	0	0						1.7
Total	32.20	106.1	41.66	8.84	0.46	0.37	1.78	27.53	0.14	17.30	12.88	2.62	106.1

Fuente: SENAMHI 14.11.2022

De la **Tabla 9**

Valores de K_n para prueba de **datos dudosos** Tabla 9, $K_n = 2.768$

Umbral de datos dudosos Altos (X_H : unidad Logarítmica)

$X_H = 2.397$ Precipitación Máxima aceptada: $P_H = 249.56\text{mm}$

NO EXISTE DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA $P_H \gg P_{m\acute{a}x}$

Umbral de datos dudosos Bajos (X_L : unidad Logarítmica)

$X_L = 0.366$ Precipitación Mínima aceptada $P_L = 2.32\text{mm}$

EXISTEN DATOS DUDOSOS BAJO DE LA MUESTRA $P_L \gg P_{m\acute{i}n}$

Suprimir datos bajos (1975, 1976 y 1977)

Tabla 16

Nuevos parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24horas - Recuay

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P 24H	Log (P24H)
Número de datos	47	47
Sumatoria	1427.90	69.09
Valor Máximo	53.30	1.73
Valor Mínimo	19.40	1.29
Media (X)	30.38	1.47
Varianza	59.32	0.011
Desviación Estándar (S)	7.70	0.10
Coficiente Variación	0.25	0.07
Coficiente de Sesgo	0.50	0.42
Se Considera	Detectar datos dudosos bajos	

De la Tabla 9, $K_n = 2.774$

Umbral de datos dudosos Altos (X_H : unidad Logarítmica)

$X_H = 1.759$ Precipitación Máxima aceptada: $P_H = 57.44\text{mm}$

NO EXISTE DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA $P_H \gg P_{m\acute{a}x}$

Umbral de datos dudosos Bajos (X_L : unidad Logarítmica)

$X_L = 1.181$ Precipitación Mínima aceptada $P_L = 15.16\text{mm}$

NO EXISTE DATOS DUDOSOS BAJO DE LA MUESTRA $P_L \ll P_{m\acute{i}n}$

En la Tabla 17, se presenta la Información corregida de la Máxima Precipitación en 24 hora de la Estación Recuay.

Tabla 17
Información corregida de la máxima precipitación en 24 horas estación Recuay

n	Año	Precipitación Mensual en 24 horas												PMáx 24H	Log(P 24H)	
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic			
1	1964	0.00	18.20	27.60	12.70	30.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.40	1.48
2	1965	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.80	16.20	9.60	24.70	24.70	1.39	
3	1966	13.20	19.40	9.10	10.00	9.10	0.10	0.00	0.10	4.20	14.70	8.00	19.50	19.50	1.29	
4	1967	11.80	22.90	19.70	12.50	7.50	2.00	7.00	10.60	13.30	17.50	13.20	12.00	22.90	1.36	
5	1968	18.10	26.30	18.40	9.60	24.30	0.00	0.00	7.50	4.20	21.40	14.60	4.70	26.30	1.42	
6	1969	9.00	16.50	13.60	12.80	7.60	1.00	0.10	7.50	5.80	15.50	14.80	23.40	23.40	1.37	
7	1970	31.80	11.20	17.30	25.70	11.80	5.00	0.00	8.20	13.40	19.20	32.20	29.00	32.20	1.51	
8	1971	8.80	14.00	26.00	11.50	0.00	1.70	0.00	6.30	7.40	16.50	20.00	26.00	26.00	1.41	
9	1972	14.20	22.70	26.50	8.80	8.70	0.10	0.10	7.00	0.00	6.10	12.30	17.50	26.50	1.42	
10	1973	17.20	26.70	22.40	15.00	21.00	2.20	1.40	1.80	15.90	18.10	28.30	25.60	28.30	1.45	
11	1974	24.60	14.50	17.70	11.30	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.60	1.39	
12	1978	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.60	15.30	20.10	20.10	1.30	
13	1979	6.20	12.60	29.80	25.50	7.90	3.00	0.00	5.20	7.20	5.20	13.90	7.00	29.80	1.47	
14	1980	15.00	16.40	21.80	13.20	3.20	3.40	0.10	6.50	4.50	19.80	24.80	23.50	24.80	1.39	
15	1981	47.30	23.60	27.30	15.80	3.20	0.00	0.00	7.20	2.10	9.20	21.40	16.20	47.30	1.67	
16	1982	21.80	22.30	15.40	8.80	1.90	0.00	9.20	10.90	7.80	30.30	19.40	17.60	30.30	1.48	
17	1983	25.00	12.20	33.40	14.20	5.20	5.80	2.10	0.10	5.30	18.50	19.30	10.00	33.40	1.52	
18	1984	19.30	19.60	32.40	28.60	18.00	8.00	7.50	0.00	13.20	26.40	27.00	16.90	32.40	1.51	
19	1985	11.00	32.50	45.40	21.40	10.50	2.10	8.00	0.00	20.40	20.70	7.80	18.40	45.40	1.66	
20	1986	25.20	29.80	12.70	0.00	2.00	0.00	0.10	2.00	20.50	23.20	29.60	30.10	30.10	1.48	
21	1987	24.40	18.00	20.00	13.20	5.70	0.10	0.10	3.30	11.90	23.00	17.00	24.50	24.50	1.39	
22	1988	19.40	14.20	22.20	17.40	13.50	2.50	0.00	8.20	21.90	13.10	16.40	22.60	22.60	1.35	
23	1989	21.60	24.70	41.30	17.30	10.60	3.70	0.10	14.40	9.40	30.40	11.30	6.80	41.30	1.62	
24	1990	16.80	10.70	18.60	13.60	8.10	1.90	0.00	3.50	8.20	15.40	26.80	18.80	26.80	1.43	
25	1991	9.70	15.20	0.00	15.00	11.30	0.00	4.70	0.00	0.10	19.40	29.40	10.50	29.40	1.47	
26	1992	2.30	30.80	34.00	12.10	10.40	7.70	0.00	7.40	14.80	12.10	11.20	12.10	34.00	1.53	
27	1993	23.20	27.10	28.40	16.70	7.20	0.10	3.20	0.10	7.90	24.80	19.50	27.60	28.40	1.45	
28	1994	21.60	16.70	42.30	14.70	9.10	2.80	0.60	2.70	13.80	17.00	10.80	14.90	42.30	1.63	
29	1995	13.60	40.30	23.40	24.10	15.00	0.60	0.00	3.50	8.10	20.30	18.90	17.00	40.30	1.61	
30	1996	24.60	19.30	28.00	9.00	6.20	0.00	0.00	2.30	7.10	15.20	15.00	13.60	28.00	1.45	
31	1997	15.80	19.80	24.00	8.70	8.60	0.00	0.00	0.60	11.90	12.70	18.60	28.90	28.90	1.46	
32	1998	53.30	27.80	30.60	26.20	18.50	5.60	0.00	2.40	11.30	17.60	13.40	8.60	53.30	1.73	
33	1999	26.50	19.20	26.80	15.70	13.80	7.90	0.00	0.70	11.80	16.10	14.20	17.10	26.80	1.43	
34	2000	16.00	23.00	12.00	12.60	10.30	0.00	0.00	10.20	9.40	7.60	11.40	22.30	23.00	1.36	
35	2001	21.80	17.00	20.50	8.90	7.30	13.90	0.00	0.10	21.00	18.60	29.40	24.30	29.40	1.47	
36	2002	21.20	21.40	18.10	8.80	6.30	4.20	0.00	0.00	15.00	0.00	38.80	19.30	38.80	1.59	
37	2003	17.20	19.40	16.80	16.80	8.10	5.70	3.60	0.00	2.90	12.80	18.00	17.90	19.40	1.29	
38	2004	9.00	17.40	21.70	20.50	9.00	2.50	0.80	0.00	11.80	33.70	19.80	27.00	33.70	1.53	
39	2005	16.50	13.10	32.40	20.40	12.60	0.00	0.00	3.00	9.30	6.80	0.00	11.70	32.40	1.51	
40	2006	20.20	19.00	24.50	20.00	2.90	14.60	2.10	10.50	17.00	17.10	21.50	19.00	24.50	1.39	
41	2007	29.00	16.20	33.00	19.60	16.00	2.50	0.00	1.70	2.40	10.00	22.70	9.10	33.00	1.52	
42	2008	13.40	15.90	13.20	10.80	2.60	5.60	6.50	3.90	7.50	19.80	9.20	10.90	19.80	1.30	
43	2009	23.40	16.50	44.00	31.40	16.60	2.40	0.00	10.50	4.30	20.30	25.70	19.00	44.00	1.64	
44	2010	20.50	19.80	25.70	21.10	12.40	4.00	0.70	2.60	10.00	12.80	17.90	22.80	25.70	1.41	
45	2011	17.80	16.40	19.90	20.90	16.30	1.20	8.90	3.70	6.10	3.40	11.90	29.50	29.50	1.47	
46	2012	38.30	24.10	20.50	20.30	6.60	9.80	0.00	0.00	5.60	13.60	0.00	32.40	38.30	1.58	
47	2013	13.00	21.50	31.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.40	1.50	

Fuente: SENAMHI 14.11.2022

b) Estación PIRA
Tabla 18
Parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24horas - Pira

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P 24H	Log (P24H)
Número de datos	52	52
Sumatoria	1236.80	68.11
Valor Máximo	54.70	1.74
Valor Mínimo	0.00	0.00
Media (X)	23.78	1.31
Varianza	112.11	0.10
Desviación Estándar (S)	10.66	0.31
Coefficiente Variación	0.45	0.24
Coefficiente de Sesgo	0.40	-2.90
Se Considera	Detectar datos dudosos bajos	

 De la Tabla 9, $K_n = 2.782$
Umbral de datos dudosos Altos (X_H : unidad Logarítmica)
 $X_H = 2.182$

 Precipitación Máxima aceptada: $P_H = 152.16\text{mm}$

NO EXISTE DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA

 $P_H \gg P_{\text{máx}}$
Umbral de datos dudosos Bajos (X_L : unidad Logarítmica)
 $X_L = 0.437$

 Precipitación Mínima aceptada $P_L = 2.74\text{mm}$

EXISTEN DATOS DUDOSOS BAJO DE LA MUESTRA

 $P_L \gg P_{\text{mín}}$

SUPRIMIR DATOS BAJOS (1982 y 1983)

Tabla 19
Nuevos parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24horas - Pira

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P 24H	Log (P24H)
Número de datos	50	50
Sumatoria	1236.80	68.11
Valor Máximo	54.70	1.74
Valor Mínimo	11.70	1.07
Media (X)	24.74	1.36
Varianza	92.67	0.03
Desviación Estándar (S)	9.68	0.17
Coefficiente Variación	0.39	0.12
Coefficiente de Sesgo	0.89	0.05
Se Considera	Detectar datos dudosos bajos	

De la Tabla 9, $K_n = 2.768$

Umbral de datos dudosos Altos (X_H : unidad Logarítmica)

$X_H = 1.825$ Precipitación Máxima aceptada: $P_H = 66.79\text{mm}$

NO EXISTE DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA $P_H \gg P_{\text{máx}}$

Umbral de datos dudosos Bajos (X_L : unidad Logarítmica)

$X_L = 0.900$ Precipitación Mínima aceptada $P_L = 7.94\text{mm}$

NO EXISTE DATOS DUDOSOS BAJO DE LA MUESTRA $P_L \ll P_{\text{mín}}$

En la **Tabla 21**, se presenta la Información corregida de la Máxima Precipitación en 24 hora de la Estación Pira.

c) Estación CHACCHAN

Tabla 20

Parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24 horas - Chacchan

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P 24H	Log (P24H)
Número de datos	51	51
Sumatoria	849.80	58.17
Valor Máximo	63.60	1.80
Valor Mínimo	2.20	0.34
Media (X)	16.66	1.14
Varianza	146.28	0.069
Desviación Estándar (S)	12.09	0.26
Coficiente Variación	0.73	0.23
Coficiente de Sesgo	2.43	0.07
Se Considera	Aplicar pruebas para verificar datos dudosos	

Umbral de datos dudosos Altos (X_H : unidad Logarítmica)

$X_H = 1.868$ Precipitación Máxima aceptada: $P_H = 73.80\text{mm}$

NO EXISTE DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA $P_H \gg P_{\text{máx}}$

Tabla 21
Información corregida de la máxima precipitación en 24 horas estación Pira

n	Año	Máxima Precipitación en 24 horas												P 24H	Log(P 24H)
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic		
1	1963	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.30	13.00	14.30	1.16
2	1964	7.2	8.40	37.60	11.50	0.00	0.00	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	37.60	1.58
3	1965	23.9	42.50	23.00	8.50	6.00	0.01	0.01	0.00	3.50	10.30	5.20	13.90	42.50	1.63
4	1966	10.8	9.30	13.70	12.20	4.50	0.01	0.00	0.01	1.30	34.00	17.90	14.70	34.00	1.53
5	1967	29.2	26.90	17.60	7.20	4.30	0.00	7.30	10.10	11.00	29.90	5.70	8.50	29.90	1.48
6	1968	10.1	10.40	32.80	6.00	11.70	0.01	0.00	0.01	0.01	7.50	12.60	6.50	32.80	1.52
7	1969	19.7	16.70	20.30	21.90	9.90	0.01	0.00	3.20	1.30	21.80	23.00	15.80	23.00	1.36
8	1970	29.8	9.60	18.70	10.60	5.80	5.60	5.00	0.00	10.70	15.50	13.80	7.70	29.80	1.47
9	1971	9.7	31.70	21.80	10.60	2.30	0.00	0.00	5.90	4.50	7.90	7.80	12.70	31.70	1.50
10	1972	25.5	24.10	14.90	9.00	8.80	6.80	6.90	16.80	5.80	5.80	6.80	9.10	25.50	1.41
11	1973	12.5	9.90	10.70	8.70	7.70	0.01	11.80	9.50	9.60	10.50	10.40	5.60	12.50	1.10
12	1974	12.5	9.20	7.40	7.60	10.70	5.90	4.60	2.30	2.50	3.80	4.30	12.20	12.50	1.10
13	1975	36	23.80	40.80	8.90	4.50	1.20	0.00	3.20	5.30	6.00	18.20	11.00	40.80	1.61
14	1976	12.6	15.80	15.00	4.90	6.70	5.00	0.00	0.00	0.00	3.50	6.00	8.00	15.80	1.20
15	1977	7	10.80	11.70	6.00	4.80	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	6.80	8.00	11.70	1.07
16	1978	5.7	3.80	9.20	4.40	2.50	0.00	2.70	0.00	3.70	18.40	11.00	14.80	18.40	1.26
17	1979	4.8	3.00	33.80	23.10	10.70	2.50	0.00	0.01	3.70	2.90	11.00	1.20	33.80	1.53
18	1980	24.2	13.70	10.50	9.60	4.90	6.20	1.50	6.00	7.70	18.00	9.40	2.50	24.20	1.38
19	1981	8.8	21.40	37.50	9.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.50	1.57
20	1984	8.9	5.60	6.60	2.20	2.50	0.00	0.00	0.20	0.01	4.70	12.10	7.70	12.10	1.08
21	1985	8.5	12.00	13.70	7.70	6.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.70	1.14
22	1986	20.5	19.00	11.60	15.60	0.01	0.01	0.00	6.00	2.50	2.50	0.00	11.00	20.50	1.31
23	1987	15.9	14.70	19.20	11.60	5.90	0.01	0.00	0.01	8.00	6.00	10.10	20.00	20.00	1.30
24	1988	9.8	14.80	10.80	11.30	7.80	0.00	0.00	0.01	1.70	7.00	3.50	7.40	14.80	1.17
25	1989	8.3	12.00	18.30	14.80	3.90	0.01	0.00	0.00	8.40	12.20	5.20	11.00	18.30	1.26
26	1990	0	6.00	2.50	4.00	1.20	3.50	0.00	0.00	0.00	8.70	17.30	7.00	17.30	1.24
27	1991	6	6.70	10.00	4.00	0.00	1.70	3.00	6.00	0.00	0.90	13.70	9.50	13.70	1.14
28	1992	6.9	8.60	12.60	5.70	10.00	3.00	0.00	0.01	3.40	10.00	10.40	10.70	12.60	1.10
29	1993	18	20.80	20.80	8.40	8.50	0.00	0.01	0.01	3.70	5.70	17.00	11.20	20.80	1.32
30	1994	15.6	13.70	21.10	0.00	12.80	5.70	0.00	0.00	1.20	2.80	7.00	9.90	21.10	1.32
31	1995	12.7	16.60	15.20	11.00	3.00	0.01	0.01	0.01	5.70	10.50	10.30	17.50	17.50	1.24
32	1996	11.9	29.30	21.70	15.70	5.20	0.00	0.00	1.70	2.50	8.20	2.50	2.80	29.30	1.47
33	1997	14.7	14.90	19.60	5.70	1.50	0.01	0.00	0.00	5.20	7.90	12.30	23.00	23.00	1.36
34	1998	26.2	25.60	19.70	13.70	4.10	9.40	0.00	0.00	5.20	18.30	2.60	14.70	26.20	1.42
35	1999	18.7	34.20	16.50	8.40	3.80	1.10	1.30	0.00	5.20	4.30	7.80	10.20	34.20	1.53
36	2000	21.7	31.00	22.20	16.80	10.00	0.00	2.30	1.00	2.90	3.90	7.70	18.40	31.00	1.49
37	2001	24.1	12.30	23.70	13.80	3.00	0.00	0.70	0.00	5.90	15.60	20.80	12.20	24.10	1.38
38	2002	14.2	54.70	19.00	13.10	2.00	0.00	0.60	0.00	9.10	16.30	24.70	12.30	54.70	1.74
39	2003	16.4	17.60	11.70	3.20	0.80	0.70	0.00	0.00	0.00	7.40	6.40	22.20	22.20	1.35
40	2004	6.3	18.70	10.50	10.00	0.50	1.50	0.00	0.01	5.40	9.20	18.00	24.00	24.00	1.38
41	2005	10.4	18.40	20.10	12.20	3.20	0.00	0.00	0.40	0.30	6.80	2.30	17.30	20.10	1.30
42	2006	12.5	17.20	30.70	18.10	1.50	0.00	0.80	0.40	1.30	8.00	8.20	13.40	30.70	1.49
43	2007	11.8	11.10	22.00	24.30	8.10	2.10	0.40	0.30	0.30	10.00	5.20	7.10	24.30	1.39
44	2008	20.9	24.00	22.80	21.60	0.20	2.50	0.00	0.01	1.20	12.30	5.90	10.90	24.00	1.38
45	2009	23.7	26.80	20.80	22.00	2.20	0.20	0.20	7.30	1.70	11.30	12.20	8.80	26.80	1.43
46	2010	18.4	0.00	18.80	7.10	2.80	0.80	0.00	0.50	3.10	7.70	8.30	18.50	18.80	1.27
47	2011	18.4	13.30	12.60	15.90	1.00	0.20	1.50	2.60	4.30	2.60	9.60	17.20	18.40	1.26
48	2012	12.1	24.10	15.40	15.10	6.00	1.00	0.00	0.00	8.10	10.40	46.30	8.00	46.30	1.67
49	2013	13.9	20.60	30.00	5.50	2.80	0.00	0.00	0.20	3.10	14.50	9.40	20.00	30.00	1.48
50	2014	10.6	18.00	14.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00	1.26

Fuente: SENAMHI 14.11.2022

De la Tabla 9, $K_n = 2.775$

Umbral de datos dudosos Bajos (X_L : unidad Logarítmica)

$X_L = 0.413$ Precipitación Mínima aceptada $P_L = 2.59\text{mm}$

EXISTEN DATOS DUDOSOS BAJO DE LA MUESTRA $P_L \gg P_{\text{mín}}$

SUPRIMIR DATO MÍNIMO (1964)

Tabla 22

Nuevos parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24 horas - Chacchan

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P 24H	Log (P24H)
Número de datos	50	50
Sumatoria	847.60	57.83
Valor Máximo	63.60	1.80
Valor Mínimo	4.10	0.61
Media (X)	16.95	1.16
Varianza	144.91	0.057
Desviación Estándar (S)	12.04	0.24
Coeficiente Variación	0.71	0.21
Coeficiente de Sesgo	2.48	0.68
Se Considera	Aplicar pruebas para verificar datos dudosos	

De la Tabla 9, $K_n = 2.768$

Umbral de datos dudosos Altos (X_H : unidad Logarítmica)

$X_H = 1.817$ Precipitación Máxima aceptada: $P_H = 65.55\text{mm}$

NO EXISTE DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA $P_H \gg P_{\text{máx}}$

Umbral de datos dudosos Bajos (X_L : unidad Logarítmica)

$X_L = 0.497$ Precipitación Mínima aceptada $P_L = 3.14\text{mm}$

NO EXISTE DATOS DUDOSOS BAJO DE LA MUESTRA $P_L \ll P_{\text{mín}}$

En la **Tabla 23**, se presenta la Información corregida de la Máxima Precipitación en 24 hora de la Estación Chacchan.

Tabla 23
Información corregida de la máxima precipitación en 24 horas estación Chacchan

n	Año	Máxima Precipitación en 24 horas												P 24H	Log (P24H)
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic		
1	1965	1.60	4.10	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	0.61
2	1966	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	6.30	1.60	4.10	6.30	0.80
3	1967	11.80	32.00	5.70	0.90	3.70	0.00	0.90	0.01	1.20	5.60	1.10	0.01	32.00	1.51
4	1968	3.80	1.20	7.10	1.50	0.01	0.00	0.00	0.01	0.10	3.10	2.20	1.30	7.10	0.85
5	1969	6.10	6.10	8.90	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.90	8.70	9.00	9.90	1.00
6	1970	42.50	3.40	12.30	9.20	0.00	0.00	0.00	0.80	9.60	11.40	9.30	9.40	42.50	1.63
7	1971	10.00	19.20	9.40	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	5.00	12.20	19.20	1.28
8	1972	13.60	16.60	15.80	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	8.00	16.60	1.22
9	1973	14.10	12.30	9.90	7.80	0.00	0.00	0.00	6.10	7.10	7.80	0.90	6.60	14.10	1.15
10	1974	4.20	17.40	10.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	2.50	3.00	3.70	3.20	17.40	1.24
11	1975	9.10	19.00	21.20	10.20	6.10	0.00	0.00	0.01	5.20	2.20	3.90	7.10	21.20	1.33
12	1976	13.70	12.30	8.70	0.00	1.00	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	2.40	13.70	1.14
13	1977	3.50	9.70	9.10	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20	3.20	7.90	0.01	9.70	0.99
14	1978	5.00	4.90	7.50	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	0.00	2.70	7.50	0.88
15	1979	3.20	5.70	19.40	5.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	6.90	19.40	1.29
16	1980	4.20	6.90	7.10	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.30	3.00	2.70	10.30	1.01
17	1981	18.40	15.00	20.90	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60	0.00	4.80	5.10	8.70	20.90	1.32
18	1982	10.10	3.00	14.40	10.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	2.80	5.30	14.40	1.16
19	1983	20.50	10.50	22.70	13.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.60	0.00	15.90	22.70	1.36
20	1984	10.70	0.00	2.80	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	0.00	0.00	10.70	1.03
21	1985	0.00	3.70	7.10	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	7.10	0.85
22	1986	3.40	7.30	8.70	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	8.70	0.94
23	1987	7.10	8.10	4.10	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	8.10	0.91
24	1988	4.80	12.20	7.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	1.20	2.10	8.80	12.20	1.09
25	1989	13.50	17.20	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	2.50	0.00	0.00	17.20	1.24
26	1990	0.70	2.50	7.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.40	0.00	3.90	7.40	0.87
27	1991	3.00	6.30	11.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	3.20	10.10	11.20	1.05
28	1992	6.20	10.00	8.30	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	4.00	10.30	0.01	2.30	10.30	1.01
29	1993	5.30	4.80	4.70	8.20	5.20	0.00	0.01	0.00	1.50	2.80	9.30	2.80	9.30	0.97
30	1994	5.40	7.40	13.00	7.70	2.10	0.00	0.00	0.00	2.30	0.01	1.30	14.30	14.30	1.16
31	1995	1.50	8.30	6.00	3.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	3.80	9.90	9.90	9.90	1.00
32	1996	8.80	12.60	15.70	10.30	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.01	2.00	15.70	1.20
33	1997	10.50	9.90	5.90	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	2.30	14.70	12.50	14.70	1.17
34	1998	39.00	20.00	24.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	6.50	3.30	8.40	39.00	1.59
35	1999	9.20	27.70	9.60	7.90	5.50	0.00	0.00	0.00	1.50	2.30	4.90	4.30	27.70	1.44
36	2000	8.60	19.00	18.30	7.10	6.30	0.00	0.00	1.20	2.50	2.00	4.10	13.30	19.00	1.28
37	2001	10.10	7.50	12.90	5.70	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	0.00	7.40	3.50	12.90	1.11
38	2002	2.40	63.60	13.80	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	3.70	6.40	3.20	63.60	1.80
39	2003	4.70	6.60	6.40	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	1.50	15.30	15.30	1.18
40	2004	5.10	8.50	5.50	7.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	5.50	7.20	9.50	9.50	0.98
41	2005	0.00	4.80	11.00	3.20	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	12.20	12.20	1.09
42	2006	8.70	7.90	15.10	16.40	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	2.30	5.20	10.40	16.40	1.21
43	2007	5.20	6.90	12.40	12.50	6.20	0.0	0.0	0.0	0.0	2.10	3.10	7.70	12.50	1.10
44	2008	13.90	7.10	12.50	5.40	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	8.10	4.60	0.00	13.90	1.14
45	2009	25.00	19.60	15.30	15.30	4.30	0.0	0.0	0.0	0.0	6.20	5.10	11.30	25.00	1.40
46	2010	9.30	3.20	3.10	4.70	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	11.00	11.00	1.04
47	2011	14.10	7.80	12.60	4.60	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	3.90	5.00	13.60	14.10	1.15
48	2012	6.10	17.40	10.50	11.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	5.30	4.30	17.40	1.24
49	2013	0.00	60.20	13.40	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	3.90	0.00	12.40	60.20	1.78
50	2014	3.50	12.10	9.90	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	12.10	1.08

Fuente: SENAMHI 14.11.2022

d) Estación SIHUAS
Tabla 24
Parámetros estadísticos de la máxima precipitación en 24horas - Sihuas

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P 24H	Log (P24H)
Número de datos	51	51
Sumatoria	10397.91	111.68
Valor Máximo	658.80	2.82
Valor Mínimo	53.10	1.73
Media (X)	212.20	2.28
Varianza	12608.57	0.040
Desviación Estándar (S)	112.29	0.20
Coficiente Variación	0.53	0.09
Coficiente de Sesgo	1.96	0.30
Se Considera	Aplicar pruebas para verificar datos dudosos	

De la Tabla 9, $K_n = 2.775$

Umbral de datos dudosos Altos (X_H : unidad Logarítmica)
 $X_H = 2.834$

 Precipitación Máxima aceptada: $P_H = 682.28\text{mm}$

NO EXISTE DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA

 $P_H \gg P_{\text{máx}}$
Umbral de datos dudosos Bajos (X_L : unidad Logarítmica)
 $X_L = 1.725$

 Precipitación Mínima aceptada $P_L = 53.03\text{mm}$

NO EXISTEN DATOS DUDOSOS BAJO DE LA MUESTRA

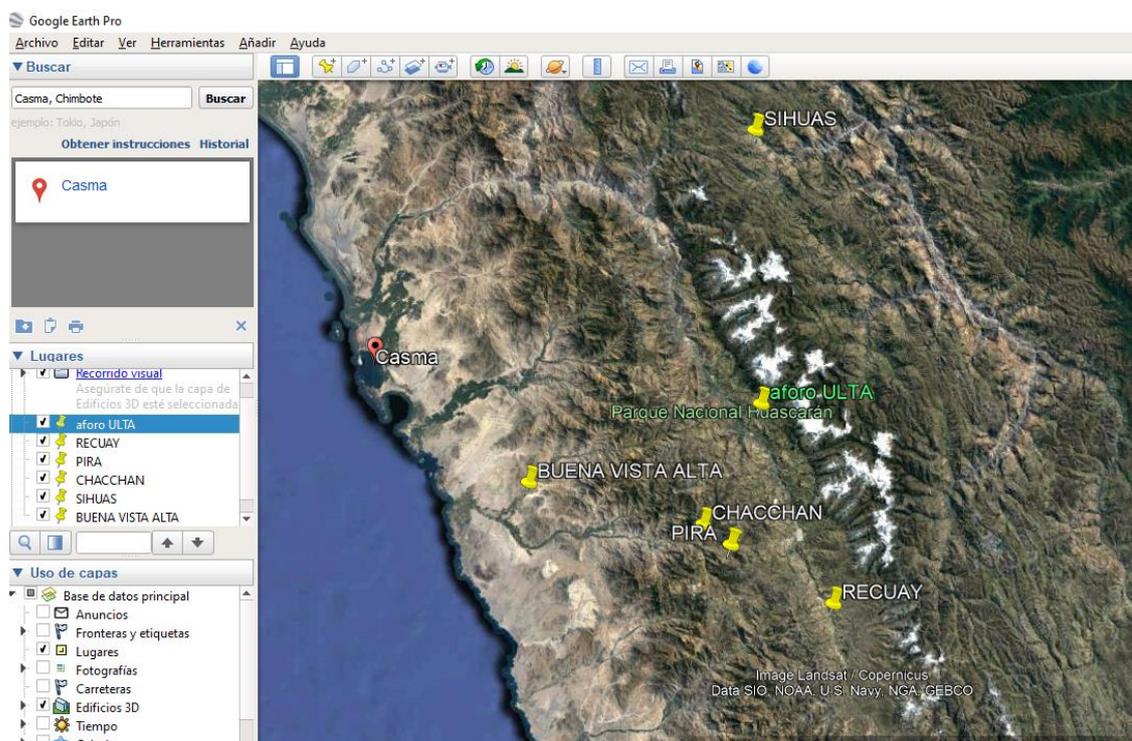
 $P_L \ll P_{\text{mín}}$

POR TANTO, la Tabla 14 Datos Meteorológicos de la Estación Sihuas, No Requiere Corrección.

4.1.2.3 Polígono de Thysen. Mediante el Google Eart Pro se obtuvo la ubicación y coordenadas de las estaciones meteorológicas: Sihuas, Recuay, Chacchan, Pira y Buenavista.

Figura 7

Ubicación de las estaciones meteorológicas mediante el Google Eart Pro



Fuente: Google Eart Pro

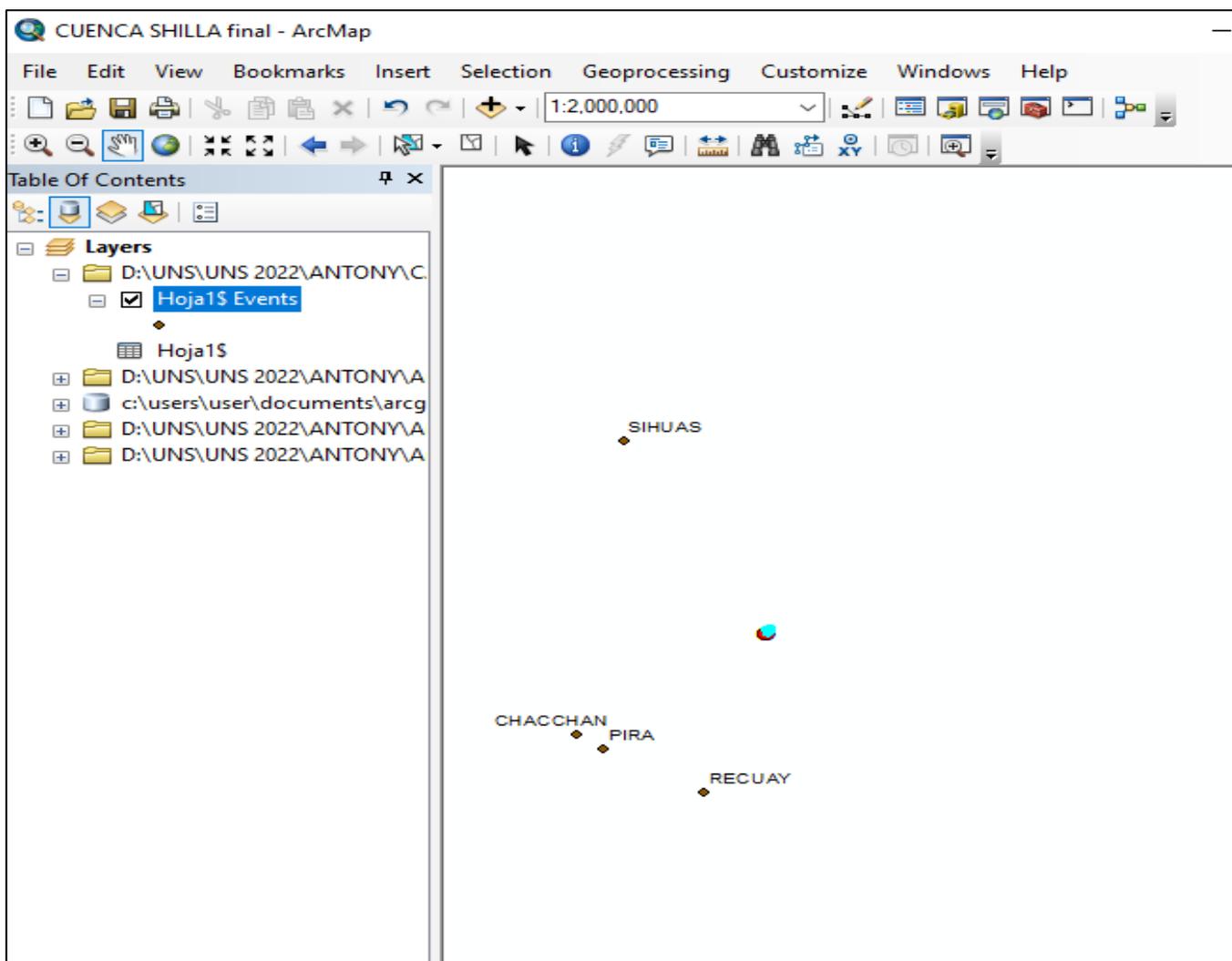
Tabla 25

Coordenadas de las estaciones obtenidos del Google Eart Pro

NOMBRE	ESTE (X)	NORTE (Y)	ALTURA (Z)msnm	P ANUAL máx
RECUAY	230792.900	8923553.90	3431.00	53.30
PIRA	202830.000	8939270.40	3720.00	54.70
CHACCHAN	195297.500	8944754.80	2266.00	63.60
SIHUAS	208289.500	9052050.00	2716.00	658.80
AFORO	210669.370	8977676.9	3900.00	0.00

Figura 8

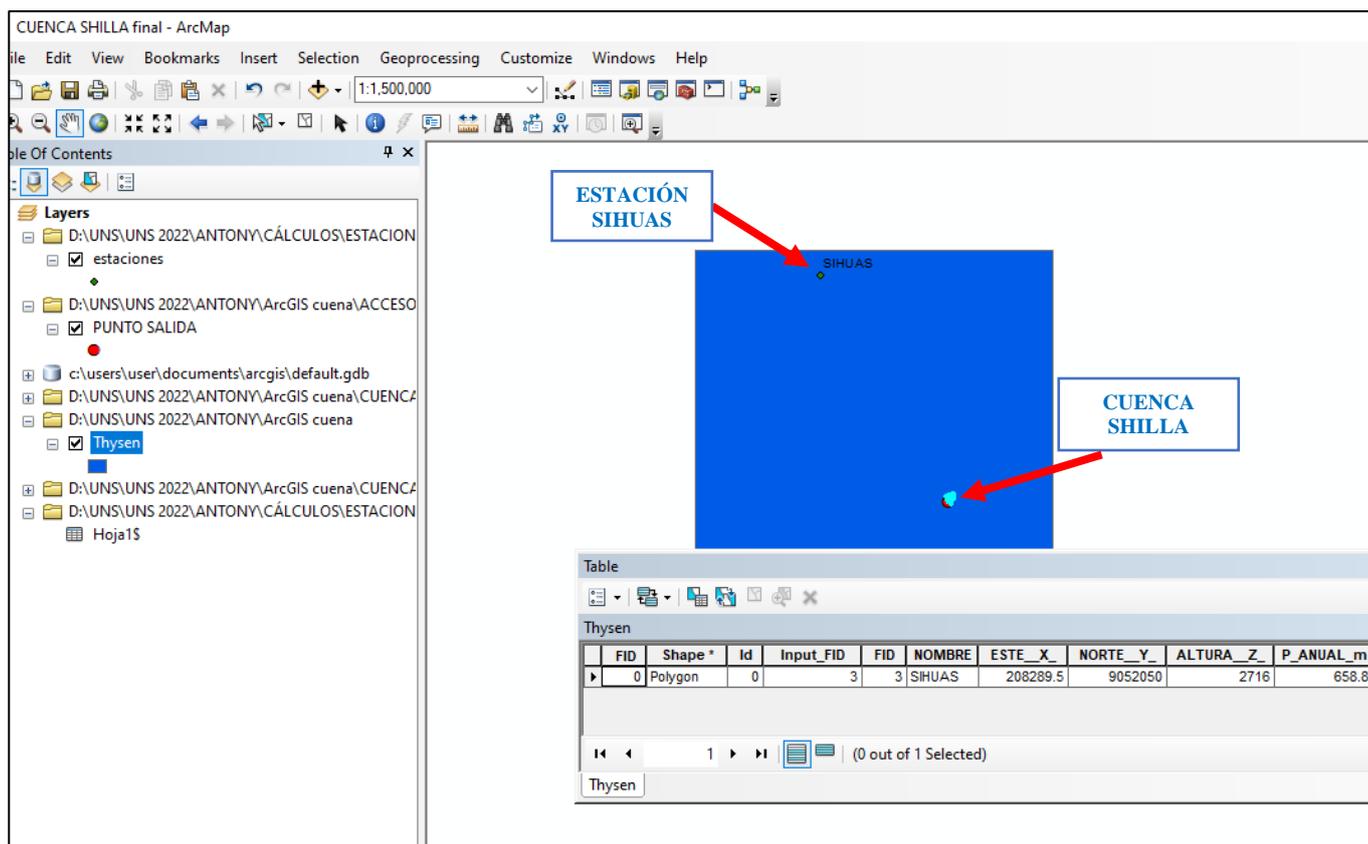
Ubicación de las estaciones en el ArcMap 10.8.1



Fuente: *ArcMap 10.8.1*

Figura 9

Método del Polígono de Thysen en el ArcMap 10.8.1



Fuente: *ArcMap 10.8.1*

Se realizó el respectivo análisis de zonas de influencia para la cuenca Shilla con respecto a las 5 estaciones con series de datos consistentes que se encontraban en la zona de estudio las cuales son: Recuay, Pira, Chacchan, Sihuas y Buenavista. Encontrando así, mediante el Método del Polígono de Thysen (Ver

Figura

9

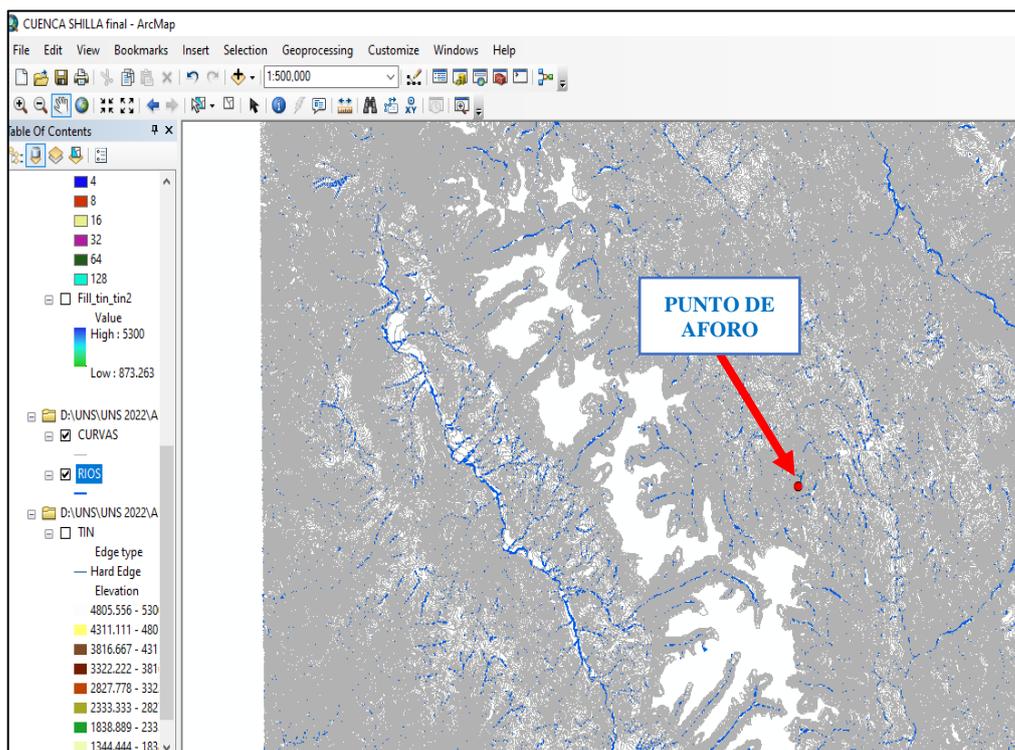
Método del Polígono de Thysen en el ArcMap 10.8.1), que la estación SIHUAS es la única estación que tiene incidencia directa sobre la cuenca de Shilla.

4.1.2.4 De la Cuenca

4.1.2.4.1 Delimitación de la Cuenca con ArcGIS 10.8.1

Figura 10

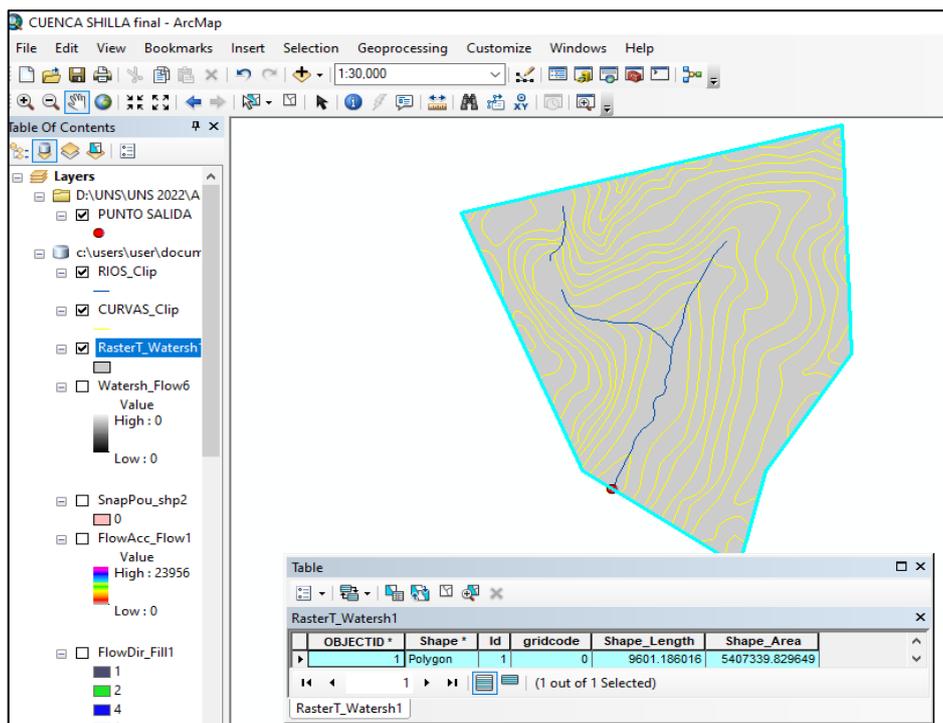
Ubicación del Punto de aforo de la Cuenca Shilla en el ArcMap 10.8.1



Fuente: ArcMap 10.8.1

Figura 11

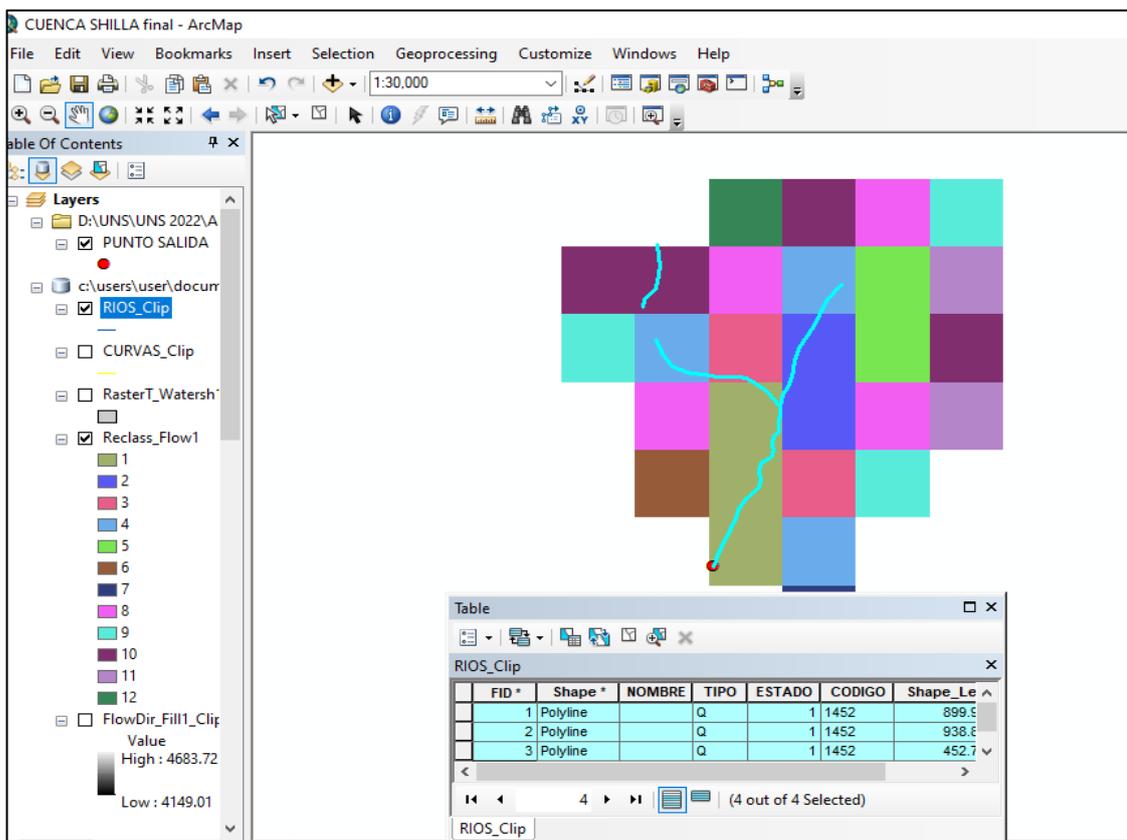
Delimitación de la cuenca Shilla en el ArcMap 10.8.1



Fuente: *ArcMap 10.8.1*

Figura 12

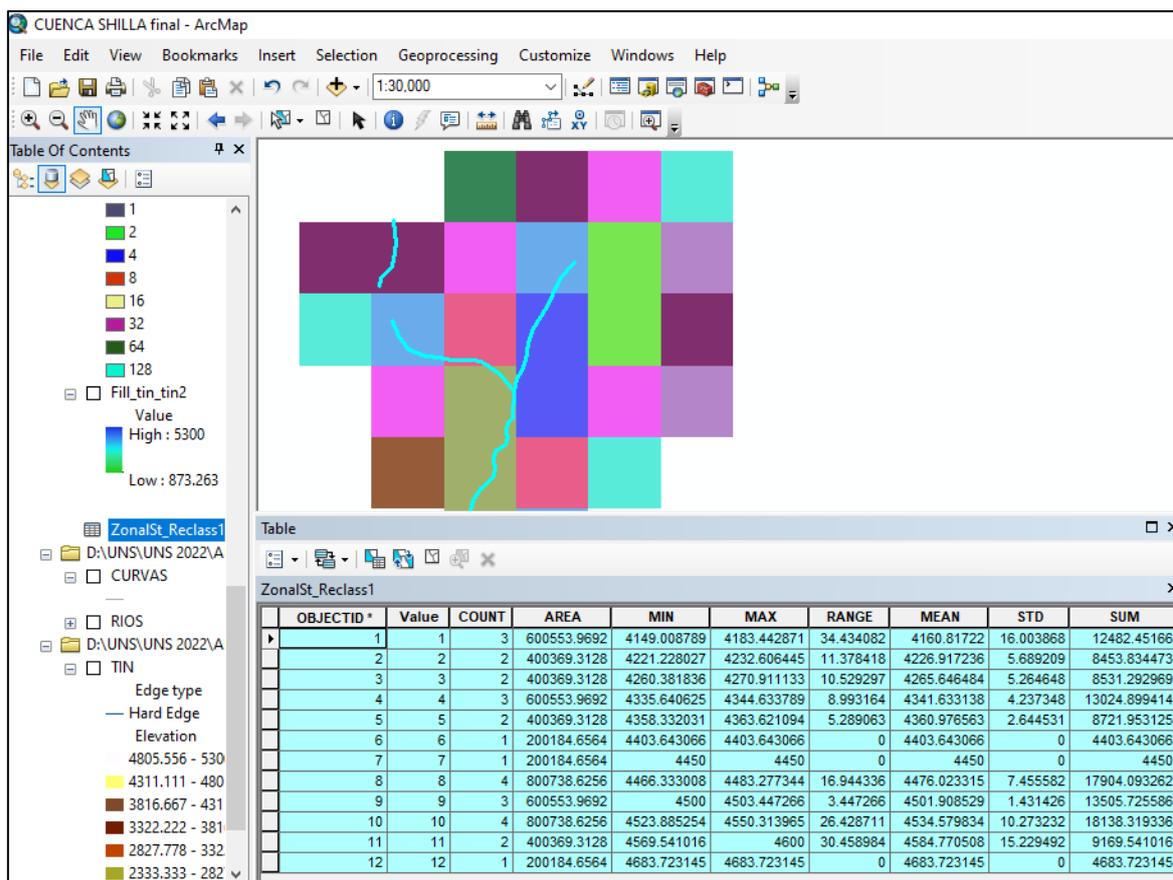
Áreas de la cuenca delimitada obtenidos del ArcMap 10.8.1



Fuente: ArcMap 10.8.1

Figura 13

Datos de curvas características de la cuenca Shilla obtenidos del ArcMap 10.8.1



Fuente: ArcMap 10.8.1

4.1.2.4.2 Parámetros Generales de la Cuenca. *Área de la cuenca:* De acuerdo a

los datos obtenidos en el ArcMap 10.8.1, evidenciados en la Figura 11, el área de la Cuenca Shilla es de 5.41km².

Longitud de la cuenca: La longitud de la cuenca Shilla es de 3.481 Km, como podemos evidenciarlo en el Anexo 5.

Ancho de la Cuenca: El ancho medio de la cuenca es de 1.554Km

Desnivel Longitudinal: La diferencia entre el nivel mínimo y el nivel máximo de la cuenca es de 351 Metros.

Perímetro de la cuenca: De acuerdo a los datos obtenidos en el ArcMap 10.8.1, evidenciados en la Figura 11, el perímetro de la Cuenca Shilla es de 9.601Km.

4.1.2.4.3 Parámetros que caracterizan la forma de la cuenca. Índice de compacidad k_c : La forma de la cuenca, siendo esta una característica que determina el escurrimiento a lo largo de los cursos de agua principales.

Del Anexo 5, el índice de compacidad de la Cuenca Shilla es $K_c = 1.16$

$K_c > 1$ Por tanto, se trata de una Cuenca Irregular, menos susceptible a inundaciones.

Factor de forma K_f : Del Anexo 5, el factor de forma es de 0.45

$K_f < 1$ Por tanto, cuenca, sujeta a menos crecientes.

4.1.2.4.4 Parámetros que caracterizan el relieve de la Cuenca. *Altura media de la cuenca:* Del Anexo 5, la altura media de la cuenca es de 4425m.s.n.m.

Pendiente Media de la Cuenca: Del Anexo 5, la cuenca Shilla presenta una pendiente de 15.36%. Aplicando la fórmula de Taylor y Schwarz, la pendiente del cauce principal es de 11.39%

Densidad de Drenaje (D_d): indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua: efímeros, intermitentes o perennes de una cuenca (L_t) y el área total de la misma (A) Del Anexo 5, se obtuvo una densidad de drenaje de 0.644Km/Km².

4.1.2.5 Cálculo del Periodo de Retorno. El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Período de Retorno “T”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años.

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

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

De acuerdo al desarrollo del análisis para la selección del periodo de retorno de las estructuras planteadas para el presente estudio y la Tabla 5, obtenemos los siguientes valores:

$n = 40$ años

$R = 0.25$

Calculándose el siguiente periodo de retorno:

$T_r(\text{puente}) = 139$ años

4.1.2.6 Precipitación Máxima de 24H Estación Sihuas para distintos periodos de retorno. Del Anexo 4, se obtuvieron las precipitaciones máximas de 24H para distintos periodos de retorno.

Tabla 26

Cálculo de las precipitaciones diarias máximas para distintas frecuencias

Periodo Retornos	Variable reducida	Precipitación mm	Probabilidad ocurrencia	Corrección intervalo
Años (n)	Y_1	X (máx)	F (xi)	X_2 (máx)
2	0.36651	185.857	0.5000	210.01841
5	1.49994	277.847	0.8000	313.96711
10	2.25037	347.462	0.9000	392.63206
25	3.19853	445.601	0.9600	503.52913
50	3.90194	526.304	0.9800	594.72352
100	4.60015	613.695	0.9900	693.47535
200	5.29581	708.642	0.9950	800.76546
500	6.21361	847.156	0.9980	957.28628
1000	6.90726	962.841	0.9990	1088.01033
10000	9.21029	1426.51	0.9999	1611.9563

4.1.2.7 Cálculo de caudal máximo por Método Racional en ArcGIS 10.8.1. El Método Racional es uno de los más utilizados para la estimación del caudal máximo asociado a determinada lluvia de diseño. Se utiliza normalmente en el diseño de obras de drenaje urbano y rural. Y tiene la ventaja de no requerir de datos hidrométricos para la Determinación de Caudales Máximos. La expresión utilizada por el Método Racional es:

$$Q = \frac{C_{pond} * I * A}{3600}$$

Donde:

Q: Caudal máximo

C: Coeficiente de escorrentía, para cuencas Rurales y Urbanas.

I: Intensidad de la Lluvia de Diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño Curvas de I-D-F

A: Área de la cuenca.

Concepto de coeficiente de escorrentía (c). El coeficiente de escorrentía (c) representa la fracción de agua del total de lluvia precipitada que realmente genera escorrentía superficial una vez se ha saturado el suelo por completo. Su valor depende de las características concretas del terreno que determinan la infiltración del agua en el suelo.

Los diferentes métodos utilizados para su cálculo (todos ellos de naturaleza empírica) difieren tanto en su fiabilidad como en su complejidad; lógicamente, a más información utilizada más complejidad y fiabilidad y viceversa, pero, en cualquier caso, es fundamental tener en cuenta la mayor o menor homogeneidad de la cuenca.

Tabla 27

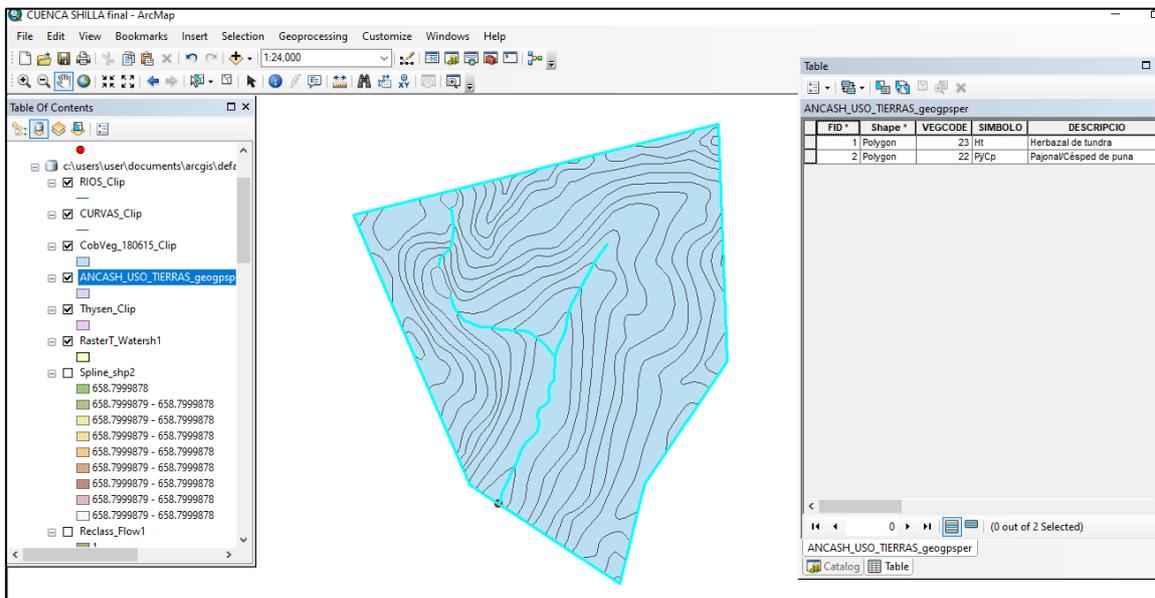
Datos de la cuenca Shilla

ÁREA Km²	PERIMETRO Km	Pendiente
5.41	9.60	15.36%

Los datos de la cobertura vegetal y uso del suelo se cargan al ArcGIS 10.8.1, para obtener las áreas correspondientes a cada tipo de suelo.

Figura 14

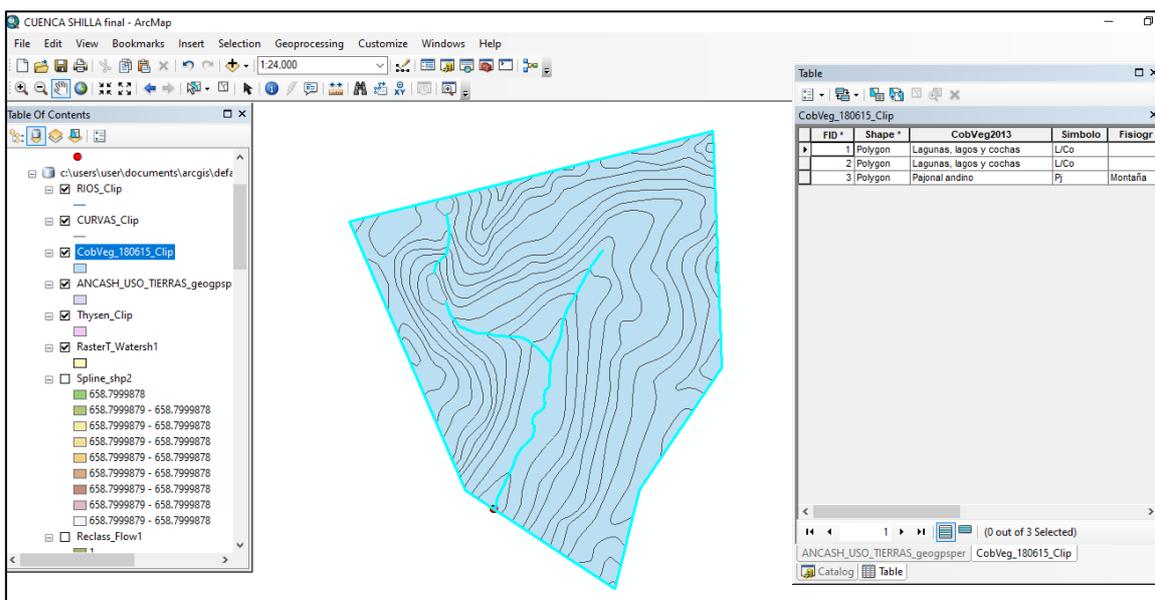
Tipo de Suela en la cuenca delimitada en ArcGIS 10.8.1



Fuente: ArcGIS 10.8.1

Figura 15

Cobertura vegetal en la cuenca delimitada en ArcGIS 10.8.1



Fuente: ArcGIS 10.8.1

Figura 16
Áreas del suelo obtenidos del ArcGIS 10.8.1

ANCASH_USO_TIERRAS_geogpsper					
VEG	SIM	DESCRIPCIO	Shape_Length	Shape_Leng	Shape_Area
23	Ht	Herbazal de tundra	7827.104626	2602038.7264	2116058.497526
22	Pj/Cp	Pajonal/Césped de puna	8151.11187	1644925.90991	3291281.400686

Fuente: ArcGIS 10.8.1

Tabla 28
Cálculo del coeficiente de escorrentía ponderado para la cuenca Shilla

Descripción	Herbazal	Pajonal	Total
Área (Km ²)	2.116058497	3.2912814	5.41
Coefficiente	0.45	0.40	
Coef. Total	0.4196		

Fuente: ArcGIS 10.8.1

Tabla 29
Coefficientes de escorrentía Método Racional

Cobertura Vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada >50%	Alta 50%-20%	Media 20%-8%	Suave 8%-1%	Despreciable <1%
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos y vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierva y grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques y vegetación densa	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: Ramírez, Maritza. 2003. Hidrología Aplicada. Universidad de Los Andes.

Determinación de la duración de la lluvia con la ecuación de KIRPICH

$$T_c = 0.06628 * \left(\frac{d^{0.77}}{S_m^{0.385}} \right)$$

Datos obtenidos del Anexo 5:

$$S_m = \text{pendiente media} = 15.36\% = 0.1536$$

$$d = \text{Long cuenca} = 3.48\text{km}$$

$$C_{\text{máx}} = 4683.72\text{m}$$

$$C_{\text{mín}} = 4149.01\text{m}$$

$$T_c = 0.356\text{hr}$$

$$T_c = 21.37\text{min}$$

Determinamos la Intensidad

$$I = \frac{615 * T_r^{0.18}}{(D + 5)^{0.685}}$$

I=Intensidad de la lluvia en mm/h

T_r = Periodo de retorno en años (diseño 139 años)

$$T_c = 21.37\text{min}$$

D = duración en minutos = T_c

$$I = 158.92\text{mm/hr}$$

4.1.2.8 Determinamos el caudal máximo de la cuenca aplicando la fórmula del método racional

$$Q = \frac{C_{\text{pond}} * I * A}{3600}$$

$$C_{\text{pond}} = 0.42$$

$$A = 5.41\text{km}^2$$

$$I = 158.92\text{mm/h}$$

Tabla 30

Cálculo de caudales máximos para distintos periodos de retorno - Método Racional

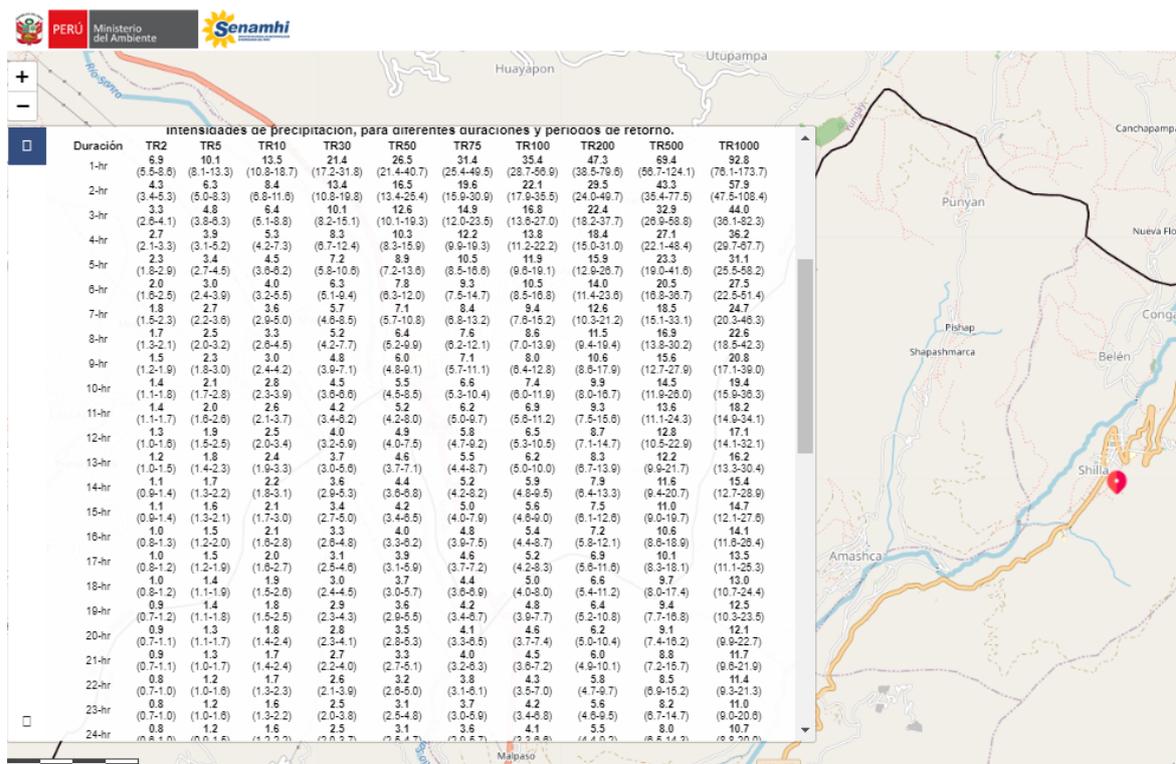
Periodo de Retorno	años	5	10	30	50	75	100	139	200	500
Intensidad	mm/hr	87.34	98.95	120.59	132.20	142.21	149.77	158.92	169.67	200.10
Q _{máx}	m ³ /seg	55.13	62.46	76.11	83.44	89.76	94.53	100.30	107.09	126.29

Cálculo del Caudal para diferentes periodos de retorno

De la página web del SENAMHI <https://idsep.SENAMHI.gob.pe/dhi-idf/>, obtenemos el IDF del área del proyecto.

Figura 17

Modulo para la estimación de curvas de Intensidad Duración Frecuencia (IDF)



Fuente: <https://idsep.SENAMHI.gob.pe/dhi-idf/>

Tabla 31
Caudales para diferentes duraciones y periodos de retorno

Tiempo Hr	Caudales para diferentes duraciones y periodos de retorno (m ³ /s)									
	TR2	TR5	TR10	TR30	TR50	TR75	TR100	TR200	TR500	TR1000
1	4.355	6.375	8.521	13.507	16.726	19.819	22.343	29.854	43.803	58.572
2	2.714	3.976	5.302	8.458	10.414	12.371	13.949	18.619	27.330	36.545
3	2.083	3.030	4.039	6.375	7.953	9.404	10.604	14.138	20.765	27.771
4	1.704	2.462	3.345	5.239	6.501	7.700	8.710	11.613	17.105	22.848
5	1.452	2.146	2.840	4.544	5.617	6.627	7.511	10.036	14.706	19.629
6	1.262	1.894	2.525	3.976	4.923	5.870	6.627	8.836	12.939	17.357
7	1.136	1.704	2.272	3.598	4.481	5.302	5.933	7.953	11.677	15.590
8	1.073	1.578	2.083	3.282	4.039	4.797	5.428	7.258	10.667	14.264
9	0.947	1.452	1.894	3.030	3.787	4.481	5.049	6.690	9.846	13.128
10	0.884	1.325	1.767	2.840	3.471	4.166	4.671	6.249	9.152	12.245
11	0.884	1.262	1.641	2.651	3.282	3.913	4.355	5.870	8.584	11.487
12	0.821	1.199	1.578	2.525	3.093	3.661	4.103	5.491	8.079	10.793
13	0.757	1.136	1.515	2.335	2.903	3.471	3.913	5.239	7.700	10.225
14	0.694	1.073	1.389	2.272	2.777	3.282	3.724	4.986	7.322	9.720
15	0.694	1.010	1.325	2.146	2.651	3.156	3.535	4.734	6.943	9.278
16	0.631	0.947	1.325	2.083	2.525	3.030	3.408	4.544	6.690	8.899
17	0.631	0.947	1.262	1.957	2.462	2.903	3.282	4.355	6.375	8.521
18	0.631	0.884	1.199	1.894	2.335	2.777	3.156	4.166	6.122	8.205
19	0.568	0.884	1.136	1.830	2.272	2.651	3.030	4.039	5.933	7.890
20	0.568	0.821	1.136	1.767	2.209	2.588	2.903	3.913	5.744	7.637
21	0.568	0.821	1.073	1.704	2.083	2.525	2.840	3.787	5.554	7.385
22	0.505	0.757	1.073	1.641	2.020	2.398	2.714	3.661	5.365	7.195
23	0.505	0.757	1.010	1.578	1.957	2.335	2.651	3.535	5.176	6.943
24	0.505	0.757	1.010	1.578	1.957	2.272	2.588	3.471	5.049	6.753

En la **Tabla 31**, se presentan los caudales de diseño para diferentes periodos de diseño en la cuenca Shilla, utilizando los valores de IDF proporcionados por el SENAMHI y el $C_{pond} = 0.42$.

Cálculo del coeficiente de Manning por el Método de Cowan

El modelo de Cowan está definido por la ecuación:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

Los valores de n se obtienen de la Tabla 3 los cuales están en función del perímetro, irregularidades, variación de la sección transversal, efecto de las obstrucciones, vegetación y meandros.

Tabla 32

Criterios y valores numéricos para la ecuación de Cowan

Condición del cauce		Valores
Material considerado	Tierra	0,020
	Corte en roca	0,025
	Grava fina	0,024
	Grava gruesa	0,028
Grado de Irregularidad	Suave	0,000
	Menor	0,005
	Moderado	0,010
	Severo	0,020
Variación de la Sección Transversal	Gradual	0,000
	Ocasionalmente alternante	0,005
	Frecuentemente alternante	0,010–0,015
Efecto de las Obstrucciones	Insignificante	0,000
	Menor	0,010–0,015
	Apreciable	0,020–0,030
	Severo	0,040 - 0,060
Vegetación	Baja	0,005–0,010
	Media	0,010–0,025
	Alta	0,025–0,050
	Muy alta	0,050–1,000
Cantidad de Meandros	Menor	1,000
	Apreciable	1,150
	Severa	1,300

Fuente: Díaz-Salas et al. / Revista Ingeniería UC, Vol. 27, No 3, diciembre, 2020

Tabla 33

Cálculo del coeficiente de Manning por el método de Cowan

Cálculo de n en el eje del rio	Cálculo de n en los márgenes del rio
$n_0 = 0.020$	$n_0 = 0.020$
$n_1 = 0.005$	$n_1 = 0.010$
$n_2 = 0.005$	$n_2 = 0.010$
$n_3 = 0.010$	$n_3 = 0.020$
$n_4 = 0.005$	$n_4 = 0.010$
$m_5 = 1.0$	$m_5 = 1.0$
$n = 0.045$	$n = 0.070$

4.1.3 Evaluación del desempeño hidráulico del puente Shilla

4.1.3.1 Información geométrica del Puente Shilla. En la Figura 18, **Figura 19**, **Figura 20** y **Figura 21**, se muestran los datos obtenidos del Puente Shilla, presentados en el Anexo 9.

Figura 18

Elevación Frontal del Estribo

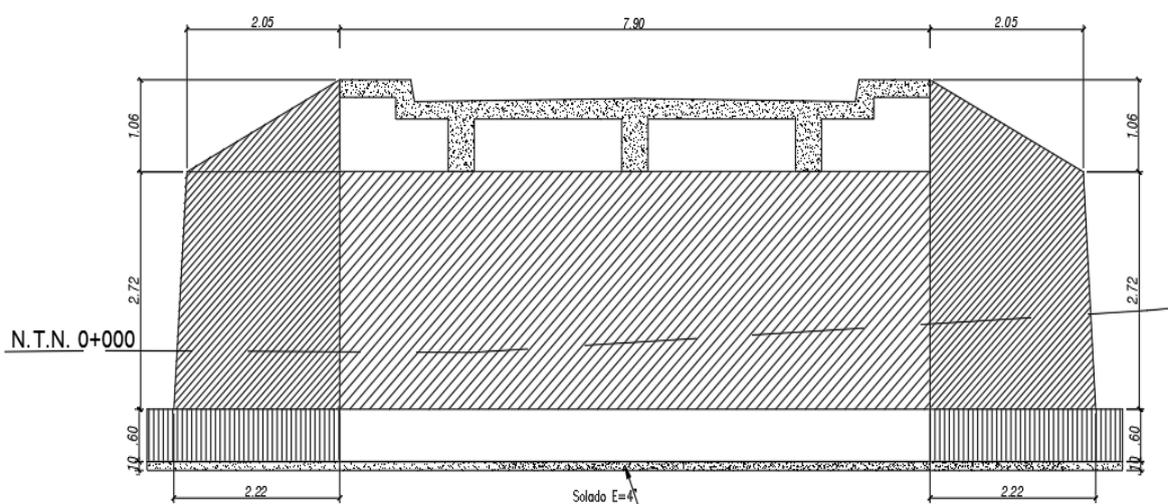


Figura 19

Planta Estribo

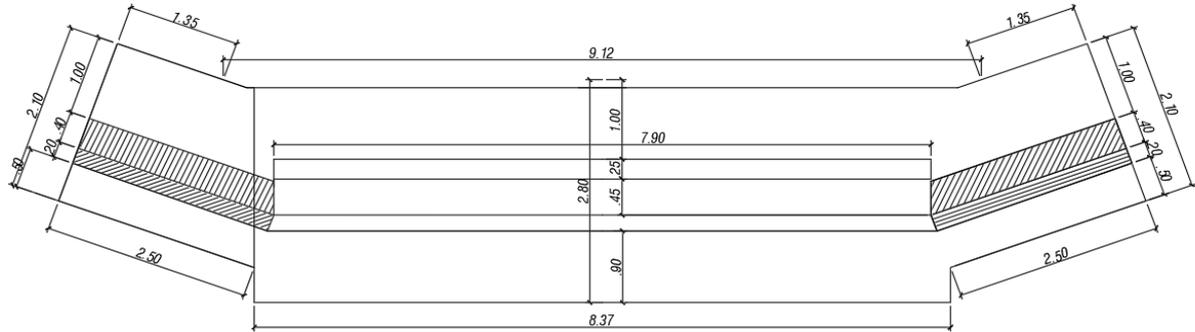


Figura 20

Detalle de Sección de Losa

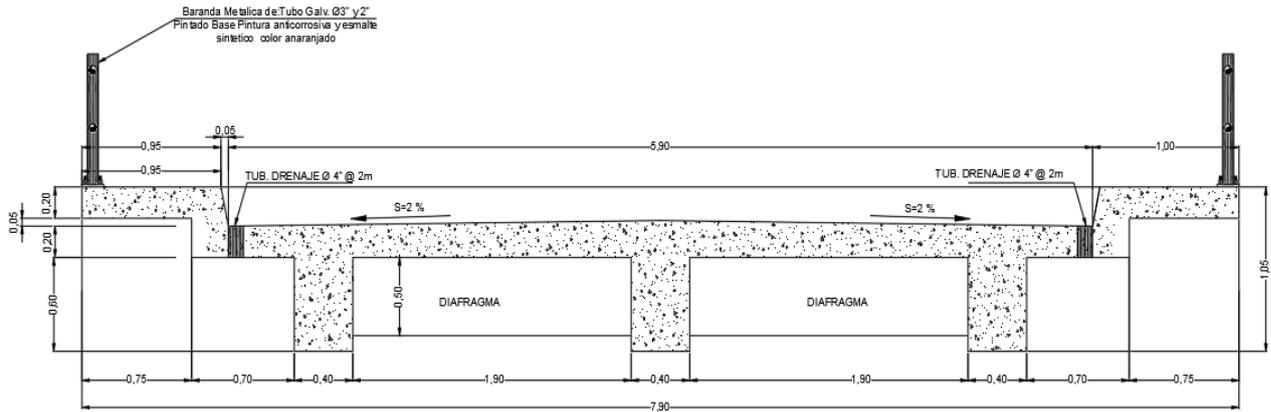
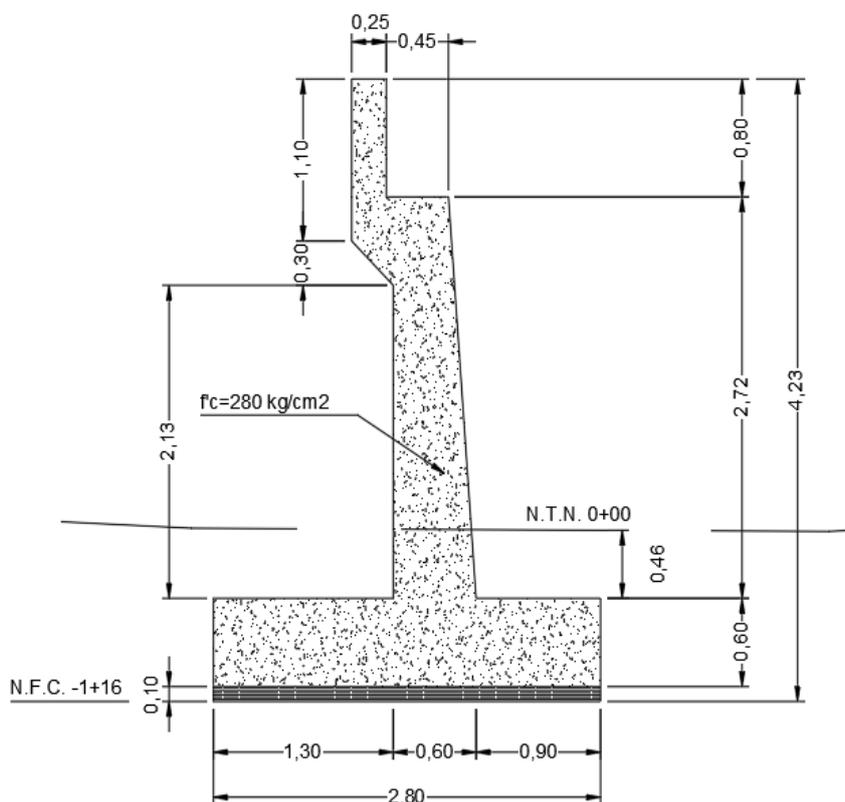


Figura 21

Detalle Lateral Estribo



4.1.3.2 Cálculo de altura de socavación. Para la aplicación de los métodos se

tomaron los siguientes coeficientes y sus respectivos valores:

Qmáx. 139 años	= 100 m ³ /s
Cota mayor de cuenca	= 3684 msnm (ver anexo 05)
Cota menor de cuenca	= 3149 msnm (ver anexo 05)
Pendiente de la cuenca	= 0.15%
Luz del puente	= 10 metros (ver anexo 09)
Cota de agua	= 3131.584 msnm
Cota de fondo de río	= 3131.434 msnm
Cota fondo margen izq., y der.	= 3131.434 msnm

Tirante central	= 0.30 m
Tirante margen izquierda	= 0.15 m
Tirante margen derecha	= 0.13 m
Diámetro medio fondo	= 2.4 (ver anexo 7)
Ángulo del estribo derecho	= 90° (ver anexo 09)
Ángulo del estribo izquierdo	= 90° (ver anexo 09)

Socavación General

Cálculo de la socavación por contracción en agua clara

Del Manual Hidrológico e Hidráulico del MTC 2014, se usa la siguiente ecuación dada por

Laursen:

$$H_s = \left[\frac{0.025 Q_2^2}{D_m^{2/3} B_2^2} \right]^{3/7}$$

Este método se utiliza para suelos granulares y ocurre la socavación cuando la velocidad media de la sección iguala el valor de la velocidad crítica.

Donde:

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

H_s : Profundidad media del flujo en el cauce en la sección contraída del puente después de la socavación (m)

h_2 : Profundidad existente en la sección contraída del puente antes de la socavación (m)

Q_2 : Caudal a través del puente o en las laderas sin transporte de sedimentos (m³/s)

D_m : Diámetro medio efectivo del material más pequeño del lecho o en la zona de inundación que no es transportado por el flujo. Si no se tienen datos precisos, $D_m = 1.25 D_{50}$ en (m)

B_2 : Ancho efectivo del cauce en el puente descontando el ancho de los pilares (m)

Figura 22

Modelamiento Hidráulico en RAS Mapper de la avenida máxima para un tiempo retorno de 139 años

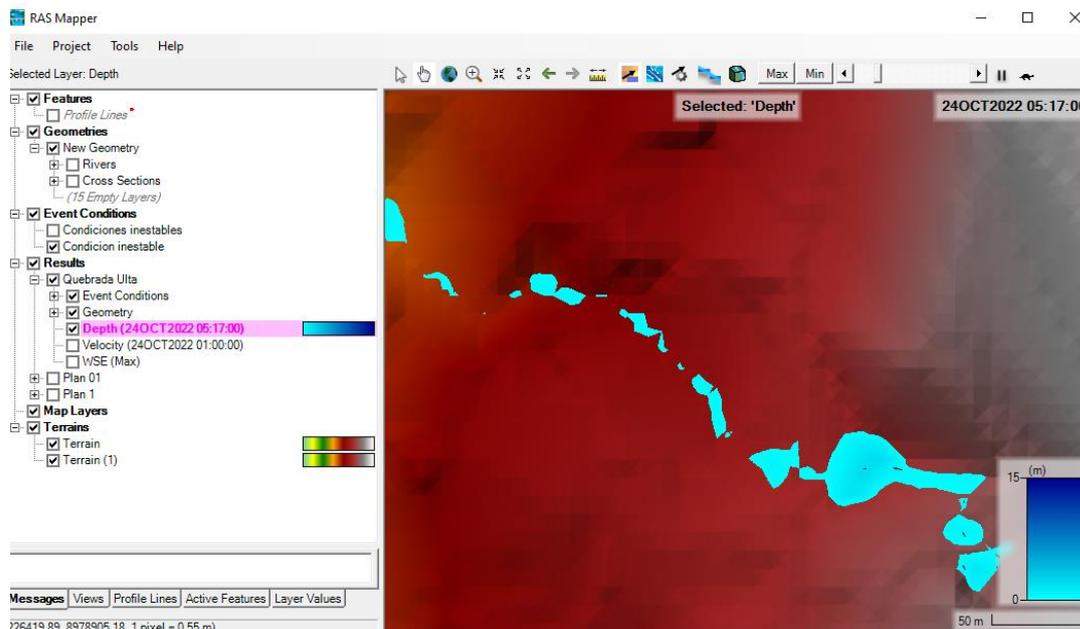


Figura 23

Cross Section Quebrada Ulta, con avenida máxima para un periodo de retorno de 139 años

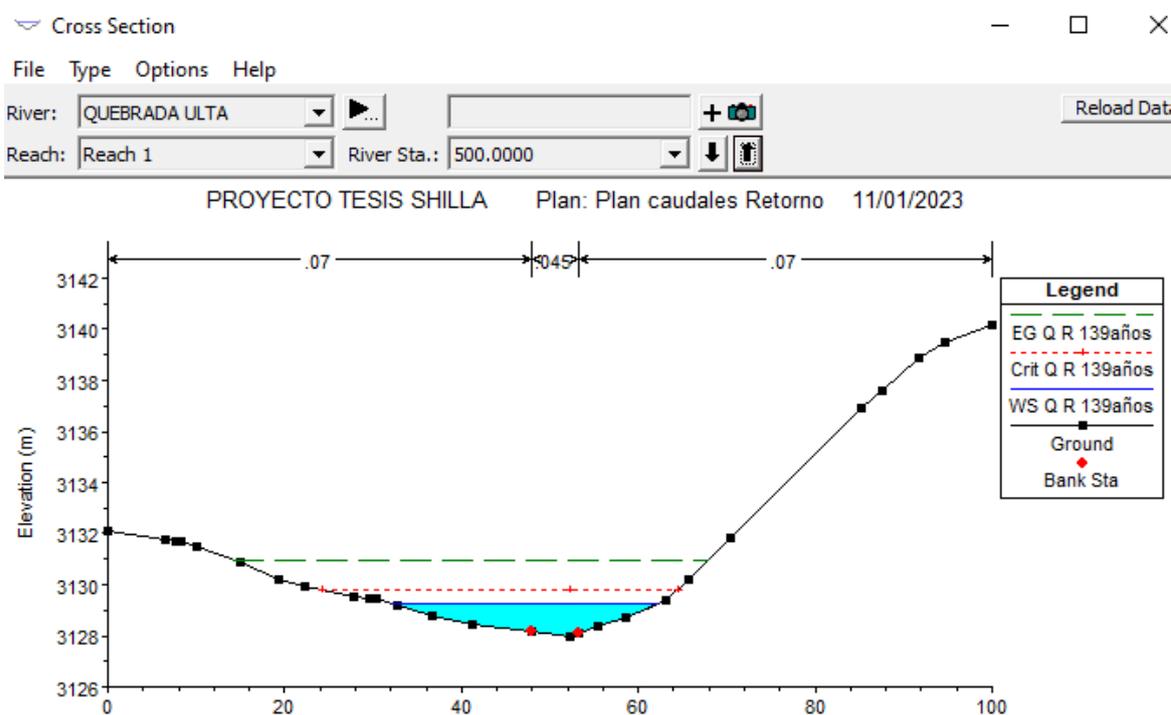


Figura 24

Profundidad de socavación general – Método Lacey Retorno 139años

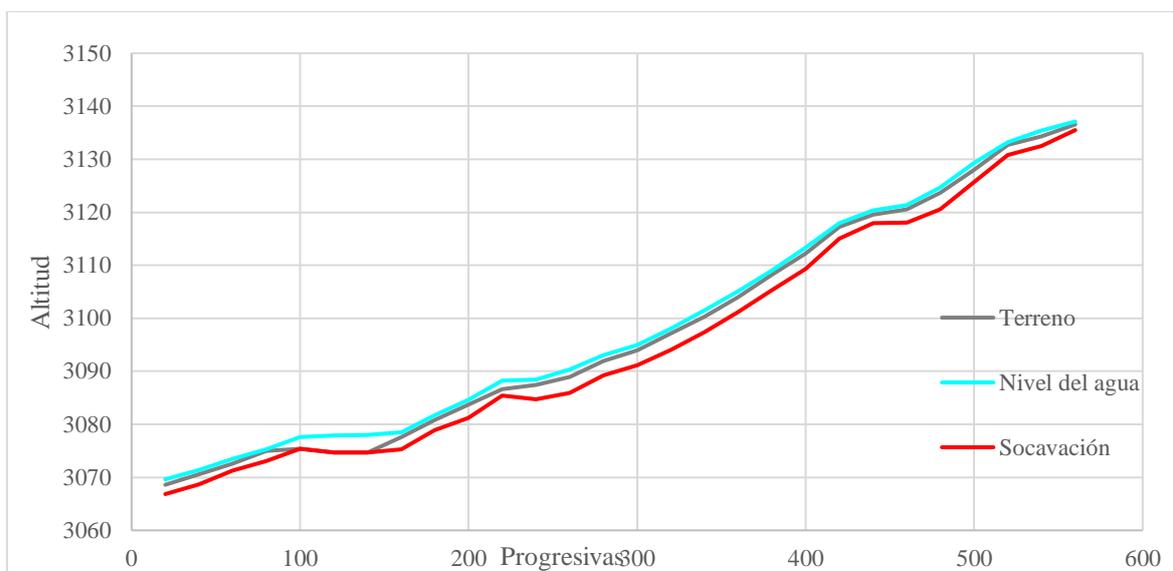


Tabla 34
Estimación de la profundidad de socavación general - Método Lacey – R 50años

River Sta	Q_{Total}	Y_{máx}	Min Ch El	W.S. Elev	Flow Área	Top Width	D_s	D_{sa}=K sa*D_s	H=D_s a-Y_{máx}	Socav Elev
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m2)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
560	83.44	1.14	3136.58	3137.05	26.72	58.51	1.021	2.042	0.902	3135.678
540	83.44	1.01	3134.28	3135.29	24.88	39.66	1.323	2.647	1.637	3132.643
520	83.44	0.82	3132.71	3133.11	20.47	42.94	1.255	2.510	1.690	3131.020
500	83.44	1.18	3127.98	3129.16	19.31	28.59	1.646	3.292	2.112	3125.868
480	83.44	0.95	3123.68	3124.63	13.23	22.54	1.929	3.857	2.907	3120.773
460	83.44	0.78	3120.57	3121.36	17.31	33.06	1.494	2.988	2.208	3118.362
440	83.44	1	3119.59	3120.33	30.34	45.76	1.203	2.406	1.406	3118.184
420	83.44	0.81	3117.21	3117.83	19.24	36.69	1.394	2.788	1.978	3115.232
400	83.44	1.08	3112.27	3113.21	14.92	23.47	1.877	3.755	2.675	3109.595
380	83.44	0.81	3108.18	3108.92	14.01	26.66	1.724	3.449	2.639	3105.541
360	83.44	0.97	3104.03	3105	15.78	24.91	1.804	3.609	2.639	3101.391
340	83.44	1.1	3100.33	3101.43	14.21	22.95	1.906	3.811	2.711	3097.619
320	83.44	0.93	3097.13	3098	14.05	23.19	1.892	3.785	2.855	3094.275
300	83.44	0.99	3093.92	3094.89	16.1	25.63	1.770	3.541	2.551	3091.369
280	83.44	1.1	3091.93	3092.94	18.93	25.52	1.775	3.551	2.451	3089.479
260	83.44	1.22	3088.97	3090.19	15.76	21.09	2.016	4.032	2.812	3086.158
240	83.44	0.97	3087.46	3088.33	16.25	26.3	1.740	3.480	2.510	3084.950
220	83.44	1.46	3086.64	3088.1	33.31	38.92	1.340	2.680	1.220	3085.420
200	83.44	0.84	3083.69	3084.53	14.38	30.02	1.593	3.186	2.346	3081.344
180	83.44	0.86	3080.83	3081.63	18.00	40.36	1.308	2.616	1.756	3079.074
160	83.44	0.77	3077.63	3078.4	17.51	35.07	1.436	2.873	2.103	3075.527
140	83.44	3.17	3074.66	3077.83	112.75	56.54	1.045	2.089	0.000	3074.660
120	83.44	3.13	3074.66	3077.79	97.96	60.9	0.994	1.988	0.000	3074.660
100	83.44	2.1	3075.34	3077.44	50.46	70.39	0.903	1.805	0.000	3075.340
80	83.44	0.55	3075.01	3075.24	14.21	43.74	1.240	2.479	1.929	3073.081
60	83.44	0.88	3072.55	3073.39	32.91	59.81	1.006	2.012	1.132	3071.418
40	83.44	0.72	3070.53	3071.24	21.49	44.16	1.232	2.464	1.744	3068.786
20	83.44	0.99	3068.59	3069.55	23.22	41.25	1.289	2.578	1.588	3067.002

Fuente: HEC RAS 6.31.1 – ANEXO 6

Tabla 35
Estimación de la profundidad de socavación general - Método Lacey – R 100años

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Y _{máx} (m)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Flow Área (m ²)	Top Width (m)	D _s (m)	D _{sa} =K _{sa} *D _s (m)	H=D _s a- Y _{máx} (m)	Socav Elev (m)
560	94.53	1.18	3136.58	3137.09	29.31	59.88	1.093	2.185	1.005	3135.575
540	94.53	1.07	3134.28	3135.35	27.52	40.58	1.416	2.832	1.762	3132.518
520	94.53	0.86	3132.71	3133.15	22.01	43.32	1.356	2.712	1.852	3130.858
500	94.53	1.25	3127.98	3129.23	21.37	29.76	1.742	3.483	2.233	3125.747
480	94.53	1.02	3123.68	3124.7	14.73	23.59	2.033	4.067	3.047	3120.633
460	94.53	0.82	3120.57	3121.39	18.61	33.54	1.608	3.216	2.396	3118.174
440	94.53	1.04	3119.59	3120.37	32.5	46.49	1.294	2.587	1.547	3118.043
420	94.53	0.87	3117.21	3117.89	21.53	38.02	1.479	2.958	2.088	3115.122
400	94.53	1.14	3112.27	3113.27	16.34	24.38	1.989	3.978	2.838	3109.432
380	94.53	0.86	3108.18	3108.97	15.28	27.45	1.838	3.676	2.816	3105.364
360	94.53	1.03	3104.03	3105.06	17.28	25.89	1.911	3.822	2.792	3101.238
340	94.53	1.16	3100.33	3101.49	15.71	23.95	2.013	4.026	2.866	3097.464
320	94.53	0.99	3097.13	3098.06	15.4	24.04	2.008	4.016	3.026	3094.104
300	94.53	1.05	3093.92	3094.95	17.57	26.53	1.880	3.760	2.710	3091.210
280	94.53	1.17	3091.93	3093.01	20.63	26.35	1.889	3.777	2.607	3089.323
260	94.53	1.3	3088.97	3090.27	17.46	22	2.130	4.260	2.960	3086.010
240	94.53	1.02	3087.46	3088.38	17.58	27.08	1.855	3.709	2.689	3084.771
220	94.53	1.58	3086.64	3088.22	38	42.97	1.363	2.726	1.146	3085.494
200	94.53	0.89	3083.69	3084.58	16.06	31.61	1.673	3.346	2.456	3081.234
180	94.53	0.9	3080.83	3081.67	19.62	41.49	1.395	2.791	1.891	3078.939
160	94.53	0.82	3077.63	3078.45	19.22	36.06	1.532	3.065	2.245	3075.385
140	94.53	3.25	3074.66	3077.91	117.58	57.69	1.120	2.240	0.000	3074.660
120	94.53	3.21	3074.66	3077.87	102.81	62.48	1.062	2.124	0.000	3074.660
100	94.53	2.17	3075.34	3077.51	55.31	71.8	0.968	1.936	0.000	3075.340
80	94.53	0.58	3075.01	3075.28	15.95	48.45	1.258	2.517	1.937	3073.073
60	94.53	0.92	3072.55	3073.43	35.83	61.86	1.069	2.138	1.218	3071.332
40	94.53	0.78	3070.53	3071.3	23.88	45.64	1.310	2.619	1.839	3068.691
20	94.53	1.04	3068.59	3069.6	25.36	42.77	1.367	2.735	1.695	3066.895

Fuente: HEC RAS 6.31.1 – ANEXO 6

Tabla 36
Estimación de la profundidad de socavación general - Método Lacey – R 139años

River Sta	Q _{Total} (m ³ /s)	Y _{máx} (m)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Flow Área (m ²)	Top Width (m)	D _s (m)	D _{sa} =K _{sa} *D _s (m)	H=D _{sa} -Y _{máx} (m)	Socav Elev (m)
560	100.3	1.2	3136.58	3137.12	30.56	60.14	1.133	2.267	1.067	3135.513
540	100.3	1.11	3134.28	3135.39	28.88	41.04	1.462	2.925	1.815	3132.465
520	100.3	0.88	3132.71	3133.17	22.78	43.51	1.406	2.813	1.933	3130.777
500	100.3	1.28	3127.98	3129.26	22.42	30.35	1.788	3.576	2.296	3125.684
480	100.3	1.05	3123.68	3124.73	15.5	24.11	2.085	4.169	3.119	3120.561
460	100.3	0.84	3120.57	3121.41	19.26	33.77	1.665	3.331	2.491	3118.079
440	100.3	1.07	3119.59	3120.4	33.62	46.98	1.336	2.673	1.603	3117.987
420	100.3	0.9	3117.21	3117.92	22.69	38.67	1.521	3.043	2.143	3115.067
400	100.3	1.17	3112.27	3113.3	17.09	24.84	2.044	4.087	2.917	3109.353
380	100.3	0.88	3108.18	3108.99	15.93	27.84	1.894	3.788	2.908	3105.272
360	100.3	1.06	3104.03	3105.09	18.04	26.38	1.963	3.927	2.867	3101.163
340	100.3	1.19	3100.33	3101.52	16.48	24.44	2.066	4.132	2.942	3097.388
320	100.3	1.01	3097.13	3098.08	16.09	24.46	2.065	4.129	3.119	3094.011
300	100.3	1.08	3093.92	3094.98	18.31	26.98	1.934	3.868	2.788	3091.132
280	100.3	1.2	3091.93	3093.04	21.49	26.75	1.945	3.890	2.690	3089.240
260	100.3	1.34	3088.97	3090.31	18.33	22.44	2.187	4.374	3.034	3085.936
240	100.3	1.04	3087.46	3088.4	18.25	27.46	1.911	3.823	2.783	3084.677
220	100.3	1.6	3086.64	3088.24	39.03	43.37	1.409	2.819	1.219	3085.421
200	100.3	0.92	3083.69	3084.61	17.09	32.54	1.707	3.414	2.494	3081.196
180	100.3	0.92	3080.83	3081.69	20.41	42.04	1.439	2.878	1.958	3078.872
160	100.3	0.84	3077.63	3078.47	20.1	36.56	1.579	3.159	2.319	3075.311
140	100.3	3.29	3074.66	3077.95	119.95	58.24	1.158	2.316	0.000	3074.660
120	100.3	3.24	3074.66	3077.9	105.15	63.24	1.096	2.192	0.000	3074.660
100	100.3	2.21	3075.34	3077.55	58.17	72.54	1.000	2.001	0.000	3075.340
80	100.3	0.6	3075.01	3075.29	16.82	50.71	1.270	2.540	1.940	3073.070
60	100.3	0.95	3072.55	3073.46	37.31	63.01	1.099	2.197	1.247	3071.303
40	100.3	0.8	3070.53	3071.32	25.12	46.39	1.348	2.695	1.895	3068.635
20	100.3	1.06	3068.59	3069.62	26.43	43.51	1.406	2.813	1.753	3066.837

Fuente: HEC RAS 6.31.1 – ANEXO 6

Tabla 37
Estimación de la profundidad de socavación general - Método Lacey – R 500años

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Y _{máx} (m)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Flow Área (m ²)	Top Width (m)	D _s (m)	D _{sa} =K _{sa} *D _s (m)	H=D _s a- Y _{máx} (m)	Socav Elev (m)
560	126.29	1.29	3136.58	3137.2	35.79	60.63	1.314	2.629	1.339	3135.241
540	126.29	1.25	3134.28	3135.53	34.8	42.99	1.653	3.306	2.056	3132.224
520	126.29	0.96	3132.71	3133.25	26.25	44.33	1.620	3.239	2.279	3130.431
500	126.29	1.43	3127.98	3129.41	26.87	32.64	1.986	3.973	2.543	3125.437
480	126.29	1.18	3123.68	3124.86	18.83	25.84	2.321	4.642	3.462	3120.218
460	126.29	0.93	3120.57	3121.5	22.12	34.8	1.903	3.806	2.876	3117.694
440	126.29	1.2	3119.59	3120.53	39.98	54.9	1.404	2.809	1.609	3117.981
420	126.29	1.03	3117.21	3118.04	27.74	41.37	1.696	3.392	2.362	3114.848
400	126.29	1.3	3112.27	3113.43	20.45	26.83	2.264	4.527	3.227	3109.043
380	126.29	0.98	3108.18	3109.09	18.75	29.5	2.125	4.250	3.270	3104.910
360	126.29	1.18	3104.03	3105.21	21.33	28.38	2.180	4.361	3.181	3100.849
340	126.29	1.32	3100.33	3101.66	19.82	26.49	2.283	4.566	3.246	3097.084
320	126.29	1.13	3097.13	3098.2	19.11	26.23	2.298	4.596	3.466	3093.664
300	126.29	1.19	3093.92	3095.09	21.38	28.3	2.185	4.369	3.179	3090.741
280	126.29	1.34	3091.93	3093.18	25.22	28.45	2.177	4.354	3.014	3088.916
260	126.29	1.5	3088.97	3090.47	22.14	24.3	2.418	4.836	3.336	3085.634
240	126.29	1.15	3087.46	3088.51	21.25	29.08	2.145	4.291	3.141	3084.319
220	126.29	1.7	3086.64	3088.34	43.3	44.98	1.604	3.208	1.508	3085.132
200	126.29	1.06	3083.69	3084.74	21.57	36.07	1.858	3.717	2.657	3081.033
180	126.29	1.00	3080.83	3081.77	23.91	44.35	1.619	3.238	2.238	3078.592
160	126.29	0.94	3077.63	3078.57	23.95	38.68	1.774	3.547	2.607	3075.023
140	126.29	3.47	3074.66	3078.13	130.18	60.46	1.317	2.634	0.000	3074.660
120	126.29	3.4	3074.66	3078.06	115.48	66.46	1.236	2.473	0.000	3074.660
100	126.29	2.34	3075.34	3077.68	67.72	74.98	1.141	2.282	0.000	3075.340
80	126.29	0.68	3075.01	3075.37	21.02	55.98	1.386	2.773	2.093	3072.917
60	126.29	1.05	3072.55	3073.55	43.66	67.22	1.227	2.454	1.404	3071.146
40	126.29	0.92	3070.53	3071.44	30.54	49.54	1.504	3.008	2.088	3068.442
20	126.29	1.17	3068.59	3069.73	31.24	47.07	1.556	3.112	1.942	3066.648

Fuente: HEC RAS 6.31.1 – ANEXO 6

4.1.3.4 Análisis de posibles fallas en el sistema hidráulico del puente Shilla bajo las condiciones analizadas.

4.1.3.4.1 Periodo de retorno: 50 años. Este es un periodo comúnmente utilizado para el diseño de estructuras hidráulicas como puentes, representando un evento de inundación relativamente severo, pero no extremo.

La Cota de socavación en la sección 520 es 3131.020 msnm. Esta es la elevación hasta la cual se espera que ocurra la erosión del lecho del río durante un evento de inundación con un periodo de retorno de 50 años.

En Relación con el estribo del puente, la cota del fondo del estribo es 3131.434 msnm. La diferencia es 0.414 m; es decir que la socavación alcanzaría 0.414 m por debajo del estribo del puente.

Una socavación de 0.414 m por debajo del estribo del puente es significativa y presenta un riesgo considerable para la estabilidad de la estructura. Esta situación podría exponer parte de los cimientos del puente, lo que podría comprometer su integridad estructural.

Siendo un periodo de retorno de 50 años, existe una probabilidad del 2% de que este evento ocurra en cualquier año dado, lo cual es una probabilidad no despreciable para la vida útil de un puente.

4.1.3.4.2 Diseño a largo plazo. Para el periodo de diseño de 139 años, la situación mejora ligeramente, con el estribo quedando 0.66 m por encima de la cota de socavación. Sin embargo, este margen sigue siendo relativamente pequeño para estructuras críticas como puentes.

4.1.3.4.3 Consideraciones generales. Se recomienda implementar medidas de protección contra la socavación, como:

- Colocación de escolleras o enrocados alrededor de los estribos.
- Instalación de pantallas antisocavación.

Se debe establecer un programa de monitoreo regular para evaluar la evolución de la socavación a lo largo del tiempo; así también, considerar la posibilidad de rediseñar los cimientos del puente para aumentar su profundidad y resistencia a la socavación, especialmente si se espera que la estructura tenga una vida útil prolongada.

También, es importante realizar estudios hidráulicos más detallados, incluyendo modelación a escala de ser posible, para obtener una comprensión más precisa del comportamiento del río y la socavación potencial.

4.2 Discusión

Almonte Pilco, N., & De La Cruz Vega, S., en su investigación “Evaluación y diseño de protección frente a la socavación hidráulica del puente Unocolla, Juliaca – Puno, realizaron una evaluación y diseño de protección contra el proceso de socavación hidráulica del puente Unocolla de la ciudad de Juliaca, Puno. Para determinar los efectos de socavación del puente, realizaron un modelamiento hidráulico en el programa HEC – RAS determinando las profundidades de socavación en los pilares del puente, por lo cual propusieron la protección de los pilares, mediante un enrocado; en nuestro caso, mediante el modelamiento hidráulico también obtuvimos profundidades de socavación en cotas inferiores a los encontrados en campo.

Mehta, D. J., & Yadav, S. M., en su investigación “*Analysis of scour depth in the case of parallel bridges using HEC-RAS. Water Science and Technology*”, utilizó un modelo hidráulico para simular la estabilidad del 'Puente Sardar' sobre el río Tapi. Evaluaron perfiles de socavación para varios eventos de inundación, proponiendo la construcción de un nuevo puente aguas arriba del puente existente, para asegurar la estabilidad hidráulica del puente existente; mientras que en nuestro caso el puente Shilla requiere protección de los pilares para evitar la socavación para un periodo de diseño de 139 años.

Esteves, M. en su investigación “Evaluación de métodos para el cálculo de la socavación en puentes. Caso del puente sobre el río Shanusi en el distrito de Yurimaguas, provincia del Alto Amazonas, consiguieron caudales máximos de diseño, equivalentes a 2007.70 m³/s para un periodo de retorno de 139 años y 2538.20 m³/s para un periodo de retorno de 500 años; en nuestro caso, determinamos caudales máximos de diseño de a

100.30m³/s para un periodo de retorno de 139 años y 126.29m³/s para un periodo de retorno de 500 años.

Rodríguez, D. A. L. M. en su trabajo de investigación “*Identificación de modelos estadísticos para la regionalización de los caudales máximos de la cuenca Magdalena-Cauca*” seleccionó la prueba de bondad del ajuste Kolmogorov como la que posee más criterio, pues permite analizar la muestra dato por dato y no de manera global y en nuestra investigación al aplicar esta prueba se reduce significativamente la incertidumbre.

Guillen, A. H. & Gálvez A, C. en su investigación “*Evaluación de la socavación producida en pilares y estribos del puente libertad causado por el fenómeno el niño distrito de Guadalupe, La Libertad*” emplearon HIDROESTA para calcular los caudales de diseño; en esta investigación utilizamos HYDROGNOMON 4 y EXCEL 2016.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se determinaron todos los parámetros geomorfológicos de la Quebrada Ulta, siendo su área de 5.407km², un perímetro de 9.601km, un ancho medio de 1.55km, factor de forma $F=045$ ($F < 1$ cuenca, sujeta a menos crecientes), Índice de compacidad de $Kc=1.16$ ($Kc > 1$ cuenca irregular a, menos susceptible a inundaciones), pendiente 15.36% y longitud del río 3.48km.
- Los caudales para diferentes duraciones y periodos de retorno fueron calculados en base a los datos de Intensidades de precipitación, para diferentes duraciones y periodos de retorno (IDF) descargados de la página del SENAMHI, como se indica en la tabla 30.

Periodo de Retorno	años	5	10	30	50	75	100	139	200	500
Intensidad	mm/hr	87.34	98.95	120.59	132.20	142.21	149.77	158.92	169.67	200.10
Qmáx	m ³ /seg	55.13	62.46	76.11	83.44	89.76	94.53	100.30	107.09	126.29

- Mediante el Método del Polígono de Thysen se determinó que la estación Sihuas es la única que tiene incidencia directa sobre la cuenca de Shilla.
- Se determinó de la duración de la lluvia con la ecuación de KIRPICH obteniendo una intensidad de 158.92mm/hr y el caudal máximo de 100.30 m³/seg. para el periodo de retorno de 139 años.
- Mediante la simulación hidráulica en HEC-RAS 6.3.1 se determinó el valor de la socavación en el puente Shilla, para diferentes periodos de retorno, así para un retorno de 139años, el valor de la socavación será de 1.259m, con lo cual el estribo requerirá protección.

5.2 Recomendaciones

- Recomendamos el empleo del Método del Polígono de Thysen para la selección de la estación de influencia en cuencas.
- Se recomienda trabajar con los datos obtenidos para períodos de retorno de 139 y 500 años, según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Se recomienda utilizar el Manual para el diseño de puentes conjuntamente con el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- En base a la investigación realizada, recomendamos la protección de los pilares del Puente Shilla mediante muros de gaviones, así como la construcción inmediata del tablero del puente.
- Se recomienda mantener limpio el cauce de la quebrada para evitar el desbordamiento de nivel de agua en periodos de lluvia.

Capítulo VI

Referencias Bibliográficas

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Agus, I., Alwys, M., Wisafri, W., Dalrino, D., Yolanda, N., & Yani, W. (2020). Scour Depth Estimation on Abutment With HEC RAS and Some Empirical Equation. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 17(1), 87–95. <https://doi.org/10.30630/jirs.17.1.271>
- Almonte Pilco, N., & De La Cruz Vega, S. (2021). Evaluación y diseño de protección frente a la socavación hidráulica del puente Unocolla, Juliaca – Puno. *TAYACAJA*, 4(2), 164–166. <https://doi.org/10.46908/tayacaja.v4i2.187>
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2014). *Flood Resistant Design and Construction*. ASCE Standard ASCE/SEI 24-14.
- Badillo, J. (2005). *Mecánica de Suelos*. México D.F: Editorial Limusa, S.A DE C.V
- Brown, J., & Green, R. (2021). *Ecosistemas acuáticos y terrestres en cuencas hidrográficas*. Editorial Ambiental.
- Bento, AM, Gomes, A., Viseu, T., Couto, L., & Pêgo, JP (2020). Metodología basada en riesgos para el análisis de erosión en cimentaciones de puentes. *Engineering Structures* , 223. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111115>
- Castillo G. & Ramírez S., (2022) Estudio hidrológico e hidráulico para el diseño del puente Pucayacu, localizado en el tramo: Mayocc – Huanta en la progresiva 3+200, aplicando los softwares HEC-HMS e Iber V2.0
- Publisher Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- de Shilla, M. D. (2019). PLAN DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES 2021 -2023 DEL DISTRITO DE SHILLA, PROVINCIA DE CARHUAZ, REGIÓN ANCASH.
http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//11515_plan-de-
-

[prevencion-y-reduccion-del-riesgo-de-desastres-2021-2023-del-distrito-de-shilla-provincia-de-carhuaz-ancash.pdf](#)

Descarga de datos Meteorológicos a nivel nacional. (s/f). www.SENAMHI.GOB.PE.

Recuperado el 8 de verano de 2022, de

<https://www.SENAMHI.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

Esteves, M. (2018). Evaluación de métodos para el cálculo de la socavación en puentes. Caso del puente sobre el río Shanusi en el distrito de Yurimaguas, provincia del Alto Amazonas, 2018. Lexus. Retrieved from http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12026/Esteves_Diaz%2CManuel_Angel_Neil.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Felipe, E. (2016). Socavación producida por el río Huallaga al puente Colpa Alta en la provincia de Huánuco, utilizando los Métodos de Artamanov, Straub y Maza, en el HEC-RAS (Tesis de Máster en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial). Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2627/MAS_ICIV-L_035.pdf

Gálvez, J. J. O. (2011). ¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA? Sociedad Geográfica de Lima.

Guillen, A. H. & Gálvez A, C. (2019). Evaluación de la socavación producida en pilares y estribos del puente libertad causado por el fenómeno el niño distrito de Guadalupe, La Libertad - 2019 (Trabajo de investigación). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/22298>

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2020). *Manual de Gestión de Riesgos de Desastres*. Lima, Perú: INDECI.

Jones, P. (2019). *Gestión de cuencas hidrológicas*. Springer.

- Martínez, A. (2022). Glosario de términos geográficos y geomorfológicos. Editorial Académica Española.
- Maza-Sócola, J. (2019). Análisis del comportamiento Hidráulico del río Piura, en el tramo Los Ejidos – Puente Independencia. Universidad de Piura. Retrieved from https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4094/ICI_280.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttps://hdl.handle.net/11042/4094
- M. Das, B. (1999). Principios de Ingeniería de Cimentaciones. México: International Thomson Editorial
- Mehta, D. J., & Yadav, S. M. (2020). Analysis of scour depth in the case of parallel bridges using HEC-RAS. *Water Science and Technology: Water Supply*, 20(8), 3419–3432. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.255>
- Miller, T. (2018). Características y procesos de cuencas hidrográficas. Routledge.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (2011) Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC). (2018). *Normas Técnicas de Diseño de Puentes*. Lima, Perú: MTC.
- Mijares, F. J. (1989). Fundamentos de hidrología de superficie. México: Editorial Limusa, S.A DE C.V
- Muñoz, M. (15 de enero de 2007). redalyc. Obtenido de redalyc: <http://www.redalyc.org/pdf/2311/231117589003.pdf>
- Nalvarte, R. A. (2014). HIDRÁULICA FLUVIAL. Fondo Editorial - UNALM. X.
- Noor, M., Arshad, H., Khan, M., Khan, M. A., Aslam, M. S., & Ahmad, A. (2020). Experimental and HEC-RAS modelling of bridge pier scouring. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 74(1), 119–132. <https://doi.org/10.37934/ARFMTS.74.1.119132>
-

- Peru, G. G. (s/f). GEO GPS PE. www.geogpsperu.com/. Recuperado el 7 de octubre de 2022, de <https://www.geogpsperu.com/2013/09/cuadro-de-empalme-de-la-cartografia.html>
- ¿Qué es ArcGIS? (s/f). ArcGIS Resources. Recuperado el 10 de junio de 2022, de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Rincón Ortiz J. (2014) Evaluación hidráulica de un puente sobre una quebrada con régimen mixto y lecho móvil. Decanato de Ing. Civil, UCLA, Venezuela
- Rodríguez, D. A. L. M. (febrero de 2016). Identificación de modelos estadísticos para la regionalización de los caudales máximos de la cuenca Magdalena-Cauca. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Román, F. J. S. (2022). HEC-HMS. Manual elemental. Ediciones Universidad Salamanca. <http://hidrologia.usal.es>
- Rosales-Cueva, A. D.-S. E. G.-P. (Ed.). (2020). Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la granulometría en el río Santa (Vol. 27).
Revista Ingeniería UC.
<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v27n3/art07.pdf#chapter.1>
- Sáenz, G. M. (1999). Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Serquén, A. R. (2012). *PUENTES Con AASHTO-LRFD*. Fifth Edition.
- Smith, A. (2020). Definición y límites de cuencas hidrográficas. Oxford University Press.
- S. Nania, L. (16 de febrero de 2007). Universidad de Granada. Obtenido de Universidad de Granada:
http://www.urbanismogranada.com/administrador/archivos/04_10_07_ManualB_sico_HEC-RAS313_HEC-GeoRAS311_Espa_ol.pd_f.pdf
-

Schaap, HS y Caner, A. (2022). Puente se derrumba en Turquía: causas y remedios. *Ingeniería de estructuras e infraestructuras*, 18 (5), 694–709. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1867198>.

(S/f-c). SIGRID CENEPRED. Recuperado el 10 de octubre de 2022, de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/mapa?xmin=-77.6524062362581&ymin=-9.25226047683873&xmax=-77.4904603619555&yymax=-9.08191235177281>

(S/f-c). IDESEP SENAMHI. Recuperado el 10 de octubre de 2022, de <https://idesepe.senamhi.gob.pe/dhi-idf/>

Vilchez Cerna, J. H., & Toledo Mejía, W. L. (2018). Alternativas de solución para prevenir la socavación en el río Rímac, entre los puentes Libertadores y Talavera, distrito de El Agustino. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Retrieved from <http://hdl.handle.net/10757/624786>

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA
Tabla 38
Matriz de consistencia

	Pregunta de Investigación	Objetivos	Hipótesis	Variabes
Título “EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA _ CARHUAZ 2022”	¿Cuál es la situación hidráulica del puente Shilla sobre la quebrada Ulta _ Carhuaz?	Realiza la Evaluación Hidráulica del puente Shilla sobre la quebrada Ulta _ Carhuaz aplicando la modelación en HEC RAS.	El modelamiento de la quebrada Ulta en HEC RAS permite realizar la evaluación Hidráulica del puente Shilla.	Variable Independiente: Evaluación Hidráulica en HEC RAS
	¿Cuáles son las características geotécnicas del rio Ulta? ?	Determinar las características geotécnicas del rio Ulta.	Las características geotécnicas del rio Ulta determinan el tipo de suelo predominante en un río.	
	¿Cómo es la topografía de la quebrada Ulta?	Realizar el levantamiento topográficos de la quebrada Ulta _ Carhuaz	Mediante el levantamiento topográfico se determina la superficie de la cuenca.	
	¿Cuáles son los parámetros geomorfológicos de la quebrada Ulta _ Carhuaz,?	Determinar parámetros geomorfológicos de la quebrada Ulta _ Carhuaz,	Los parámetros geomorfológicos de la quebrada Ulta establecen el tipo de suelo de la cuenca.	Variable dependiente: Puente Shilla sobre la quebrada Ulta _ Carhuaz
	¿Qué Parámetros hidrológicos e hidráulicos requiere la aplicación HEC-RAS ?	Determinar los parámetros hidrológicos e hidráulicos de la quebrada Ulta _ Carhuaz para la modelación en HEC RAS.	Los parámetros hidrológicos e hidráulicos de la quebrada Ulta _ Carhuaz permiten la modelación en HEC RAS.	
	Qué tipo de condiciones hidráulicas proporciona la modelación en HEC RAS para la evaluación de puentes	Determinar las condiciones críticas de diseño del Puente Shilla mediante la aplicación del software HEC- RAS	Mediante la aplicación del software HEC- RAS se determinan las condiciones críticas de diseño	

ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES
Tabla 39
Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Métodos
Variable Independiente: Quebrada Ulta	Quebrada El término quebrada define a un desfiladero, abertura o valle estrecho y escarpado que, encajonado, diseca relieves positivos o discurre entre montañas, formando una hondonada profunda cuyas laderas "caen" abruptamente hacia el fondo.	Se realizará la modelación en HEC RAS de la quebrada Ulta _ Carhuaz para realizar la evaluación hidráulica.	Estudio Topografía	Secciones Transversales	m	Medición directa
			Estudio Hidrológico	Longitud del Cauce	Km	Observación
				Área de la Cuenca	Km ²	
				Caudal	m ³ /s	Excel
				Pendiente	m/m	AutoCAD civil 3d ARCGIS
				Periodo de retorno	Años	
				Perímetro de la cuenca	Km	Modelamiento hidráulico HEC RAS
			Estudio Geotécnico	Coeficiente de Uniformidad	m/m	
Coeficiente de Curvatura	m/m					
Variable dependiente: Puente Shilla	Puente: Construcción que se levanta sobre una depresión del terreno (río, canal, foso, etc.) o en otro sitio para comunicar dos lados.	Se analizará la subestructura del Puente Shilla mediante la modelación en HEC RAS	Ancho estable	B	m	Medición directa
			Tirante de agua	y	m	
			Dimensiones	Altura	m	Modelamiento hidráulico HEC RAS
			Socavación general y local	Profundidad	m	

ANEXO 3: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS Y CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA CON HYDROGNOMON

Figura 25

Gráfico Serie Anual Precipitaciones Máximas Estación Sihuas

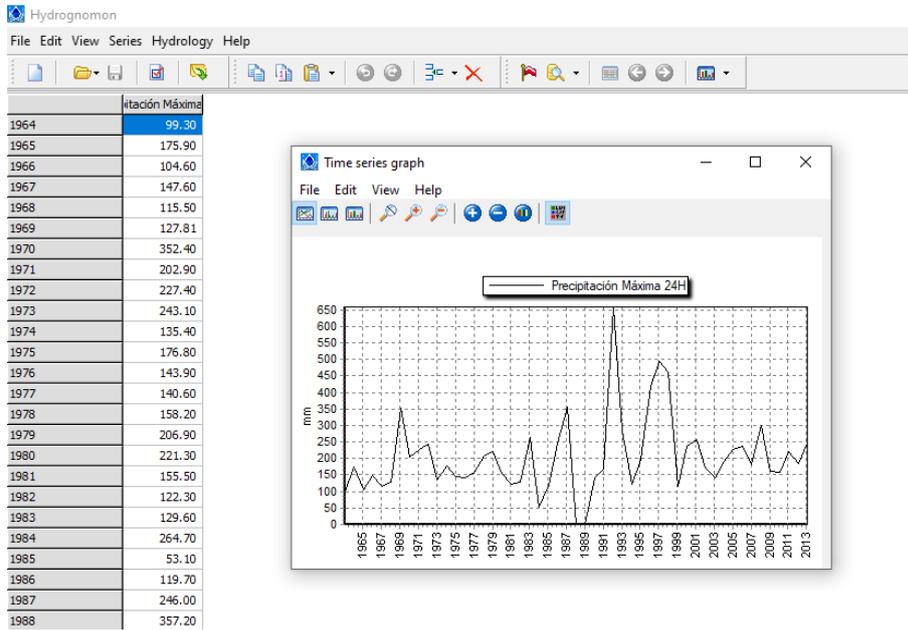


Figura 26

Gráfico de Barras Serie Anual Precipitaciones Máximas Estación Sihuas

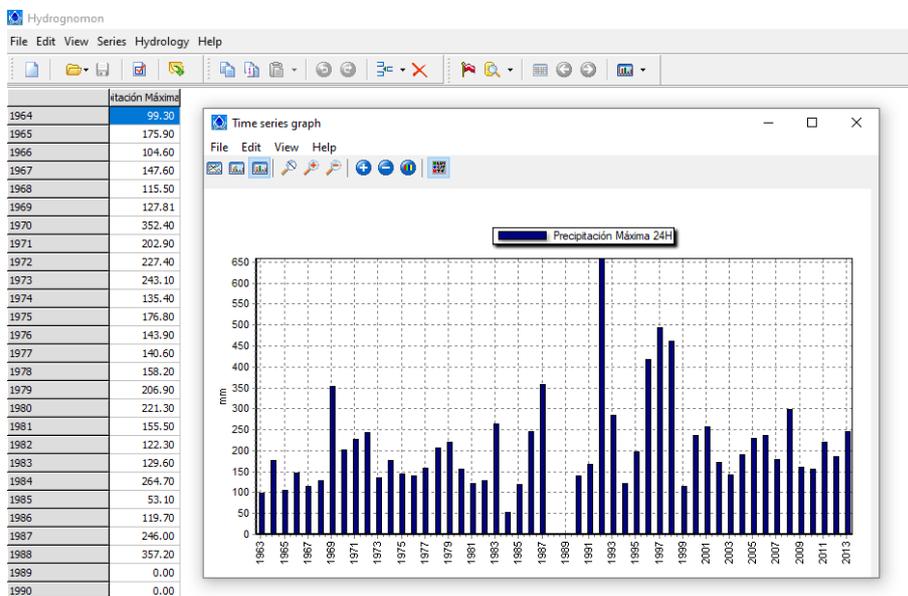


Figura 27

Grafico de Distribución Normal Precipitaciones Máximas Estación Sihuas

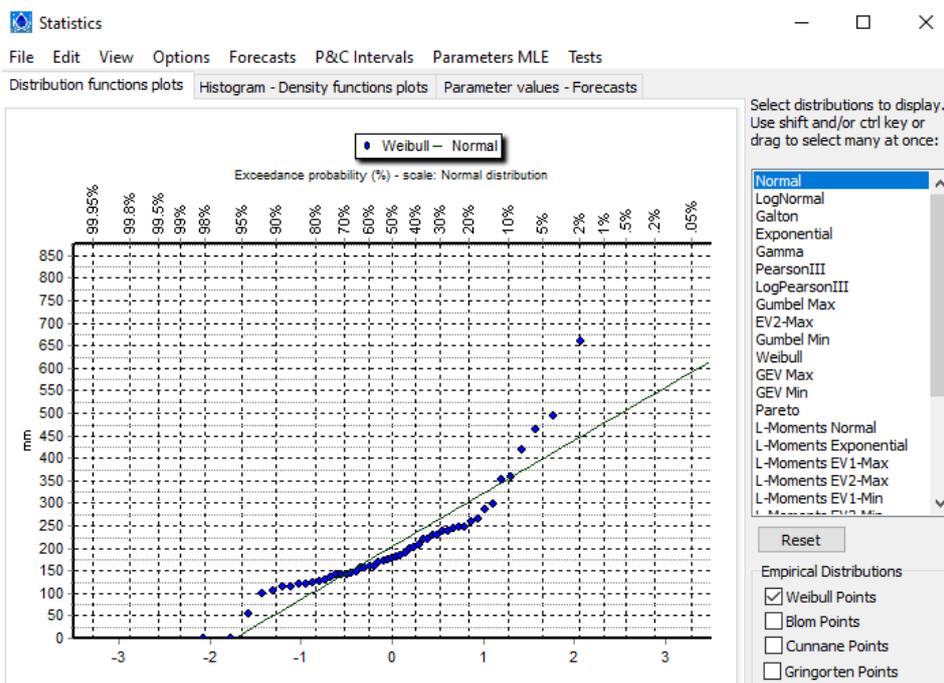


Figura 28

Grafico de Distribución LogNormal Precipitaciones Máximas Estación Sihuas

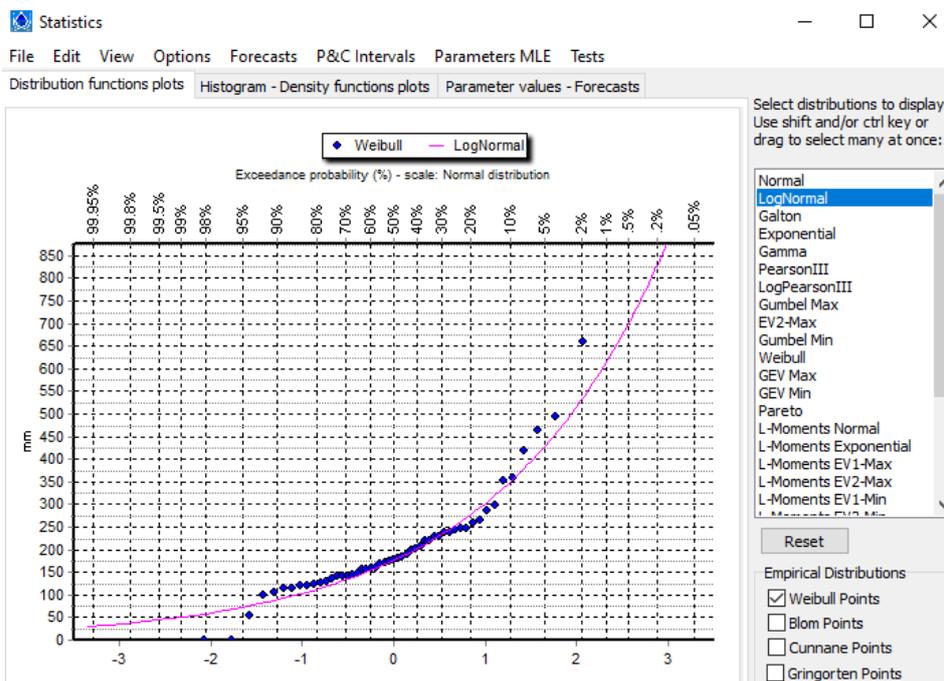


Figura 29

Gráfico de Distribución Pearson III Precipitaciones Máximas Estación Sihuas

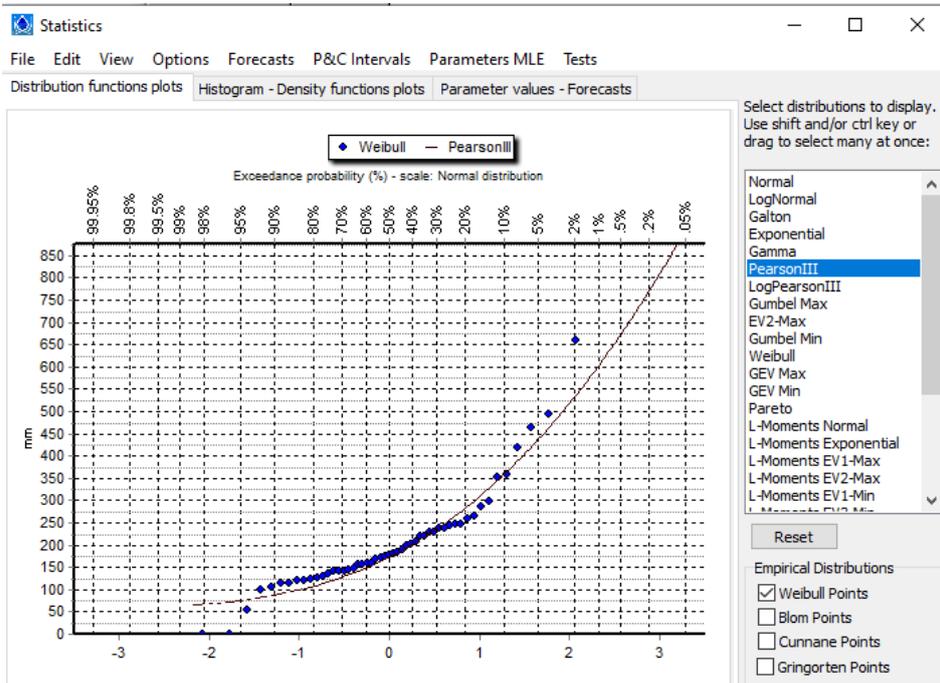


Figura 30

Gráfico de Distribución LogPearson III Precipitaciones Máximas Estación Sihuas

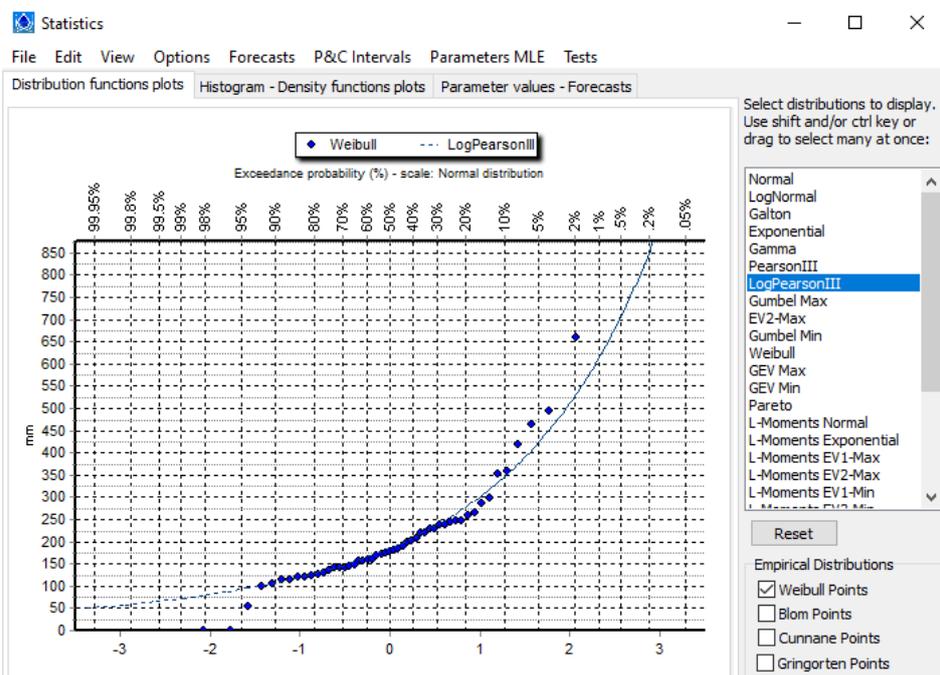


Figura 31

Grafico de Distribución Gumbel Max Precipitaciones Máximas Estación Sihuas

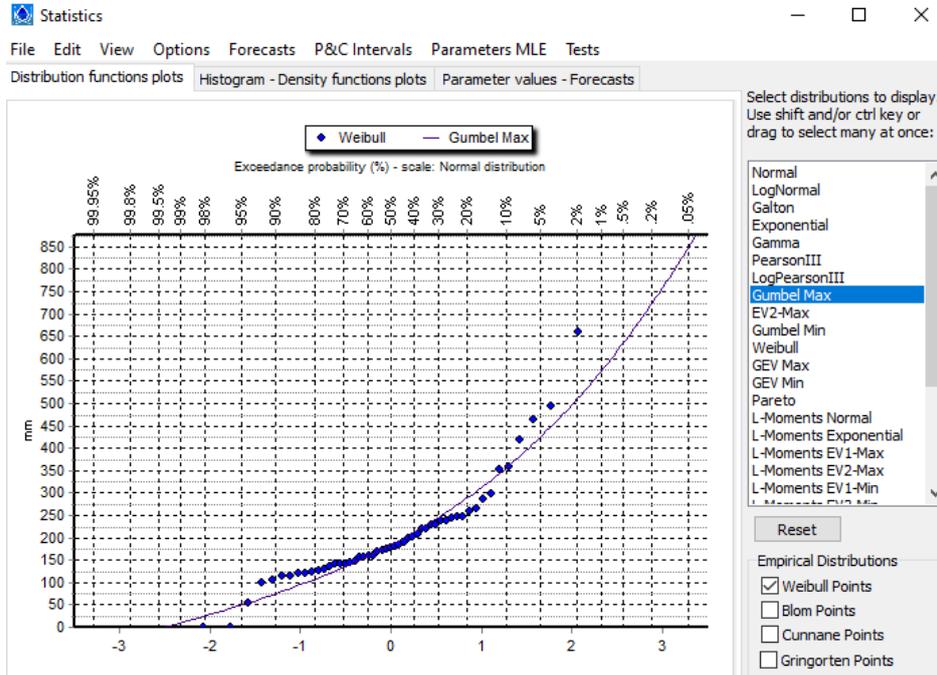


Figura 32

Grafico de Distribución Gev Max Precipitaciones Máximas Estación Sihuas

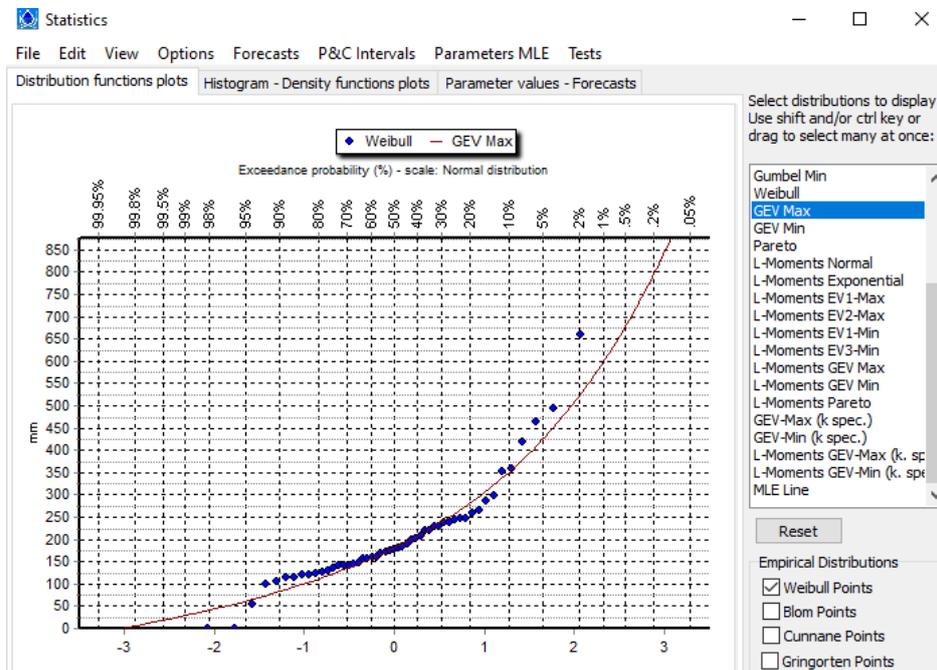


Figura 33

Resultados Test Kolmogorov – Smirnov de las Max Precipitaciones Estación Sihuas

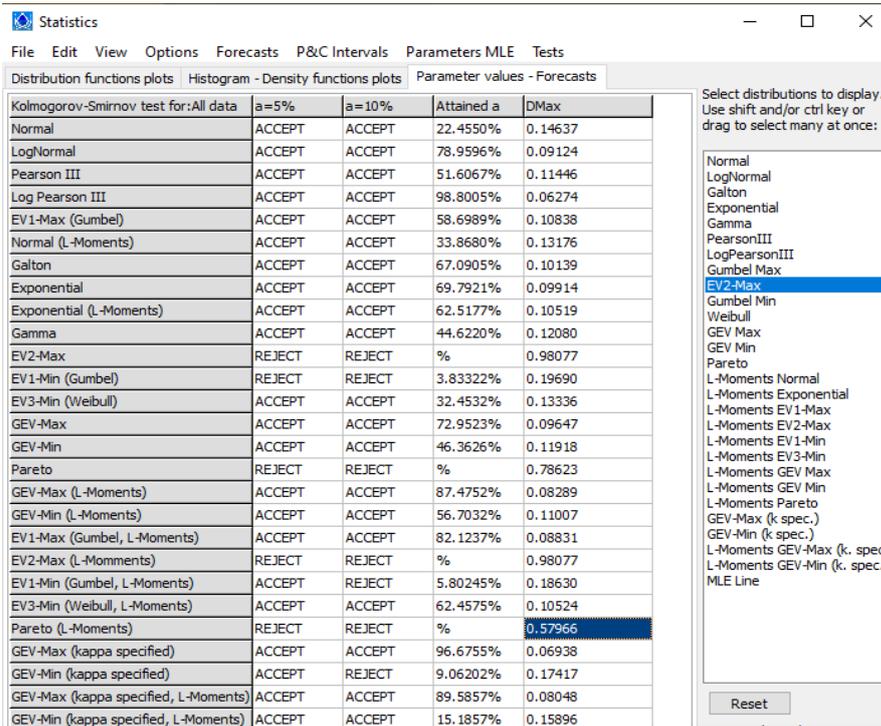


Figura 34

Resultados Test Chi cuadrado Precipitaciones Máximas Estación Sihuas

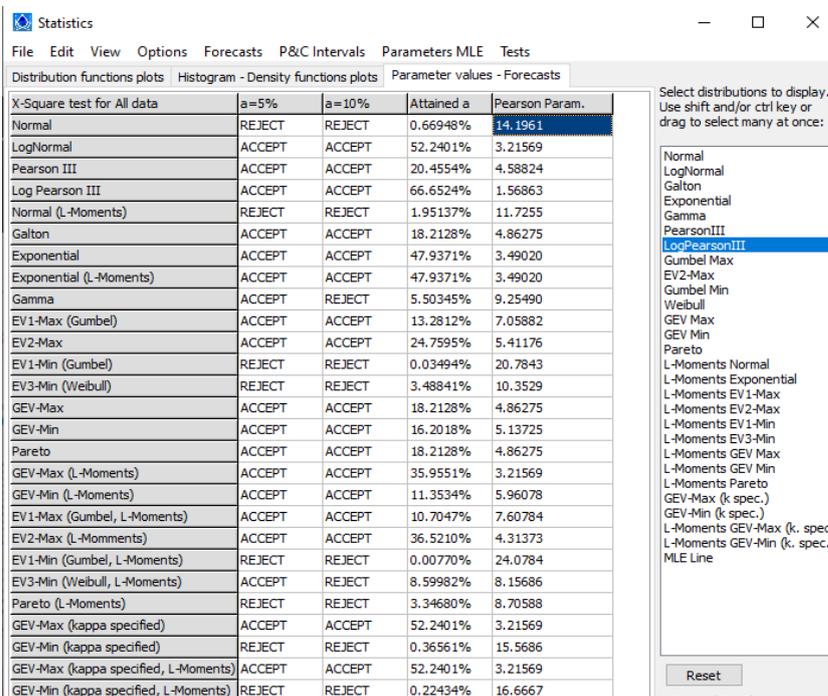


Figura 35

Grafico de Distribución LogNormal, Pearson III, LogPearson II y Gumble Max de Precipitaciones Máximas Estación Sihuas

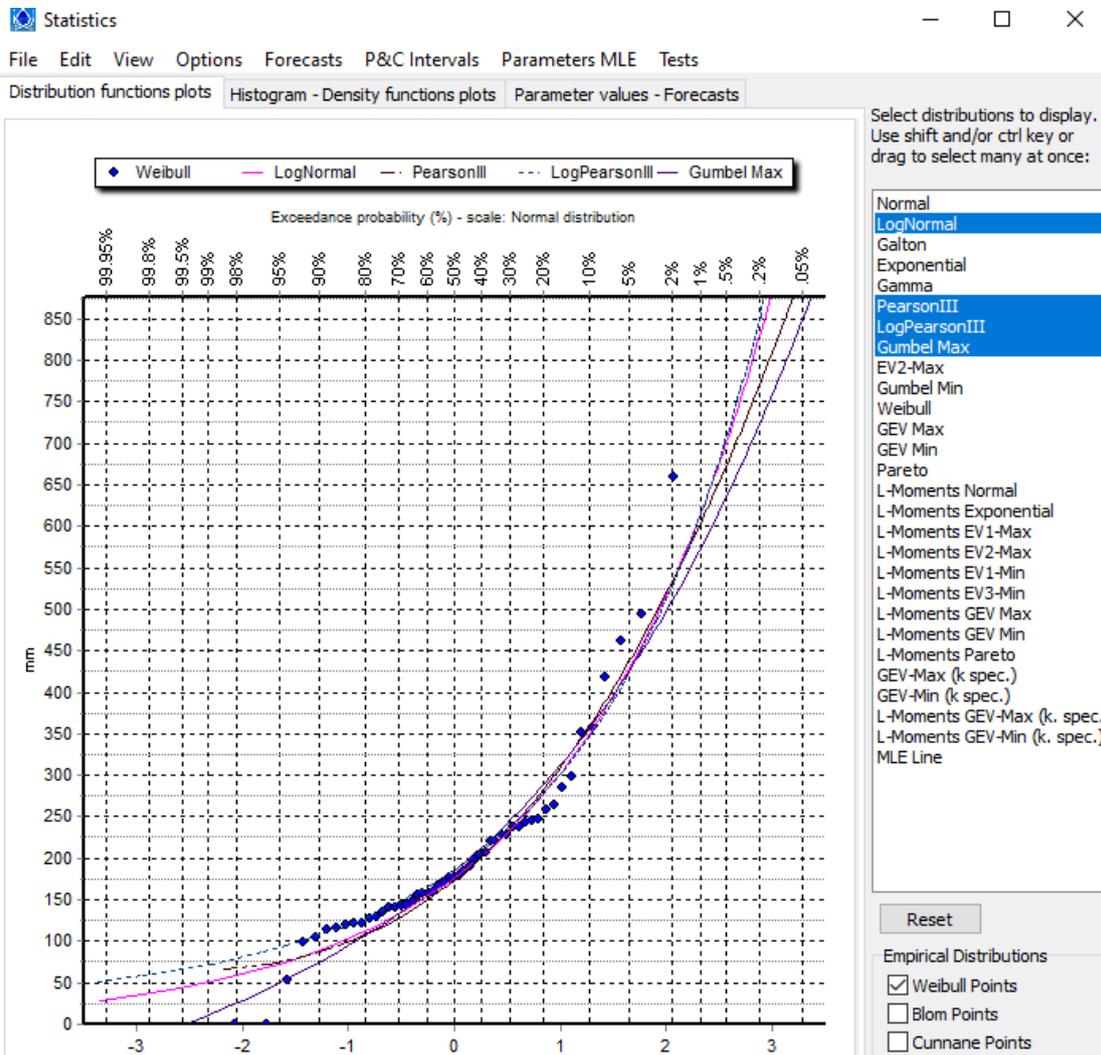


Figura 36

Datos de la Precipitación Máxima – Sihuas, para periodo de retorno de 2 años

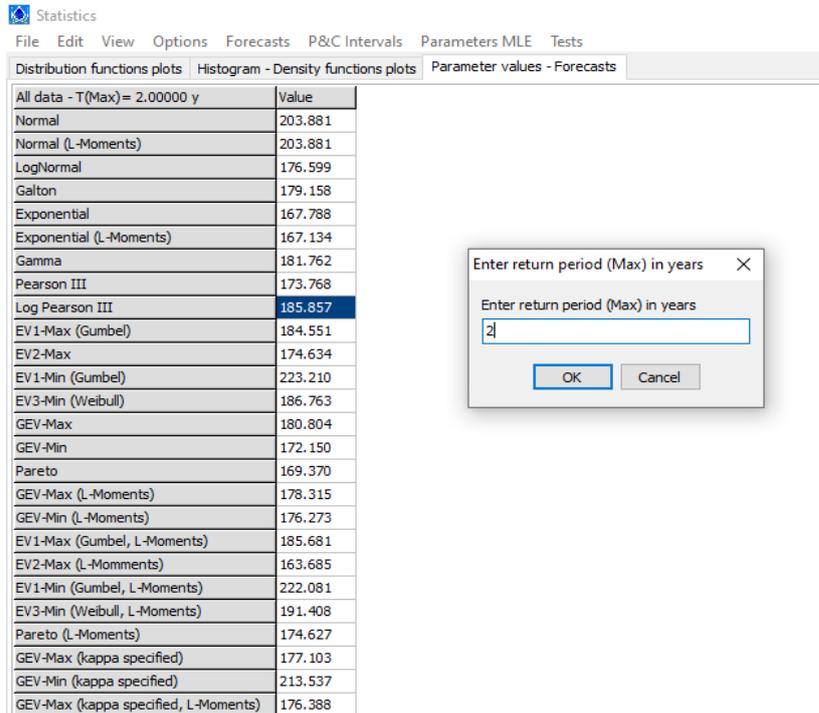


Figura 37

Datos de la Precipitación Máxima para periodo de retorno de 5 años

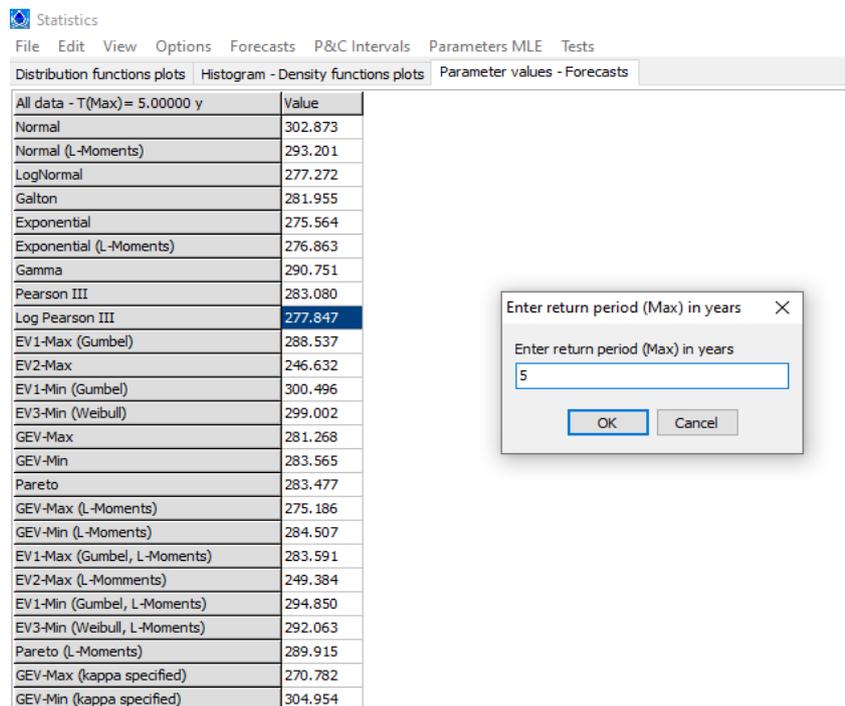
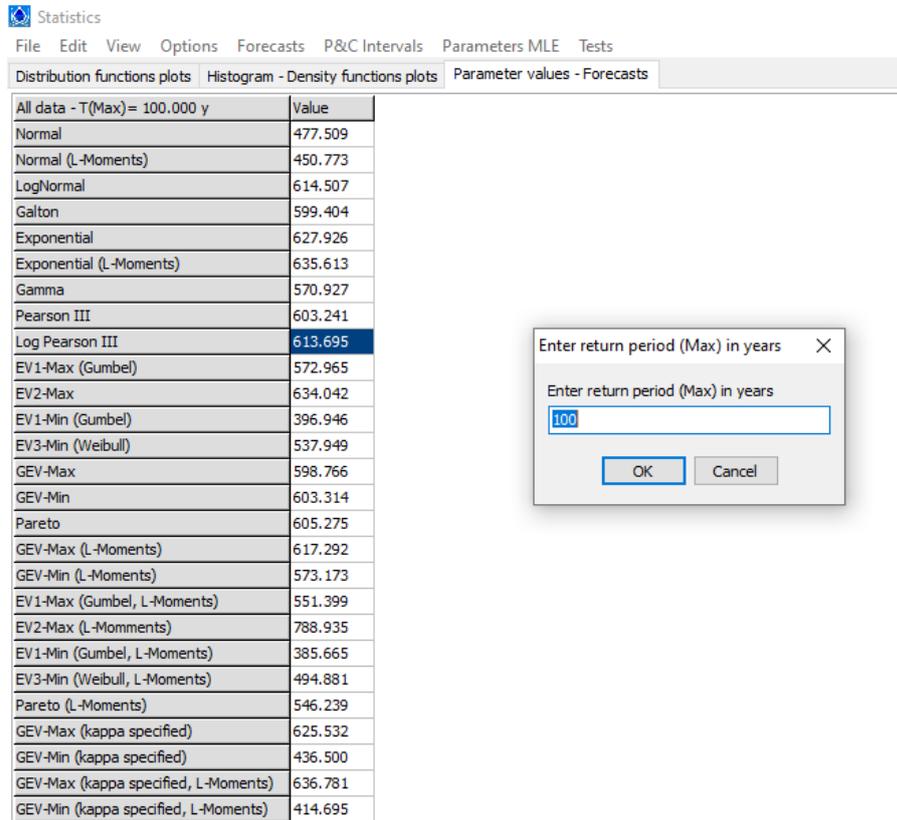


Figura 38
Datos de la Precipitación Máxima para periodo de retorno de 100 años

Tabla 40
Resumen cálculo de las precipitaciones diarias máximas para distintas frecuencias

Periodo Retornos	Variable reducida	Precipitación mm	Probabilidad ocurrencia	Corrección intervalo
Años (n)	Y1	X (máx)	F (xi)	X2 (máx)
2	0.36651	185.857	0.5000	210.01841
5	1.49994	277.847	0.8000	313.96711
10	2.25037	347.462	0.9000	392.63206
25	3.19853	445.601	0.9600	503.52913
50	3.90194	526.304	0.9800	594.72352
100	4.60015	613.695	0.9900	693.47535
200	5.29581	708.642	0.9950	800.76546
500	6.21361	847.156	0.9980	957.28628
1000	6.90726	962.841	0.9990	1088.01033
10000	9.21029	1426.51	0.9999	1611.9563

$$Y_1 = -Ln(Ln\left(\frac{n}{n-1}\right))$$

$$F_{(xi)} = \frac{n-1}{n}$$

X_{max} = Datos del Hidrognomon

X_{2max} = $X_{máx}$ * Factor de ajuste

Factor de ajuste = 1.13 porque el valor de la precipitación máxima es un valor observado en un día.

Dado que los datos de precipitación de lluvia son obtenidos a horas de observación fijas (por ejemplo, horas enteras), no siempre permitirán conocer las cantidades máximas verdaderas durante el período deseado. Así, por ejemplo, estudios efectuados a partir de millares de años-estación de datos de precipitación de lluvia indican que, multiplicando por 1,13 las cantidades máximas anuales de lluvia horarias o diarias de un único intervalo de observación fijo comprendido entre 1 y 24 horas, se obtendrán valores cercanos a los obtenidos mediante un análisis de máximos verdaderos. Los ajustes serán menores si lo que se desea determinar son las cantidades máximas observadas para dos o más intervalos de observación fijos, como se indica en la tabla II.5.5 (Consejo Nacional de Investigación de Canadá, 1989).

Tabla 41

Factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria

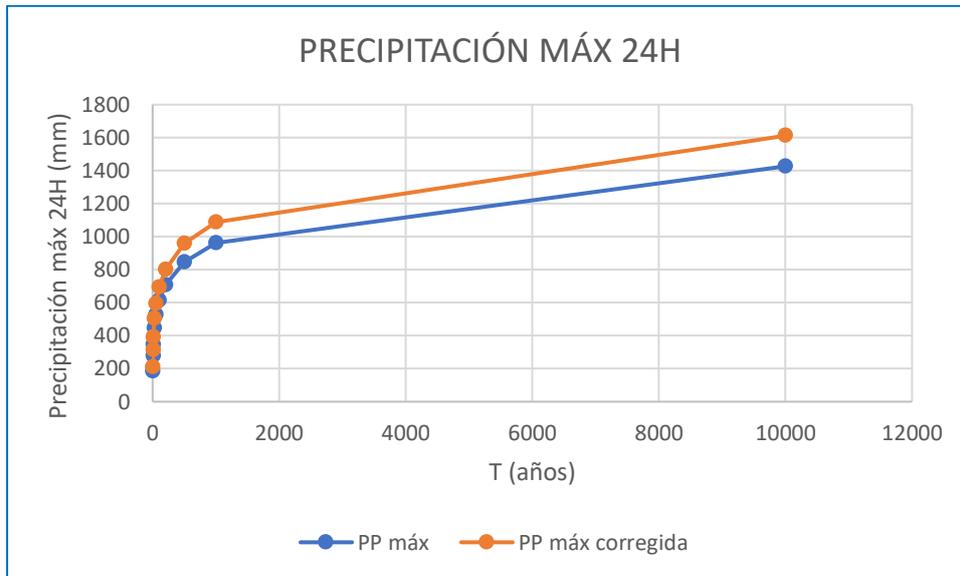
Número de observaciones /día	1	2	3-4	5-8	9-24	> 24
Factor de ajuste	1,13	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

Fuente: Guía de prácticas hidrológicas Volumen II Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas OMM-Nº 168

Factor de ajuste = 1.13 porque el valor de la precipitación máxima es un valor observado en un día.

Figura 39

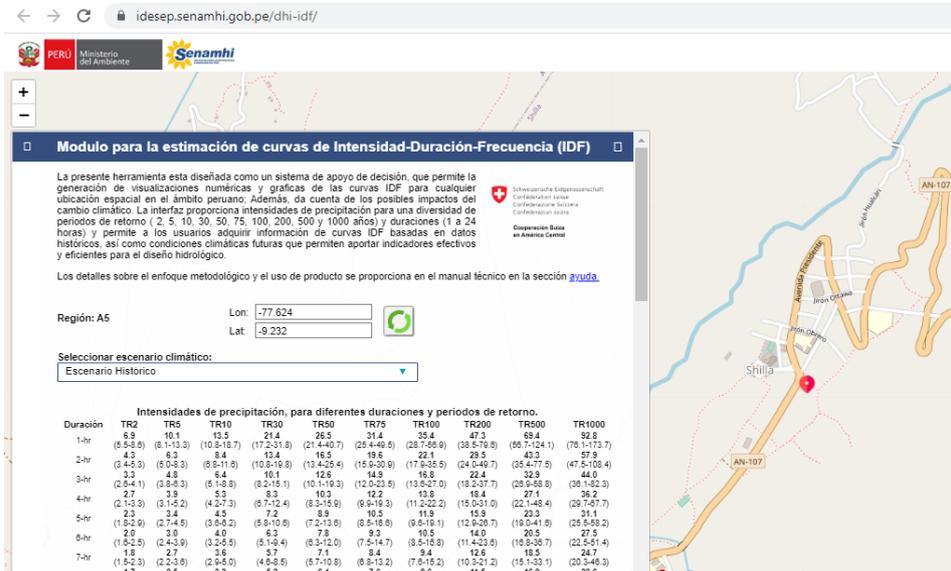
Precipitación Máxima de 24H



ANEXO 4: CÁLCULO DE CAUDALES PARA DIFERENTES DURACIONES Y PERIODOS DE RETORNO

Figura 40

Modulo para la estimación de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)



Vista de la herramienta diseñada como un sistema de apoyo de decisión, que permite la generación de visualizaciones numéricas y graficas de las curvas IDF para cualquier ubicación espacial en Perú. De éste Módulo, se realizó la descarga de la Tabla 44.

Figura 41

Curva Duración - frecuencia en diferentes periodos de retorno

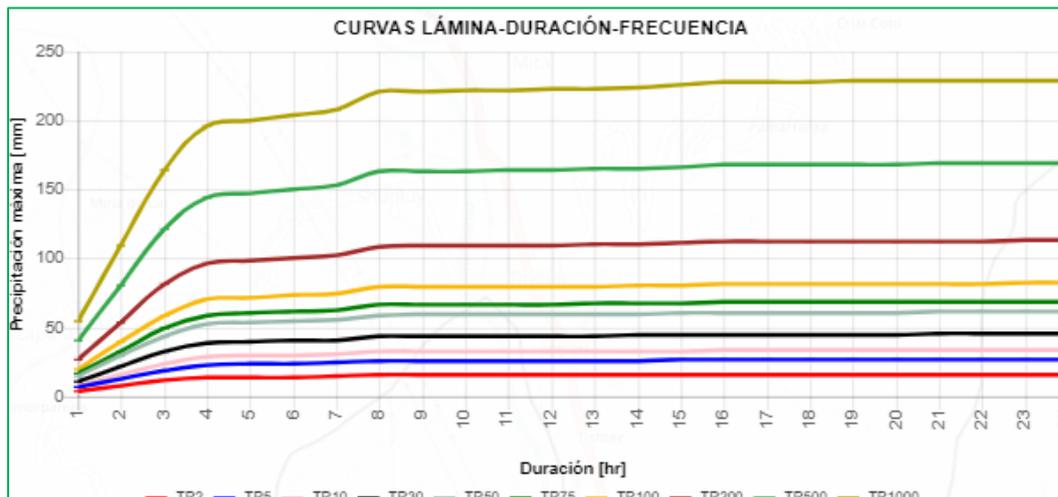


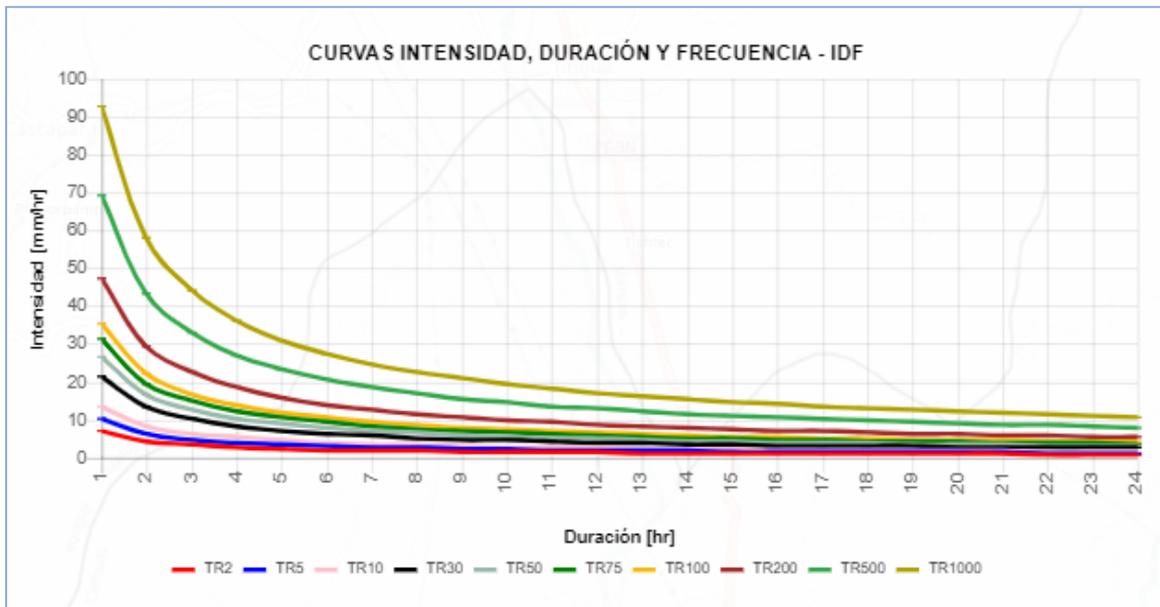
Tabla 42
Intensidades de precipitación, para diferentes duraciones y periodos de retorno

Duración	TR2	TR5	TR10	TR30	TR50	TR75	TR100	TR200	TR500	TR1000
1-hr	6.9(5.5-8.6)	10.1(8.1-13.3)	13.5(10.8-18.7)	21.4(17.2-31.8)	26.5(21.4-40.7)	31.4(25.4-49.5)	35.4(28.7-56.9)	47.3(38.5-79.6)	124.1	173.7)
2-hr	4.3(3.4-5.3)	6.3(5.0-8.3)	8.4(6.8-11.6)	13.4(10.8-19.8)	16.5(13.4-25.4)	19.6(15.9-30.9)	22.1(17.9-35.5)	29.5(24.0-49.7)	43.3(35.4-77.5)	108.4)
3-hr	3.3(2.6-4.1)	4.8(3.8-6.3)	6.4(5.1-8.8)	10.1(8.2-15.1)	12.6(10.1-19.3)	14.9(12.0-23.5)	16.8(13.6-27.0)	22.4(18.2-37.7)	32.9(26.9-58.8)	44.0(36.1-82.3)
4-hr	2.7(2.1-3.3)	3.9(3.1-5.2)	5.3(4.2-7.3)	8.3(6.7-12.4)	10.3(8.3-15.9)	12.2(9.9-19.3)	13.8(11.2-22.2)	18.4(15.0-31.0)	27.1(22.1-48.4)	36.2(29.7-67.7)
5-hr	2.3(1.8-2.9)	3.4(2.7-4.5)	4.5(3.6-6.2)	7.2(5.8-10.6)	8.9(7.2-13.6)	10.5(8.5-16.6)	11.9(9.6-19.1)	15.9(12.9-26.7)	23.3(19.0-41.6)	31.1(25.5-58.2)
6-hr	2.0(1.6-2.5)	3.0(2.4-3.9)	4.0(3.2-5.5)	6.3(5.1-9.4)	7.8(6.3-12.0)	9.3(7.5-14.7)	10.5(8.5-16.8)	14.0(11.4-23.6)	20.5(16.8-36.7)	27.5(22.5-51.4)
7-hr	1.8(1.5-2.3)	2.7(2.2-3.6)	3.6(2.9-5.0)	5.7(4.6-8.5)	7.1(5.7-10.8)	8.4(6.8-13.2)	9.4(7.6-15.2)	12.6(10.3-21.2)	18.5(15.1-33.1)	24.7(20.3-46.3)
8-hr	1.7(1.3-2.1)	2.5(2.0-3.2)	3.3(2.6-4.5)	5.2(4.2-7.7)	6.4(5.2-9.9)	7.6(6.2-12.1)	8.6(7.0-13.9)	11.5(9.4-19.4)	16.9(13.8-30.2)	22.6(18.5-42.3)
9-hr	1.5(1.2-1.9)	2.3(1.8-3.0)	3.0(2.4-4.2)	4.8(3.9-7.1)	6.0(4.8-9.1)	7.1(5.7-11.1)	8.0(6.4-12.8)	10.6(8.6-17.9)	15.6(12.7-27.9)	20.8(17.1-39.0)
10-hr	1.4(1.1-1.8)	2.1(1.7-2.8)	2.8(2.3-3.9)	4.5(3.6-6.6)	5.5(4.5-8.5)	6.6(5.3-10.4)	7.4(6.0-11.9)	9.9(8.0-16.7)	14.5(11.9-26.0)	19.4(15.9-36.3)
11-hr	1.4(1.1-1.7)	2.0(1.6-2.6)	2.6(2.1-3.7)	4.2(3.4-6.2)	5.2(4.2-8.0)	6.2(5.0-9.7)	6.9(5.6-11.2)	9.3(7.5-15.6)	13.6(11.1-24.3)	18.2(14.9-34.1)
12-hr	1.3(1.0-1.6)	1.9(1.5-2.5)	2.5(2.0-3.4)	4.0(3.2-5.9)	4.9(4.0-7.5)	5.8(4.7-9.2)	6.5(5.3-10.5)	8.7(7.1-14.7)	12.8(10.5-22.9)	17.1(14.1-32.1)
13-hr	1.2(1.0-1.5)	1.8(1.4-2.3)	2.4(1.9-3.3)	3.7(3.0-5.6)	4.6(3.7-7.1)	5.5(4.4-8.7)	6.2(5.0-10.0)	8.3(6.7-13.9)	12.2(9.9-21.7)	16.2(13.3-30.4)
14-hr	1.1(0.9-1.4)	1.7(1.3-2.2)	2.2(1.8-3.1)	3.6(2.9-5.3)	4.4(3.6-6.8)	5.2(4.2-8.2)	5.9(4.8-9.5)	7.9(6.4-13.3)	11.6(9.4-20.7)	15.4(12.7-28.9)
15-hr	1.1(0.9-1.4)	1.6(1.3-2.1)	2.1(1.7-3.0)	3.4(2.7-5.0)	4.2(3.4-6.5)	5.0(4.0-7.9)	5.6(4.6-9.0)	7.5(6.1-12.6)	11.0(9.0-19.7)	14.7(12.1-27.6)
16-hr	1.0(0.8-1.3)	1.5(1.2-2.0)	2.1(1.6-2.8)	3.3(2.6-4.8)	4.0(3.3-6.2)	4.8(3.9-7.5)	5.4(4.4-8.7)	7.2(5.8-12.1)	10.6(8.6-18.9)	14.1(11.6-26.4)
17-hr	1.0(0.8-1.2)	1.5(1.2-1.9)	2.0(1.6-2.7)	3.1(2.5-4.6)	3.9(3.1-5.9)	4.6(3.7-7.2)	5.2(4.2-8.3)	6.9(5.6-11.6)	10.1(8.3-18.1)	13.5(11.1-25.3)
18-hr	1.0(0.8-1.2)	1.4(1.1-1.9)	1.9(1.5-2.6)	3.0(2.4-4.5)	3.7(3.0-5.7)	4.4(3.6-6.9)	5.0(4.0-8.0)	6.6(5.4-11.2)	9.7(8.0-17.4)	13.0(10.7-24.4)
19-hr	0.9(0.7-1.2)	1.4(1.1-1.8)	1.8(1.5-2.5)	2.9(2.3-4.3)	3.6(2.9-5.5)	4.2(3.4-6.7)	4.8(3.9-7.7)	6.4(5.2-10.8)	9.4(7.7-16.8)	12.5(10.3-23.5)
20-hr	0.9(0.7-1.1)	1.3(1.1-1.7)	1.8(1.4-2.4)	2.8(2.3-4.1)	3.5(2.8-5.3)	4.1(3.3-6.5)	4.6(3.7-7.4)	6.2(5.0-10.4)	9.1(7.4-16.2)	12.1(9.9-22.7)
21-hr	0.9(0.7-1.1)	1.3(1.0-1.7)	1.7(1.4-2.4)	2.7(2.2-4.0)	3.3(2.7-5.1)	4.0(3.2-6.3)	4.5(3.6-7.2)	6.0(4.9-10.1)	8.8(7.2-15.7)	11.7(9.6-21.9)
22-hr	0.8(0.7-1.0)	1.2(1.0-1.6)	1.7(1.3-2.3)	2.6(2.1-3.9)	3.2(2.6-5.0)	3.8(3.1-6.1)	4.3(3.5-7.0)	5.8(4.7-9.7)	8.5(6.9-15.2)	11.4(9.3-21.3)
23-hr	0.8(0.7-1.0)	1.2(1.0-1.6)	1.6(1.3-2.2)	2.5(2.0-3.8)	3.1(2.5-4.8)	3.7(3.0-5.9)	4.2(3.4-6.8)	5.6(4.6-9.5)	8.2(6.7-14.7)	11.0(9.0-20.6)
24-hr	0.8(0.6-1.0)	1.2(0.9-1.5)	1.6(1.2-2.2)	2.5(2.0-3.7)	3.1(2.5-4.7)	3.6(2.9-5.7)	4.1(3.3-6.6)	5.5(4.4-9.2)	8.0(6.5-14.3)	10.7(8.8-20.0)

 Fuente: <https://idesep.senamhi.gob.pe/dhi-idf/>

Figura 42

Curva S Intensidad, Duración y Frecuencia - IDF de diferentes periodos de retorno



Determinación de la duración de la lluvia con la ecuación de KIRPICH

$$T_c = 0.06628 * \left(\frac{d^{0.77}}{S_m^{0.385}} \right)$$

S_m = pendiente media = 15.36%

d =Long Cuenca = 3.48km

$C_{m\acute{a}x}$ = 4683.72m

$C_{m\acute{i}n}$ = 4149.01m

T_c =0.356hr = 21.37min

Determinamos la Intensidad

$$I = \frac{615 * T_r^{0.18}}{(D + 5)^{0.685}}$$

I =Intensidad de la lluvia en mm/h

T_r = Periodo de retorno en años

D = duración en minutos = T_c

Cálculo de caudales máximos para distintos periodos de retorno - Método Racional

Con los datos: $C_{pond} = 0.42$, $A = 5.41 \text{ km}^2$ y el valor de Intensidad de precipitación (Tabla

44) reemplazamos en la ecuación (α)

$$Q = \frac{C_{pond} * I * A}{3600} \quad (\alpha)$$

Tabla 43

Cálculo del Caudal Máximo para diferentes duraciones y periodos de retorno

Periodo de Retorno	años	2	5	10	30	50	75	100	139	200	500
Intensidad	mm/hr	74.06	87.34	98.95	120.59	132.20	142.21	149.77	158.92	169.67	200.10
Qmáx	m ³ /seg	46.75	55.13	62.46	76.11	83.44	89.76	94.53	100.30	107.09	126.29

Cálculo del caudal de la cuenca para diferentes duraciones y periodos de retorno aplicando la fórmula del método racional

Con los datos: $C_{pond} = 0.42$, $A = 5.41 \text{ km}^2$ y el valor de Intensidad de precipitación (Tabla

42) reemplazamos en la ecuación (α) y obtuvimos la **Tabla 44**.

Tabla 44
Cálculo de caudales para diferentes duraciones y periodos de retorno

Tiempo Hr	TR2	TR5	TR10	TR30	TR50	TR75	TR100	TR200	TR500	TR1000
1	4.355	6.375	8.521	13.507	16.726	19.819	22.343	29.854	43.803	58.572
2	2.714	3.976	5.302	8.458	10.414	12.371	13.949	18.619	27.330	36.545
3	2.083	3.030	4.039	6.375	7.953	9.404	10.604	14.138	20.765	27.771
4	1.704	2.462	3.345	5.239	6.501	7.700	8.710	11.613	17.105	22.848
5	1.452	2.146	2.840	4.544	5.617	6.627	7.511	10.036	14.706	19.629
6	1.262	1.894	2.525	3.976	4.923	5.870	6.627	8.836	12.939	17.357
7	1.136	1.704	2.272	3.598	4.481	5.302	5.933	7.953	11.677	15.590
8	1.073	1.578	2.083	3.282	4.039	4.797	5.428	7.258	10.667	14.264
9	0.947	1.452	1.894	3.030	3.787	4.481	5.049	6.690	9.846	13.128
10	0.884	1.325	1.767	2.840	3.471	4.166	4.671	6.249	9.152	12.245
11	0.884	1.262	1.641	2.651	3.282	3.913	4.355	5.870	8.584	11.487
12	0.821	1.199	1.578	2.525	3.093	3.661	4.103	5.491	8.079	10.793
13	0.757	1.136	1.515	2.335	2.903	3.471	3.913	5.239	7.700	10.225
14	0.694	1.073	1.389	2.272	2.777	3.282	3.724	4.986	7.322	9.720
15	0.694	1.010	1.325	2.146	2.651	3.156	3.535	4.734	6.943	9.278
16	0.631	0.947	1.325	2.083	2.525	3.030	3.408	4.544	6.690	8.899
17	0.631	0.947	1.262	1.957	2.462	2.903	3.282	4.355	6.375	8.521
18	0.631	0.884	1.199	1.894	2.335	2.777	3.156	4.166	6.122	8.205
19	0.568	0.884	1.136	1.830	2.272	2.651	3.030	4.039	5.933	7.890
20	0.568	0.821	1.136	1.767	2.209	2.588	2.903	3.913	5.744	7.637
21	0.568	0.821	1.073	1.704	2.083	2.525	2.840	3.787	5.554	7.385
22	0.505	0.757	1.073	1.641	2.020	2.398	2.714	3.661	5.365	7.195
23	0.505	0.757	1.010	1.578	1.957	2.335	2.651	3.535	5.176	6.943
24	0.505	0.757	1.010	1.578	1.957	2.272	2.588	3.471	5.049	6.753

ANEXO 5: PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA SHILLA
Tabla 45
Datos de Arc Map 10.8.1

AREA(Km2)	PERIMETRO(Km)
5.407	9.60
NOMBRE RIO	LONGITUD (Km)
ULTA	0.9389
ULTA	1.1890
1	0.9000
2	0.4528
	3.4807

Tabla 46
Características de la Cuenca

Ancho Medio			
CUENCA	A (Km2)	L (Km)	Am
Quebrada Ulta	5.61	3.481	1.554
Factor de Forma			
CUENCA	Am (Km ²)	L (Km)	Factor Forma
Quebrada Ulta	1.55	3.48	0.45
F < 1 CUENCA, SUJETA A MENOS CRECIENTES			
Índice de Compacidad			
CUENCA	P (Km)	A (Km ²)	KC
Quebrada Ulta	9.60	5.61	1.16
Kc > 1 CUENCA IRREGULAR A, MENOS SUCEPTIBLE A INUNDACIONES			
CUENCA	DENSIDAD DE DRENAJE		
Quebrada Ulta	Lt	3.4807	D_d=0.6437
	A	5.407	

Tabla 47
Curvas características de la cuenca

DATOS DE ARC MAP 10.8.1						
AREA (m ²)	AREA (Km ²)	ALTITUD			% ACUM	% ACUM
		MIN	MAX	PROM		
600553.969	0.60	4149.00879	4183.44287	4166.23	5.61	100.00
400369.313	0.40	4221.22803	4232.60645	4226.92	5.00	89.29
400369.313	0.40	4260.38184	4270.91113	4265.65	4.60	82.14
600553.969	0.60	4335.64063	4344.63379	4340.14	4.20	75.00
400369.313	0.40	4358.33203	4363.62109	4360.98	3.60	64.29
200184.656	0.20	4403.64307	4403.64307	4403.64	3.20	57.14
200184.656	0.20	4450.00000	4450.00000	4450.00	3.00	53.57
800738.626	0.80	4466.33301	4483.27734	4474.81	2.80	50.00
600553.969	0.60	4500.00000	4503.44727	4501.72	2.00	35.71
800738.626	0.80	4523.88525	4550.31397	4537.10	1.40	25.00
400369.313	0.40	4569.54102	4600.00000	4584.77	0.60	10.71
200184.656	0.20	4683.72315	4683.72315	4683.72	0.20	3.57

Tabla 48
Frecuencia de altitudes

ALTITUD	ÁREAS			%	
	PARCIALES	ACUMULADAS	QUE QUEDAN	AREA TOTAL	AREA Q' QUEDA
4149.01	0	0	5.61	0.00	100.00
4221.23	0.60	0.60	5.00	10.71	89.29
4260.38	0.40	1.00	4.60	7.14	82.14
4335.64	0.40	1.40	4.20	7.14	75.00
4358.33	0.60	2.00	3.60	10.71	64.29
4403.64	0.40	2.40	3.20	7.14	57.14
4450.00	0.20	2.60	3.00	3.57	53.57
4466.33	0.20	2.80	2.80	3.57	50.00
4500.00	0.80	3.60	2.00	14.29	35.71
4523.89	0.60	4.20	1.40	10.71	25.00
4569.54	0.80	5.00	0.60	14.29	10.71
4683.72	0.40	5.40	0.20	7.14	3.57
4683.72	0.20	5.61	0.00	3.57	0.00
TOTAL	5.61		TOTAL	64.29	

Tabla 49

Cálculo de la elevación media

ALTITUDES	ÁREA PARC (a)	ELEVACIÓN MEDIA (e)	(a) x (e)
4149.01	0	0	0
4221.23	0.60	4185	2513
4260.38	0.40	4241	1698
4335.64	0.40	4298	1721
4358.33	0.60	4347	2611
4403.64	0.40	4381	1754
4450.00	0.20	4427	886
4466.33	0.20	4458	892
4500.00	0.80	4483	3590
4523.89	0.60	4512	2710
4569.54	0.80	4547	3641
4683.72	0.40	4627	1852
4683.72	0.20	4684	938
TOTAL	5.61		24806

$$H_{med} = \frac{\sum(h_i \cdot S_i)}{A}$$

Hmed = Altitud media de la cuenca en msnm

hi

= Altitud media de cada tramo de área contenido entre las curvas de nivel

Si = Área contenida entre las curvas de nivel

A = Área total de la cuenca en km²

Hmed= 24806/5.61 = 4425

Tabla 50

Cálculo rectángulo equivalente

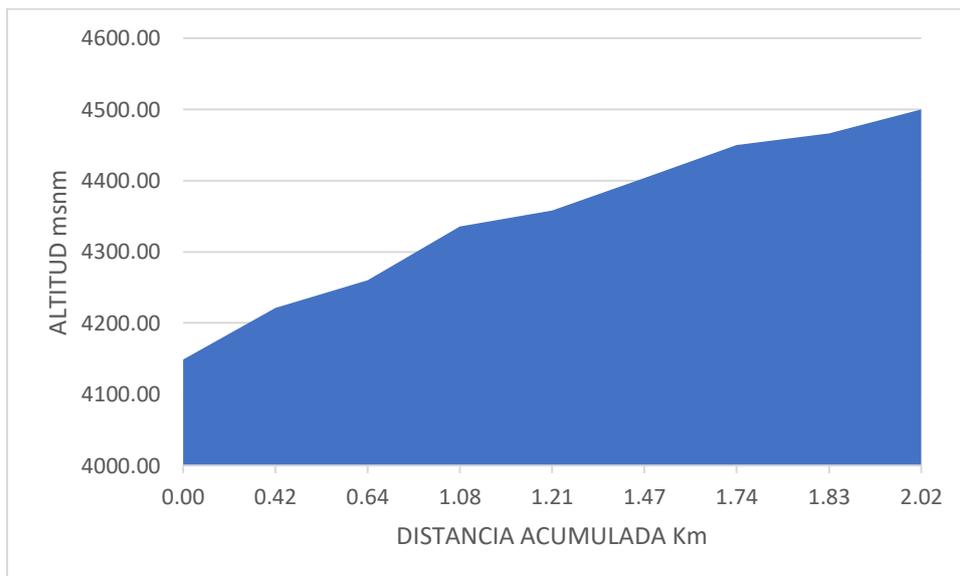
LADO MAYOR		
L	3.08	KM
LADO MENOR		
l	1.75	KM

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

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

Tabla 51
Perfil Longitudinal de la cuenca

COTA MAS BAJA	COTA MAS ALTA	DIFERENCIA DE ELEV.	LONGITUD DEL TRAMO	DISTANCIA ACUMULADA	DISTANCIA ACUMULADA
(en msnm)	(en msnm)	(en m.)	(en m.)	(en m.)	(en Km.)
0.00	4149.01	4149	0	0.00	0.00
4149.01	4221.23	72	416.29	416.29	0.42
4221.23	4260.38	39	225.69	641.99	0.64
4260.38	4335.64	75	433.81	1075.80	1.08
4335.64	4358.33	23	130.80	1206.60	1.21
4358.33	4403.64	45	261.19	1467.79	1.47
4403.64	4450.00	46	267.21	1735.00	1.74
4450.00	4466.33	16	94.15	1829.15	1.83
4466.33	4500.00	34	194.07	2023.21	2.02
4500.00	4523.89	24	137.68	2160.90	2.16
4523.89	4569.54	46	263.17	2424.07	2.42
4569.54	4683.72	114	658.18	3082.25	3.08

Figura 43
Perfil longitudinal de la cuenca


Cálculo de la pendiente principal

COTA DE AFORO = 4149m

COTA MAYOR = 4684m

DIF = 535m

L = 3480.68m

S=15.36%

Tabla 52

Pendiente del cauce principal

COTAS	TRAMOS	LONGITUD Li	DESNIVEL(H)	S(m/m)	Li/RAIZ(S)
4149.01	0	0	0	0	0
4221.23	0.63	634.20	72	0.114	1879.36
4260.38	0.98	343.83	39	0.114	1018.90
4335.64	1.64	660.89	75	0.114	1958.46
4358.33	1.84	199.27	23	0.114	590.50
4403.64	2.24	397.90	45	0.114	1179.13
4450.00	2.64	407.09	46	0.114	1206.35
4466.33	2.79	143.43	16	0.114	425.03
4500.00	3.08	295.65	34	0.114	876.12
4523.89	3.29	209.75	24	0.114	621.57
4569.54	3.69	400.93	46	0.114	1188.10
4683.72	4.70	1002.70	114	0.114	2971.36
	TOTAL	4695.62		TOTAL	13914.86

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

S=11.39%

ANEXO 6: MODELACIÓN HIDRÁULICA EN HEC RAS 6.3.1

Figura 44

Plano topográfico exportado al ArcMap 10.8.1 en formato TIF

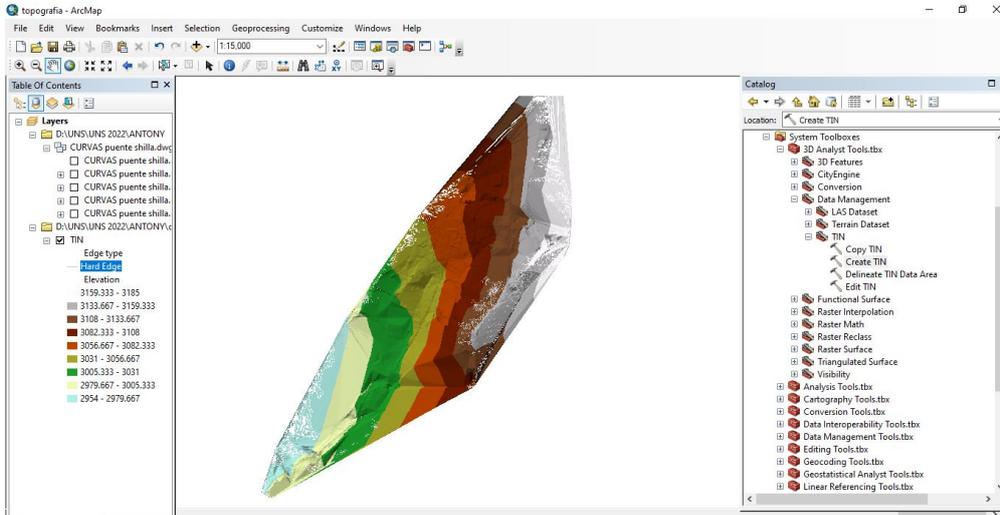


Figura 45

Plano topográfico en formato RASTER en el ArcMap 10.8.1

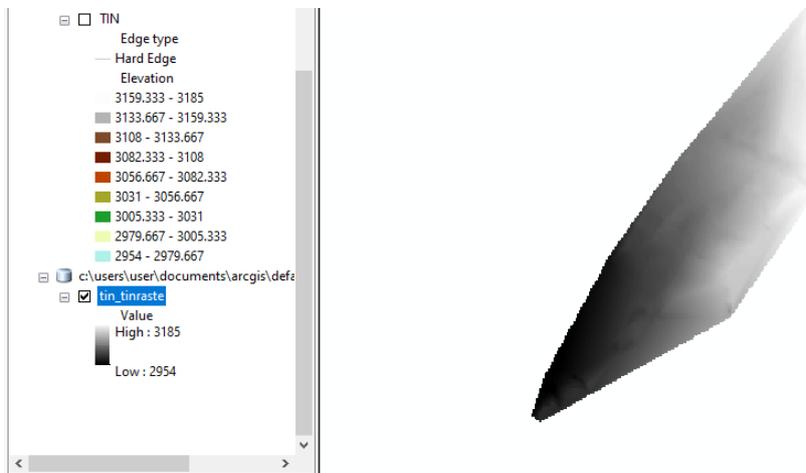


Figura 46

Proyecto Shilla en HEC-RAS 6.3.1

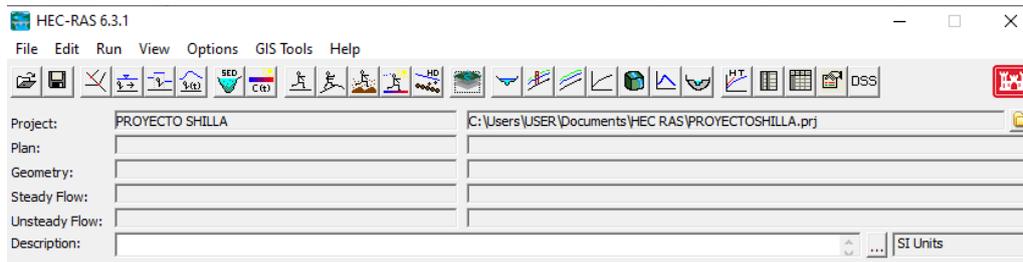
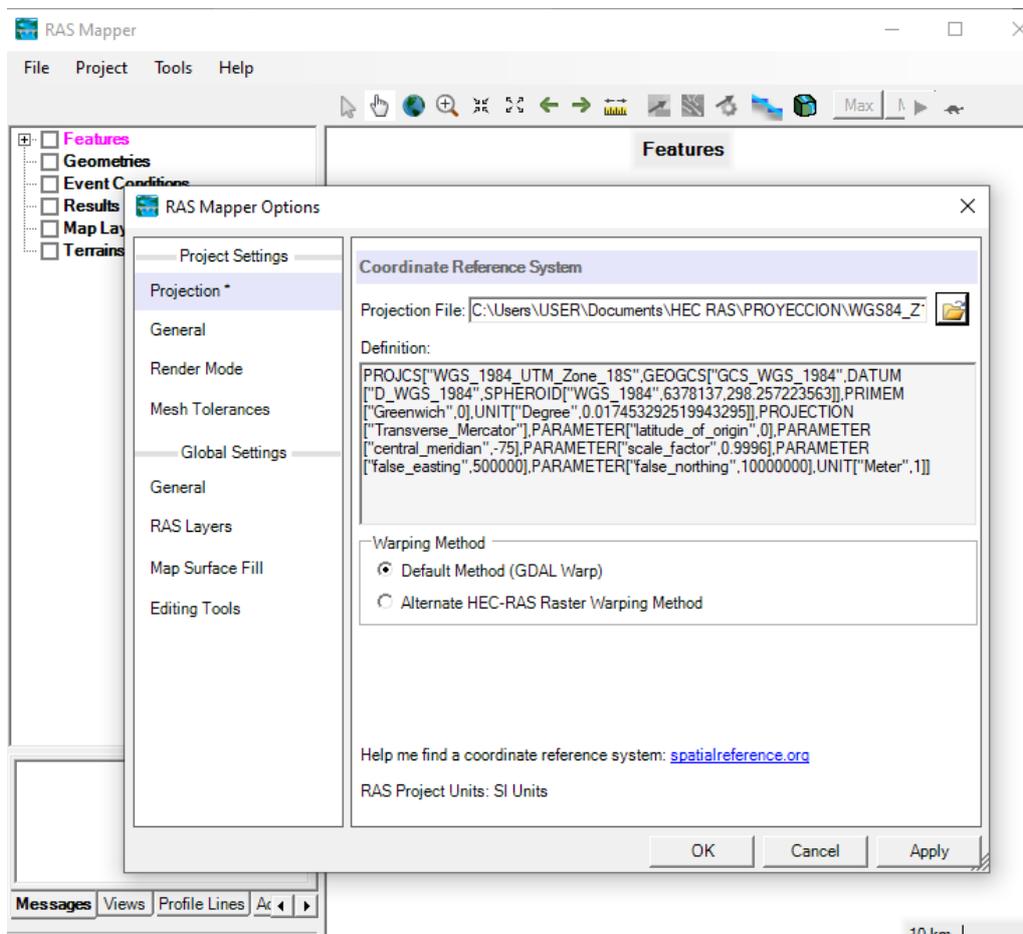


Figura 47

Sistema de coordenadas en RAS Mapper



Fuente: <https://spatialreference.org/ref/epsg/32718/>

Figura 48

Terreno de estudio en formato TIFF

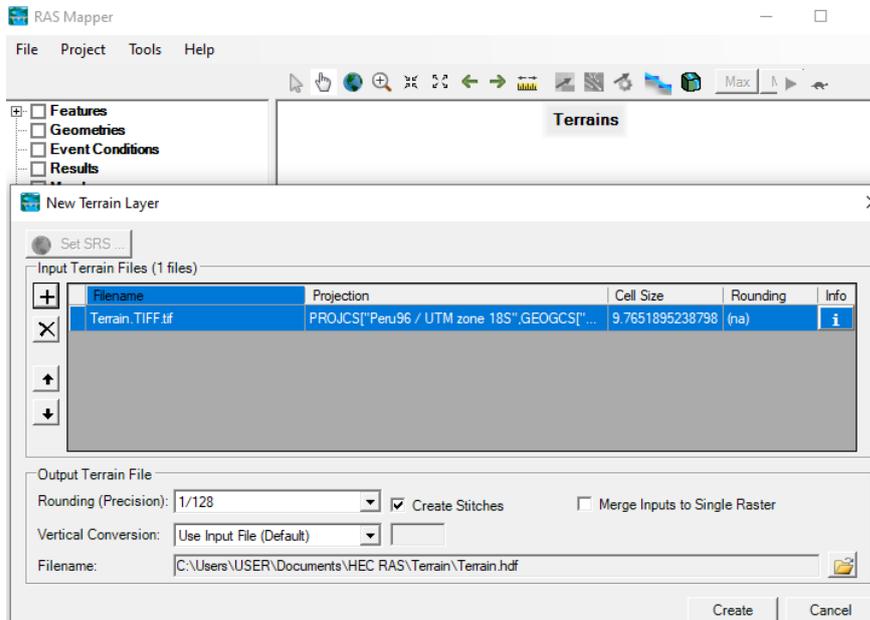


Figura 49

Superficie de estudio en Ras Mapper

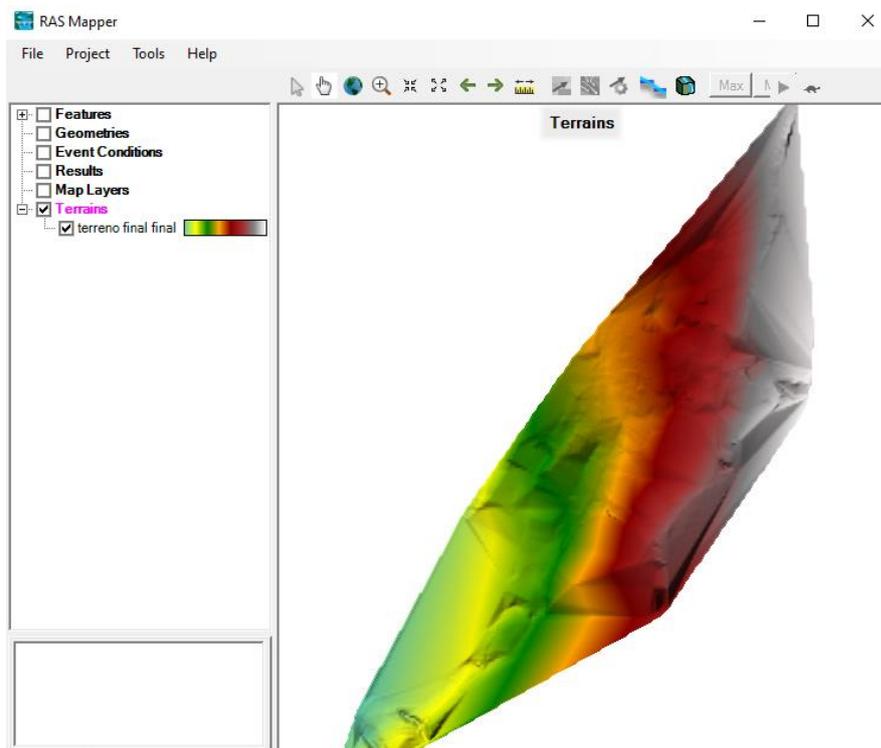


Figura 50

Geometría Shilla, márgenes del rio márgenes y Cross Sections en RAS Mapper

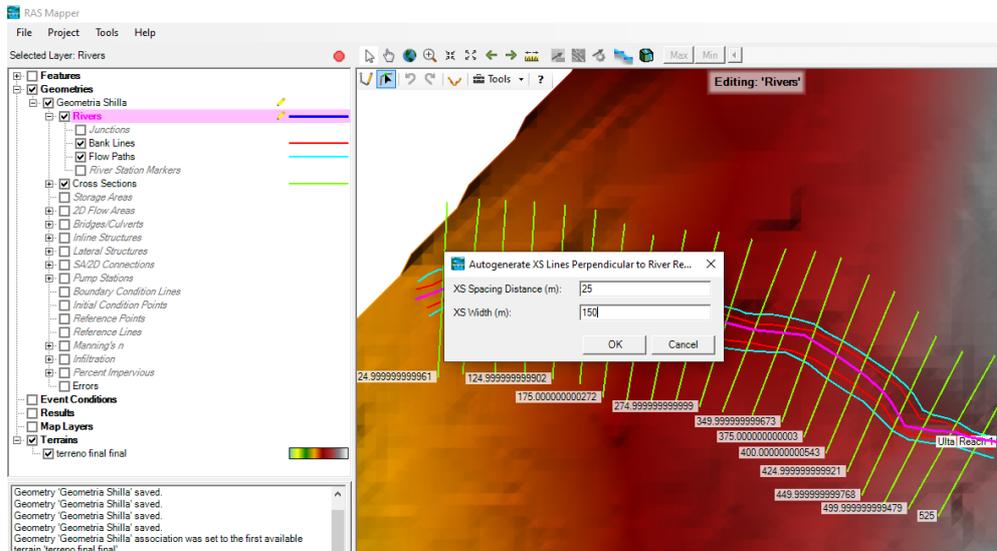


Figura 51

Geometría Shilla en Geometry Data

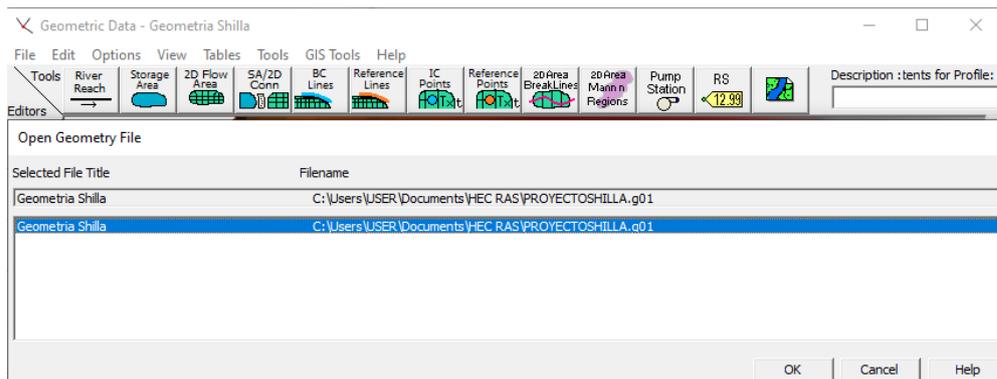


Figura 52

Vista de la Geometría Shilla en Geometric Data del HEC RAS

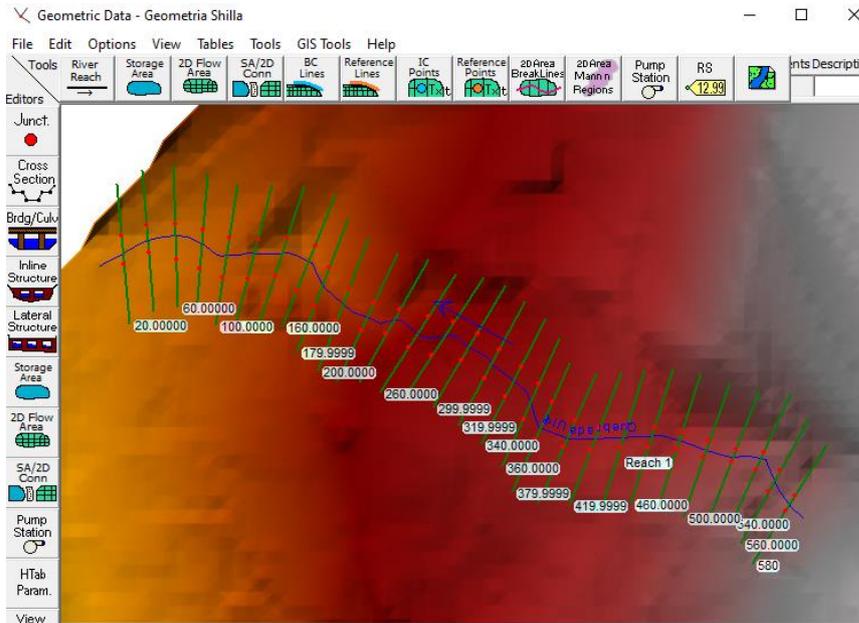


Figura 53

Ingresando valores de n Manning obtenidos de la Tabla 35 al HEC RAS 6.3.1

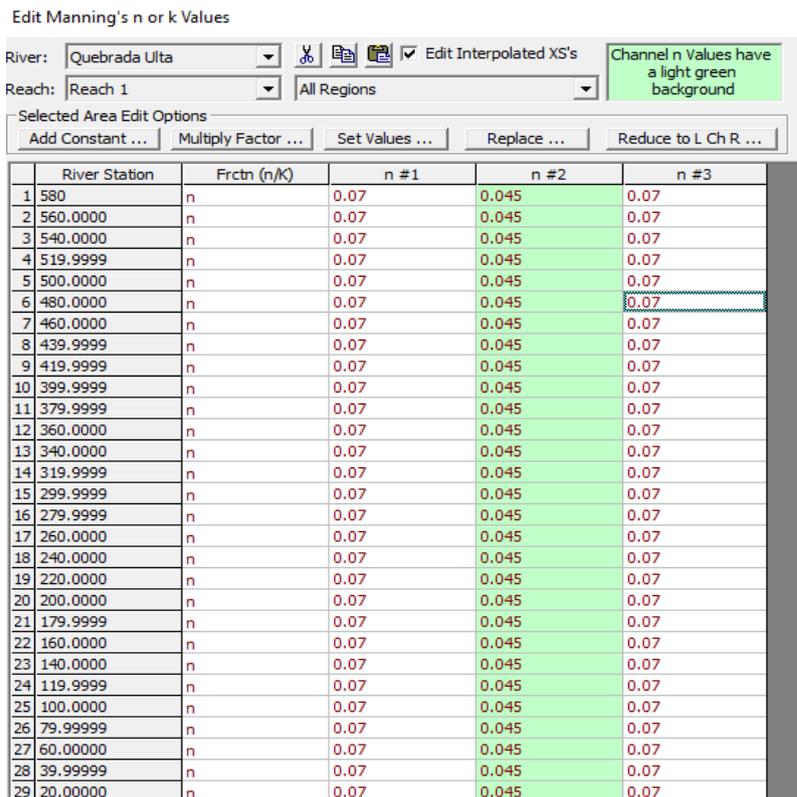


Figura 54

Secciones de la Quebrada Ulta - Sta 500

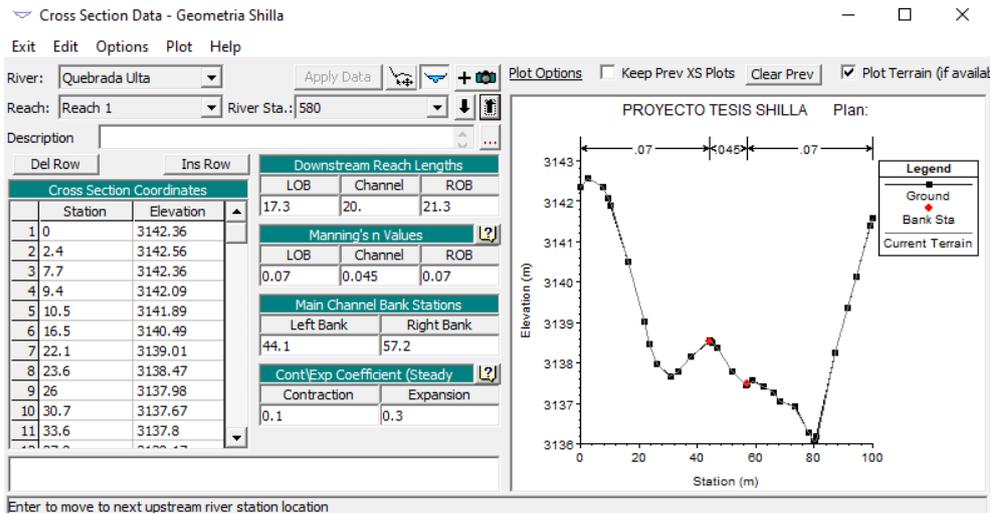


Figura 55

Secciones de la Quebrada Ulta - Sta 540

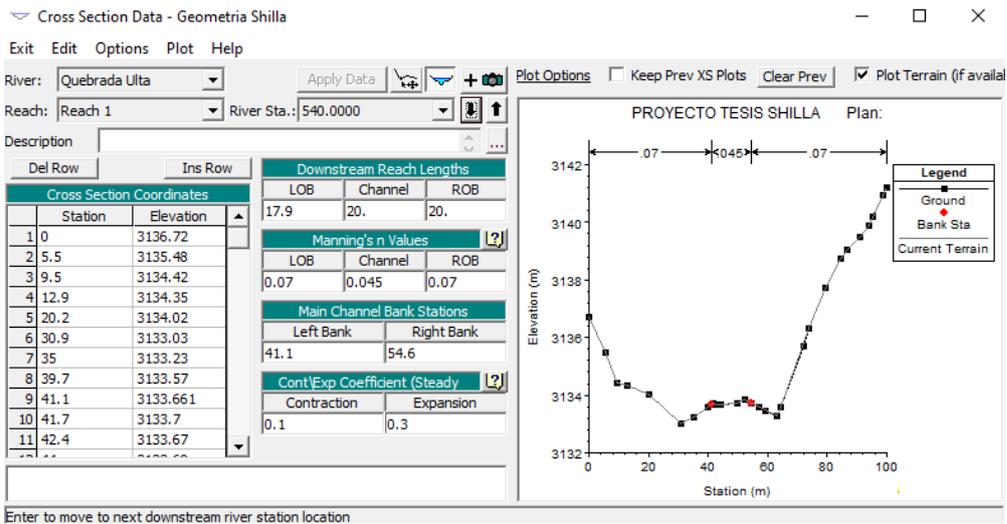


Figura 56

Secciones de la Quebrada Ulta - Sta 460

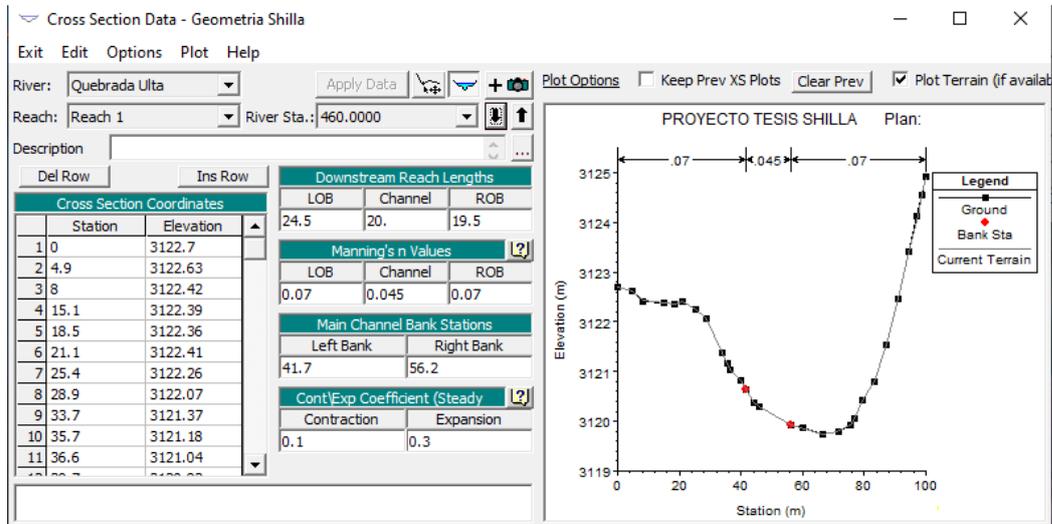


Figura 57

Selección de condiciones de contorno

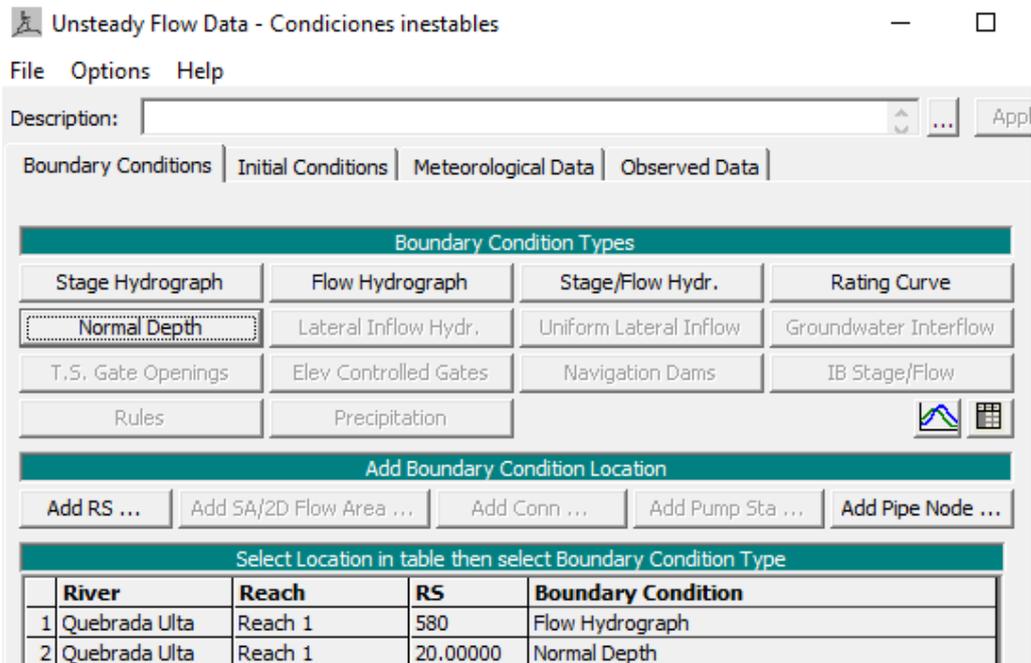


Figura 58

Registro de hidrograma de caudal unitario

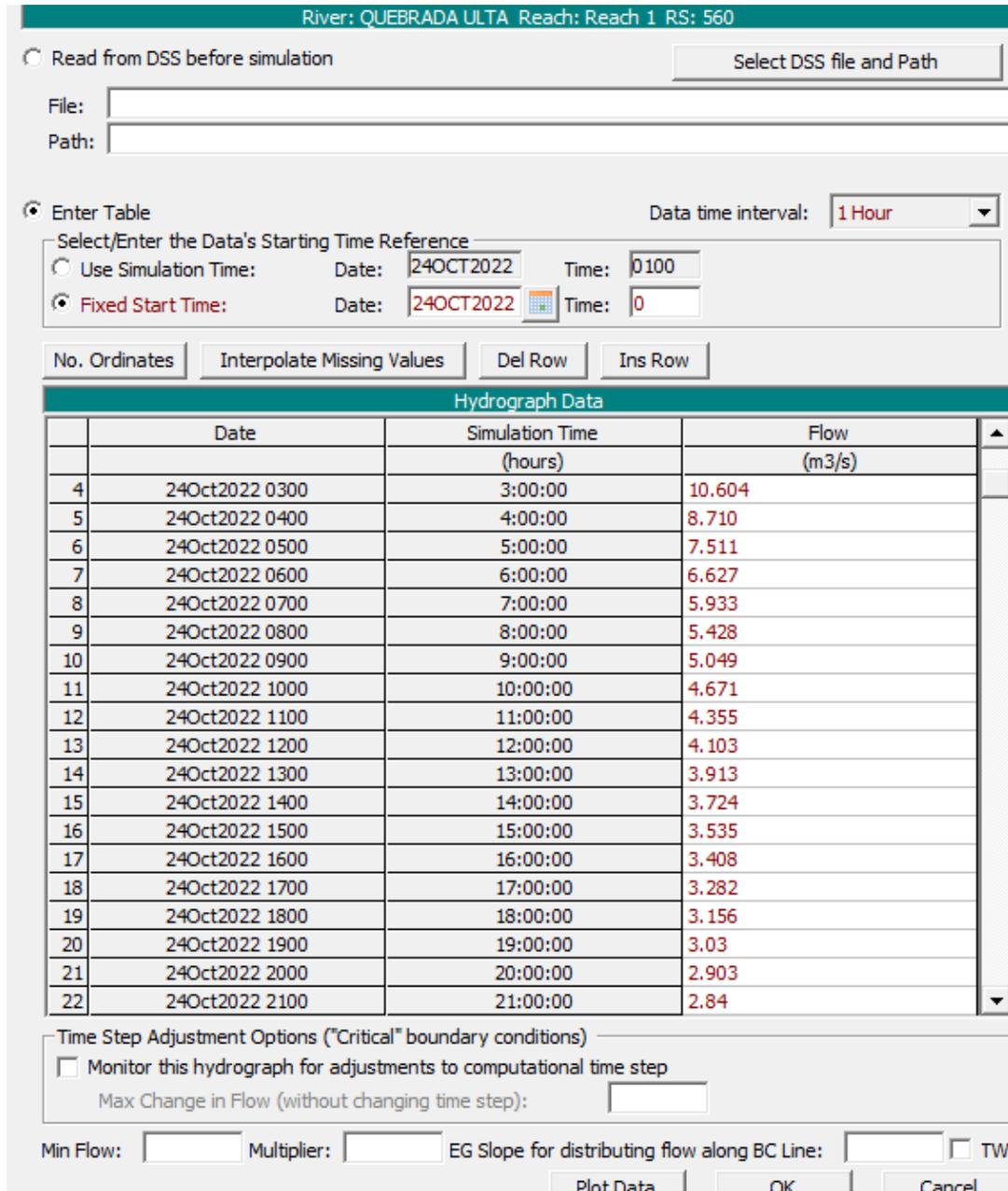


Figura 59

Gráfico de Hidrograma Unitario



Figura 60

Valor de condiciones críticas, aguas arriba y aguas abajo

Boundary Condition Types

Boundary Condition Types			
Stage Hydrograph	Flow Hydrograph	Stage/Flow Hydr.	Rating Curve
Normal Depth	Lateral Inflow Hydr.	Uniform Lateral Inflow	Groundwater Interflow
T.S. Gate Openings	Elev Controlled Gates	Navigation Dams	IB Stage/Flow
Rules	Precipitation		

Add Boundary Condition Location

Add RS ... Add SA/2D Flow Area ... Add Conn ... Add Pump Sta ... Add Pipe Node ...

Select Location in table then select Boundary Condition Type

River	Reach	RS	Boundary Condition
1 Ulta	Reach 1	525	Flow Hydrograph
2 Ulta	Reach 1	24.99999	Normal Depth

Normal Depth Downstream Boundary

River: Ulta Reach: Reach 1 RS: 24.99999

Friction Slope:

2D Flow Area Boundary Condition Parameters

Compute separate water surface elevation per face along BC Line

Compute single water surface for entire BC Line

OK Cancel

Figura 61

Análisis de flujo - condiciones inestables

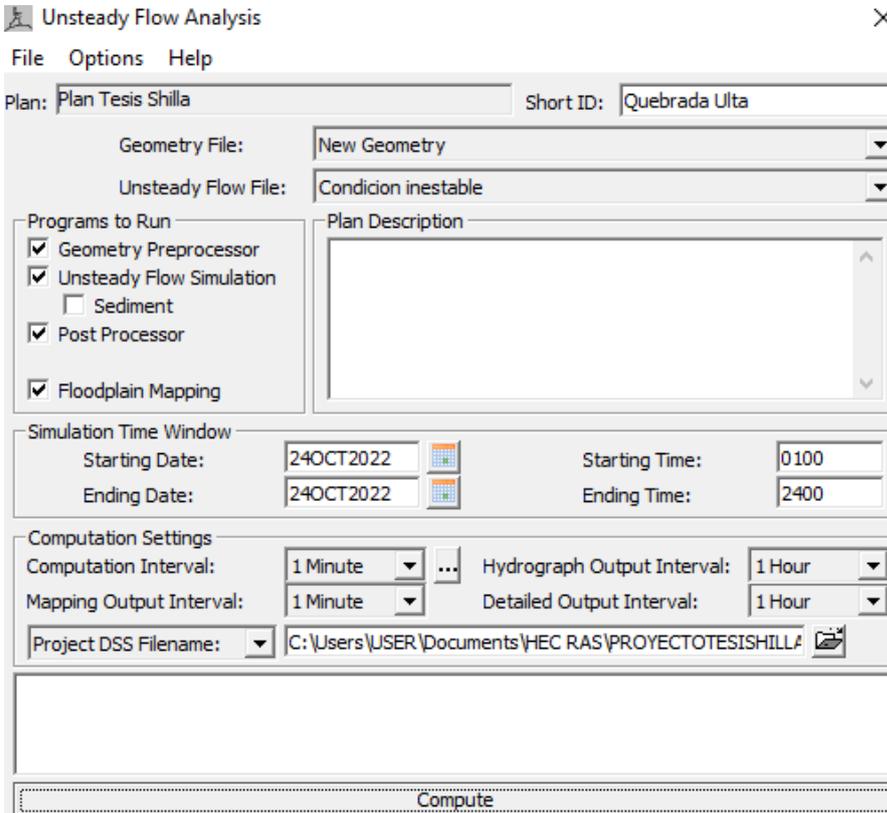


Figura 62

Proceso concluido del análisis de flujo inestable

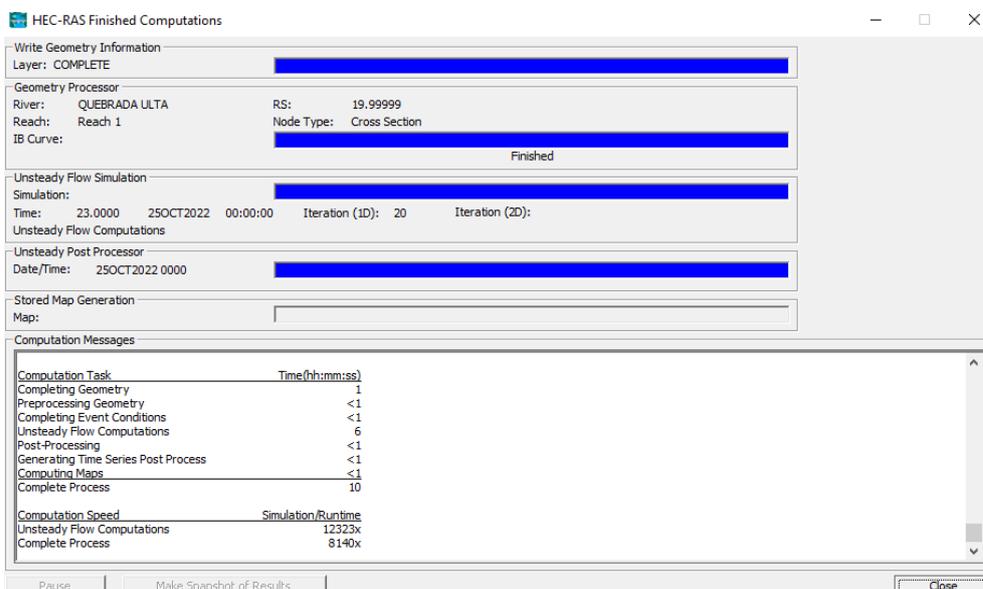
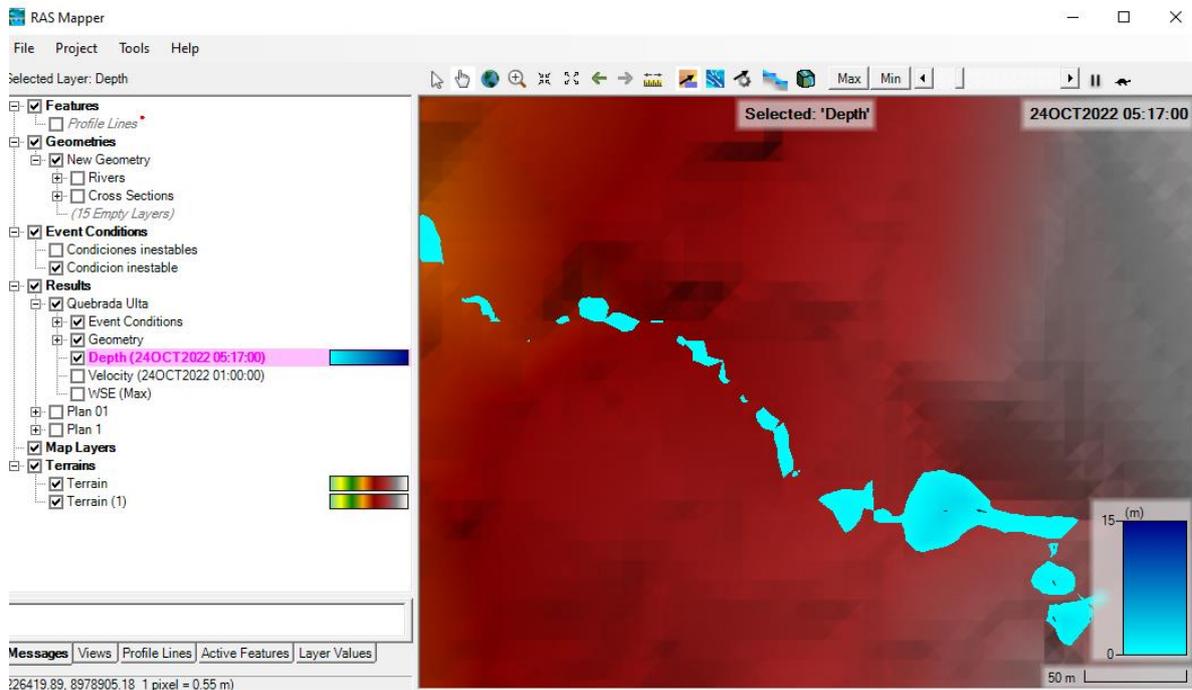


Figura 63

Resultados en RAS Mapper



En la figura se muestra el flujo del río en el RAS Mapper

Figura 64

Resultados del análisis del flujo en RAS Mapper

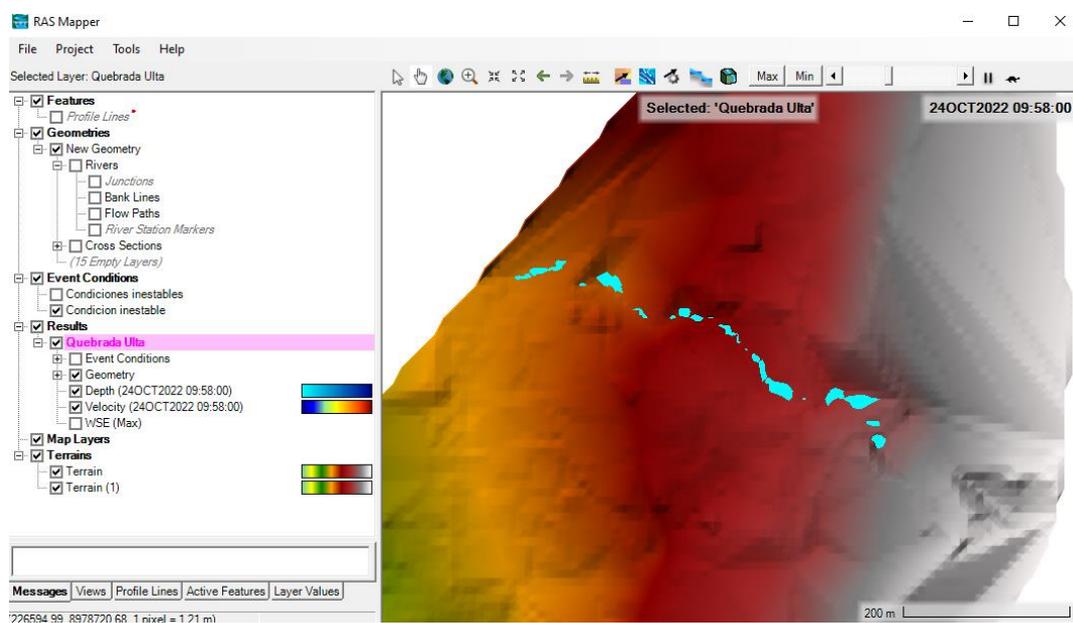


Figura 65

Resultados del análisis del flujo (Q Máximo) en RAS Mapper

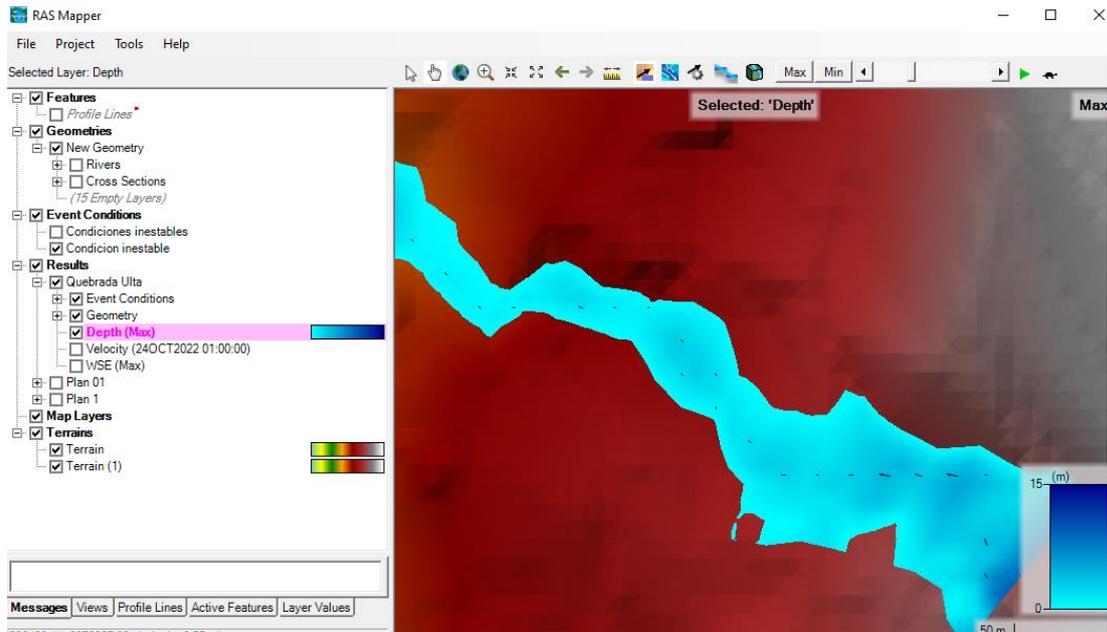


Figura 66

Resultados del análisis del flujo (Q Mínimo) en RAS Mapper

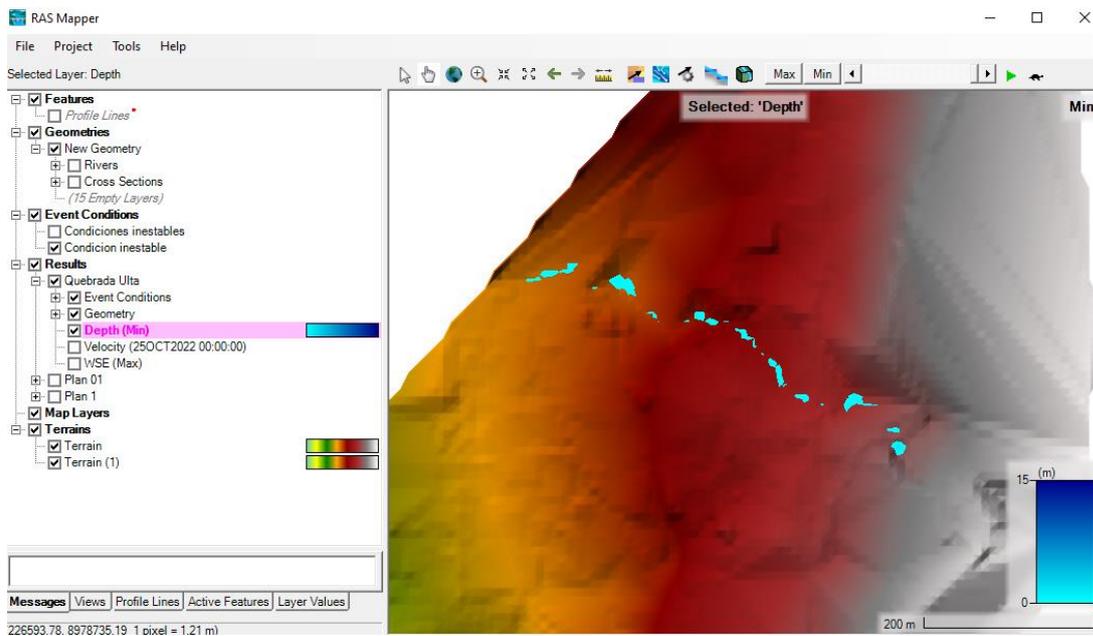
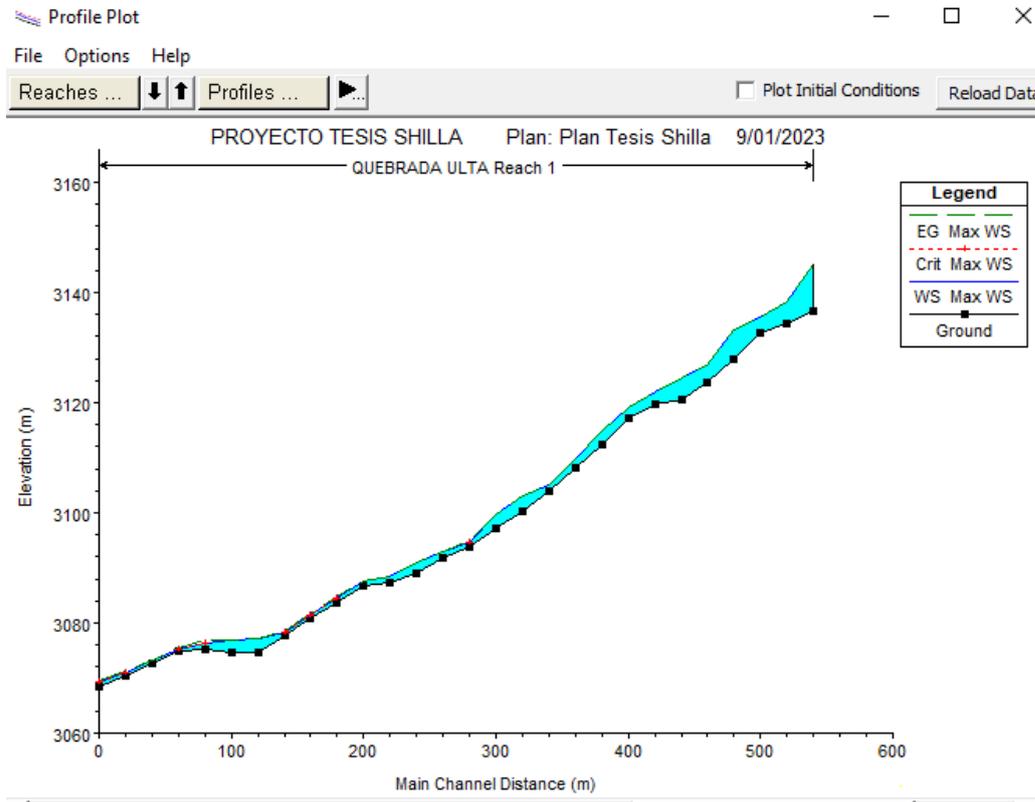


Figura 67

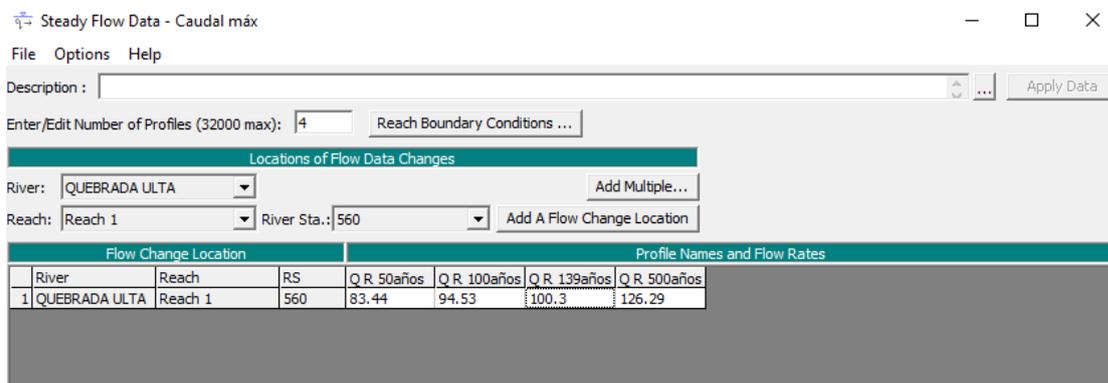
Perfil de la quebrada con Intensidad de flujo máximo



CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN

Figura 68

Datos de flujo constante



Ingresamos los datos del Caudal máximo de la Tabla 45, para diferentes periodos de retorno para la simulación en HEC RAS 6.3.1

Figura 69

Proyecto Tesis Shilla - Caudal Máximo

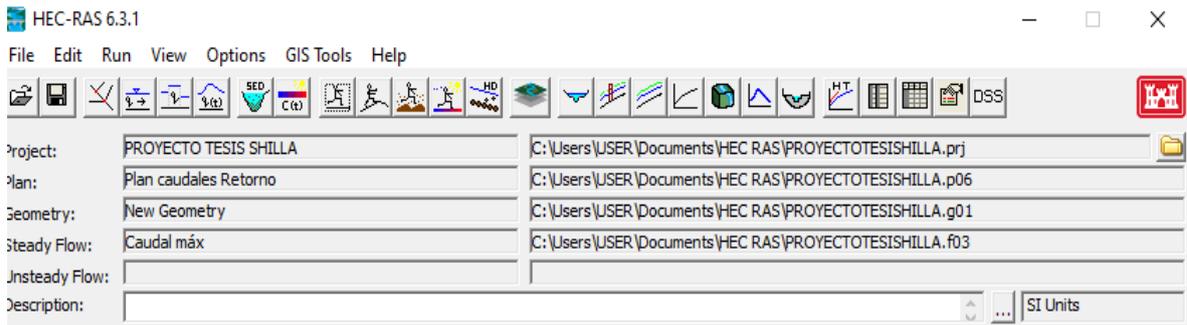


Figura 70

Análisis de flujo - Caudal Máximo

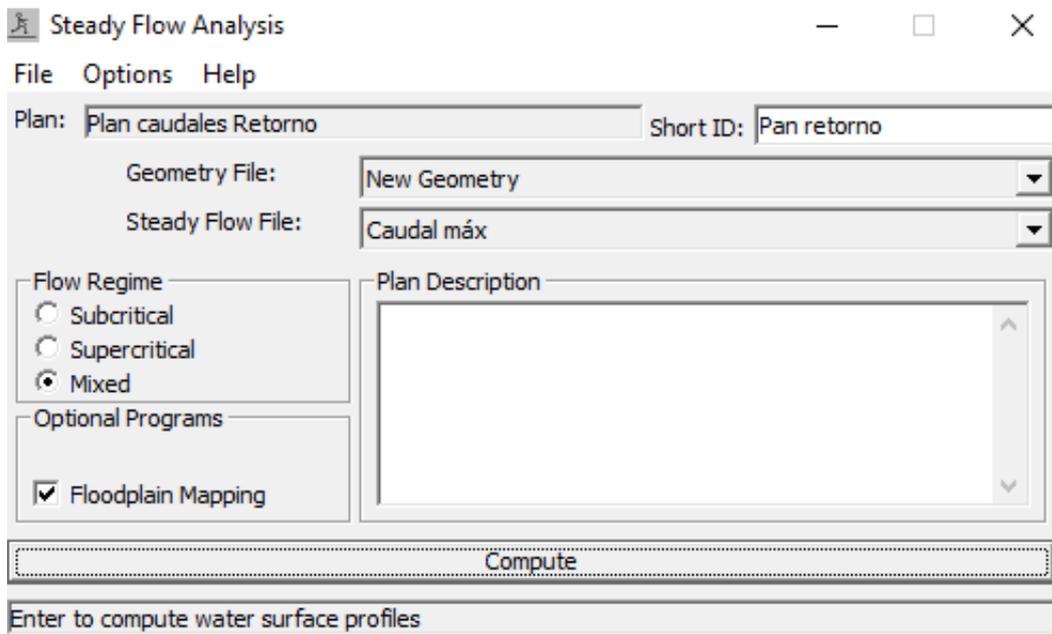


Figura 71

Análisis concluido sin errores

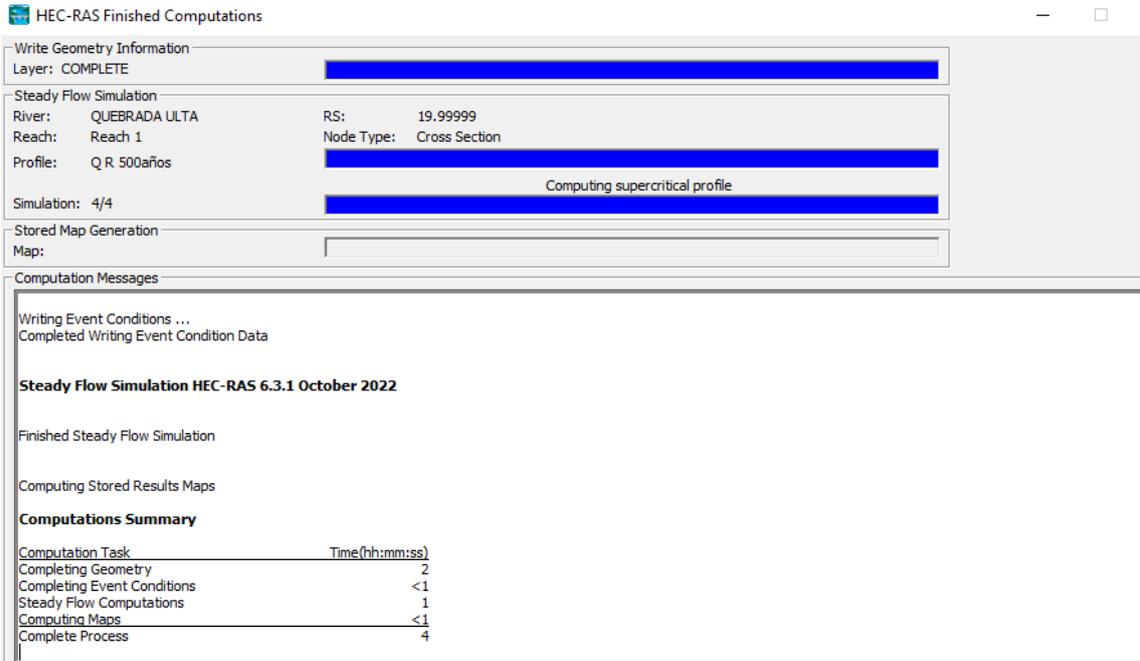


Figura 72

Sección Sta-480 de la quebrada con Q R50años

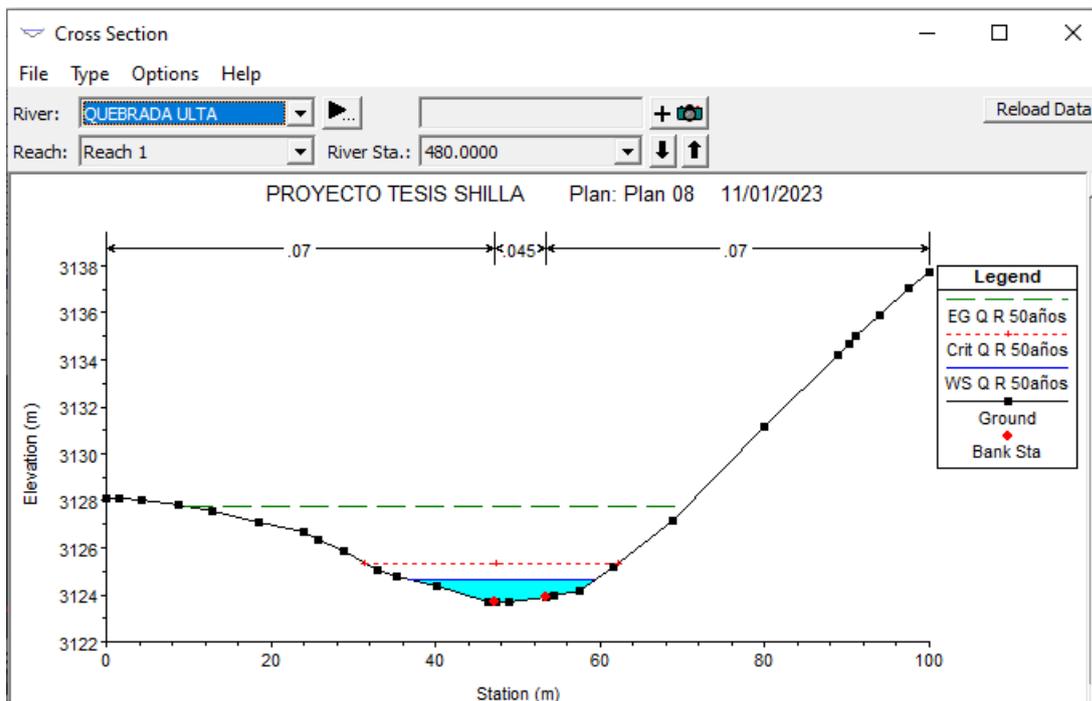


Figura 73

Sección Sta-460 de la quebrada con Q R50años

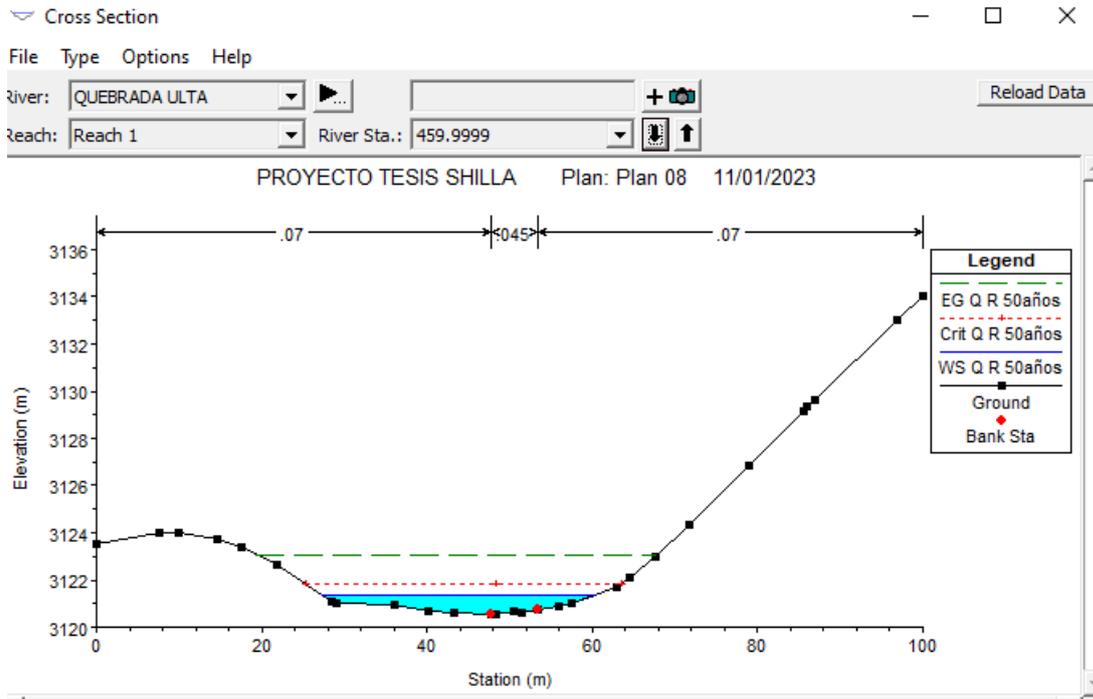


Figura 74

Sección Sta-500 de la quebrada con Q R100años

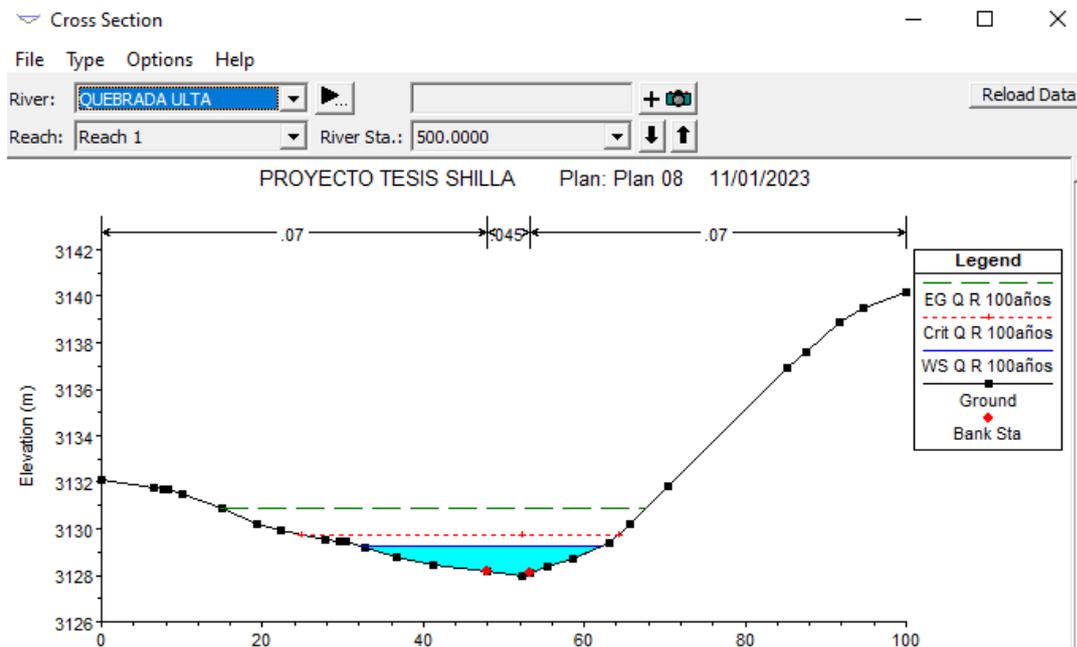


Figura 75

Sección Sta-480 de la quebrada con Q R100años

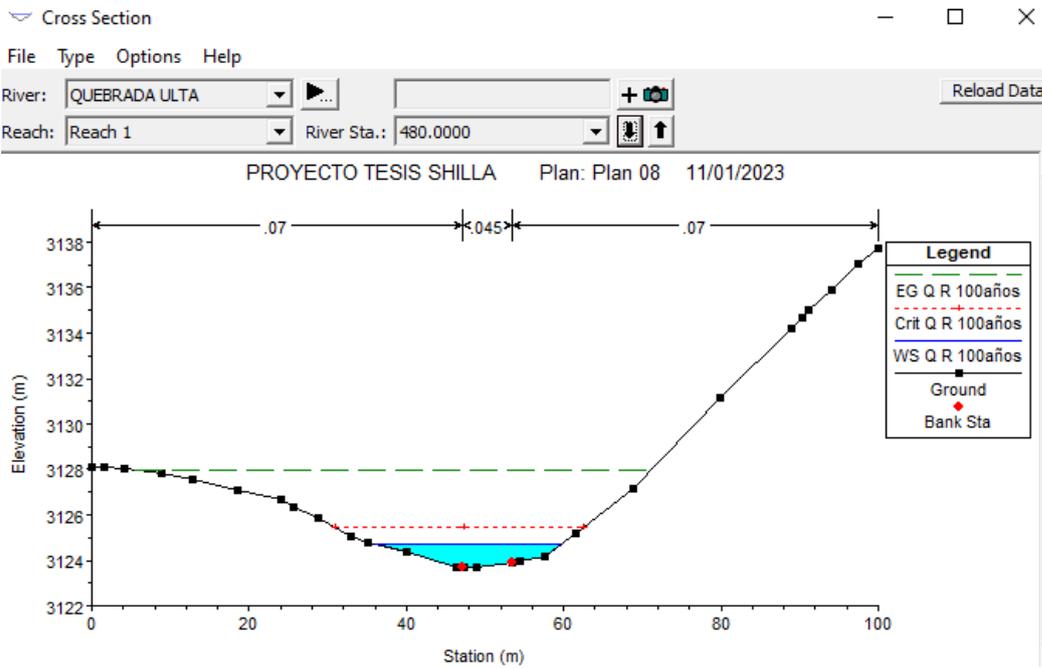


Figura 76

Sección Sta-500 de la quebrada con Q R139años

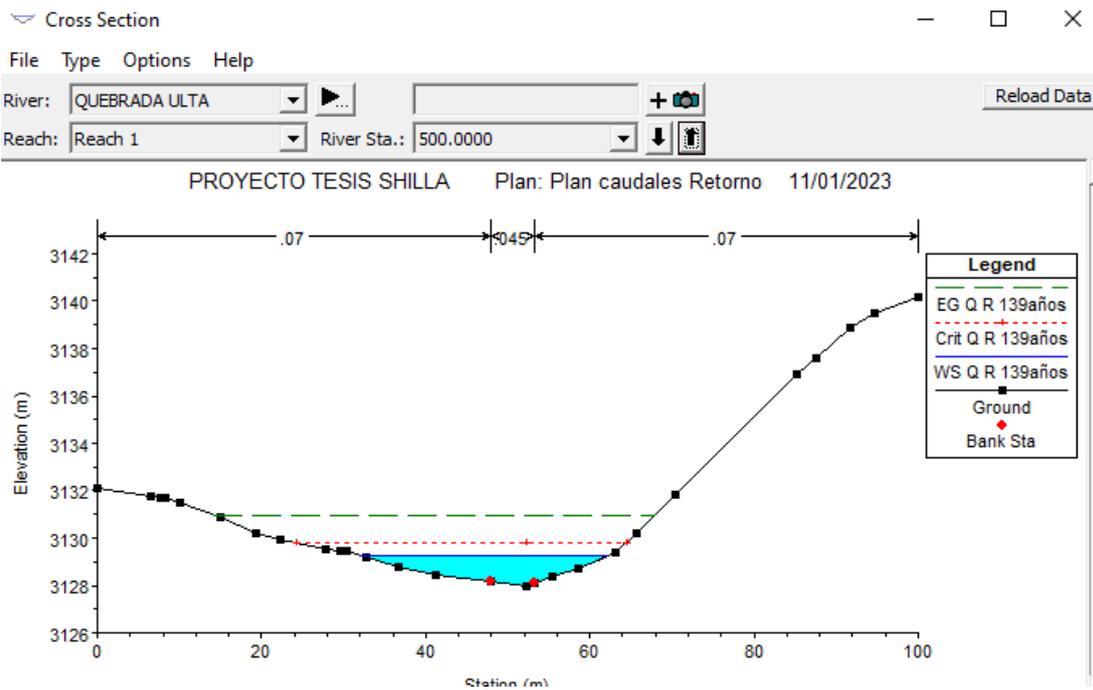


Figura 77

Sección Sta-480 de la quebrada con Q R139años

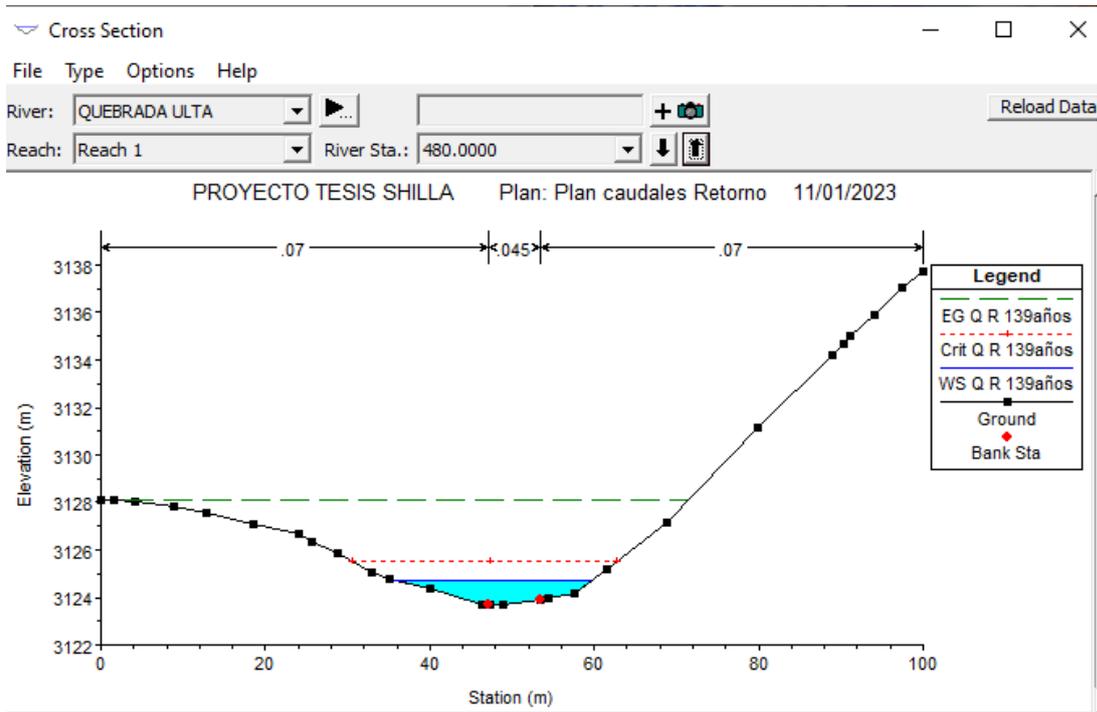


Figura 78

Sección Sta-560 de la quebrada con Q R500años

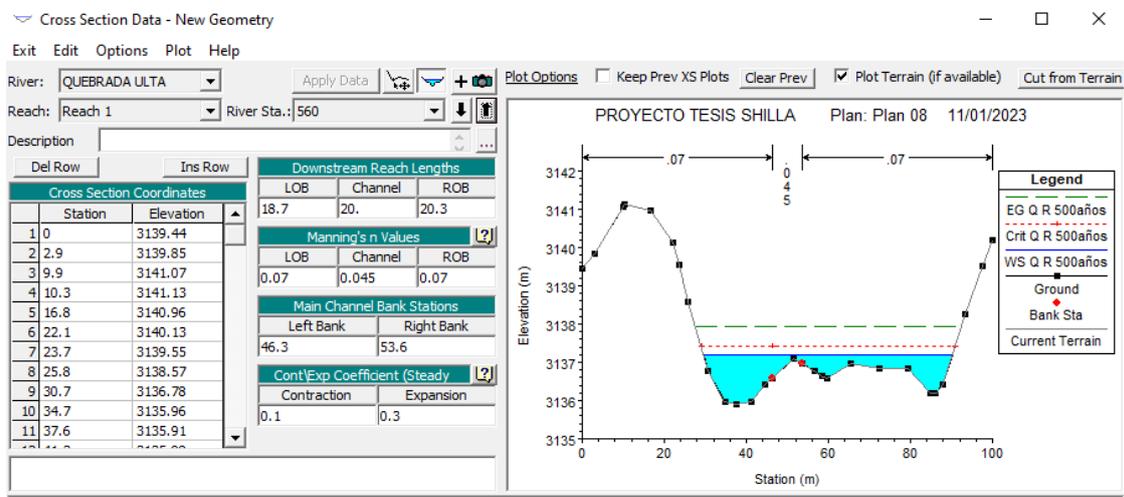


Figura 79

Sección Sta-500 de la quebrada con Q R 500años

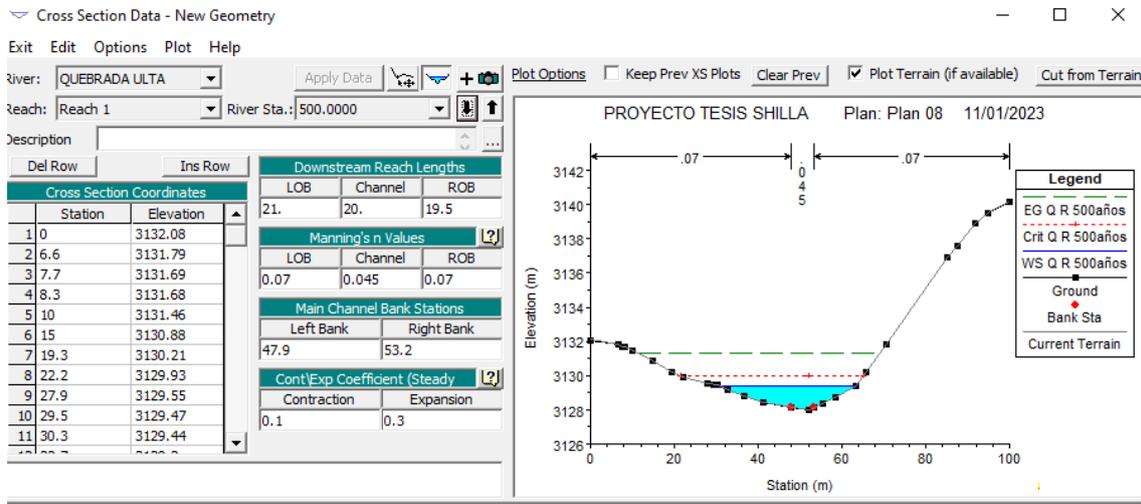


Tabla 53

Resultados de tirantes críticos para QR 50años

Profile Output Table - Standard Table 1

HEC-RAS Plan: Plan 08 River: QUEBRADA ULTA Reach: Reach 1 Profile: Q R 50años

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Max Chl Dpth (m)	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)	Fro
Reach 1	560	Q R 50años	83.44	1.14	3136.58	3137.05	3137.24	3137.68	0.100108	2.33	26.72	58.51	
Reach 1	540.0000	Q R 50años	83.44	1.01	3134.28	3135.29	3135.51	3136.06	0.071326	5.25	24.88	39.66	
Reach 1	520.0000	Q R 50años	83.44	0.82	3132.71	3133.11	3133.37	3133.97	0.196779	4.88	20.47	42.94	
Reach 1	500.0000	Q R 50años	83.44	1.18	3127.98	3129.16	3129.65	3130.75	0.095263	7.26	19.31	28.59	
Reach 1	480.0000	Q R 50años	83.44	0.95	3123.68	3124.63	3125.34	3127.77	0.224349	9.51	13.23	22.54	
Reach 1	459.9999	Q R 50años	83.44	0.78	3120.57	3121.36	3121.81	3123.06	0.191110	7.87	17.31	33.06	
Reach 1	439.9999	Q R 50años	83.44	1.00	3119.59	3120.33	3120.40	3120.77	0.054921	4.12	30.34	45.76	
Reach 1	420.0000	Q R 50años	83.44	0.81	3117.21	3117.83	3118.17	3118.95	0.170373	6.17	19.24	36.69	
Reach 1	400.0000	Q R 50años	83.44	1.08	3112.27	3113.21	3113.79	3115.25	0.179717	7.87	14.92	23.47	
Reach 1	379.9999	Q R 50años	83.44	0.81	3108.18	3108.92	3109.47	3111.01	0.261443	7.64	14.01	26.66	
Reach 1	359.9999	Q R 50años	83.44	0.97	3104.03	3105.00	3105.61	3107.19	0.132795	7.71	15.78	24.91	
Reach 1	340.0000	Q R 50años	83.44	1.10	3100.33	3101.43	3102.13	3104.26	0.155115	8.63	14.21	22.95	
Reach 1	319.9999	Q R 50años	83.44	0.93	3097.13	3098.00	3098.65	3100.59	0.210309	8.95	14.05	23.19	
Reach 1	299.9999	Q R 50años	83.44	0.99	3093.92	3094.89	3095.45	3096.89	0.150330	7.78	16.10	25.63	
Reach 1	279.9999	Q R 50años	83.44	1.10	3091.93	3092.94	3093.37	3094.31	0.093329	6.67	18.93	25.52	
Reach 1	259.9999	Q R 50años	83.44	1.22	3088.97	3090.19	3090.81	3092.27	0.101617	7.34	15.76	21.09	
Reach 1	239.9999	Q R 50años	83.44	0.97	3087.46	3088.33	3088.81	3089.90	0.143712	6.36	16.25	26.30	
Reach 1	220.0000	Q R 50años	83.44	1.46	3086.64	3088.10	3088.10	3088.62	0.021937	4.01	33.31	38.92	
Reach 1	199.9999	Q R 50años	83.44	0.84	3083.69	3084.53	3085.14	3087.37	0.222498	8.84	14.38	30.02	
Reach 1	179.9999	Q R 50años	83.44	0.86	3080.83	3081.63	3082.07	3083.32	0.163245	6.93	18.00	40.36	
Reach 1	160.0000	Q R 50años	83.44	0.77	3077.63	3078.40	3078.86	3080.13	0.152082	6.87	17.51	35.07	
Reach 1	139.9999	Q R 50años	83.44	3.17	3074.66	3077.83	3076.08	3077.88	0.000674	1.24	112.75	56.54	
Reach 1	119.9999	Q R 50años	83.44	3.13	3074.66	3077.79	3076.33	3077.86	0.001046	1.48	97.96	60.90	
Reach 1	100.0000	Q R 50años	83.44	2.10	3075.34	3077.44	3077.44	3077.78	0.009398	3.23	50.46	70.39	
Reach 1	80.00000	Q R 50años	83.44	0.55	3075.01	3075.24	3075.62	3077.04	0.633976	3.80	14.21	43.74	
Reach 1	59.99999	Q R 50años	83.44	0.88	3072.55	3073.39	3073.50	3073.85	0.047351	4.02	32.91	59.81	
Reach 1	40.00000	Q R 50años	83.44	0.72	3070.53	3071.24	3071.58	3072.35	0.116938	5.75	21.49	44.16	
Reach 1	19.99999	Q R 50años	83.44	0.99	3068.59	3069.55	3069.85	3070.50	0.070423	5.03	23.22	41.25	

Tabla 54
Resultados de tirantes críticos para QR 100años

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Plan 08 River: QUEBRADA ULTA Reach: Reach 1 Profile: Q R 100años Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Max Chl Dpth (m)	Max Chl Dpth (m)	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)
Reach 1	560	Q R 100años	94.53	1.18	1.18	3136.58	3137.09	3137.28	3137.75	0.099978	2.41	29.31
Reach 1	540.0000	Q R 100años	94.53	1.07	1.07	3134.28	3135.35	3135.59	3136.16	0.068365	5.40	27.52
Reach 1	520.0000	Q R 100años	94.53	0.86	0.86	3132.71	3133.15	3133.44	3134.11	0.200234	5.25	22.01
Reach 1	500.0000	Q R 100años	94.53	1.25	1.25	3127.98	3129.23	3129.75	3130.90	0.093570	7.50	21.37
Reach 1	480.0000	Q R 100años	94.53	1.02	1.02	3123.68	3124.70	3125.44	3127.98	0.216429	9.80	14.73
Reach 1	459.9999	Q R 100años	94.53	0.82	0.82	3120.57	3121.39	3121.89	3123.27	0.198014	8.30	18.61
Reach 1	439.9999	Q R 100años	94.53	1.04	1.04	3119.59	3120.37	3120.45	3120.87	0.057215	4.39	32.50
Reach 1	420.0000	Q R 100años	94.53	0.87	0.87	3117.21	3117.89	3118.25	3119.05	0.157525	6.36	21.53
Reach 1	400.0000	Q R 100años	94.53	1.14	1.14	3112.27	3113.27	3113.89	3115.49	0.179188	8.26	16.34
Reach 1	379.9999	Q R 100años	94.53	0.86	0.86	3108.18	3108.97	3109.57	3111.26	0.260462	8.05	15.28
Reach 1	359.9999	Q R 100años	94.53	1.03	1.03	3104.03	3105.06	3105.71	3107.43	0.134127	8.07	17.28
Reach 1	340.0000	Q R 100años	94.53	1.16	1.16	3100.33	3101.49	3102.23	3104.49	0.153923	8.96	15.71
Reach 1	319.9999	Q R 100años	94.53	0.99	0.99	3097.13	3098.06	3098.76	3100.85	0.210045	9.36	15.40
Reach 1	299.9999	Q R 100años	94.53	1.05	1.05	3093.92	3094.95	3095.54	3097.12	0.151950	8.16	17.57
Reach 1	279.9999	Q R 100años	94.53	1.17	1.17	3091.93	3093.01	3093.48	3094.50	0.094379	7.00	20.63
Reach 1	259.9999	Q R 100años	94.53	1.30	1.30	3088.97	3090.27	3090.92	3092.47	0.099086	7.61	17.46
Reach 1	239.9999	Q R 100años	94.53	1.02	1.02	3087.46	3088.38	3088.91	3090.12	0.146307	6.74	17.58
Reach 1	220.0000	Q R 100años	94.53	1.58	1.58	3086.64	3088.22	3088.27	3088.74	0.020483	4.08	38.00
Reach 1	199.9999	Q R 100años	94.53	0.89	0.89	3083.69	3084.58	3085.23	3087.54	0.215949	9.12	16.06
Reach 1	179.9999	Q R 100años	94.53	0.90	0.90	3080.83	3081.67	3082.14	3083.50	0.167005	7.28	19.62
Reach 1	160.0000	Q R 100años	94.53	0.82	0.82	3077.63	3078.45	3078.95	3080.29	0.150616	7.14	19.22
Reach 1	139.9999	Q R 100años	94.53	3.25	3.25	3074.66	3077.91	3076.18	3077.97	0.000776	1.36	117.58
Reach 1	119.9999	Q R 100años	94.53	3.21	3.21	3074.66	3077.87	3076.44	3077.95	0.001195	1.61	102.81
Reach 1	100.0000	Q R 100años	94.53	2.17	2.17	3075.34	3077.51	3077.51	3077.86	0.009719	3.36	55.31
Reach 1	80.00000	Q R 100años	94.53	0.58	0.58	3075.01	3075.28	3075.68	3077.11	0.586431	4.29	15.95
Reach 1	59.99999	Q R 100años	94.53	0.92	0.92	3072.55	3073.43	3073.56	3073.94	0.048195	4.23	35.83
Reach 1	40.00000	Q R 100años	94.53	0.78	0.78	3070.53	3071.30	3071.64	3072.45	0.111581	5.92	23.88
Reach 1	19.99999	Q R 100años	94.53	1.04	1.04	3068.59	3069.60	3069.94	3070.64	0.071367	5.28	25.36

Tabla 55
Resultados de tirantes críticos para QR 139años
 Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Sin puente River: QUEBRADA ULTA Reach: Reach 1 Profile: Q R 139af												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Reach 1	560	Q R 139años	100.30	3136.58	3137.31	3137.31	3137.63	0.038309	2.40	42.26	61.23	1.19
Reach 1	540.0000	Q R 139años	100.30	3134.28	3135.29	3135.63	3136.40	0.103630	6.32	24.83	39.65	2.21
Reach 1	520.0000	Q R 139años	100.30	3132.71	3133.23	3133.47	3134.05	0.143836	5.02	25.34	44.12	2.36
Reach 1	500.0000	Q R 139años	100.30	3127.98	3129.24	3129.79	3131.08	0.102846	7.90	21.56	29.88	2.33
Reach 1	480.0000	Q R 139años	100.30	3123.68	3124.73	3125.50	3128.06	0.209816	9.90	15.58	24.17	3.23
Reach 1	459.9999	Q R 139años	100.30	3120.57	3121.41	3121.93	3123.38	0.201984	8.51	19.24	33.77	3.06
Reach 1	439.9999	Q R 139años	100.30	3119.59	3120.40	3120.46	3120.92	0.058412	4.53	33.62	46.98	1.64
Reach 1	420.0000	Q R 139años	100.30	3117.21	3117.92	3118.29	3119.11	0.152431	6.46	22.69	38.67	2.57
Reach 1	400.0000	Q R 139años	100.30	3112.27	3113.30	3113.92	3115.60	0.178342	8.44	17.09	24.84	2.92
Reach 1	379.9999	Q R 139años	100.30	3108.18	3108.99	3109.61	3111.38	0.259861	8.25	15.93	27.84	3.34
Reach 1	359.9999	Q R 139años	100.30	3104.03	3105.09	3105.76	3107.55	0.134745	8.25	18.04	26.38	2.61
Reach 1	340.0000	Q R 139años	100.30	3100.33	3101.52	3102.29	3104.61	0.153287	9.13	16.48	24.44	2.81
Reach 1	319.9999	Q R 139años	100.30	3097.13	3098.08	3098.81	3100.98	0.209983	9.55	16.09	24.46	3.20
Reach 1	299.9999	Q R 139años	100.30	3093.92	3094.98	3095.59	3097.23	0.152852	8.34	18.31	26.98	2.75
Reach 1	279.9999	Q R 139años	100.30	3091.93	3093.04	3093.53	3094.60	0.094882	7.17	21.49	26.75	2.21
Reach 1	259.9999	Q R 139años	100.30	3088.97	3090.31	3090.98	3092.57	0.098054	7.74	18.33	22.44	2.28
Reach 1	239.9999	Q R 139años	100.30	3087.46	3088.40	3088.95	3090.24	0.147521	6.92	18.25	27.46	2.58
Reach 1	220.0000	Q R 139años	100.30	3086.64	3088.24	3088.31	3088.80	0.021502	4.23	39.03	43.37	1.11
Reach 1	199.9999	Q R 139años	100.30	3083.69	3084.61	3085.29	3087.57	0.207724	9.17	17.09	32.54	3.15
Reach 1	179.9999	Q R 139años	100.30	3080.83	3081.69	3082.18	3083.60	0.169289	7.46	20.41	42.04	2.77
Reach 1	160.0000	Q R 139años	100.30	3077.63	3078.47	3078.98	3080.37	0.149879	7.28	20.10	36.56	2.63
Reach 1	139.9999	Q R 139años	100.30	3074.66	3077.95	3076.23	3078.01	0.000830	1.41	119.95	58.24	0.25
Reach 1	119.9999	Q R 139años	100.30	3074.66	3077.90	3076.49	3077.99	0.001274	1.67	105.15	63.24	0.30
Reach 1	100.0000	Q R 139años	100.30	3075.34	3077.55	3077.55	3077.90	0.009692	3.41	58.17	72.54	0.78
Reach 1	80.00000	Q R 139años	100.30	3075.01	3075.29	3075.71	3077.15	0.569237	4.60	16.82	50.71	3.88
Reach 1	59.99999	Q R 139años	100.30	3072.55	3073.46	3073.59	3073.99	0.048632	4.33	37.31	63.01	1.52
Reach 1	40.00000	Q R 139años	100.30	3070.53	3071.32	3071.67	3072.50	0.109100	6.00	25.12	46.39	2.23
Reach 1	19.99999	Q R 139años	100.30	3068.59	3069.62	3069.98	3070.71	0.071971	5.40	26.43	43.51	1.86

Tabla 56
Resultados de tirantes críticos para QR 500años

Profile Output Table - Standard Table 1 - □ ×

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Plan 08 River: QUEBRADA ULTA Reach: Reach 1 Profile: Q R 500años												Reload Da
Reach	River Sta	Profile	Max Chl Dpth	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Reach 1	560	Q R 500años	1.29	3136.58	3137.20	3137.41	3137.94	0.100128	3.18	35.79	60.63	1.84
Reach 1	540.0000	Q R 500años	1.25	3134.28	3135.53	3135.79	3136.43	0.061822	5.78	34.80	42.99	1.78
Reach 1	520.0000	Q R 500años	0.96	3132.71	3133.25	3133.61	3134.47	0.203897	6.16	26.25	44.33	2.84
Reach 1	500.0000	Q R 500años	1.43	3127.98	3129.41	3130.01	3131.28	0.091131	8.14	26.87	32.64	2.25
Reach 1	480.0000	Q R 500años	1.18	3123.68	3124.86	3125.70	3128.48	0.199076	10.49	18.83	25.84	3.21
Reach 1	459.9999	Q R 500años	0.93	3120.57	3121.50	3122.10	3123.83	0.212175	9.34	22.12	34.80	3.19
Reach 1	439.9999	Q R 500años	1.20	3119.59	3120.53	3120.67	3121.15	0.063135	5.22	39.98	54.90	1.75
Reach 1	420.0000	Q R 500años	1.03	3117.21	3118.04	3118.46	3119.34	0.135271	6.86	27.74	41.37	2.50
Reach 1	400.0000	Q R 500años	1.30	3112.27	3113.43	3114.14	3116.06	0.173006	9.14	20.45	26.83	2.94
Reach 1	379.9999	Q R 500años	0.98	3108.18	3109.09	3109.82	3111.91	0.257589	9.06	18.75	29.50	3.41
Reach 1	359.9999	Q R 500años	1.18	3104.03	3105.21	3105.96	3108.05	0.137643	8.98	21.33	28.38	2.69
Reach 1	340.0000	Q R 500años	1.32	3100.33	3101.66	3102.50	3105.09	0.151675	9.80	19.82	26.49	2.85
Reach 1	319.9999	Q R 500años	1.13	3097.13	3098.20	3099.02	3101.52	0.208762	10.34	19.11	26.23	3.26
Reach 1	299.9999	Q R 500años	1.19	3093.92	3095.09	3095.80	3097.71	0.156475	9.09	21.38	28.30	2.83
Reach 1	279.9999	Q R 500años	1.34	3091.93	3093.18	3093.75	3095.00	0.096809	7.83	25.22	28.45	2.28
Reach 1	259.9999	Q R 500años	1.50	3088.97	3090.47	3091.22	3092.99	0.094248	8.27	22.14	24.30	2.28
Reach 1	239.9999	Q R 500años	1.15	3087.46	3088.51	3089.15	3090.72	0.150495	7.65	21.25	29.08	2.67
Reach 1	220.0000	Q R 500años	1.70	3086.64	3088.34	3088.49	3089.06	0.025953	4.85	43.30	44.98	1.23
Reach 1	199.9999	Q R 500años	1.06	3083.69	3084.74	3085.48	3087.73	0.181861	9.42	21.57	36.07	3.02
Reach 1	179.9999	Q R 500años	1.00	3080.83	3081.77	3082.32	3083.99	0.176577	8.17	23.91	44.35	2.88
Reach 1	160.0000	Q R 500años	0.94	3077.63	3078.57	3079.15	3080.71	0.146365	7.81	23.95	38.68	2.66
Reach 1	139.9999	Q R 500años	3.47	3074.66	3078.13	3076.43	3078.21	0.001063	1.66	130.18	60.46	0.28
Reach 1	119.9999	Q R 500años	3.40	3074.66	3078.06	3076.71	3078.18	0.001608	1.94	115.48	66.46	0.35
Reach 1	100.0000	Q R 500años	2.34	3075.34	3077.68	3077.68	3078.08	0.010562	3.71	67.72	74.98	0.82
Reach 1	80.00000	Q R 500años	0.68	3075.01	3075.37	3075.82	3077.29	0.488367	5.69	21.02	55.98	3.86
Reach 1	59.99999	Q R 500años	1.05	3072.55	3073.55	3073.72	3074.18	0.050361	4.74	43.66	67.22	1.57
Reach 1	40.00000	Q R 500años	0.92	3070.53	3071.44	3071.83	3072.71	0.100260	6.32	30.54	49.54	2.19
Reach 1	19.99999	Q R 500años	1.17	3068.59	3069.73	3070.14	3070.99	0.073348	5.89	31.24	47.07	1.91

ANEXO 7: MECÁNICA DE SUELOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MTC E 107, NTP 339,128 ASTM D 422)

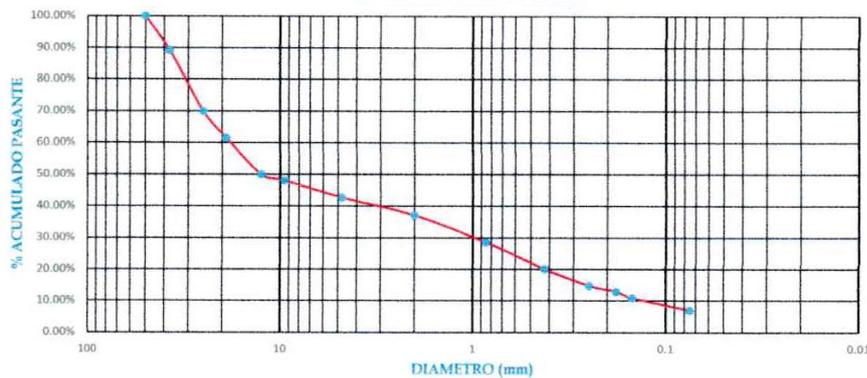
Proyecto	TESIS: "EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA _ CARHUAZ 2022"		
Solicitado	BACH. HANS PAUL MIRANDA BLAS BACH. ANTONY GUILLERMO VASQUEZ FLORES		
Lugar	Shilla - Carhuaz - Ancash	Fecha	Oct-23
Calicata	C - 1	Realizado Por	H.P.M.B y A.G.V.F
Tipo de Sondaje	A cielo abierto	Nivel Freático	N.E

1. CURVA GRANULOMETRICA

N° de tara	Num 1.
Peso de tara (g)	215.3
Peso de tara + peso de suelo seco (g)	1058.78
Peso de tara + suelo seco lavado (g)	790.6

Abertura (mm)	X	Peso retenido (g)	% Parcial retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasante
50	2'	0	0.00%	0.00%	100.00%
37.5	1 1/2'	91.20	10.84%	10.84%	89.16%
25	1'	162.75	19.35%	30.19%	69.81%
19	3/4'	69.90	8.31%	38.50%	61.50%
12.5	1/2'	96.50	11.47%	49.98%	50.02%
9.5	3/8'	16.43	1.95%	51.93%	48.07%
4.75	N°4	45.88	5.46%	57.39%	42.61%
2	N°10	47.19	5.61%	63.00%	37.00%
0.85	N°20	72.00	8.56%	71.56%	28.44%
0.425	N°40	70.77	8.41%	79.97%	20.03%
0.25	N°60	44.43	5.28%	85.26%	14.74%
0.18	N°80	15.78	1.88%	87.13%	12.87%
0.149	N°100	17.50	2.08%	89.21%	10.79%
0.075	N°200	32.99	3.92%	93.13%	6.87%
Cazoleta		57.74	6.87%	100.00%	
Peso total		841.06			

CURVA GRANULOMÉTRICA



1 Clasificación por SUCS

Malla	Retenido	Pasante
N°200	93.13%	6.87%

Sabiendo que el porcentaje retenido es: **mayor** al 50%
Entonces: **SUELOS DE PARTICULA GRUESA**

SUELOS DE PARTICULA GRUESA

Malla	Retenido	Pasante
N°4	57.39%	42.61%

Sabiendo que el % retenido es **mayor**
Entonces: **GRAVA** **GW-GM**

2 Clasificación AASHTO

A-1b (0)

Malla	Pasante
N°10	37.00%
N°40	20.03%
N°200	6.87%

LL	NP
IP	NP
IG	0.00

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(MTC E 107, NTP 339,128 ASTM D 422)

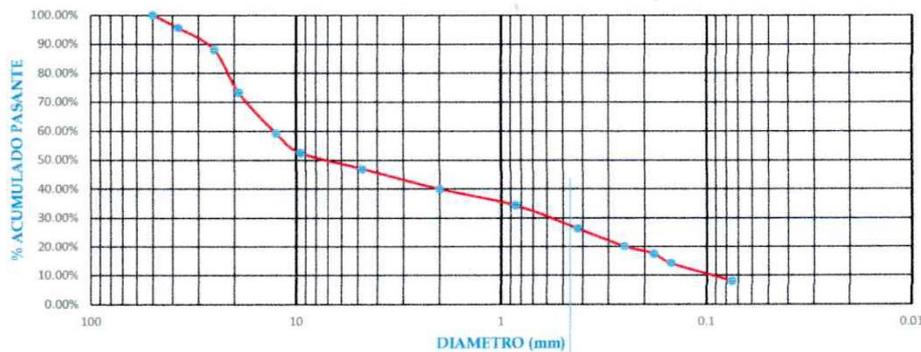
Proyecto	TESIS: "EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA _ CARHUAZ 2022"		
Solicitado	BACH. HANS PAUL MIRANDA BLAS BACH. ANTONY GUILLERMO VASQUEZ FLORES		
Lugar	Shilla - Carhuaz - Ancash	Fecha	Oct-23
Calicata	C - 2	Realizado Por	H.P.M.B y A.G.V.F
Tipo de Sondaje	A cielo abierto	Nivel Freático	N.E

1. CURVA GRANULOMETRICA

N° de tara	Num 2.
Peso de tara (g)	218.1
Peso de tara + peso de suelo seco (g)	1442.56
Peso de tara + suelo seco lavado (g)	1130.8

Abertura (mm)	Tamiz	Peso retenido (g)	% Parcial retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasante
50	2'	0	0.00%	0.00%	100.00%
37.5	1 1/2'	54.62	4.46%	4.46%	95.54%
25	1'	92.00	7.51%	11.97%	88.03%
19	3/4'	181.30	14.80%	26.77%	73.23%
12.5	1/2'	171.90	14.03%	40.81%	59.19%
9.5	3/8'	82.10	6.70%	47.51%	52.49%
4.75	N°4	67.60	5.52%	53.03%	46.97%
2	N°10	84.97	6.94%	59.97%	40.03%
0.85	N°20	71.20	5.81%	65.78%	34.22%
0.425	N°40	98.12	8.01%	73.79%	26.21%
0.25	N°60	76.25	6.23%	80.02%	19.98%
0.18	N°80	32.23	2.63%	82.65%	17.35%
0.149	N°100	40.24	3.29%	85.93%	14.07%
0.075	N°200	76.55	6.25%	92.18%	7.82%
Cazoleta		95.76	7.82%	100.00%	
Peso total		1224.84			

CURVA GRANULOMÉTRICA



1 Clasificación por SUCS

Malla	Retenido	Pasante
N°200	92.18%	7.82%

Sabiendo que el porcentaje retenido es: **mayor** al 50%
Entonces: **SUELOS DE PARTICULA GRUESA**

SUELOS DE PARTICULA GRUESA

Malla	Retenido	Pasante
N°4	53.03%	46.97%

Sabiendo que el % retenido es **mayor** al 50%
Entonces: **GRAVA GW-GM**

2 Clasificación AASHTO

A-1b (0)

Malla	Pasante
N°10	40.03%
N°40	26.21%
N°200	7.82%

LL	15.00
IP	4.00
IG	0.00

IG = 0.2a+0.005ac+0.01bd



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(MTC E 107, NTP 339,128 ASTM D 422)

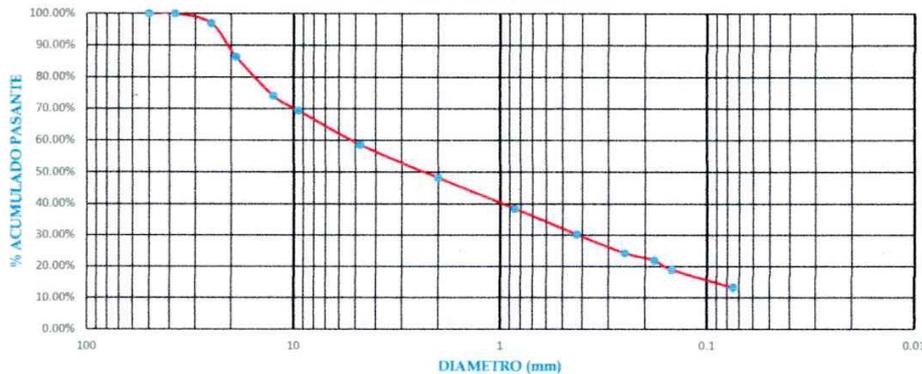
Proyecto	TESIS: "EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA _ CARHUAZ 2022"		
Solicitado	BACH. HANS PAUL MIRANDA BLAS BACH. ANTONY GUILLERMO VASQUEZ FLORES		
Lugar	Shilla - Carhuaz - Ancash	Fecha	Oct-23
Calicata	C - 3	Realizado Por	H.P.M.B y A.G.V.F
Tipo de Sondaje	A cielo abierto	Nivel Freático	N.E

1. CURVA GRANULOMETRICA

N° de tara	Num 2.
Peso de tara (g)	217.72
Peso de tara + peso de suelo seco (g)	1017.72
Peso de tara + suelo seco lavado (g)	830.06

Abertura (mm)	Tamiz	Peso retenido (g)	% Parcial retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasante
50	2'	0	0.00%	0.00%	100.00%
37.5	1 1/2'	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
25	1'	24.71	3.09%	3.09%	96.91%
19	3/4'	84.15	10.52%	13.61%	86.39%
12.5	1/2'	99.31	12.41%	26.02%	73.98%
9.5	3/8'	36.92	4.62%	30.64%	69.36%
4.75	N°4	86.18	10.77%	41.41%	58.59%
2	N°10	83.26	10.41%	51.82%	48.18%
0.85	N°20	78.59	9.82%	61.64%	38.36%
0.425	N°40	66.35	8.29%	69.93%	30.07%
0.25	N°60	47.73	5.97%	75.90%	24.10%
0.18	N°80	18.51	2.31%	78.21%	21.79%
0.149	N°100	23.61	2.95%	81.17%	18.84%
0.075	N°200	45.30	5.66%	86.83%	13.17%
Cazoleta		105.38	13.17%	100.00%	
Peso total		800			

CURVA GRANULOMÉTRICA



1 Clasificación por SUCS

Malla	Retenido	Pasante
N°200	86.83%	13.17%

Sabiendo que el porcentaje retenido es: **mayor** al 50%
Entonces: **SUELOS DE PARTICULA GRUESA**

SUELOS DE PARTICULA GRUESA

Malla	Retenido	Pasante
N°4	41.41%	58.59%



Sabiendo que el % retenido es **menor** al 50%
Entonces: **ARENA SM-SC**

2 Clasificación AASHTO

A-2-4 (0)

Malla	Pasante
N°10	48.18%
N°40	30.07%
N°200	13.17%

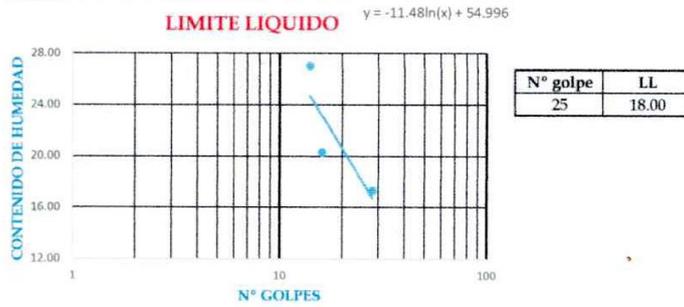
LL	18.00
IP	4.00
IG	0.00

IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd



2. LIMITES DE CONSISTENCIA

Tara	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			14.00
	1	2	3	4	5	6	
N° golpes	14	16	28	-	-	-	
Peso tara (g)	28.16	26.79	26.79	28.16	26.79	26.79	
Peso tara + suelo húmedo (g)	31.45	31.18	31.47	30.02	28.88	29.02	
Peso tara + suelo seca (g)	30.75	30.44	30.78	29.75	28.61	28.82	
Peso del agua (g)	0.7	0.74	0.69	0.27	0.27	0.2	
Peso suelo seco (g)	2.59	3.65	3.99	1.59	1.82	2.03	
Contenido de humedad	27.03	20.27	17.29	16.98	14.84	9.85	



CONTENIDO DE HUMEDAD

Proyecto	TESIS: "EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA _ CARHUAZ 2022"		
Solicitado	BACH. HANS PAUL MIRANDA BLAS BACH. ANTONY GUILLERMO VASQUEZ FLORES		
Lugar	Shilla - Carhuaz - Ancash	Fecha	Oct-23
Calicata	C - 1	Realizado Por	H.P.M.B y A.G.V.F
Tipo de Sondaje	A cielo abierto	Nivel Freático	N.E

CONTENIDO DE HUMEDAD

8.28%

Tara	1	2	3
Peso tara (g)	81.26	80.95	77.89
Peso tara + suelo húmedo (g)	581.26	580.95	577.89
Peso tara + suelo seca (g)	544.69	535.16	545.76
Peso del agua (g)	36.57	45.79	32.13
Peso suelo seco (g)	463.43	454.21	467.87
Contenido de humedad	7.89%	10.08%	6.87%



CONTENIDO DE HUMEDAD

Proyecto	TESIS: "EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA _ CARHUAZ 2022"		
Solicitado	BACH. HANS PAUL MIRANDA BLAS BACH. ANTONY GUILLERMO VASQUEZ FLORES		
Lugar	Shilla - Carhuaz - Ancash	Fecha	Oct-23
Calicata	C -2	Realizado Por	H.P.M.B y A.G.V.F
Tipo de Sondaje	A cielo abierto	Nivel Freático	N.E

CONTENIDO DE HUMEDAD

10.99%

Tara	1	2	3
Peso tara (g)	85.67	83	81.83
Peso tara + suelo húmedo (g)	585.67	583	581.83
Peso tara + suelo seca (g)	531.73	538.25	532.13
Peso del agua (g)	53.94	44.75	49.7
Peso suelo seco (g)	446.06	455.25	450.3
Contenido de humedad	12.09%	9.83%	11.04%



CONTENIDO DE HUMEDAD

Proyecto	TESIS: "EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA _ CARHUAZ 2022"		
Solicitado	BACH. HANS PAUL MIRANDA BLAS BACH. ANTONY GUILLERMO VASQUEZ FLORES		
Lugar	Shilla - Carhuaz - Ancash	Fecha	Oct-23
Calicata	C -3	Realizado Por	H.P.M.B y A.G.V.F
Tipo de Sondaje	A cielo abierto	Nivel Freático	N.E

CONTENIDO DE HUMEDAD

16.92%

Tara	1	2	3
Peso tara (g)	42.2	66.3	217.06
Peso tara + suelo húmedo (g)	542.2	566.3	717.06
Peso tara + suelo seca (g)	469.13	495.69	643.67
Peso del agua (g)	73.07	70.61	73.39
Peso suelo seco (g)	426.93	429.39	426.61
Contenido de humedad	17.12%	16.44%	17.20%



ANEXO 8: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 80

Estado actual de estribo del puente Shilla sobre la quebrada Ulta



Figura 81

Vista del puente Shilla con plataforma de madera provisional.



Figura 82

Tránsito de Vehículos sobre el puente Shilla.



Figura 83

Vista aguas arriba de la Quebrada Ulta.



Figura 84

Vista aguas arriba de la quebrada Ulta.



Figura 85

Levantamiento topográfico de la quebrada.



Figura 86

Levantamiento topográfico – zona del puente, de la quebrada Ulta.



Figura 87

Levantamiento topográfico aguas arriba de la quebrada Ulta.



Figura 88

Vista de la Calicata 1 para EMS.



Figura 89

Vista de la Calicata 2 para EMS.



Figura 90

Vista de la Calicata 3 para EMS.



Figura 91

Análisis granulométrico en laboratorio de la EPIC.



Figura 92

Determinación de Límites de Atterberg.



Figura 93

Análisis de plasticidad de suelos.



Figura 94

Determinación del contenido de humedad.



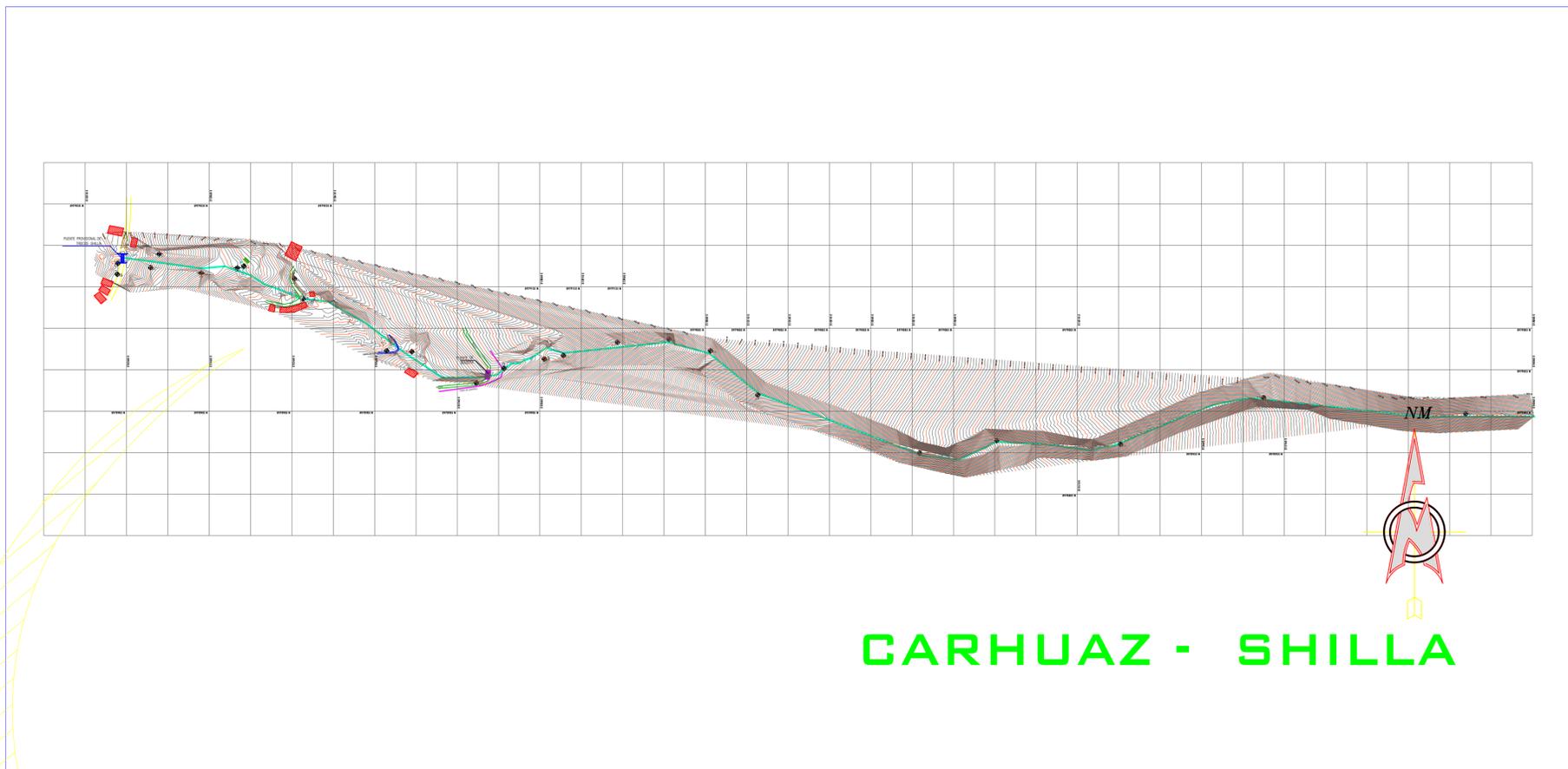
Figura 95

Vista general del puente Shilla, agua abajo. Y se observa la huella del agua bajo el puente Shilla en tiempo de estiaje.



ANEXO 9: PLANOS

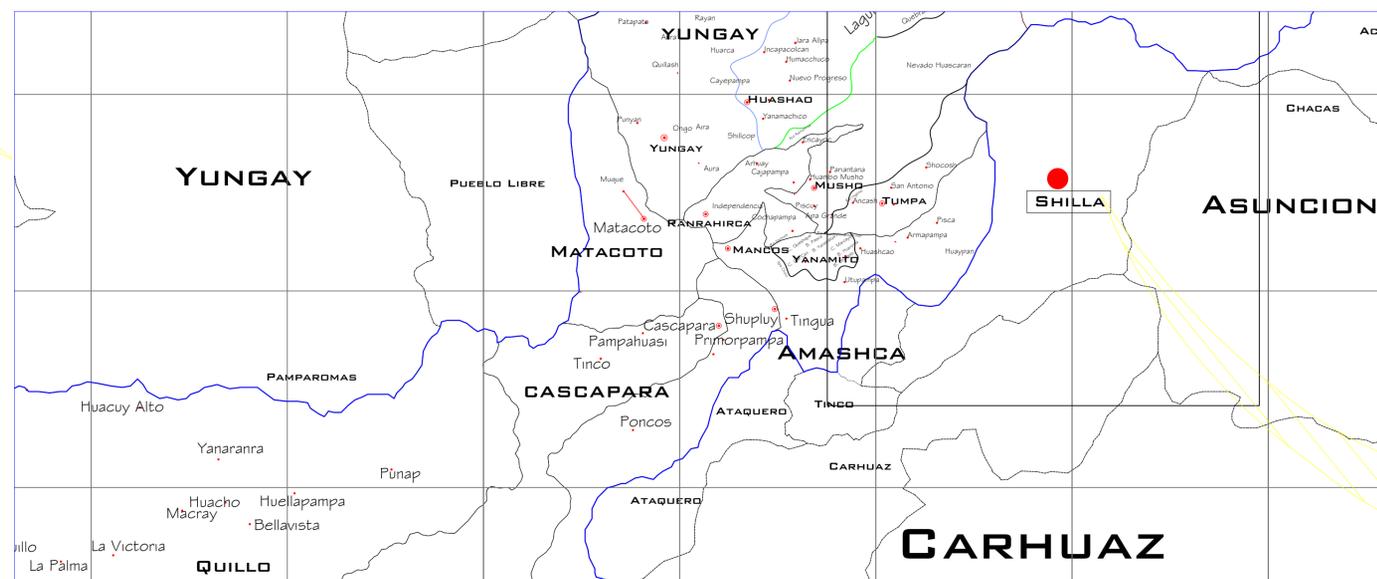
PLANO UBICACIÓN



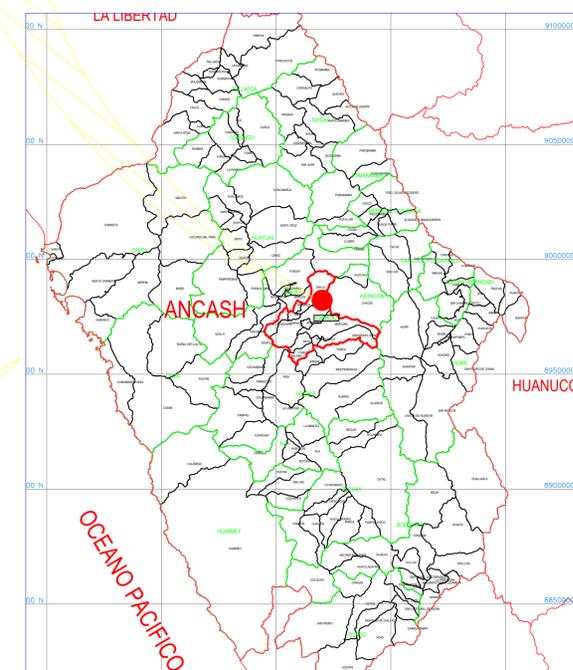
UBICACION DEL PROYECTO



UBICACIÓN DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DISTRITAL



UBICACIÓN PROVINCIAL

LOCALIZACIÓN

Esc. : S/E

REGION	: ANCASH
PROVINCIA	: CARHUAZ
DISTRITO	: SHILLA
LOCALIDAD	: C.P. SHILLA (TRAMO-PUENTE SHILLA)

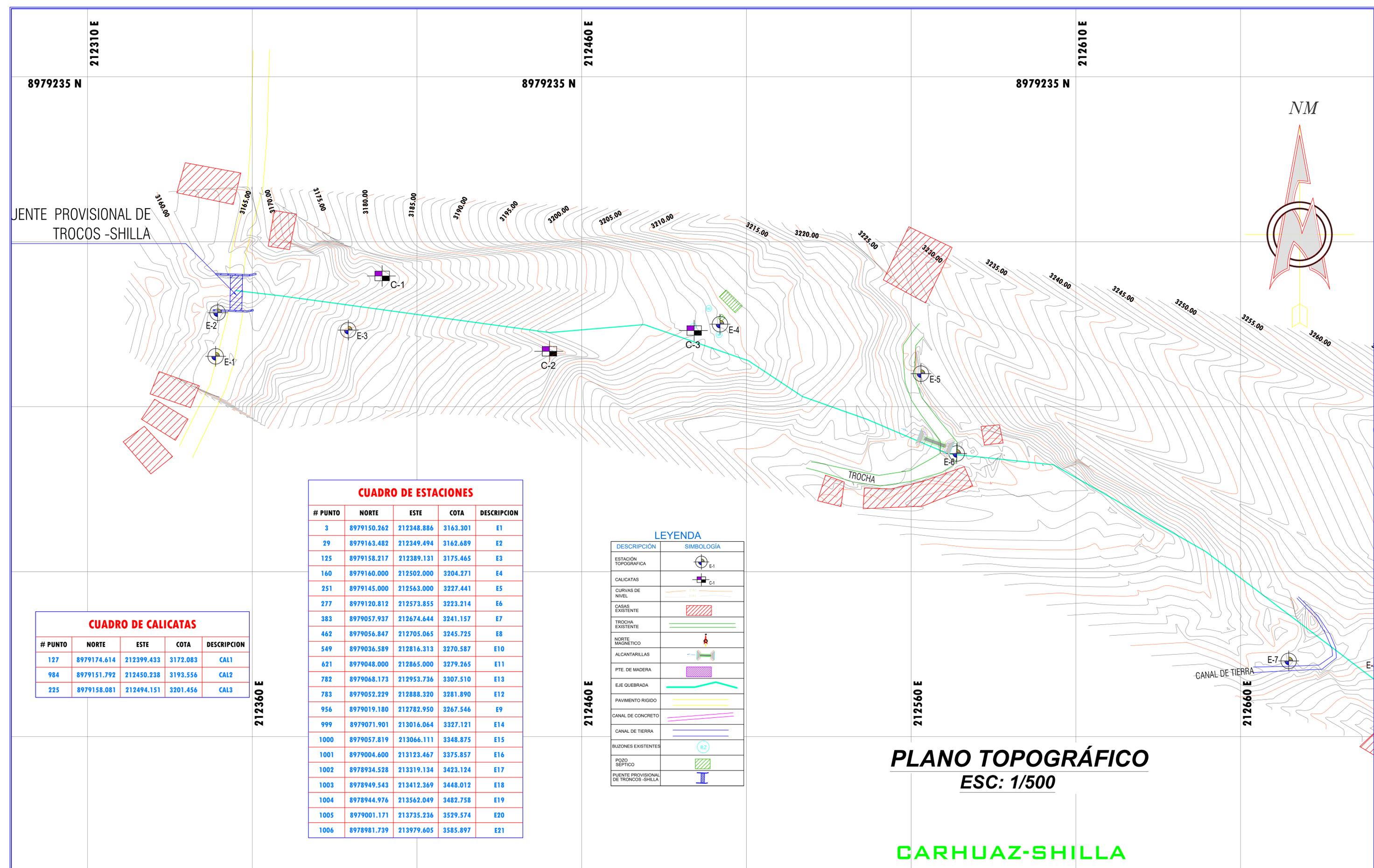
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORES :
 -BACH. MIRANDA BLAS, PAUL HANS
 -BACH. VÁSQUEZ FLORES, ANTONY GUILLERMO
ESCALA:
 INDICADA

PROYECTO DE TESIS:
 "EVALUACIÓN HIDRAULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA _ CARHUAZ 2022"

CONTIENE :
 PLANO DE UBICACIÓN
 PUENTE SHILLA

REFERENCIA :
 C.P. SHILLA
ARCH AUTOCAD :
 PLANO DE UBICACIÓN
FECHA :
 SETIEMBRE - 2022
LAMINA N° :
 PU-01



CUADRO DE CALICATAS

# PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCION
127	8979174.614	212399.433	3172.083	CAL1
984	8979151.792	212450.238	3193.556	CAL2
225	8979158.081	212494.151	3201.456	CAL3

CUADRO DE ESTACIONES

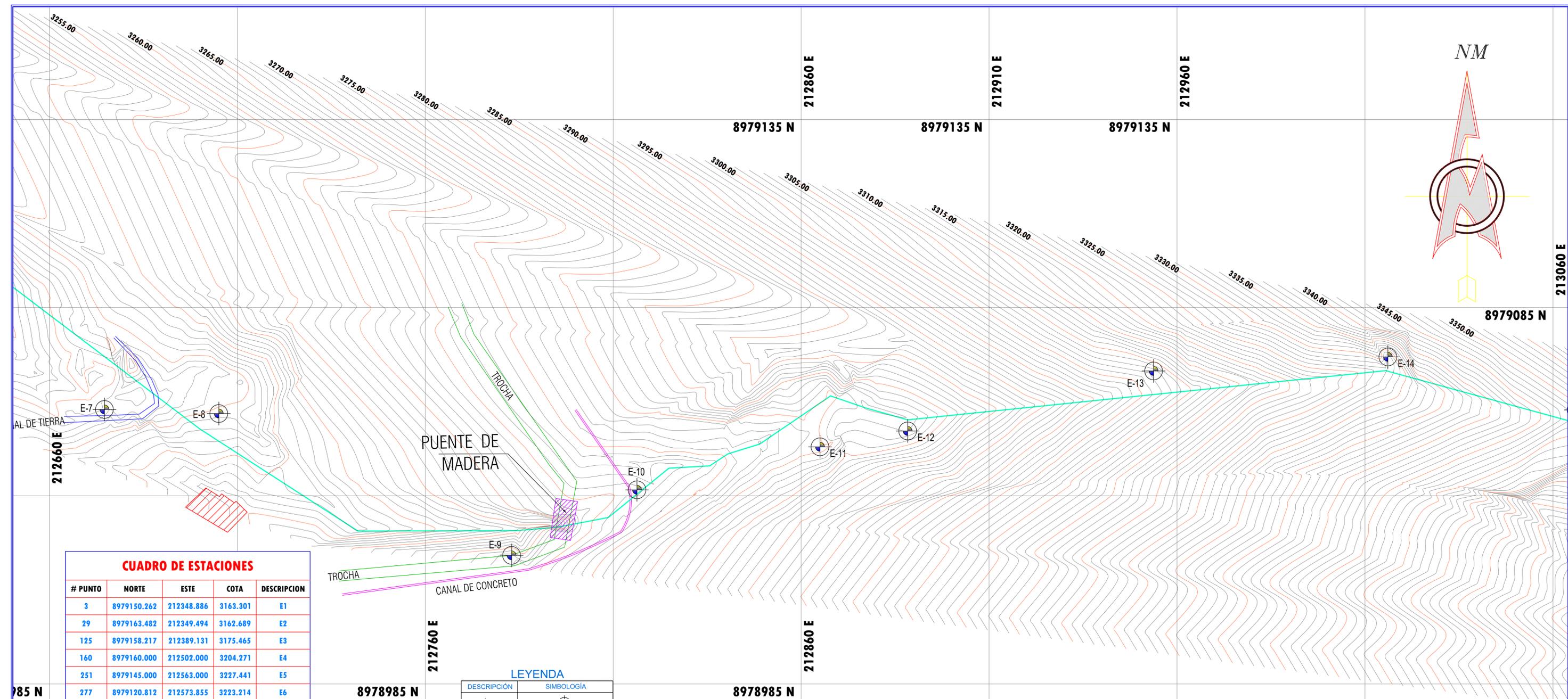
# PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCION
3	8979150.262	212348.886	3163.301	E1
29	8979163.482	212349.494	3162.689	E2
125	8979158.217	212389.131	3175.465	E3
160	8979160.000	212502.000	3204.271	E4
251	8979145.000	212563.000	3227.441	E5
277	8979120.812	212573.855	3223.214	E6
383	8979057.937	212674.644	3241.157	E7
462	8979056.847	212705.065	3245.725	E8
549	8979036.589	212816.313	3270.587	E10
621	8979048.000	212865.000	3279.265	E11
782	8979068.173	212953.736	3307.510	E13
783	8979052.229	212888.320	3281.890	E12
956	8979019.180	212782.950	3267.546	E9
999	8979071.901	213016.064	3327.121	E14
1000	8979057.819	213066.111	3348.875	E15
1001	8979004.600	213123.467	3375.857	E16
1002	8978934.528	213319.134	3423.124	E17
1003	8978949.543	213412.369	3448.012	E18
1004	8978944.976	213562.049	3482.758	E19
1005	8979001.171	213735.236	3529.574	E20
1006	8978981.739	213979.605	3585.897	E21

LEYENDA

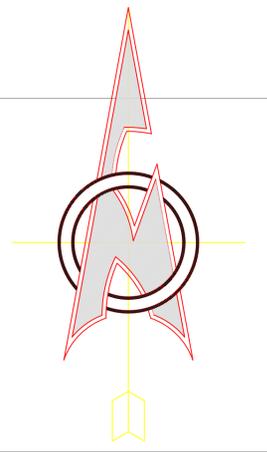
DESCRIPCION	SIMBOLOGIA
ESTACION TOPOGRAFICA	
CALICATAS	
CURVAS DE NIVEL	
CASAS EXISTENTE	
TROCHA EXISTENTE	
NORTE MAGNETICO	
ALCANTARILLAS	
PTE. DE MADERA	
EJE QUEBRADA	
PAVIMENTO RIGIDO	
CANAL DE CONCRETO	
CANAL DE TIERRA	
BUZONES EXISTENTES	
POZO SEPTICO	
PUENTE PROVISIONAL DE TROCOS -SHILLA	

PLANO TOPOGRÁFICO
ESC: 1/500

CARHUAZ-SHILLA



NM



8979085 N

213060 E

CUADRO DE ESTACIONES

# PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCION
3	8979150.262	212348.886	3163.301	E1
29	8979163.482	212349.494	3162.689	E2
125	8979158.217	212389.131	3175.465	E3
160	8979160.000	212502.000	3204.271	E4
251	8979145.000	212563.000	3227.441	E5
277	8979120.812	212573.855	3223.214	E6
383	8979057.937	212674.644	3241.157	E7
462	8979056.847	212705.065	3245.725	E8
549	8979036.589	212816.313	3270.587	E10
621	8979048.000	212865.000	3279.265	E11
782	8979068.173	212953.736	3307.510	E13
783	8979052.229	212888.320	3281.890	E12
956	8979019.180	212782.950	3267.546	E9
999	8979071.901	213016.064	3327.121	E14
1000	8979057.819	213066.111	3348.875	E15
1001	8979004.600	213123.467	3375.857	E16
1002	8978934.528	213319.134	3423.124	E17
1003	8978949.543	213412.369	3448.012	E18
1004	8978944.976	213562.049	3482.758	E19
1005	8979001.171	213735.236	3529.574	E20
1006	8978981.739	213979.605	3585.897	E21

LEYENDA

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA
ESTACIÓN TOPOGRÁFICA	
CALICATAS	
CURVAS DE NIVEL	
CASAS EXISTENTE	
TROCHA EXISTENTE	
NORTE MAGNETICO	
ALCANTARILLAS	
PTE. DE MADERA	
EJE QUEBRADA	
PAVIMENTO RIGIDO	
CANAL DE CONCRETO	
CANAL DE TIERRA	
BUZONES EXISTENTES	
POZO SEPTICO	
PUENTE PROVISIONAL DE TRONCOS-SHILLA	

PLANO TOPOGRÁFICO
ESC: 1/500

CARHUAZ-SHILLA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

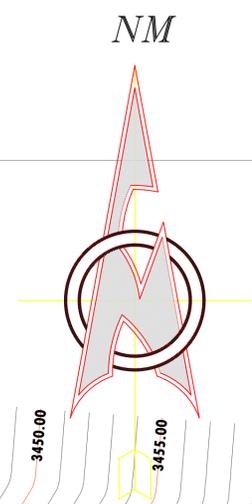
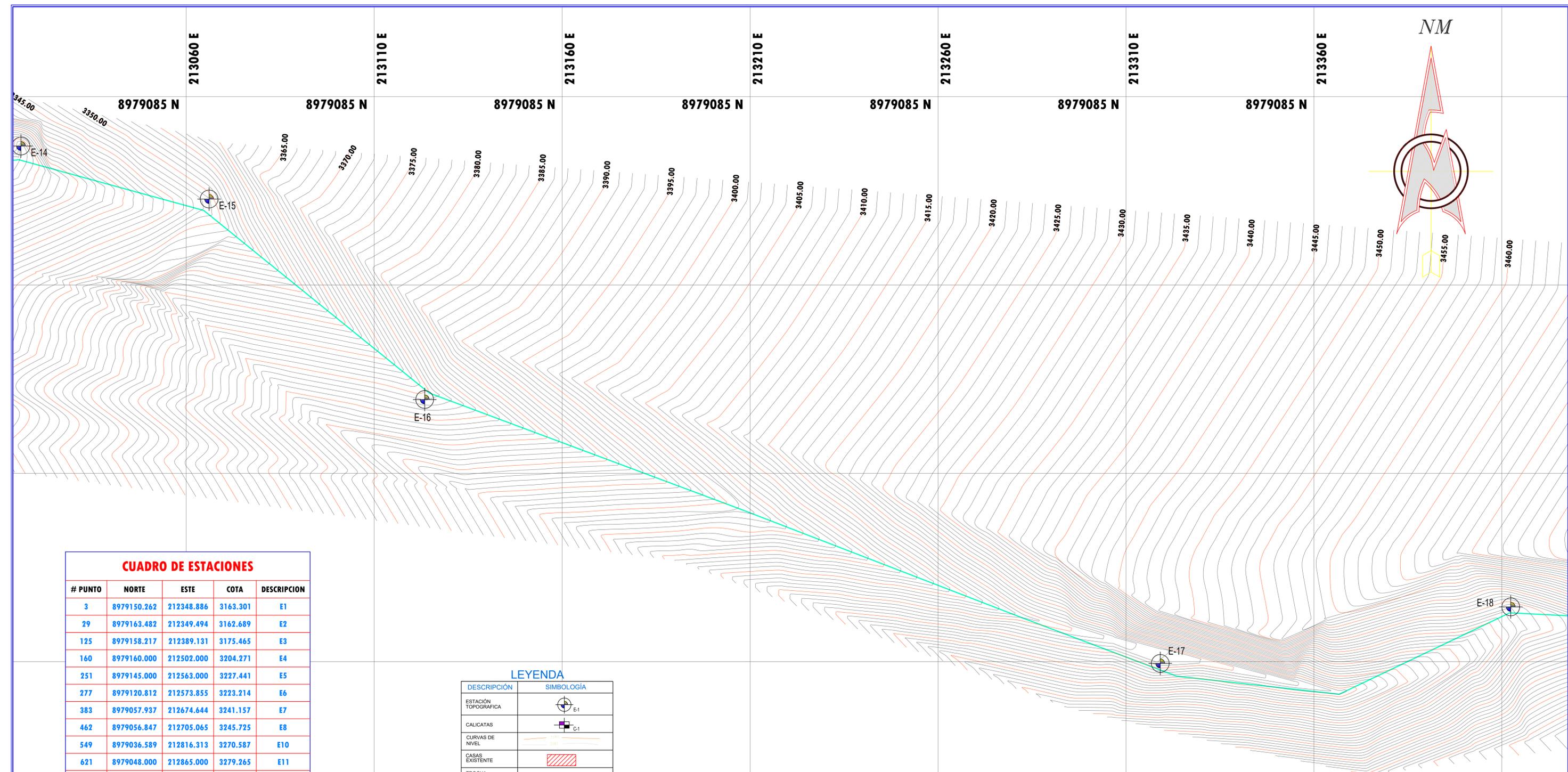
AUTORES :
-BACH. MIRANDA BLAS, PAUL HANS
-BACH. VÁSQUEZ FLORES, ANTONY GUILLERMO
ESCALA:
INDICADA

PROYECTO DE TESIS:
"EVALUACIÓN HIDRAULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA _ CARHUAZ 2022"

CONTIENE :
PLANO TOPOGRÁFICO
PUENTE SHILLA

REFERENCIA :
C.P. SHILLA
ARCH AUTOCAD :
PLANO TOPO.
FECHA :
SEPTIEMBRE - 2022

LAMINA N° :
PT-02



CUADRO DE ESTACIONES

# PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCION
3	8979150.262	212348.886	3163.301	E1
29	8979163.482	212349.494	3162.689	E2
125	8979158.217	212389.131	3175.465	E3
160	8979160.000	212502.000	3204.271	E4
251	8979145.000	212563.000	3227.441	E5
277	8979120.812	212573.855	3223.214	E6
383	8979057.937	212674.644	3241.157	E7
462	8979056.847	212705.065	3245.725	E8
549	8979036.589	212816.313	3270.587	E10
621	8979048.000	212865.000	3279.265	E11
782	8979068.173	212953.736	3307.510	E13
783	8979052.229	212888.320	3281.890	E12
956	8979019.180	212782.950	3267.546	E9
999	8979071.901	213016.064	3327.121	E14
1000	8979057.819	213066.111	3348.875	E15
1001	8979004.600	213123.467	3375.857	E16
1002	8978934.528	213319.134	3423.124	E17
1003	8978949.543	213412.369	3448.012	E18
1004	8978944.976	213562.049	3482.758	E19
1005	8979001.171	213735.236	3529.574	E20
1006	8978981.739	213979.605	3585.897	E21

LEYENDA

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA
ESTACIÓN TOPOGRÁFICA	
CALICATAS	
CURVAS DE NIVEL	
CASAS EXISTENTE	
TROCHA EXISTENTE	
NORTE MAGNETICO	
ALCANTARILLAS	
PTE. DE MADERA	
EJE QUEBRADA	
PAVIMENTO RIGIDO	
CANAL DE CONCRETO	
CANAL DE TIERRA	
BUZONES EXISTENTES	
POZO SEPTICO	
PUENTE PROVISIONAL DE TRONCOS-SHILLA	

PLANO TOPOGRÁFICO
ESC: 1/500

CARHUAZ-SHILLA

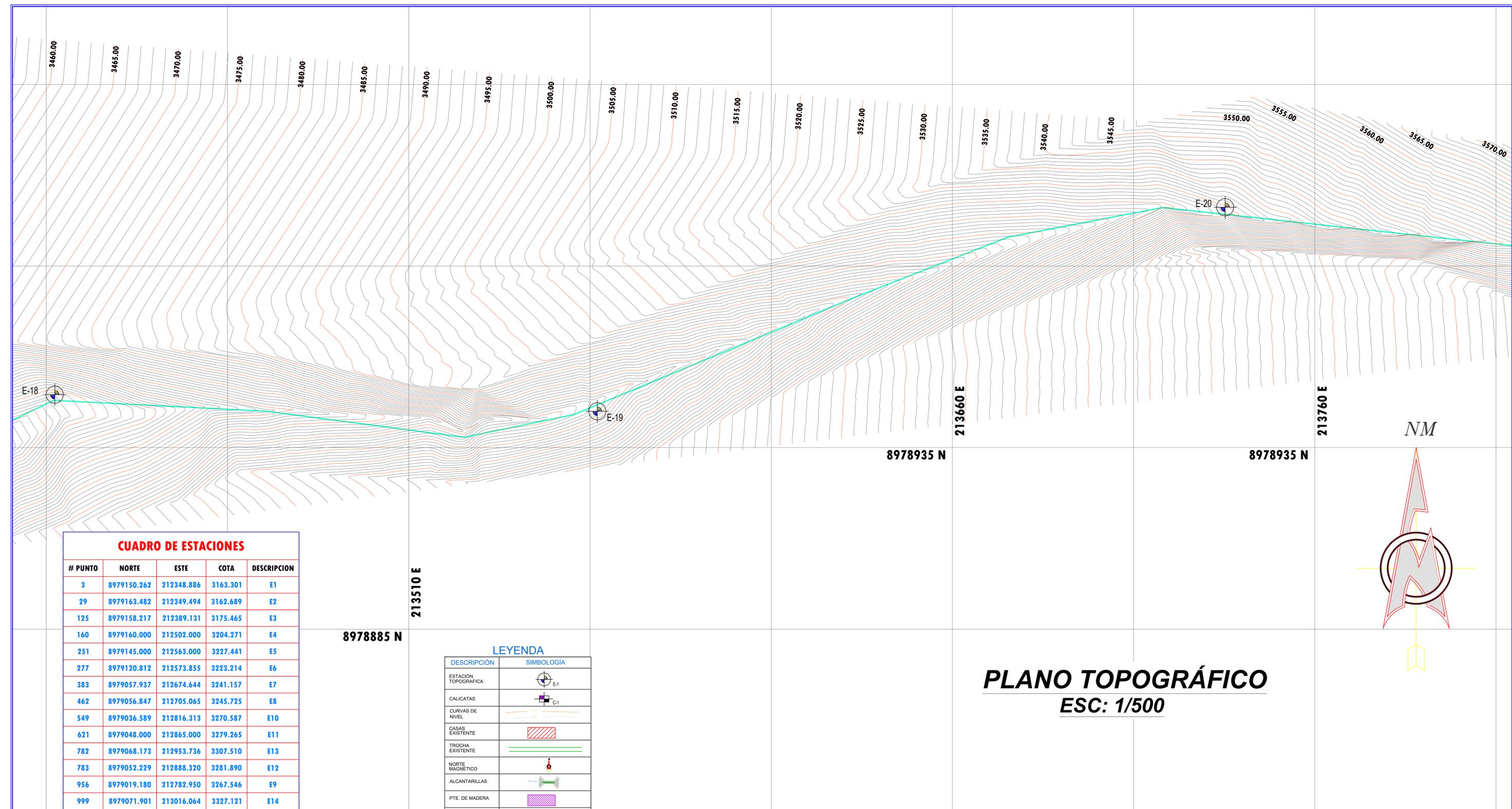
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORES :
-BACH. MIRANDA BLAS, PAUL HANS
-BACH. VÁSQUEZ FLORES, ANTONY GUILLERMO
ESCALA:
INDICADA

PROYECTO DE TESIS:
"EVALUACIÓN HIDRAULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA _ CARHUAZ 2022"

CONTIENE :
PLANO TOPOGRÁFICO
PUENTE SHILLA

REFERENCIA :
C.P. SHILLA
ARCH AUTOCAD :
PLANO GENERAL
FECHA :
SEPTIEMBRE - 2022
LAMINA N° :
PT-03



CUADRO DE ESTACIONES

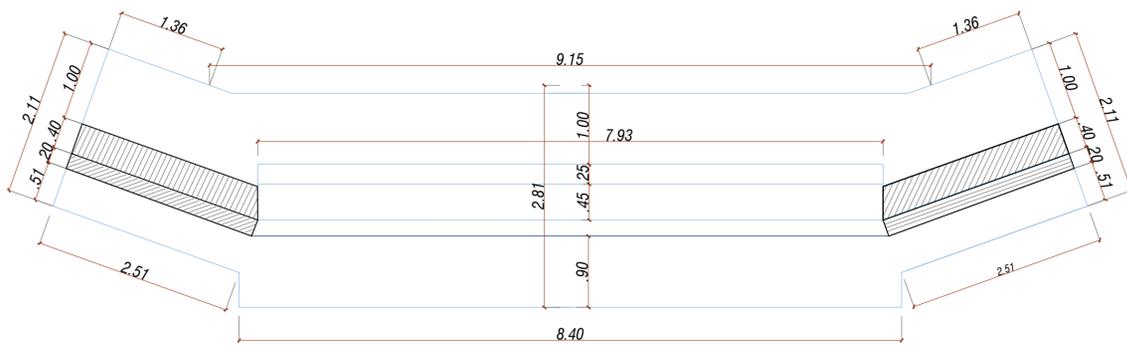
# PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCION
3	8979150.262	212348.886	3163.301	E1
29	8979163.482	212349.494	3162.689	E2
125	8979158.217	212389.131	3175.465	E3
160	8979160.000	212502.000	3204.271	E4
251	8979145.000	212563.000	3227.441	E5
277	8979120.812	212573.855	3223.214	E6
383	8979057.937	212674.644	3241.157	E7
462	8979056.847	212705.065	3245.725	E8
549	8979036.589	212816.313	3270.587	E10
621	8979048.000	212865.000	3279.265	E11
782	8979068.173	212953.736	3307.510	E13
783	8979052.229	212888.320	3281.890	E12
956	8979019.180	212782.950	3267.546	E9
999	8979071.901	213016.064	3327.121	E14
1000	8979057.819	213066.111	3348.875	E15
1001	8979004.600	213123.467	3375.857	E16
1002	8978934.528	213319.134	3423.124	E17
1003	8978949.543	213412.369	3448.012	E18
1004	8978944.976	213562.049	3482.758	E19
1005	8979001.171	213735.236	3529.574	E20
1006	8978981.739	213979.605	3585.897	E21

LEYENDA

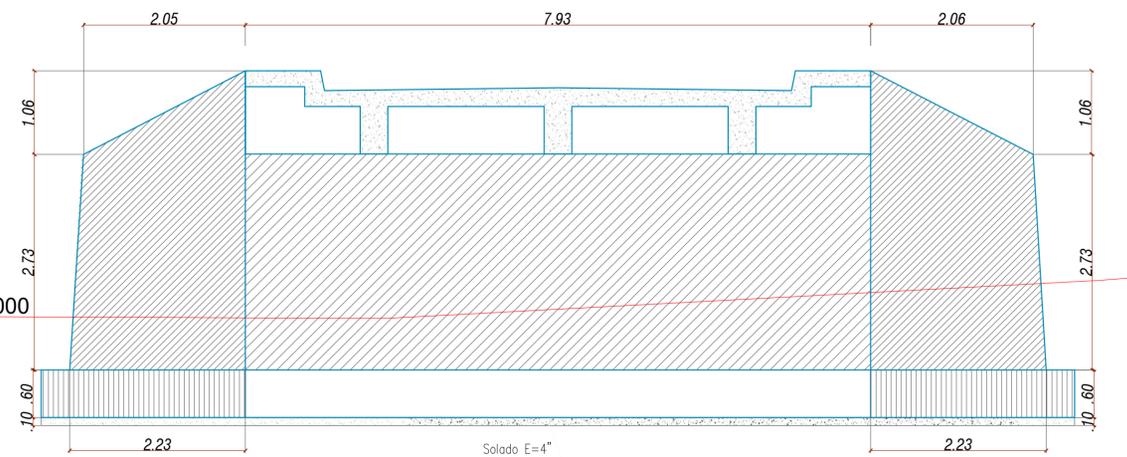
DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA
ESTACIÓN TOPOGRÁFICA	
CALICATAS	
CURVAS DE NIVEL	
CASAS EXISTENTE	
TROCHA EXISTENTE	
NORTE MAGNETICO	
ALCANTARILLAS	
PTE. DE MADERA	
EJE QUEBRADA	
PAVIMENTO RIGIDO	
CANAL DE CONCRETO	
CANAL DE TIERRA	
BUZONES EXISTENTES	
POZO SEPTICO	
PUENTE PROVISIONAL DE TRONCOS-SHILLA	

PLANO TOPOGRÁFICO
ESC: 1/500

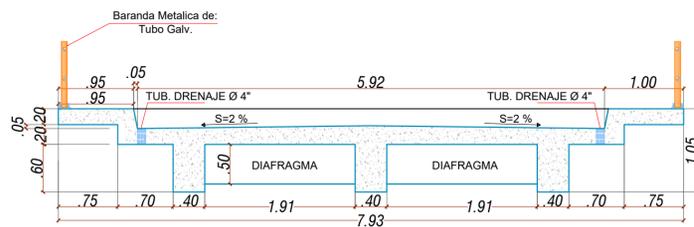
CARHUAZ-SHILLA



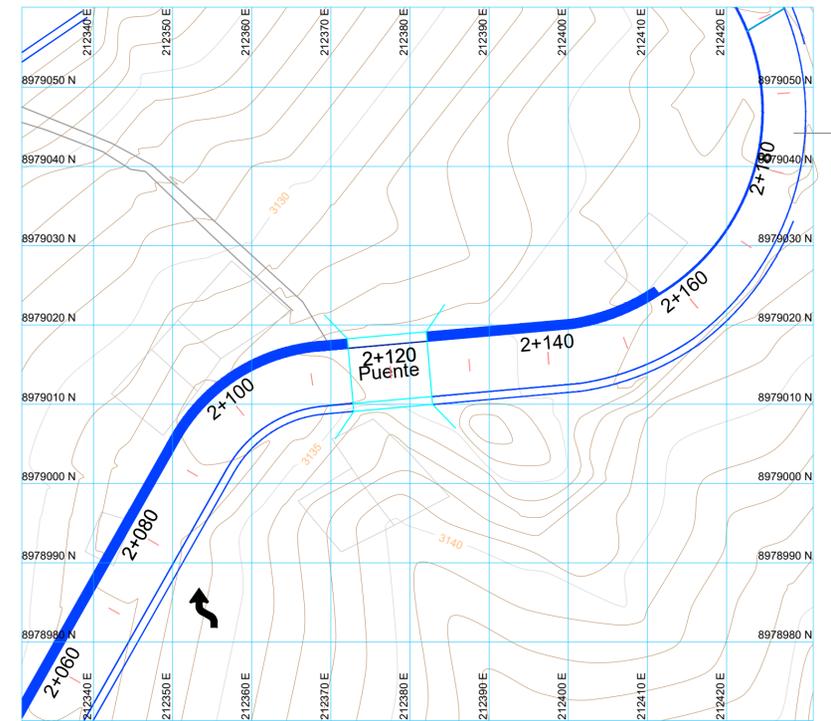
PLANTA ESTRIBO
ESC=1/50



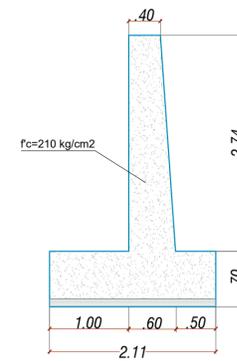
ELEVACION FRONTAL DE ESTRIBO
ESC=1/50



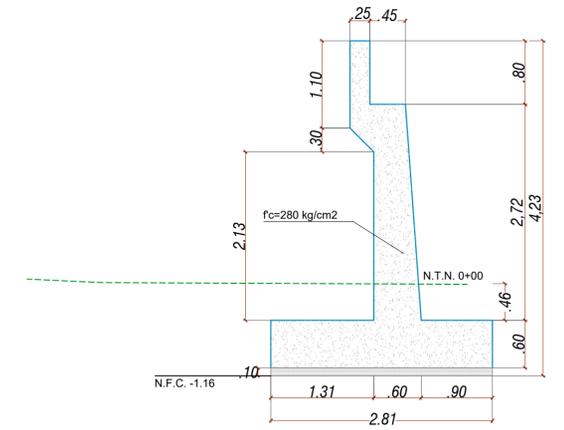
DETALLE DE SECCIÓN DE LOSA
ESC=1/50



PLANTA TOPOGRÁFICA
ESC=1/500



DETALLE DE ALERO
ESC=1/50



DETALLE DE ESTRIBO DE PUENTE
ESC=1/50

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA - FACULTAD DE INGENIERÍA - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

LAMINA N° :

PROYECTO DE TESIS :

"EVALUACIÓN HIDRAULICA DEL PUENTE SHILLA SOBRE LA QUEBRADA ULTA _ CARHUAZ 2022"

AUTORES :

-BACH. MIRANDA BLAS, PAUL HANS
-BACH. VÁSQUEZ FLORES, ANTONY GUILLERMO

CONTIENE :

PLANO DETALLE DE PUENTE

UBICACIÓN :

C.P.SHILLA - CARHUAZ - ANCASH

FECHA :

NOVIEMBRE - 2022

ESCALA :

INDICADA

DP-01