

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

TESIS

“MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA ESTABLECER LAS ZONAS INUNDABLES EN LA CUENCA DEL RÍO VIZCARRA, DEL ÁREA URBANA DE LOS DISTRITOS DE LA UNIÓN Y RIPÁN, HUÁNUCO 2021”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Godoy Bernachea, Kevin Joel

ASESOR: Mato Vicente, Rosner Nadler

HUÁNUCO – PERÚ

2022

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Proyectos civiles
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2018-2019)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 70018606

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 41877736

Grado/Título: Maestro en gestión pública

Código ORCID: 0000-0003-3638-9284

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jacha Rojas, Johnny Prudencio	Maestro en ingeniería de sistemas e informática con mención en: gerencia de sistemas y tecnologías de información	40895876	0000-0001-7920-1304
2	Abal Garcia, Hamilton Denniss	Maestro en gerencia pública	43962001	0000-0002-8378-9152
3	Davila Herrera, Percy Mello	Ingeniero civil	41050949	0000-0003-3299-4655

D

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO (A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:15 horas del día 19 del mes de SEPTIEMBRE del año 2022, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

MG. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS (Presidente)
MG. HAMILTON DENNIS ABAL GARCÍA (Secretario)
ING. PERCY HELLO DÁVILA HERRERA (Vocal)

Nombrados mediante la Resolución N° 1829 - 2022 - D - FI - UDH, para evaluar la **Tesis** intitulada:

"MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA ESTABLECER LAS ZONAS INUNDABLES EN LA CUENCA DEL RÍO VIZCAPPA, DEL ÁREA URBANA DE LOS DISTRITOS DE LA UNIÓN Y RIPÓN, HUÁNUCO 2021"

presentado por el (la) Bachiller KEVIN JOEL GODOY BERNACHEA, para optar el Título Profesional de Ingeniero (a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo (a) APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 14 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47)

Siendo las 16:24 horas del día 19 del mes de SEPTIEMBRE del año 2022, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Presidente


Secretario


Vocal

DEDICATORIA

A Dios su por darme fuerza y coraje en todo lo que hago y permitirme concluir esta investigación.

A mis padres por inculcarme valores, ganas de seguir adelante y sobre todo por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por darme salud, una mente de bien y brindarme las oportunidades para alcanzar mis objetivos.

A mis queridos padres Joel Godoy Leiva y Glicería Mercedes Bernachea Monago por estar en momentos tensos de mi vida profesional y por todos sus constructivos consejos que siempre llevare conmigo.

A la Universidad de Huánuco y a los docentes de la facultad de Ingeniería civil, quienes brindaron su conocimiento para el desarrollo sobresaliente de la facultad y el de la ingeniería en el país.

A todos mis maestros quienes me ayudaron con la realización de esta investigación, pues por su vocación de enseñanza aprendí que el conocimiento se desarrolla si es compartida y difundida.

A mis amigos quienes me apoyaron con su conocimiento y palabras de ánimo para la culminación de esta investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCCIÓN.....	XVII
CAPÍTULO I.....	19
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	19
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	20
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	20
1.3. OBJETIVO GENERAL	21
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.7.1. RECURSOS HUMANOS	22
1.7.2. RECURSOS FINANCIEROS	23
1.7.3. RECURSOS DE TIEMPO.....	23
1.7.4. RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS.....	23
1.7.5. RECURSOS TECNOLÓGICOS.....	23
CAPITULO II.....	24
MARCO TEÓRICO	24
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	24
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	24
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	25
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	27
2.2. BASES TEÓRICAS.....	29
2.2.1. MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA	29

2.2.2. ANÁLISIS DE DATOS HIDROLÓGICOS	41
2.2.3. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA	56
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	69
2.4. HIPÓTESIS.....	71
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	71
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	71
2.5. VARIABLES	72
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	72
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	72
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	73
CAPITULO III.....	74
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	74
3.1. TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....	74
3.1.1. ENFOQUE	74
3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....	74
3.1.3. DISEÑO	75
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	75
3.2.1. POBLACIÓN.....	75
3.2.2. MUESTRA	75
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	75
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	75
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	76
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	76
CAPITULO IV	78
RESULTADOS	78
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	78
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	114
CAPITULO V	121
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	121
5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS	121
CONCLUSIONES	125

RECOMENDACIONES.....	126
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127
ANEXOS	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelos Disponibles para Modelizaciones Hidrológicas	30
Tabla 2. Clasificación según área de una Cuenca	33
Tabla 3. Características de una Cuenca respecto al Valor de K_c	33
Tabla 4. Parámetros Aproximados del Factor de Forma	34
Tabla 5. Tipos de Relieves Según la Pendiente.....	35
Tabla 6. Clasificación de la Red de Drenaje	36
Tabla 7. Rangos y Unidades Hidrográficas.....	37
Tabla 8. Velocidades Medias para Puentes y Alcantarillas	39
Tabla 9. Tiempo de Concentración	39
Tabla 10. Valores Críticos α para la Prueba de Kolmogórov-Smirnov.....	42
Tabla 11. Valores de Periodos de Retorno (Años).....	43
Tabla 12. Periodo de Retorno para Estructuras Menores	44
Tabla 13. Periodos de Retorno para Obras Civiles en General.....	44
Tabla 14. Periodo de Retorno para Obras Hidráulicas en Carretera	45
Tabla 15. Coeficientes de Duración Lluvias	48
Tabla 16. Resumen de la Relación del Tipo de Flujo para los Cálculos Hidráulicos.....	58
Tabla 17. Aplicaciones de la Modelización Hidráulica según las Características del Flujo.....	59
Tabla 18. Modelos Comerciales para Modelizaciones Hidráulicas.....	60
Tabla 19. Valores del Coeficiente n en la Ecuación de Manning.....	65
Tabla 20. Valores del Coeficiente de Rugosidad según Cowan.....	66
Tabla 21. Clasificación de Susceptibilidad a Inundación.....	68
Tabla 22. Operacionalización de Variables.....	73
Tabla 23. Parámetros de Forma de la Cuenca	78
Tabla 24. Parámetros de Relieve de la Cuenca.....	79
Tabla 25. Parámetros de la Red Hidrográfica de la Cuenca	79
Tabla 26. Precipitaciones Máximas- Estación Dos de Mayo.....	80
Tabla 27. Precipitaciones Máximas - Estación Chavín.....	80
Tabla 28. Precipitaciones Máximas - Estación Huallanca	81
Tabla 29. Rango de Precipitaciones	82
Tabla 30. Método Kolmogorov - Smirnov - Estación Chavín.....	83

Tabla 31. Método Kolmogorov - Smirnov - Estación Dos de Mayo	83
Tabla 32. Método Kolmogorov - Smirnov - Estación Huallanca	84
Tabla 33. Resumen de Distribuciones Probabilísticas Elegidas	84
Tabla 34. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno – Estación Chavín	85
Tabla 35. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Dos de Mayo	85
Tabla 36. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Huallanca	85
Tabla 37. Intensidades de Diseño para Duraciones Menores a 24 h. - Estación Chavín	86
Tabla 38. Intensidades de Diseño para Duraciones Menores a 24 h. – Estación Dos de Mayo	87
Tabla 39. Intensidades de Diseño para Duraciones Menores a 24 h. – Estación Huallanca	88
Tabla 40. Hietograma de Precipitación $T_r=100$ años - Estación Chavín	90
Tabla 41. Hietograma de Precipitación $T_r=100$ años - Estación Dos de Mayo	91
Tabla 42. Hietograma de Precipitación $T_r=100$ años - Estación Huallanca ..	92
Tabla 43. Hietograma de Precipitación $T_r=140$ años - Estación Chavín	93
Tabla 44. Hietograma de Precipitación $T_r=140$ años - Estación Dos de Mayo	94
Tabla 45. Hietograma de Precipitación $T_r=140$ años - Estación Huallanca ..	95
Tabla 46. Hietograma de Precipitación $T_r=500$ años - Estación Chavín	97
Tabla 47. Hietograma de Precipitación $T_r=500$ años - Estación Dos de Mayo	98
Tabla 48. Hietograma de Precipitación $T_r=500$ años - Estación Huallanca ..	99
Tabla 49. Número de Curva para las Subcuencas	101
Tabla 50. Parámetros Morfométricos para Subcuencas	101
Tabla 51. Parámetros del Río Según Maskingum Cunge	102
Tabla 52. Desarrollo de Caudales para Diferentes Periodos de Retorno ...	102
Tabla 53. Valores del Coeficiente de Rugosidad del Cause y Ribera Según Cowan	106
Tabla 54. Resumen de Valores de Coeficientes de Rugosidad	106

Tabla 55. Parámetros Hidráulicos del Río Vizcarra.....	109
Tabla 56. Número de Froude del Flujo.....	111
Tabla 57. Áreas Inundables en los Márgenes del río	114
Tabla 58. Resumen de la Prueba de Hipótesis	120
Tabla 59. Características del Equipo Topográfico.....	144
Tabla 60. Estaciones Meteorológicas	146
Tabla 61. Registro de Precipitaciones Máximas en 24 Horas (mm) - Estación Huallanca	147
Tabla 62. Registro de Precipitaciones Máximas en 24 Horas (mm) - Estación Chavín.....	148
Tabla 63. Registro de Precipitaciones Máximas en 24 Horas (mm) - Estación Huallanca	149
Tabla 64. Formato de Recolección de Datos Pluviométricos	150
Tabla 65. Área y Perímetro de la Cuenca	152
Tabla 66. Longitud Máxima del Cauce de la Cuenca	152
Tabla 67. Centroides de la Cuenca	152
Tabla 68. Coeficiente de Compacidad de la Cuenca	153
Tabla 69. Factor Forma de la Cuenca.....	153
Tabla 70. Altitud Mínima y Máxima de la Cuenca	154
Tabla 71. Número de Orden de Ríos de la Cuenca	154
Tabla 72. Densidad de los Ríos	155
Tabla 73. Altitudes de la Longitud Máxima del Cauce.....	155
Tabla 74. Pendiente Media del Río Principal	155
Tabla 75. Análisis de Datos Dudosos Estación Chavín.....	156
Tabla 76. Análisis de Datos Dudosos Estación Dos de Mayo	157
Tabla 77. Análisis de Datos Dudosos Estación Huallanca	158
Tabla 78. Prueba Smirnov Kolmogorov – Estación Chavín.....	159
Tabla 79. Prueba Smirnov Kolmogorov - Estación Dos de Mayo.....	160
Tabla 80. Prueba Smirnov Kolmogorov - Estación Huallanca	161
Tabla 81. Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Chavín	165
Tabla 82. Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Dos de Mayo.....	165

Tabla 83. Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Huallanca	165
Tabla 84. Precipitaciones Corregidas para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Chavín	166
Tabla 85. Precipitaciones Corregidas para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Dos de Mayo	166
Tabla 86. Precipitaciones Corregidas para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Huallanca	166
Tabla 87. Intensidades de Diseño para Duraciones Menores a 24 h. - Estación Chavín	167
Tabla 88. Intensidades de Diseño para Duraciones Menores a 24 h. – Estación Dos de Mayo	168
Tabla 89. Intensidades de Diseño para Duraciones Menores a 24 h. – Estación Huallanca	169
Tabla 90. Hietograma de Precipitación $Tr=100$ años - Estación Chavín	170
Tabla 91. Hietograma de Precipitación $Tr=100$ años - Estación Dos de Mayo	171
Tabla 92. Hietograma de Precipitación $Tr=100$ años - Estación Huallanca	172
Tabla 93. Hietograma de Precipitación $Tr=140$ años - Estación Chavín	173
Tabla 94. Hietograma de Precipitación $Tr=140$ años - Estación Dos de Mayo	174
Tabla 95. Hietograma de Precipitación $Tr=140$ años - Estación Huallanca	175
Tabla 96. Hietograma de Precipitación $Tr=500$ años - Estación Chavín	176
Tabla 97. Hietograma de Precipitación $Tr=500$ años - Estación Dos de Mayo	177
Tabla 98. Hietograma de Precipitación $Tr=500$ años - Estación Huallanca	178
Tabla 99. Precipitación Promedio de las Condiciones de Humedad	179
Tabla 100. Curva Número Asignada para cada Subcuenca.....	181

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas Hipsométricas Características del Ciclo de Erosión.	35
Figura 2. Orden de los Cursos de Agua, según USDA (2007)	37
Figura 3. Riesgo de por lo Menos una Excedencia del Evento de Diseño Durante Vida Útil	43
Figura 4. Proceso de Selección de una Distribución Teórica	45
Figura 5. Curvas IDF para Máximas Lluvias	48
Figura 6. Hietograma de Diseño	50
Figura 7. Variables en el Método de la Curva Número.....	51
Figura 8. Hietograma de Precipitación Efectiva	52
Figura 9. Metodología para Generar Valores del Número de Curva	54
Figura 10. Mapa de Cantidad de Curva en Condiciones Secas y Normales	55
Figura 11. Mapa de Número de Curva en Condiciones Húmedas	55
Figura 12. Integración de una de Malla de Cálculo y Mapa de Inundación ..	57
Figura 13. Malla de Cálculo Formada por una Red Irregular de Triángulos Rectángulos (RTIN)	63
Figura 14. Curva IDF – Estación Chavín.....	87
Figura 15. Curva IDF - Estación Dos de Mayo.....	88
Figura 16. Curva IDF - Estación Huallanca	89
Figura 17. Hietograma de Precipitación $Tr=100$ años – Estación Chavín	90
Figura 18. Hietograma de Precipitación $Tr=100$ años - Estación Dos de Mayo	91
Figura 19. Hietograma de Precipitación $Tr=100$ años - Estación Huallanca.	93
Figura 20. Hietograma de Precipitación $Tr=140$ años - Estación Chavín	94
Figura 21. Hietograma de Precipitación $Tr=140$ años - Estación Dos de Mayo	95
Figura 22. Hietograma de Precipitación $Tr=140$ años - Estación Huallanca.	96
Figura 23. Hietograma de Precipitación $Tr=500$ años - Estación Chavín	98
Figura 24. Hietograma de Precipitación $Tr=500$ años - Estación Dos de Mayo	99
Figura 25. Hietograma de Precipitación $Tr=500$ años - Estación Huallanca	100
Figura 26. Hidrograma de Caudales - $Tr= 100$ Años.....	103

Figura 27. Hidrograma de Caudales - Tr= 140 Años.....	104
Figura 28. Hidrograma de Caudales - Tr= 500 Años.....	104
Figura 29. Medición de la Huella en la Máxima Avenida	105
Figura 30. Sección de Calibración	105
Figura 31. Mapa de Clasificación del Uso de Suelo	107
Figura 32. Perfil Hidráulico del Río Vizcarra	108
Figura 33. Tirantes Máximos del Flujo	110
Figura 34. Velocidades Máximas del Flujo.....	111
Figura 35. Número de Froude del Flujo	112
Figura 36. Zonas de Inundación en el Área de Estudio.....	113
Figura 37. Parámetros Morfométricos del Área de Estudio	115
Figura 38. Hidrograma de Caudales para Diferentes Periodo de Retorno .	116
Figura 39. Parámetros Hidráulicos con el Software IBER	117
Figura 40. Tramo Inicial del Río – Aguas Arriba.....	139
Figura 41. Tramo Central del Río.....	140
Figura 42. Tramo Final del Río - Aguas Abajo	140
Figura 43. Ubicación de la Zona de Estudio	141
Figura 44. Puente Cáceres - Vista Aérea.....	142
Figura 45. Puente Fierro - Vista Aérea.....	142
Figura 46. Viviendas de la Unión Dos de Mayo - Vista Aérea	143
Figura 47. Imagen Satelital ALOS PALSAR – Data Search Vertex	145
Figura 48. Ubicación de las Estaciones Pluviométricas	146
Figura 44. Delimitación de la Cuenca Hidrográfica del Río Vizcarra	151
Figura 50. Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes.....	153
Figura 51. Curvas de Ajuste de Distribución – Estación Chavín	160
Figura 52. Curvas de Ajuste de Distribución – Estación Dos de Mayo	161
Figura 53. Curvas de Ajuste de Distribución – Estación Huallanca	162
Figura 54. Función de Distribución Normal	163
Figura 55. Función de Distribución Pearson III	163
Figura 56. Función de Distribución Log Normal	164
Figura 57. Curva IDF - Estación Chavín	167
Figura 58. Curva IDF - Estación Dos de Mayo.....	168
Figura 59. Curva IDF - Estación Huallanca.....	169
Figura 60. Hietograma de Precipitación Tr=100 años - Estación Chavín ...	171

Figura 61. Hietograma de Precipitación Tr=100 años - Estación Dos de Mayo	172
Figura 62. Hietograma de Precipitación Tr=100 años - Estación Huallanca	173
Figura 63. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Chavín ...	174
Figura 64. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Dos de Mayo	175
Figura 65. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Huallanca	176
Figura 66. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Chavín ...	177
Figura 67. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Dos de Mayo	178
Figura 68. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Huallanca	179
Figura 69. Número de Curva de la Cuenca del Río Vizcarra.....	180
Figura 70. Creación de un Nuevo proyecto y Georreferenciación del Modelo	181
Figura 71. Corrección de Vacíos del MDT con la Herramienta SINKS	182
Figura 72. Generación de la Acumulación y Dirección del Flujo del MDT con la Herramienta DRAINAGE.....	182
Figura 73. Generación de Corrientes y ríos del MDT e Importación del Punto de Aforo	183
Figura 74. Delimitación de la Cuenca Hidrográfica	183
Figura 75. Parámetros de las Subcuencas	184
Figura 76. Parámetros de los Ríos	184
Figura 77. Ingreso de Datos de la Serie de Tiempo	185
Figura 78. Áreas de influencia del polígono de Thiessen.....	186
Figura 79. Asignación de pesos cada Subcuenca	187
Figura 80. Control de Especificaciones.....	188
Figura 81. Resultado del Caudal Pico - TR= 100 años	188
Figura 82. Resultado del Caudal Pico - TR= 140 años	189
Figura 83. Resultado del Caudal Pico - TR= 500 años	189
Figura 84. Hidrograma de Máxima Avenida - Tr=100 años.....	190
Figura 85. Hidrograma de Máxima Avenida - Tr=140 años.....	190

Figura 86. Hidrograma de Máxima Avenida - Tr=500 años	191
Figura 87. Valores de Caudales Atreves del Tiempo – TR= 100 años	191
Figura 88. Valores de Caudales Atreves del Tiempo – TR= 140 años	192
Figura 89. Valores de Caudales Atreves del Tiempo – TR= 500 años	192
Figura 90. Importación de Ortofoto en IBER	193
Figura 91. Importación del Modelo Geométrico	193
Figura 92. Datos de Entrada y Salida del Flujo	194
Figura 93. Asignación de las Condiciones de Contorno	194
Figura 94. Malla no Estructurada de la Zona en Estudio.....	195
Figura 95. Elevación del MDT de Autocad Civil 3D a IBER.....	196
Figura 96. Importación del Mapa de Uso de Suelo de QGIS a IBER	197
Figura 97. Asignación de los Datos para la Corrida del Modelo 2D	198
Figura 98. Corrida de la Simulación 2D	198
Figura 99. Calados Máximos del Flujo.....	199
Figura 100. Cotas de Agua del Flujo.....	200
Figura 101. Velocidades Máximas del Flujo.....	200
Figura 102. Dirección del Flujo de Agua	201

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo realizar la modelización hidrológica e hidráulica del río Vizcarra a lo largo del tramo urbano del distrito de la Unión y Ripán, con la finalidad de identificar las zonas con mayor probabilidad a inundación frente a fenómenos meteorológicos extremos. Por ello, con el empleo de los MDT se inició con la delimitación de la cuenca hidrográfica del río Vizcarra para determinar los parámetros morfométricos con el software QGIS, tomando como punto de aforo el extremo del efluente en el tramo de estudio. Luego se realizó el análisis hidrológico con el tratamiento de las precipitaciones máximas de las estaciones meteorológicas seleccionadas, generando caudales picos de 146.4 m³/s, 165.9 m³/s y 259.6 m³/s, resultado de la modelización con el software HEC-HMS, para los periodos de retorno de 100, 140 y 500 años respectivamente; ya con estos valores se realizó la simulación hidráulica que generó los parámetros hidráulicos con el modelo numérico bidimensional IBER, esto permitió la elaboración de los mapas de inundación con el software QGIS. Concerniente a los resultados de la modelización hidráulica en el tramo de estudio, observamos aquellos lugares con áreas de inundación para el periodo de retorno de 140 años, donde se encuentran la zona 1 con 0.0288 hectáreas inundables; zona 2, con 0.5527 hectáreas inundables; y con el área con mayor inundación ubicada en la zona 3, que no cuenta con la protección ribereña cubriendo un área inundable de 3.1934 hectáreas. Por lo tanto, se concluye, que los resultados de la modelización hidrológica e hidráulica nos permitieron identificar aquellas zonas que requieren la presencia de estructuras hidráulicas de encauzamiento a fin de permitir el confinamiento de las inundaciones.

Palabras clave: Modelización hidrológica e hidráulica, QGIS, HEC-HMS, IBER, zonas de inundación, mapas temáticos.

ABSTRACT

The objective of this research is to carry out the hydrological and hydraulic modeling of the Vizcarra River along the urban section of the district of the Unión and Ripán district, in order to identify areas of greater probability of flooding in the face of high intensity meteorological phenomena. Therefore, with the use of the DEM, the delimitation of the hydrographic basin began to determine the morphometric parameters of the Vizcarra river basin with the QGIS software, taking the end of the effluent in the study section as an exit point. Then the hydrological analysis was carried out with the treatment of the maximum precipitations of the meteorological stations, to later generate peak flows of 146.4 m³ / s, 165.9 m³ / s and 259.6 m³ / s, resulting from the modeling with the HEC-HMS software, for the return periods of 100, 140 and 500 years respectively, already with these values the hydraulic simulation was carried out that generated the hydraulic parameters with the two-dimensional numerical model IBER, this allowed the elaboration of the flood maps with the QGIS software. Regarding the results of the hydraulic modeling in the study section, they show us the areas with flood areas for a return period of 140 years, there are zone 1 with 0.0288 flooded hectares; zone 2, with 0.5527 floodable hectares; and the one with the largest flood area located in zone 3, located in a sector that does not have riparian protection with a flood area of 3.1934. Therefore, it is concluded that the modeling results allowed us to identify those areas that require the presence of hydraulic channeling structures in order to allow the confinement of the floods.

Keywords: Hydrological and hydraulic modeling, QGIS, HEC-HMS, IBER, flood zones, thematic maps.

INTRODUCCIÓN

Debido a la presencia de lluvias extraordinarias durante los meses de invierno que originan la crecida del río de Vizcarra, han provocado inundaciones con pérdidas de varias hectáreas de cultivos y viviendas. Es por ello que surge la necesidad de realizar la modelización hidrológica e hidráulica para identificar aquellos puntos críticos y zonas de inundación en las áreas urbanas de los distritos de la Unión y Ripán para facilitar la toma de decisiones ante futuros eventos extraordinarios y contribuir en la protección de viviendas, edificaciones importantes y estructuras adyacentes al cauce del río.

La presente investigación fue elaborada de la siguiente manera:

En el Capítulo I, describimos la problemática, formulamos las preguntas, los objetivos, justificación, limitaciones y la viabilidad de la investigación.

En el Capítulo II, corresponden a los antecedentes y bases teóricas de la investigación también a la hipótesis, variables independiente y dependiente; y se culmina con la operacionalización de las variables.

En el Capítulo III, se presenta la metodología de la investigación, donde se menciona el enfoque, alcance y diseño de la investigación. Así como también las técnicas e instrumento para la recolección de datos y análisis de la información.

En el Capítulo IV, se detalla de forma ordenada mediante tablas y figuras los resultados obtenidos para luego ser analizados.

En el Capítulo V, se realiza la discusión de los resultados obtenidos, corroborado con bibliografías de diversos autores y comparándolos con los antecedentes de autores de otras tesis. Se culmina con las conclusiones, recomendaciones finales y con la cita de referencias bibliográficas que ayudaron a realizar este trabajo de investigación.

En la última parte, se plasman los anexos que incluye documentos administrativos, la matriz de consistencia y los apéndices; este último muestra los procedimientos con la descripción de la zona de estudio, recopilación y tratamiento de la información hidrológica e hidráulica y finalizando con la presentación de mapas temáticos.

Como fuente de información se emplearon libros, artículos científicos, informes técnicos y datos locales proporcionados por los pobladores del lugar; se aplicaron técnicas de observación, descarga de datos y levantamiento topográfico con ayuda de programas especializados en la ingeniería civil.

Como limitación el investigador realizó solo la simulación del flujo líquido por lo que un estudio más completo requiere mayor tiempo e inversión, además los programas utilizados se limitaron solo al uso de softwares libres y gratuitos.

Finalmente, la importancia de la modelización hidrológica e hidráulica radica en la utilización de herramientas avanzadas en ingeniería, pues nos ayuda a identificar no solo zonas inundables ante eventos meteorológicos extremos sino a la solución de un problema que aqueja a zonas urbanas establecidas bajo el cauce de un río.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Desde el inicio de las civilizaciones las inundaciones han sido un problema para la sociedad, dichos eventos naturales afectan cada vez más a las poblaciones y provocan aislamientos, pérdidas de bienes materiales, económicas y humanas (Vergara, Ellis, Cruz, Alarcón, & Galván del Moral, 2011).

Según (World Bank Group, 2020), el 19% de los ciudadanos a nivel mundial se encuentran expuestos a riesgos durante las inundaciones. Alrededor de 1360 millones, se encuentran en el sur y este de Asia; India (225 millones) y China (329 millones) representan más de un tercio de la exposición global.

En varios pueblos urbanos de América latina las inundaciones representan un problema socio-económico con deficientes procesos de incorporación en planeación y políticas públicas; A través del tiempo se han implementado y evolucionado medidas para reducir el riesgo de inundaciones. Para disminuir el peligro, uno de los factores fue la construcción y aprendizaje de capacidades (Aragón, 2014).

La existencia de inundaciones en el Perú es muy común entre los meses de setiembre a abril, y resulta con desborde de ríos, lagos y/o mares, perjudicando a terrenos bajos encontrados en los bordes de los ríos.

Según (INDECI, 2020), las inundaciones entre los periodos 2003-2019 representan el 6.14% de las emergencias registrado en Perú. Cabe mencionar que las inundaciones por desborde de ríos ocupan el 3er lugar con 6.40% de las emergencias a nivel nacional del primer semestre del 2020, superada solo por eventos como la epidemia del COVID-19 con 22.07% y lluvias intensas con un 30.96% en todo el Perú; razón por el cual han sido declarados en estado de emergencia a departamentos con como Piura, San Martín, Arequipa, Junín, Huánuco, Cuzco y Puno, a consecuencia de intensas precipitaciones.

En el departamento de Huánuco entre años 2014 y 2019 se presentaron lluvias extraordinarias entre noviembre y marzo que ocasionaron la crecida del río Vizcarra. Según testimonios de los pobladores, la altura de la columna de agua superó los 2 metros por encima del nivel normal, provocando desbordes e inundaciones que ocasionaron pérdidas de varias hectáreas de cultivo y viviendas a escasos metros del río en los distritos de la Unión y Ripán (Municipalidad Distrital de Ripán, Dos de Mayo, Huánuco, 2019).

Es sabido que no podemos evitar la ocurrencia de fenómenos naturales como los sucedidos en los distritos de la Unión y Ripán, lo único que han evidenciado es su falta de planeación y organización respecto al alto riesgo de inundación; por lo que frente a esta problemática los resultados de modelización hidrológica e hidráulica en la zona de estudio, servirán para proyectar futuras obras hidráulicas proyectadas a lo largo del cauce.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿La modelización hidrológica e hidráulica, podrá establecer las zonas inundables del río Vizcarra en el área urbana de los distritos de la Unión y Ripán?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ❖ ¿Cuáles son los parámetros morfométricos, utilizando el software QGIS en la cuenca del río Vizcarra?
- ❖ ¿Cuáles son los caudales máximos para los distintos periodos de retorno de 100, 140 y 500 años en el área de estudio aplicando el software HEC-HMS?
- ❖ ¿Cuáles son los resultados hidráulicos de la modelización hidráulica bidimensional en el área de estudio aplicando el software IBER?
- ❖ ¿Cómo inciden los resultados para establecer los puntos críticos y zonas de inundación en el área de estudio?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Realizar la modelización hidrológica e hidráulica, para establecer las zonas inundables del río Vizcarra en el área urbana de los distritos de la Unión y Ripán.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Establecer los parámetros morfométricos utilizando el software QGIS en la cuenca del río Vizcarra.
- ❖ Determinar los caudales máximos para los distintos periodos de retorno 100, 140 y 500 años aplicando el software HEC-HMS en el área de estudio.
- ❖ Obtener los resultados hidráulicos de la modelización hidráulica bidimensional aplicando el software IBER en el área de estudio.
- ❖ Analizar los resultados para establecer los puntos críticos y zonas de inundación en el área de estudio.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Ante los constantes eventos de inundación por las intensas precipitaciones entre diciembre - marzo, que origina el aumento de caudales considerables en el cauce del río Vizcarra, afectan las zonas urbanas de los distritos de la Unión y Ripán, así como también zonas agrícolas, viviendas y estructuras contiguas, que han puesto en evidencia la debilidad de la población asentada en las orillas del río. Resulta de especial interés conocer por medio de estudios hidrológicos la cuenca del río Vizcarra, el control de las avenidas para adoptar medidas que permitan prevenir pérdidas humanas y económicas, así como también reducir los daños ocasionados.

La presente tesis fue resultado de la necesidad de estudiar las áreas vulnerables en los distritos de la Unión y Ripán, con el propósito de identificar

los puntos críticos y zonas de riesgo a inundación, para facilitar la toma de decisiones de las autoridades ante futuros eventos extraordinarios.

La investigación busca contribuir en la protección en zonas agrícolas, áreas de construcción de viviendas, edificaciones importantes y estructuras de contención adyacentes.

Debido a que la zona de investigación, no cuenta con suficientes estudios hidrológicos, el presente trabajo utilizará instrumentos computarizados y uso de los sistemas de información geográfica, que nos permite obtener nuevos conocimientos como caudales máximos y contar con una efectiva capacidad de respuesta de alerta temprana, además de proporcionar criterios para la construcción de proyectos hidráulicos, identificando las zonas de inundación, así como también el mejoramiento del ordenamiento territorial.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Se muestran a continuación.

- ❖ Para el análisis de la cuenca solo se consideró el MDT con resolución espacial de 12.5 x 12.5 m., obtenida de manera gratuita.
- ❖ Para determinar las precipitaciones máximas, se emplearán datos de precipitaciones descargados de la página del SENAMHI y ANA.
- ❖ Escasa información de registros pluviométricos y carencia de estaciones hidrométricas.
- ❖ Utilizaremos el programa QGIS para determinar la información geográfica y para el análisis hidrológico e hidráulico con los softwares gratuitos HEC-HMS e IBER, ya que un software de paga tiene un costo alto para cualquier estudiante.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. RECURSOS HUMANOS

Se contará con la participación permanente del investigador y con un profesional especializado en Ingeniería Hidráulica.

1.7.2. RECURSOS FINANCIEROS

Se dispone con recursos económicos para el acceso a información, asesoría del profesional especialista, así también como la capacitación de ponencias especializadas en el área de investigación.

1.7.3. RECURSOS DE TIEMPO

Con referencia al factor tiempo, la presente investigación será viable, puesto que, se cuenta con la disponibilidad necesaria para que la investigación no sufra retrasos y sea realizada en un tiempo determinado.

1.7.4. RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS

Se cuenta con la obtención fuentes bibliográficas nacionales e internacional, en su mayoría almacenadas en la nube tecnológica. Así como también la obtención de algunos libros en físico.

1.7.5. RECURSOS TECNOLÓGICOS

La obtención de instrumentos tecnológicos, así como el uso de softwares de libre descarga, han permitido la reducción de tiempos y eficiencia en los cálculos utilizando un sistema de información geográfica. Se requirió en el presente proyecto el uso de softwares como el QGIS, HYDROGNOMON, HEC-HMS e IBER.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Cárdenas, Muñoz, y Riaño (2017), en su proyecto denominado *“Evaluación de amenazas por inundación en el sector Betania del municipio de Gachancipá, perteneciente a la cuenca alta del río Bogotá”*. El objetivo de su investigación trata de analizar el peligro de inundación en una cuenca del río Bogotá, Sector de Betania, municipio de Gachancipá. Dentro de estos análisis se destacan aspectos principales, como el estudio hidrológico de la localidad, modelos probabilísticos de la extinción de máximas intensidades de precipitación, con esto se evaluarán los máximos caudales para otros periodos de retorno; este proceso se logra al relacionar las características de la cuenca con los resultados hidrológicos. Por último, se desarrolla el modelo computacional para obtener las áreas inundables, alturas del nivel de agua y la posibilidad de que ocurra de acuerdo a los periodos de retorno ante un suceso de inundación en la localidad de estudio.

Guaya y Montalván (2018), en su tesis *“Modelación numérica bidimensional del río Garrapata en la provincia de Manabí aplicando el programa Iber”*, presentada a la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. La presente investigación tiene por objetivo modelar el río Garrapata mediante numérica bidimensional con el uso de máximos caudales para otros periodos de retorno, usando el software IBER, que genera los resultados para crear mapas temáticos de parámetros hidráulicos a identificar las áreas de inundación. Para el desarrollo del modelo IBER se consideró la importancia del tamaño de la malla en la distorsión del terreno y los resultados; Se tuvo en cuenta los registros de variación de coeficiente y campo para la calibración del modelo con la fórmula de Cowan como una estimación preliminar. De los resultados de la

modelación de caudales para periodos de retorno entre 100, 50, 25, 10 y 5 años en circunstancias de flujo permanente y no permanente. Adicionalmente se presentaron resultados adquiridos de una modelación hidráulica realizada en el tramo de estudio. Ya obtenido los valores para cada simulación se generaron valores máximos en los mapas temáticos que pertenecen a las variables de velocidad, número de Froude y calado que permitieron reconocer las zonas de riesgo.

Hasbleidy y Montoya (2016), realizó en su investigación, *“Integración de herramientas SIG con modelos hidrológicos e hidráulicos para la generación de mapas de áreas susceptibles de inundación caso de estudio la cuenca del río Acacías municipio de Acacías, Meta”*, Colombia. Donde se realizaron los análisis de precipitaciones mediante el software HEC-HMS y HEC-RAS para la cuenca del río Acacías, en el que se obtuvo como producto la identificación de sectores de inundación usando cartografía a escala 1:100.000. El método hidrológico utilizado en este caso es el SCS, por ser factible, además de ser un método que considera la escasa información hidrométrica. Se empezó con un MDT para la limitación de la cuenca hidrográfica y la red de drenaje, para luego calcular las características morfométricas del lugar y generar archivos para procesar en el software HEC-HMS. Se calculó una respuesta de retorno hidrológica de 100 años para la cuenca, además de tomar registros de estaciones pluviométricas cercanas a la cuenca. Por último, se utilizó el software HEC-RAS tomando como base secciones transversales de cauce y el caudal máximo calculado, permitiendo delimitar las áreas inundables integrando productos del programa HEC-RAS al SIG para presentar y visualizar una cartografía de lugares sensibles a inundaciones. (Hasbleidy & Montoya, 2016)

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Hurtado (2017), realizó en su investigación *“Modelamiento hidráulico bidimensional del río Rímac en el sector Huachipa, tramo km. 27+450 al km. 28+525”*, Lima. Su estudio comprende el modelamiento

hidráulico bidimensional del tramo de Huachipa. Utilizando datos hidrométricos de una estación de Chosica, el mapa de suelos y la topográfica con sus coeficientes y la información del periodo de 1967-2016. Primero se realizó el cálculo hidrológico y morfológico de la cuenca del río Rímac, obteniendo para 140 años un caudal de 271.2 m³/s. Desde estos resultados se construyó el hidrograma de caudales del río Rímac con una duración total de 11.25 horas, se considera un caudal de 26.5 m³s en relación al caudal anual promedio en tiempos de sequía. Con ayuda de las herramientas HEC-RAS, IBER y SIG, se pudo calcular las áreas que son vulnerables a inundaciones, resultando que el margen izquierdo es la más propensa a desbordes desde la progresiva 0+637.34, perjudicando a la población de “Asociación Huáscar” en 0.75 ha y 2 ha con IBER, se compararon para ambos casos los parámetros hidráulicos. Se concluye que los modelos matemáticos aplicados resultan beneficiosos para el tramo de estudio, con tendencias y resultados similares.

Hernández (2018), realizó en su investigación *“Zonificación de áreas inundables de la localidad de Santa Bárbara ocasionado por avenidas extraordinarias de la quebrada Sambarbamba-Baños del Inca”*, Cajamarca. La cual tiene por objetivo precisar las áreas que son propensas a inundaciones en el distrito de Santa Bárbara, evaluada en un contorno y área de 927m., 54.81 ha respectivamente. Se realizó el modelamiento hidráulico e hidrológico usando información satelital de la estación Augusto Weberbauer. También de determinó la geomorfología y los caudales máximos para un 25% de riesgo válido para 3, 15, 30 y 60 años de la quebrada Sambarbamba, se utilizó las máximas intensidades para la transferencia de información hidrometeorológica de la cuenca, adquiriendo curvas IDF, para el uso del método racional y hallar los caudales de 53.41, 66.06, 72.39 y 79.33 m/s en cada periodo de retorno. Por último, mediante la metodología bidimensional IBER y con el SIG, se identificaron las áreas propensas a inundaciones de la población de Santa Bárbara en 3.07, 4.01, 4.89 y 6.39 ha de inundación, representando zonas con un alto nivel de peligrosidad (Hernández J. , 2018).

Bolívar (2020), realizó en la investigación *“Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del Río Marañón sector Puente Tingo Chico. Carretera - Conococha”*, Lima, la cual tiene por objetivo ejecutar un modelo hidráulico e hidrológico bidimensional para predimensionar el puente Tingo Chico en el río Marañón. La fase que corresponde al estudio hidrológico consistió en analizar y procesar todos los datos de máximas precipitaciones durante un día y un año, aplicando periodos de retorno con un nivel de riesgo y vida útil de la estructura en estudio para después ejecutar el modelo en HEC-HMS. Para el modelamiento hidráulico se empleó la modelación numérica en dos dimensiones y el modelo HEC-RAS 2D, IBER, también se pueden precisar la socavación localizada y general. Observamos que para ambos modelos el flujo simulado tiene un comportamiento similar a los parámetros hidráulicos. Se observaron regímenes subcríticos aguas arriba del puente, donde se muestran velocidades más bajas y tirantes más altos. Se presentaron flujos con velocidades normales de régimen subcrítico en diferentes partes del puente. En las zonas más altas donde el régimen es subcrítico se encuentran los tirantes de menor altura y altas velocidades. Concluyendo el método IBER y HEC-RAS 2D, nos dan resultados fiables, sin embargo, en el programa de HEC-RAS 2D nos limita en la incorporación de puentes para un flujo 2D, a pesar del inconveniente los resultados son buenos esto debido a que el programa respeta las medidas naturales de los ríos (Bolívar, 2019)

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Córdoba (2017), en su investigación, *“Aplicación de la simulación hidrológica e hidráulica con sistemas de información geográfica para identificar las áreas de inundación del río Huallaga en el tramo Huaylla - Ambo, 2017”*, Huánuco. Su estudio de investigación se basa en proponer de manera eficiente una simulación hidráulica e hidrológica para reconocer aquellas áreas inundables del río Huallaga con sistemas de información geográfica; la mayoría de los ríos en el país carecen de registros históricos de caudales por lo que dificulta precisar las áreas de

inundación; se dividió en dos grupos para emplear la metodología, primero se analizaron las máximas avenidas de los caudales; después se realizó otro análisis hidrológico empezando del trabajo en campo y rescatando los datos topográficos para poder obtener los lugares propensos a inundaciones. Resultando los diferentes lugares de inundación a lo largo del río para periodos de retorno entre 500, 200, 100, 50, 25 y 10 años. Concluyendo que la aplicación de una simulación hidrológica e hidráulica incorporando datos de la información geográfica, nos ayuda precisar los lugares de inundación. (Cordova, 2017)

Rojas (2018), en su investigación "*Modelación hidrológica e hidráulica del río Tirishuanca para identificación de zonas vulnerables a inundaciones en la localidad de Molino, distrito de Molino, provincia de Pachitea, departamento de Huánuco*", Huánuco. Tiene por objetivo identificar aquellas áreas vulnerables a inundación usando un modelo Hidráulico e Hidrológico en el río Tirishuanca. La metodología empleada es cuantitativa con un nivel descriptivo transversal, resultando que las áreas de inundación fueron de 5581.70 m², 5062.49 m², 4663.47 m², 4280.93 m², 3843.97 m² y 3241.19 m², calculadas para períodos de retorno de 10, 25, 50, 100, 200, 500. Cuyas precipitaciones medias fueron de 64.15 mm, 60.16 mm, 57.02 mm, 53.69 mm, 50.16 mm, 48.97 mm, 45.02 mm, 40.51 mm y 32.54 mm, para periodos de retorno entre 500, 200, 100, 50, 25, 10, 5 y 2 años respectivamente y los máximos caudales fueron de 26.6 m³/s, 21.3 m³/s, 17.8 m³/s, 14.7 m³/s, 12 m³/s, 11.2 m³/s y 8.9 m³/s. Finalmente se concluye que, para periodos de retorno seleccionados para el río Tirishuanca, provoca un desborde causando inundaciones a terrenos de viviendas aledañas y cultivos. (Rojas, 2018),

Hurtado y Caqui (2019), en su investigación "*Focalización de áreas vulnerables y análisis hidráulicos para reducir riesgos por inundación en el río Pendencia, en el caserío Manju, distrito de pueblo nuevo – provincia Leoncio Prado – región Huánuco 2018*", Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, tiene por objetivo determinar el análisis hidráulico con el fin de reducir el riesgo a inundación del Río Pendencia, luego ver aquellos niveles máximos que alcanzarían para

caudales y tiempos de retorno desde 10, 25, 50 años, determinado el nivel máximo hasta el momento de la inundación, finalmente se identificarán las áreas más vulnerables y se restringieron su uso para futuros asentamientos. Para la investigación principalmente se necesitó el cálculo de máximas precipitaciones en un día de estaciones meteorológica Tulumayo; también se utilizó información cartográfica y uso de software como el ArcGIS, Excel y AutoCAD. Antes de precisar los objetivos se inició con el levantamiento topográfico cada 100m del río Pendencia del caserío Manju. Para interpretar y analizar la frecuencia de precipitación se usó la estación meteorológica Tulumayo. (Hurtado & Caqui, 2019)

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA

La modelización hidrológica es la relación que existe entre un sistema real, como una cuenca y sus modelos, que nos permite tener una idea del mundo real, constituyendo instrumentos de ayuda para un sistema hidrológico mediante planteamiento de escenarios a la comprensión científica y una proyección de sucesos hipotéticos de cambios futuros y presentes. En hidrología existe una gran cantidad de aplicaciones como la determinar avenidas de diseño, predecir frecuencias de eventos, generar secuencias sintéticas, etc., para optimizar el diseño y los procedimientos de operaciones en proyectos hidráulicos (Aparicio, 1989).

2.2.1.1. Modelos Comerciales

Existe una gran variedad de modelos hidrológicos y a medida que las investigaciones avanzan estas se perfeccionan. Los modelos más consolidados amplían sus funcionalidades, además, algunos de éstos presentan distinta naturaleza, accesibilidad al usuario y dificultad de su uso, como los modelos TETIS, MIKE-SHE y HEC-HMS (Pascual, 2016).

Tabla 1. Modelos Disponibles para Modelizaciones Hidrológicas

Nombre	Desarrollador	Tipo de Licencia	Aplicaciones Típicas
HEC-HMS	Armada USA	Libre	Para el pronóstico en inundaciones, disponibilidad de agua, reducción de impactos en rompimiento de presas, drenaje urbano, impactos urbanísticos, diseño de preseas, hidrología en humedales, regulación de llanuras de inundación.
SOBET	Deltares	Comercial	Para la calidad superficial del agua, optimización de sistemas de drenaje, intrusión salina, pronóstico de inundaciones, desbordamiento de alcantarillado, sistemas de control de irrigación, morfología de ríos
MIKE SHE	DHI	Comercial	El manejo de aguas subterráneas y superficiales, sequía y riego, manejo de humedales y restauración, uso de suelos e impactos de cambio climático en aguas superficiales y subterráneas, inundación por aguas subterráneas, caudal ambiental en ríos, destino de nutrientes y manejo, gestión de llanuras aluviales y gestión integrada de agua en minas.
SWMM	US EPA	Libre	Calidad de agua, monitoreo de inundaciones, desbordamiento de alcantarillado sanitario, llanuras de inundación, inspección de escorrentía empleando practicas LID.
MODFLOD	Barrow Paul	Libre	Para el transporte de solutos, Sistemas conformados de aguas superficiales y Aguas subterráneas, compactación de acuíferos, intrusión salina, desplazamientos de tierra, estimación de parámetro y gestión de aguas subterráneas
HBV	Instituto Sueco de Meteorología e Hidrología	Depende el caso puede ser libre o comercial	Para el estudio sobre cambio climático calidad de agua, predicción hidrológica, los cálculos de crecidas para proyectos y la simulación de la descarga.
WEAP	Stockholm Environment Institute's U.S. Center.	Depende el caso puede ser libre o comercial	Calidad de agua, Cambio climático, pérdida de glaciares, estimación de demanda y oferta hídrica, generación de energía, sequías.
TETIS	U. Valencia	Libre	Para la regulación de llanuras de erosión e inundación

Nota. Tomado de "Protocolo de modelación hidráulica e hidrológica ", por (IDEAM, 2018)

Para el desarrollo de esta investigación, se usará el programa HEC-HMS por la interacción computacional con softwares como el IBER, esto facilitará la modificación de cambios y caudales de inundaciones en nuestra cuenca de estudio.

Modelo Hidrológico con HEC-HMS

Este Software fue realizado por el HEC (Hydrologic Engineering Center) por el cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers-USACE). De libre descarga e incluye manuales de usuario (Pascual, 2016).

Usos Básicos

Según (Wayne, Baxter, & Philip, 2013), los modelos como HEC-HMS se utilizan para simular o calcular el hidrograma de tormenta resultante (descarga frente a tiempo) de un área de cuenca bien definida para un patrón dado de intensidad de lluvia y que cuenta con las siguientes capacidades:

- a) Simulación de la escorrentía de cuencas hidrográficas y el flujo de agua desde lluvia de diseño.
- b) Determinación de los flujos de inundación en varios lugares para su uso en llanuras de inundación estudios.
- c) Evaluación del uso del suelo o cambios topográficos en un área de cuenca.
- d) Simulación de medidas de control de inundaciones, como almacenamiento de reservorios y opciones de canal.
- e) Determinar curvas de frecuencia de daños y daños anuales esperados para varios lugares y múltiples planes de control de inundaciones.

Módulos Básicos

- a) Datos de Entrada. - El software muestra un sistema de entrada de datos tratados de acuerdo a los distintos módulos que el modelo requiera.

- b) Modelo de cuenca. - Representa la parte física de la cuenca, donde el usuario agrega y conecta los elementos hidrológicos.
- c) Modelo de precipitación. - En esta entrada se puede utilizar precipitación distribuida espacialmente y puntual utilizar información puntual.
- d) Módulo de control. – Controlan el tiempo que dura al ejecutar una simulación. Estas deben incorporar una fecha de inicio y de término en un intermedio de tiempo (minutos, horas, días) de cada simulación.

2.2.1.2. Cuenca Hidrográfica

Es la superficie del terreno donde cae lluvia para luego ser avenadas por la corriente hacia un único punto de salida. En esta zona geográfica las contribuciones hídricas naturales son almacenados especialmente por los excedentes de lluvia y precipitaciones o transportadas por el agua como materia sólida formando en un punto único de desembocadura (Cahuana, 2009).

Parámetros a Partir del Modelo Digital de Elevación

El empleo de los MTD para evaluar parámetros morfométricos de una cuenca, facilita los cálculos sin perder las herramientas habituales y clásicas de la matemática. Estos modelos físicos de terreno basados en valores de elevaciones contenido en el Modelo Digital del Terreno, nos permite obtener resultados con mayor amplitud, tanto en calidad y cantidad todo esto sin perder las operaciones matemáticas para el resultado final.

A) Parámetros respecto a la Forma de la Cuenca

- **Perímetro (P)**

Es el contorno que circula alrededor de la cuenca, y usualmente es expresado en kilómetros o metros.

- **Área de la cuenca (A)**

Es la superficie de la cuenca; generalmente es expresado en km².

Tabla 2. Clasificación según área de una Cuenca

CLASIFICACIÓN	LÍMITES DE ÁREAS
Microcuenca	25
Pequeña	25 a 250
Intermedia-Pequeña	250 a 500
Intermedia-Grande	500 a 2500
Grande	2500 a 5000
Muy grande	5000

Nota. Tomado de "Hidrología", por (Villón, 2004)

- **Coefficiente de compacidad (Kc)**

Es la relación de la longitud de la cuenca y el perímetro de la cuenca.

$$Kc = 0.28 \frac{P}{A^{1/2}}$$

Dónde:

P: Contorno de la cuenca en Km.

A: Área de cuenca en Km²

Tabla 3. Características de una Cuenca respecto al Valor de Kc

FORMA	Kc
Casi rectangular (alargada)	1.75
Oval oblonga a rectangular oblonga	1.50 - 1.75
Oval redonda a oval oblonga	1.25 - 1.50
Redonda a ovalada redonda	1.00 - 1.25

Nota. Tomado de "Hidrología", por (Campos, 2010)

- **Factor Forma**

Es un factor adimensional expresado como un cociente entre el largo del río desde un punto alto y el ancho promedio de la cuenca (Ap.).

Tabla 4. Parámetros Aproximados del Factor de Forma

CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA	FACTOR DE FORMA
Rodeado el desagüe	>1.20
Muy ensanchada	0.80 a 1.20
Ensanchada	0.60 a 0.80
Ligeramente ensanchada	0.45 a 0.60
Ni alargada ni ensanchada	0.37 a 0.45
Ligeramente alargada	0.30 a 0.37
Alargada	0.22 a 0.30
Muy alargada	<0.22

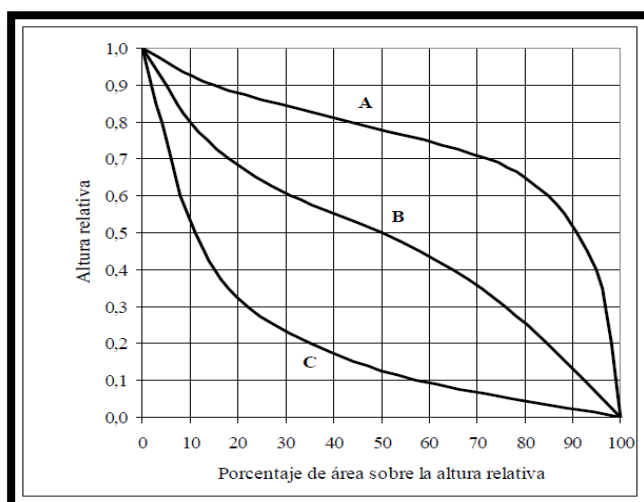
Nota. Tomado de "Fundamentos del ciclo hidrológicos", por (Pérez, 1979)

B) Parámetros de Relieve (Orográficos)

- **Curva hipsométrica (ch)**

Nos proporciona información específica de la altura de la cuenca, además de representarse por tramos. El parámetro de la curva hipsométrica representa una distribución del área respecto a su elevación. En la figura 1 nos muestra la curva superior (curva A) la cual especifica una cuenca con un alto efecto erosivo; la curva central (curva B) refleja una cuenca equilibrada; y la curva superior (curva C) representa una cuenca sedimentaria (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013).

Figura 1. Curvas Hipsométricas Características del Ciclo de Erosión.



Nota. Tomado de "Elementos Metodológicos para el Manejo de Cuencas Hidrográficas", por (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013)

- **Pendiente media de la cuenca**

También llamado caudal máximo está relacionado con la topografía ya que la erosión se expresa de mayor a menor grado, es decir es directamente proporcional a los grados de pendiente y cuya representación es:

$$PM = 100. \left(\frac{H. L}{A} \right)$$

Donde:

H=Desnivel de la cuenca (Km)

L= Longitud de las curvas de nivel (Km)

A= Superficie (Km²)

Tabla 5. Tipos de Relieves Según la Pendiente

Formas de relieve	Pendiente (%)
Escarpado	>75
Muy Fuerte	50 - 75
Fuerte	35 - 50
Accidentado	12 - 35
Mediano	7 - 12
Suave	3 - 7
Plano	0 - 3

Nota. Tomado de "Elementos Metodológicos para el Manejo de Cuencas Hidrográficas", por (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013)

C) Parámetros de Drenaje

- **Densidad de drenaje (Dd)**

Es la relación existente de la suma de todas las longitudes en diferentes cursos de aguas respecto a la superficie misma. Cuanto mayor sea la densidad del drenaje se efectuará una respuesta más rápida sobre la respuesta ante una tormenta por lo que una pequeña gota tendrá que recorrer un menor largo de ladera a una velocidad mayor de escurrimiento (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013).

Tabla 6. Clasificación de la Red de Drenaje

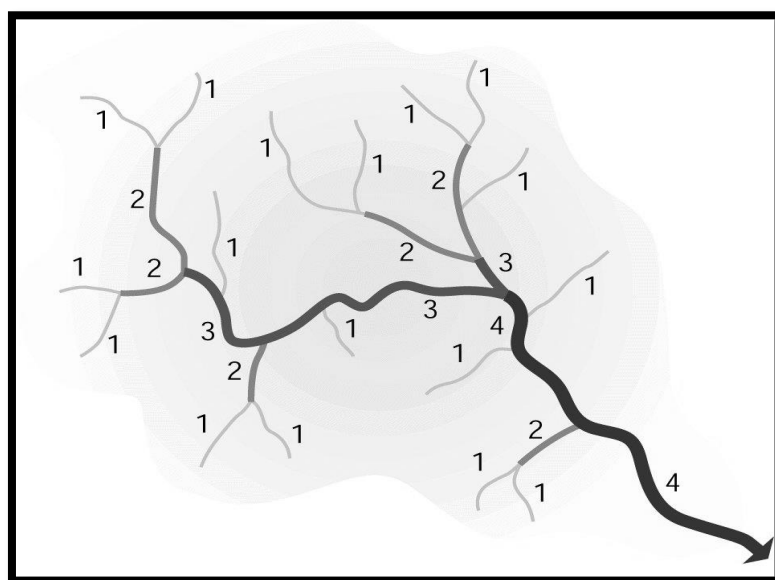
Clase	Rangos (km/km²)
Alta	3.7-5.6
Moderada	1.9-3.6
Baja	0.1-1.8

Nota. Tomado de "Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro", por (Junco, 2014)

- **Número de Orden de los cursos de agua**

Según, (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013), es aquel número de ramificaciones en la red de drenaje de una cuenca. En la figura 2 atribuimos el primer lugar a todos los cauces que no tienen tributarios y así continuamente hasta un orden de la cuenca. Ordenamos y enumeramos los afluentes desde las nacientes de la cuenca hasta la desembocadura, siendo el cauce principal el orden de mayor grado. A más orden, el transporte de sedimentos aumenta, el potencial erosivo aumenta, en consecuencia, el escurrimiento aumenta.

Figura 2. Orden de los Cursos de Agua, según USDA (2007)



Nota. Tomado de "Elementos Metodológicos para el Manejo de Cuencas Hidrográficas", por (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013)

Según la cantidad del número de orden del río se puede definir el tamaño de la unidad hidrográfica.

Tabla 7. Rangos y Unidades Hidrográficas

Unidad Hidrográfica	Área (km ²)	N° de Orden del Río
Cuenca (grande)	700 - 6000	6° a más
Subcuenca (mediana)	100 - 700	4 o 5°
Microcuenca (pequeña)	10 - 100	1°, 2° o 3°

Nota. Tomado de "Proyecto de Conservación de Suelos y Aguas Microcuenca Velamocco Cuenca del río Iipa-Puno", por (Ministerio de Agricultura, 1984)

- **Tiempo de Concentración**

Comprende el viaje que realiza una pequeña gota de agua escurriendo a través de una superficie, empezando desde una zona alejada de la cuenca hasta terminar en un punto salida. Para el tiempo de concentración la más conocida y utilizada en nuestro medio son la de Clark y Kirpich (Vélez & Botero, 2010).

Determinación del tiempo de concentración

El tiempo de concentración puede hacer uso de diferentes expresiones para relacionarlas con diferentes parámetros inertes de la cuenca, por lo que es recomendable usar ecuaciones empíricas, considerándose la mejor opción estimar al menos cinco ecuaciones distintas correspondientes a características de la cuenca en estudio, (Vélez & Botero, 2010). Se encuentran diversas maneras de calcular el tiempo de acumulación, T_c' de una cuenca:

a) Usando las características hidráulicas de la cuenca.

- ❖ Según sus características hidráulicas, fragmentar la corriente en partes o tramos.
- ❖ Utilizar el método de la pendiente y sección para obtener la capacidad máxima de descarga de los tramos.
- ❖ Utilizar la longitud del tramo y velocidad media para definir el tiempo que recorre en cada tramo.
- ❖ Sumar cada tiempo de recorrido para obtener el T_c'
- ❖ Determinar la velocidad promedio que corresponde a la descarga máxima, para cada tramo.

b) Estimando velocidades

- ❖ Escoger una velocidad media de la tabla 2.
- ❖ Dividir el desnivel total entre la longitud total, hallando la inclinación media del curso principal.
- ❖ Usando la longitud total y la velocidad media para encontrar el T_c .

Tabla 8. Velocidades Medias para Puentes y Alcantarillas

Pendiente en Porcentaje	Velocidad Media (Pies por Segundo)		
	Bosques (en la Porción Superior de la Cuenca)	Pastizales (en la Porción superior de la Cuenca)	Cauce Natural no muy bien Definido
0 – 3	1.0	1.5	1.0
4 – 7	2.2	3.0	3.0
8 – 11	3.0	4.0	5.0
12 - 15	3.5	4.5	8.0

Nota. Tomado de " Hidrología para estudiantes", (Chereque, 1989)

c) Usando fórmulas empíricas.

Muchos autores han obtenido formulaciones teniendo como base las características geométricas y morfológicas de una cuenca.

En la tabla 9, se muestran algunas fórmulas empíricas para calcular el tiempo de tarda una concentración de agua según las características de la cuenca.

Tabla 9. Tiempo de Concentración

Fecha y Método	Ecuación para t_c (min)	Observaciones
Kirpich (1940)	$t_c = 0.0078L^{0.77}S^{-0.385}$ L= largo del Canal (pies) S= promedio de la pendiente de una cuenca, pies/ pie	Ejecutada en función de los datos del SCS en 7 cuencas Rurales en Tennessee y en pendientes peligrosas (3 a 10%); Para flujos superficiales en superficie de asfalto o concreto debe de multiplicarse t_c por 0.4; Se debe multiplicar por 0.2 para canales de concreto.
California Culverts Practica (1942)	$t_c = 60(11.9L^3/S)^{0.385}$ L= largo del curso de agua.	Especialmente es la fórmula de kirpich; desarrollado por (U. S. Bureau of Reclamation, 1976, pp. 67-71).

Fecha y Método	Ecuación para tc (min)	Observaciones
Izzard (1946)	$tc = \frac{41.025(0.0007i + c)L^{0.33}}{S^{0.333}i^{0.667}}$ <p>i= intensidad (pulg/h). c= coeficiente de retardo L= largo de la trayectoria de flujo (pies) S= pendiente de la (pies/pie)</p>	Ejecutada en el laboratorio Bureau of Public Roads Para áreas de céspedes y flujo superficial en caminos; los valores de retardo varían desde 0.0070 para pavimento 0.012 para pavimentos y 0.06 para superficie; para la resolución se requiere una iteración; el producto de i por y L debe ser por 500
Federal Aviation Administration (1970)	$tc = 1.8(1.1 - C)L^{0.5}/S^{0.333}$ <p>C= coeficiente de escorrentía (método racional). L= longitud del flujo superficial (pies) S= pendiente de la superficie (%)</p>	El método tiene por objetivo ser utilizado en problemas de drenaje de aeropuerto, pero ha sido usado con frecuencia en el flujo superficial para cuencas urbanas.
Ecuaciones de Onda Cinemática Morgali y Linsley (1965) Aron y Erborge (1973)	$tc = \frac{0.94L^{0.6}n^{0.6}}{i^{0.4}S^{0.3}}$ <p>L= Longitud del flujo superficial (pies) n= coeficiente de Manning S= pendiente promedio del terreno (pies/pie) i= intensidad de lluvia (pulg/h)</p>	Esta ecuación es usada para flujo superficial desde el análisis de una honda cinemática de escorrentía superficial desde una superficie desarrollada; este método necesita iteraciones ya que tanto i (intensidades de lluvia) como Tc son valores que no se conocen.
Ecuación de Retardo SCS (1973)	$tc = \frac{100L^{0.8} \left(\frac{1,000}{CN} - 9 \right)^{0.8}}{1,900S^{0.5}}$ <p>L= longitud hidráulica de la Cuenca (mayor trayectoria de flujo), pies CN= número de curva SCS S= pendiente promedio de la cuenca, %</p>	Esta ecuación fue creada por el SCS partiendo desde los datos de las cuencas para uso agrícola; adaptado para cuencas pequeñas con áreas menores a 2000 acres; esta ecuación es recomendable para áreas completamente pavimentadas, aplicándose factores de ajuste que corrigen los efectos de mejoras en canales impermeabilizadas de superficies; la ecuación muestra que $tc=1.67 \times$ retardo de la cuenca.

Fecha y Método	Ecuación para tc (min)	Observaciones
Cartas de velocidades promedio del SCS (1975, 1986)	$tc = \frac{1}{60} \sum \frac{L}{V}$ L= longitud (pies) V= velocidad promedio (pies por segundo)	Estas cartas muestran velocidades promedio es como una función de inclinación del curso de agua y de la cubierta superficial.

Nota. Tomado de " Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje", (MTC, 2007)

2.2.2. ANÁLISIS DE DATOS HIDROLÓGICOS

PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Son pruebas para calcular en muestras independientes una serie de datos ajustándolo a una distribución marcada. Las más utilizadas son la Kolmogórov-Smirnov y Chi Cuadrado (MTC, 2007).

- **Test chi – cuadrado**

El test de chi cuadrado compara el intervalo anteriormente definido de las variables aleatorias, está en función con el modelo probabilístico en estudio. Para que la distribución se ajuste a la muestra y sea aceptable, el valor de la distribución chi cuadrado es igual o menor para un valor de significación de 5%, (Varas & Bois).

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Donde:

O_i : Frecuencias absolutas observadas

E_i : Frecuencias teóricas en cada clase

- **Kolmogorov – Smirnov**

Según (MTC, 2007), “trata de comparar la función de distribución de probabilidad estimada $F(x_m)$ y la observada $F_o(x_m)$ con el valor máximo absoluto de la diferencia (D)”. (pág. 25)

$$D = |F_o(x_m) - F(x_m)|_{\text{máx}}$$

El valor crítico “ α ” depende del nivel de significancia y número de datos seleccionado de la tabla 10. Si “D” es menor a “ α ”, aceptamos

la hipótesis nula. Para calcular la distribución de probabilidad se usa la fórmula siguiente (MTC, 2007) .

$$F_0(x_m) = 1 - m/(n + 1)$$

Donde:

m: es el orden de los números de mayor a menor de dato x_m .

n: número total de datos.

Tabla 10. Valores Críticos α para la Prueba de Kolmogórov-Smirnov

Tamaño de la Muestra	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.1$
40	0.25	0.21	0.19
35	0.27	0.22	0.2
30	0.29	0.24	0.22
25	0.32	0.26	0.24
20	0.35	0.29	0.26
15	0.4	0.34	0.30
10	0.49	0.41	0.37
5	0.67	0.56	0.51

Nota. Tomado de "Fundamentos de la hidrología de superficies", (Aparicio, 1989)

2.2.2.3 PERIODO DE RETORNO Y ANÁLISIS DE DATOS HIDROLÓGICOS

A) Periodo de Retorno

El Periodo de Retorno T, es el límite promedio de recurrencia para un determinado evento. Si se expresa estadísticamente el retorno es lo contrario de la posibilidad de excedencia:

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)}$$

Se describe también como la posibilidad de no excedencia.

$$T = \frac{1}{1 - P(X \geq x)}$$

Se considera la variable de máximo caudal anual, Q_{max} también para definir "T" que es el periodo de retorno.

Para optar por un periodo de retorno dependerá del resultado de análisis costo-beneficio de la estructura hidráulica de diseño. Si el periodo de retorno es mayor la obra también y consecuentemente menos

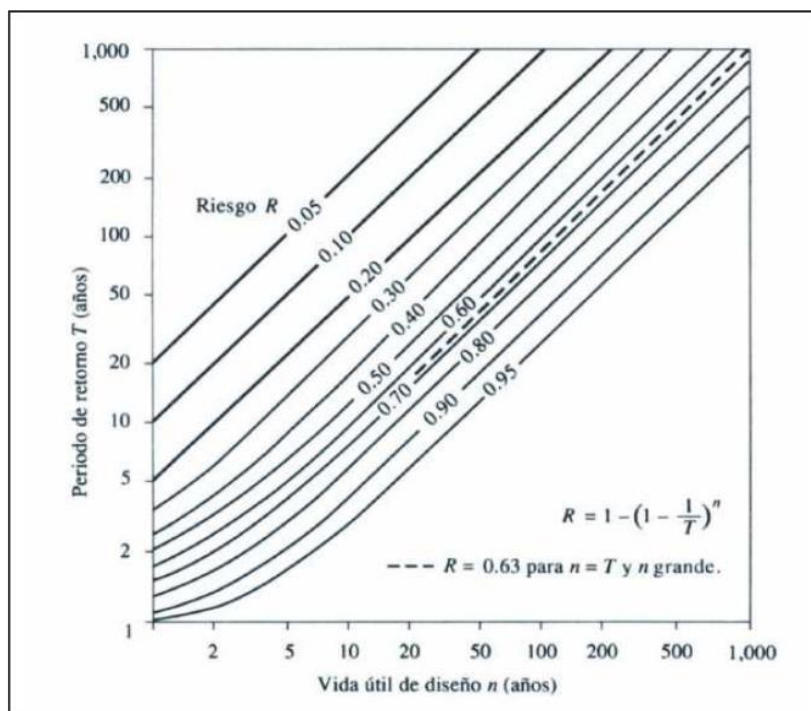
económico, pero con un beneficio enorme. Tener en cuenta que la estimación de los beneficios es complicada de usar, por lo que es más accesible optar por tiempos de retorno con referencia a las prácticas comunes.

Selección del tiempo de Retorno

Para seleccionar un tiempo de retorno, se considera la relación existente entre el riesgo de falla admisible y la posibilidad de excedencia de una situación, es decir la vida útil de la estructura.

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n$$

Figura 3. Riesgo de por lo Menos una Excedencia del Evento de Diseño Durante Vida Útil



Nota. Tomado de "Hidrología Aplicada", por (Chow, Hidrología Aplicada, 1994)

Tabla 11. Valores de Periodos de Retorno (Años)

RIESGO ADMISIBLE	VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
R										
0.75	1.3	2	2.7	4.1	7.7	15	18	37	74	144
0.50	2	3	5	9	15	29	37	73	154	289
0.25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0.20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897

0.10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0.05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0.02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0.01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900

Nota. Tomado de "Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje", por (MTC, 2007)

Tabla 12. Periodo de Retorno para Estructuras Menores

Periodo de Retorno (Años)	Tipos de estructuras
50 - 100	Puente sobre carretera importante
25	Puente sobre carretera poco importante o alcantarillas sobre carreteras importante
5 - 10	Alcantarilla sobre camino secundario
1 - 2	Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con la lluvia de corta duración
2 - 50*	Muros de encauzamiento
5 - 10	Drenaje agrícola
2 - 10	Drenaje urbano
5	Drenaje de aeropuertos

*Puede aumentar si estas obras protegen poblados de importancia

Nota. Tomado de "Hidrología Estadística", (Villón Bejar, 2016)

El tiempo de retorno es considerado también como un coeficiente de seguridad que es dado a diversas estructuras, por un escaso conocimiento e información acerca de precipitaciones en caudales.

Tabla 13. Periodos de Retorno para Obras Civiles en General

Periodo de Retorno en Años	Tipo de Estructura
	Drenaje de Carreteras en las que Circulan
5 a 50	Zanjas de Drenaje
2 a 50	Diques
2 a 10	Drenaje Pluviales
5	Drenaje de Aeropuertos
50	Más de 5000 Vehículos por día
25	1700 a 5000 Vehículos por día
10 a 25	400 a 1700 Vehículos por día
10	0 a 400 Vehículos por día

Nota. Tomado de "Introducción To Hydrology", por (Viessman, 1997)

La tabla 14 esta netamente destinada para proyectos con un fin en hidráulica.

Tabla 14. Periodo de Retorno para Obras Hidráulicas en Carretera

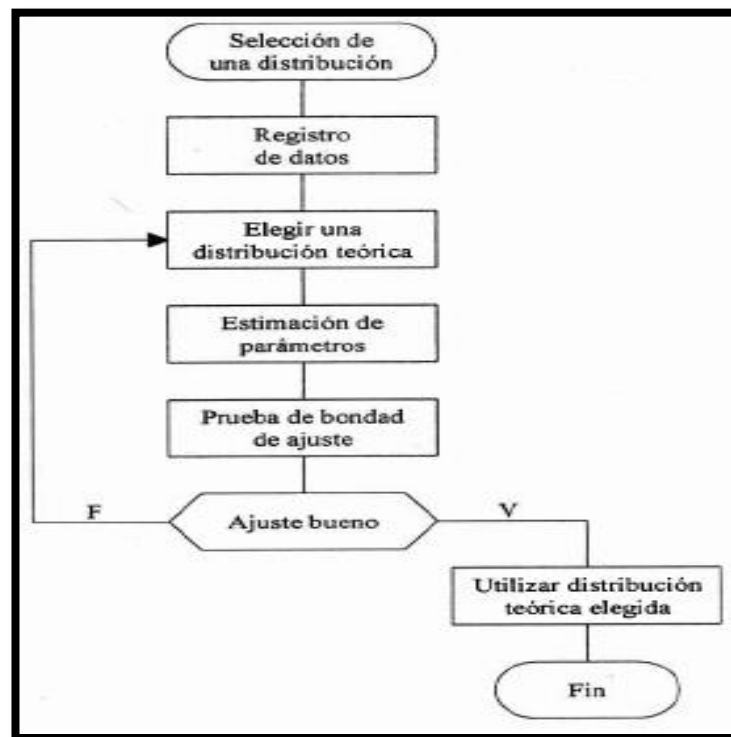
Período de Retorno en Años	Tipo de Estructura
25	Alcantarillas
50	Puentes pequeños
100	Puentes grandes

Nota. Tomado de "Introducción a la Hidrología Urbana", (Campos, 2010)

B) DISTRIBUCIONES TEÓRICAS

Para el análisis de frecuencias se estiman según sea el caso los caudales máximos, precipitaciones e intensidades, para diversos períodos de retorno, aplicando formas probabilísticas, ya sean discretos o continuos y ejecutan un cálculo de bondad mostrado en la figura 4.

Figura 4. Proceso de Selección de una Distribución Teórica



Nota. Tomado de "Hidrología Estadística", (Villón Bejar, 2016)

Al realizar una estadística se muestran diferentes funciones, pero se recomienda utilizar lo siguiente:

- **Distribución Normal**

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-u}{S}\right)^2}$$

Donde:

S = parámetro de escala

μ = parámetro de localización

X = variable independiente

f(x) = densidad normal de la variable x

- **Distribución de 2 Parámetros Log Normal**

$$f(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{-(x-\bar{x})^2/2S^2} dx$$

Donde:

S y X pertenecen a la distribución (parámetros)

- **Distribución Log Pearson tipo III**

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

Para:

$x_0 \leq x < \infty$, $-\infty < x < \infty$, $0 < \beta < \infty$, $0 < y < \infty$

Donde:

Y: forma (parámetro)

X0: posición (parámetro)

β : escala (parámetro)

- **Probabilidad de Gumbel (distribución)**

También conocido como la distribución de valores Tipo 1.

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

Al usar el método de momentos, se adquiere la ecuación siguiente:

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

$$\beta = u - 0.45\sigma$$

Donde:

β : parámetro de localización

α : parámetro de concentración

- **Distribución de probabilidad Log Gumbel**

Es una variable cualquiera reducida a log Gumbel

$$y = \frac{\ln x - u}{\alpha}$$

La ecuación muestra la función acumulada reducida a log Gumbel.

$$G(y) = e^{-e^{-y}}$$

ANÁLISIS DE TORMENTA

Una tormenta de diseño es utilizada dentro de un sistema hidrológico como un patrón de precipitación. Se determina usando sucesos de tránsito de caudales y lluvia-escorrentía que conforman la entrada al sistema, el diseño de tormenta es definido como un valor profundo de precipitación en un solo punto, ya sea con el uso de un hietograma donde especifique la distribución en el tiempo de precipitación a lo largo de la tormenta (MTC, 2007).

A. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

Según (MTC, 2007), Se plasman en un gráfico cartesiano, donde colocamos la duración en las abscisas y la intensidad en las ordenadas (mm./h).

$$x = \frac{P}{t}$$

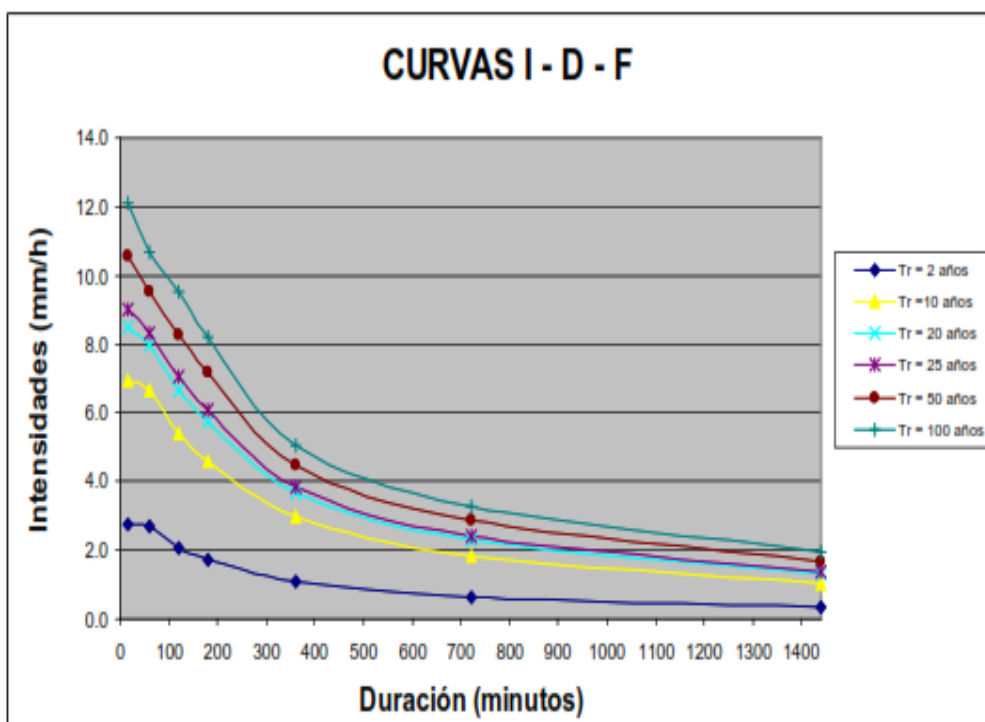
Donde:

P: Lámina de agua o precipitación en mm.

i: máxima intensidad en mm./hora

t: Tiempo (horas)

Figura 5. Curvas IDF para Máximas Lluvias



Nota. Tomado de "Manual del Hidrología e Hidráulica", por (MTC, 2007)

Las curvas IDF también se expresan de la siguiente forma:

$$I = \frac{a}{(D + b)^m}$$

Donde:

D: Duración

I: Intensidad de lluvia

a, b y m: Coeficientes que cambian según al periodo de retorno y lugar

En el Perú, hay una escasa información pluviográfica lo que dificulta la elaboración de estas curvas. Principalmente se presentan con máximas lluvias en un día, por lo cual la máxima intensidad pluvial se estima con la máxima precipitación en un día (24 hrs.) multiplicado por el coeficiente de la duración mostrada en la tabla siguiente:

Tabla 15. Coeficientes de Duración Lluvias

Coeficiente	Tiempo de la Precipitación en Horas
1.32	48
1.00	24
0.97	22
0.93	20
0.90	18
0.87	16

0.83	14
0.79	12
0.73	10
0.64	8
0.56	6
0.50	5
0.44	4
0.38	3
0.31	2
0.25	1

Nota. Tomado de "Manual del Hidrología e Hidráulica y Drenaje", por (MTC, 2007)

Para tormentas por debajo de 1 hora, o en casos de que no posean registros pluviográficos para la obtención de las intensidades máximas, pueden obtenerse con la metodología Dick Peschke la cual se relaciona con el tiempo en el que una tormenta presenta una máxima precipitación en un día:

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

Donde:

Pd: Precipitación total (mm)

d: Duración (min)

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

Además, se halla de la siguiente manera la intensidad:

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

Donde:

I: Máxima intensidad (mm/h)

K,m,n : Factores propios de la zona de estudio

T: Tiempo de retorno (años)

t: Tiempo de la precipitación o tiempo de concentración (min)

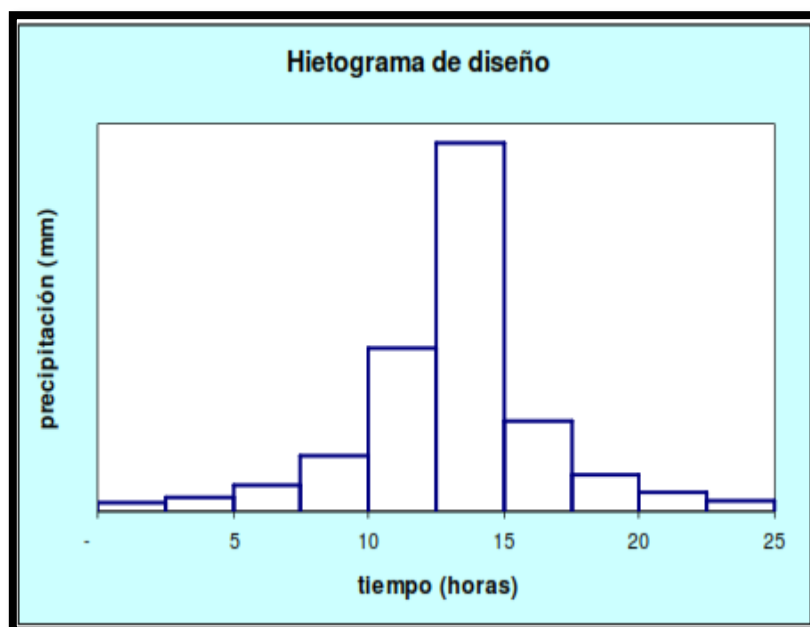
B. Hietograma de Bloque Alterno

Por medio de la metodología del bloque alterno se ejecuta un hietograma con una curva IDF. Con esto conocemos la altura de la

precipitación en n rangos de un tiempo sucesivo de duración Δt , entre una duración total de $T_d = n \cdot \Delta t$.

Ya obtenido el periodo de retorno, mediante una curva IDF se observa la intensidad para los tiempos de Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$, $4\Delta t$, al igual que la altura de precipitación, quién se multiplicado con la duración e intensidad.

Figura 6. Hietograma de Diseño



Nota. Tomado de "Manual del Hidrología e Hidráulica y Drenaje", por (MTC, 2007)

2.2.2.1. Estimación de Caudales Máximos

Los métodos más comunes y disponibles para determinar los máximos caudales son: Fórmula racional, método de hidrograma unitario triangular, método de descargas máximas de Creager, y el sistema de moldeamiento hidrológico (HMS).

A) Método Racional

Según (MTC, 2007), "El caudal máximo se estima con los datos del método racional, considerando un "c" (coeficiente de escorrentía) por cada abstracción calculado encima las características de la base en una cuenca". Se usa para cuencas

con áreas menores a diez kilómetros cuadrados ($A < 10 \text{ Km}^2$). Se debe tener en cuenta la duración P igual a t_c .

$$Q = 0,278 CIA$$

Donde:

C : Coeficiente de escorrentía (ver tabla 16)

I : Intensidad de máxima precipitación horaria (mm/h)

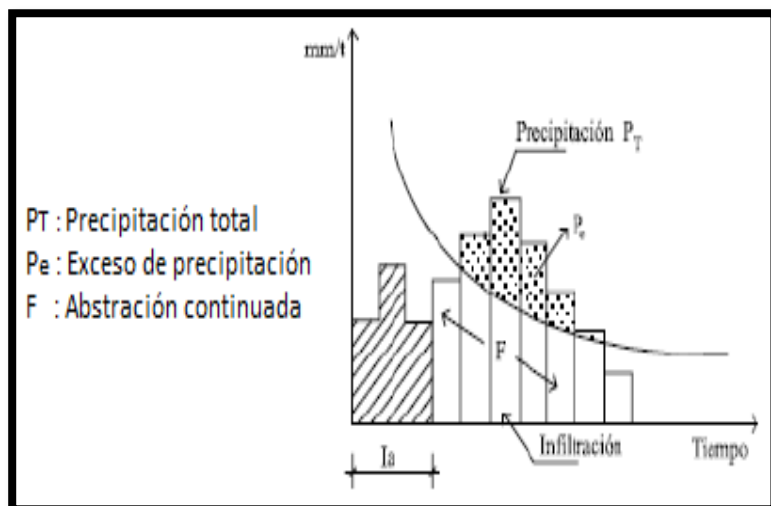
A : Superficie de la cuenca (Km^2).

Q : Máxima descarga de diseño (m^3/s)

B) Método de la Curva Número SCS

Según (MTC, 2007), es un método que determina las abstracciones de precipitaciones encontrados en una tormenta. Siendo la que engloba la profundidad de la precipitación P es mayor o igual a la demasía de precipitación o escorrentía directa (P_e); ya iniciada la escorrentía la retención potencial máxima S es mayor o igual a la profundidad extra del líquido conservada dentro de la cuenca F_a . Se encuentra una pequeña porción de precipitación para lo que ocurre escorrentía para después una escorrentía potencial P -la.

Figura 7. Variables en el Método de la Curva Número.

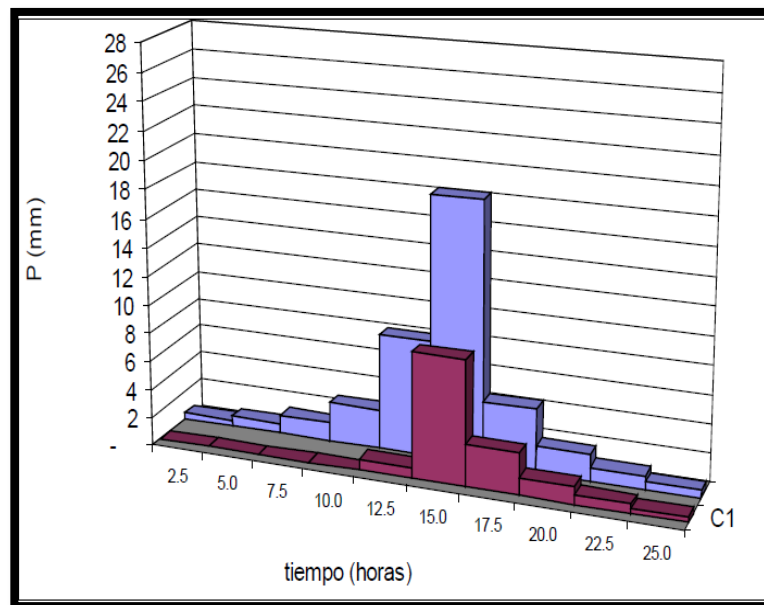


Nota. Tomado de "Diseño Hidrológico", por (Fattorelli & Fernandez, 2007)

La metodología del SCS determina un valor adimensional de la curva "CN", correspondiente a un área específica, este valor es

obtenida mediante un proceso de calibración, esta calibración se ejecuta con los datos de campo, también de diferentes sucesos del cual se disponga como datos de caudales y precipitación; finalmente se procesa el modelo total hasta que el hidrograma se ajuste con lo calculado en campo. Se considera a esto una prueba error hasta llegar a ajustar el parámetro “CN”, obteniéndose similitudes entre ambos hidrogramas

Figura 8. Hietograma de Precipitación Efectiva



Nota. Tomado de “Manual del Hidrología e Hidráulica”, por (MTC, 2007)

2.2.2.2. Hidrogramas Sintéticos

Según él (MTC, 2007), “fuera de los hidrogramas naturales, se encuentran hidrogramas sintéticos que se simulan artificialmente usando datos de parámetros de una cuenca al igual que las características fisiográficas. Esto consiste en simular o representar un hidrograma que plasme un fenómeno hidrológico en una cuenca, y así calcular el caudal más alto necesario en un diseño”.

- **Método Hidrograma Unitario Sintético de Snyder**

Snyder propuso un hidrograma unitario estándar que consiste en relacionar el “tr” con el tiempo de retardo de cuenca “tp”:

$$tp = 5.5 tr$$

$$tp(hr) = 0.75Ct(L * Lc)^{0.3}$$

Donde:

Lc: Longitud del trayecto hacia el punto medio de gravedad en Km.

L: Longitud principal del trayecto (Km).

El caudal pico (m³/s * km²) de un hidrograma unitario estándar es:

$$q_p = \frac{2.75C_p}{tp}$$

Con el hidrograma unitario se calculan valores de duración efectiva t_R (hrs.), el caudal más alto por unidad de área de drenaje $q_p R$ en km²* m³/s*cm. Y su tiempo de retardo en la cuenca $tp R$ en horas

Retardo de cuenca estándar:

$$tp = tpR + (tr - tR)/4$$

El máximo caudal por la unidad de área de drenaje en un hidrograma unitario es:

$$q_p R = q_p tp / t_{pr}$$

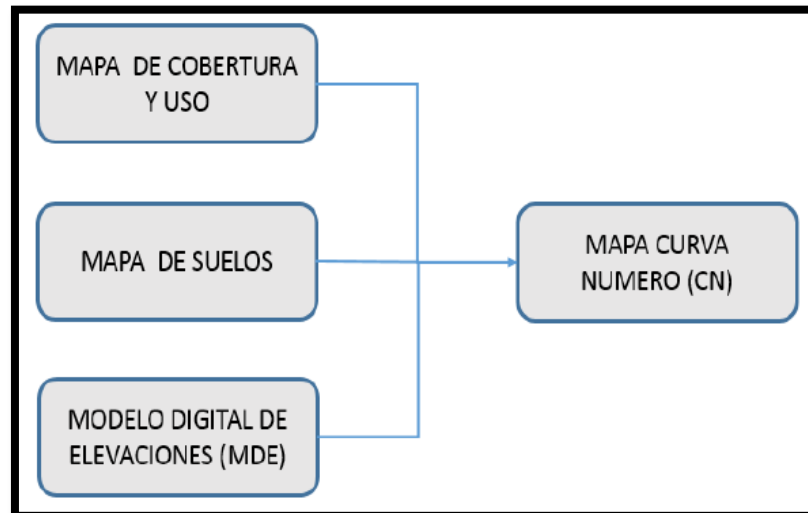
La aplicación de este método está en el rango de 30 a 30 000 Km².

2.2.2.3. Determinación del Número de Curva

Según (ANA, 2015), es un procedimiento generalizado para calcular la transformación de lluvia-escorrentía adaptado a cualquier región. El CN es un número adimensional donde sus valores varían en $0 \leq CN \leq 100$. Serán impermeables de agua CN

= 100 para superficies; para superficies naturales $CN < 100$ y para superficies que no escurren $CN = 0$.

Figura 9. Metodología para Generar Valores del Número de Curva

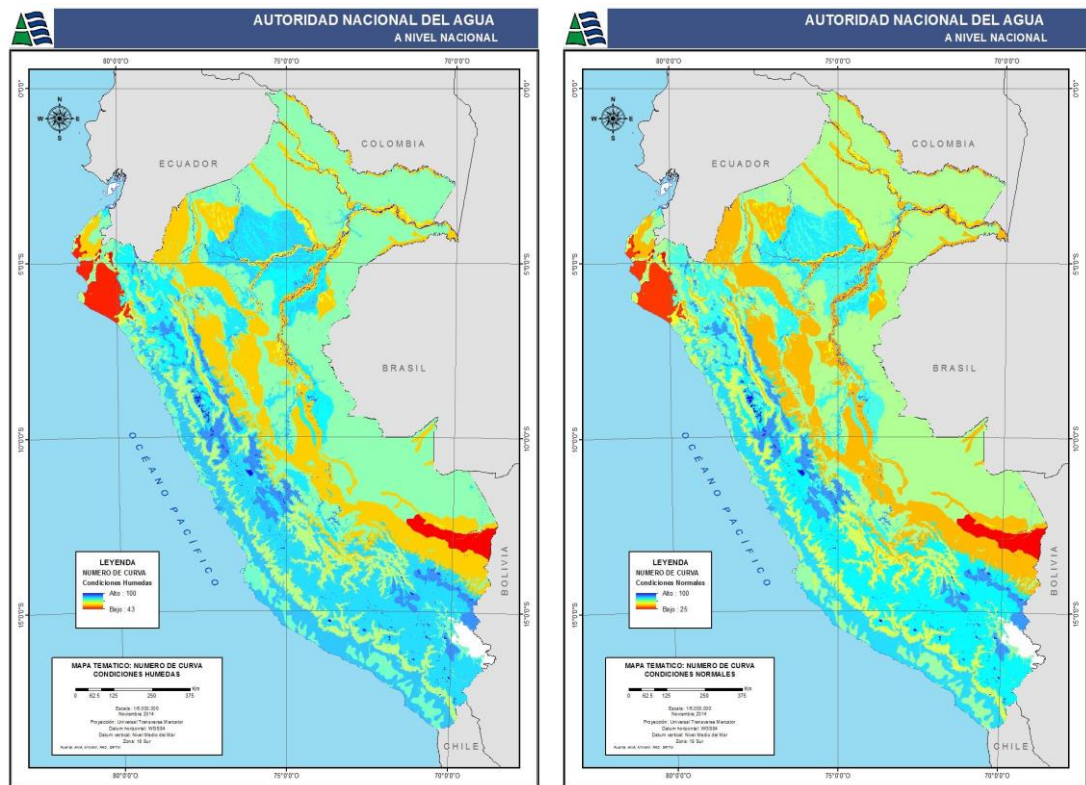


Nota. Tomado de "Generación del Mapa Temático de Curva Número", por (ANA, 2015)

Para el territorio nacional el (MINAM), ha creado un mapa de Cobertura Vegetal y usos de Suelo del Perú. El mapa temático de cobertura fue elaborado por medio de un análisis de imágenes satelitales durante el año 2009 para posteriormente ser verificado en el terreno, fluvial y aéreo. El mapa temático de suelos fue publicado por la FAO y UNESCO desarrollado en colaboración con científicos de todo el mundo.

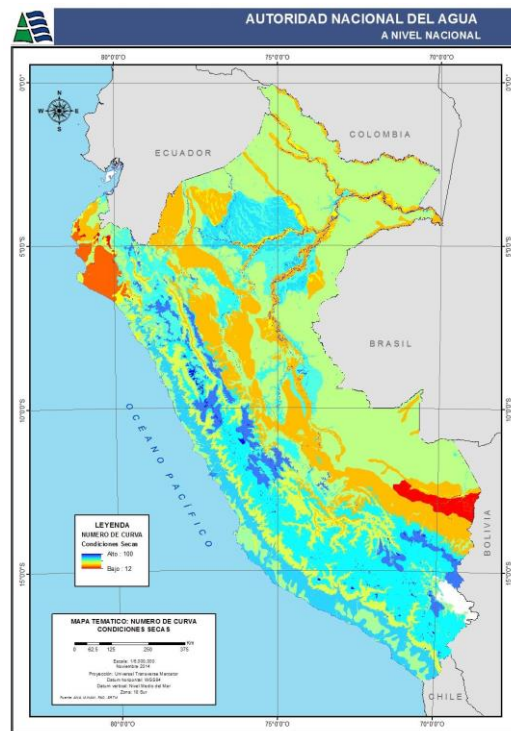
Con la información de los mapas temáticos (cobertura y suelos) y con un modelo digital de elevación el ANA a generado un mapa de curvas para todo el Perú, aplicables según las situaciones de humedad antecedente y clasificadas en condiciones normales, secas y húmedas.

Figura 10. Mapa de Cantidad de Curva en Condiciones Secas y Normales



Nota. Tomado de "Generación del Mapa Temático de Curva Número", por (ANA, 2015)

Figura 11. Mapa de Número de Curva en Condiciones Húmedas



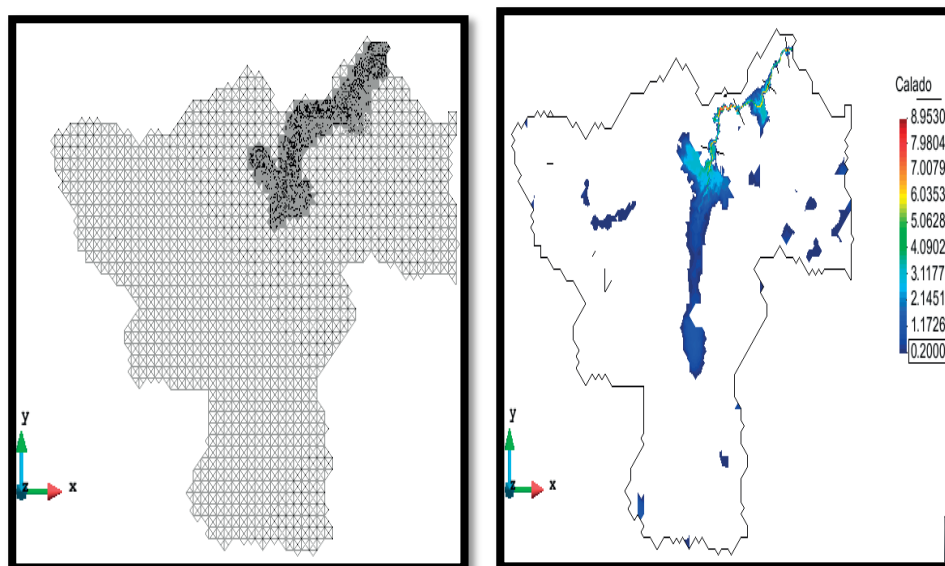
Nota. Tomado de "Generación del Mapa Temático de Curva Número", por (ANA, 2015)

2.2.3. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA

La modelización hidráulica consiste en el procedimiento metodológico que busca replicar un desastre natural junto con el objetivo de hallar la dinámica o movimiento del agua, utilizando modelos matemáticos y/o físicos. Para introducir el modelo hidráulico es importante incorporar una metodología de entrada de agua partiendo de los datos de precipitación es decir contar con los caudales, siendo este procedimiento el más común, utilizada en modelizaciones conjunta de la de la hidráulica y la hidrología.

Lo más común en la actualidad es un estudio para determinar la inundación mediante los datos hidrológico de toda la cuenca, de esta manera se obtiene los hidrogramas de avenida; luego con un estudio hidráulico se determinan las velocidades y calados en el área de estudio. Con el método hidráulica-hidrológica es posible crear una cuenca con una malla no estructurada en la zona propuesta para el análisis, y elementos muy finos en llanuras y la zona del cauce (Figura 12). Proporcionando esto al modelo del proyecto, se generan mapas de peligro usando una herramienta comparada a un modelo hidrológico distribuido (Bladé, Cea, & Corestein, 2014).

Figura 12. Integración de una de Malla de Cálculo y Mapa de Inundación



Nota. Malla de cálculo (izquierdo) y mapa de inundación (derecha) para la cuenca del río Fluvia. Tomado de "Modelización Numérica de Inundaciones Fluviales", por (Bladé, Cea, & Corestein, 2014).

2.2.3.1. Fundamentos

a) Tipos de Flujo

Según (Chow, 2004) el flujo permanente se da cuando el usuario ingresa en aguas arriba y aguas abajo el tirante como condiciones de borde en un caudal, de esta manera este modelo determina los tirantes en puntos interiores sin distorsionar el caudal constante. Mientras que para un flujo no permanente se incorpora un hidrograma, es decir el caudal cambia con la distancia y la profundidad cambia con el tiempo.

Se considera flujo uniforme cuando el caudal en cada sección es constante donde la velocidad permanece constante en cada punto es decir la distribución de velocidades no se distorsionó dentro del tramo y el flujo no uniforme se da si la profundidad es variable en el espacio.

Tabla 16. Resumen de la Relación del Tipo de Flujo para los Cálculos Hidráulicos

	FLUJO PERMANENTE		FLUJO NO PERMANENTE		
	Uniforme	Gradual Variado	Modelo Hidrológico	Onda Cinemática	Modelo Completo
Efectos dinámicos	NO	NO	SI	NO	SI
Atenuación de caudal punta	NO	NO	SI	NO	SI
Geometría de la red	CON DETALLE	CON DETALLE	Incluida en los parámetros	CON DETALLE	MUY EN DETALLE
Efectos de reflujo	NO	SI	SI	NO	SI
Condiciones de contorno	NO	Ag. Arriba y abajo	Incluida en los parámetros	Solo aguas arriba	Aguas arriba y abajo
Datos del estudio hidrológico	Qmax	Qmax	Hidrograma Q/t	Hidrograma Q/t	Hidrograma Q/t

Nota. Tomado de "Modelización numérica en ríos en régimen permanente y variable ", por (Bladé, Sánchez, Niñerola, & Gómez, 2009)

b) Ecuaciones Modelizadas

Según “ (Martínez, Martínez, & Hidalgo, 2017)”, para la modelización matemática se conserva los movimientos y la masa. Para aguas someras la componente vertical de la velocidad permanece constante, lo que significa que despreciamos la componente normal de aceleración. Es decir, que se ignora la fuerza de Coriolis, las tensiones que son producidas por el viento y las tensiones efectivas. Las ecuaciones en dos direcciones de Saint Venant se describen de la siguiente manera:

$$\frac{dh}{dt} + \frac{dhu}{dx} + \frac{dhv}{dy} = Ql$$

$$\frac{dhv}{dt} + \frac{du^2}{dx} + \frac{dhv}{dy} + gh \frac{dh}{dx} = gh(S_{0x} - S_{fx})$$

$$\frac{dhv}{dt} + \frac{dhu^2}{dy} + \frac{dhuv}{dx} + gh \frac{dh}{dy} = gh(S_{0y} - S_{fy})$$

Siendo la primera ecuación que representa la conservación de la masa del fluido en cada celda de la malla y las últimas 2 ecuaciones las de momento lineal.

Donde:

h : Tirante

(u, v) : Componentes de velocidad en el plano (X, Y)

S_0 : Pendiente del lecho

S_f : Fricción siguiendo la ley de Manning

Q_i : Aporte puntual de caudal en los puntos fuertes

2.2.3.2. Métodos para la modelización hidráulica

Hoy en día se posee diversas variedades de modelos que simulan inundaciones, algunos utilizados en 1D y en 2D y también otros que integran ambos modelos. Estos programas presentan una imagen realista de la zona donde se estudia, presentando una mejor perspectiva del modelo (Alexander, y otros, 2015).

A continuación, se muestran los siguientes métodos para la modelación hidráulica:

Tabla 17. Aplicaciones de la Modelización Hidráulica según las Características del Flujo

CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO	APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA
1D	Mantenimiento de cuencas, manejo y planeación. Calidad de agua. Diseño para construcciones hidráulicas y de contención ante eventos de inundación. Estudios de navegabilidad. Pronóstico, en tiempo real. Demanda y distribución de agua (riego, abastecimiento). Operación de Regulación (tránsito de ondas de salida de embalses, regulación de caudales).

2D	Creación mapas de amenaza ante inundaciones. Reconstrucción de inundaciones pasadas. Dinámica fluvial y geomorfología y (sedimentación - erosión). Flujo y calidad de agua en ciénagas, lagos, etc.
3D	Calidad y flujo de agua en estuarios, en algunos casos fortuitos como lagos. Para diseñar estructuras hidráulicas, bifurcación o en obras de regulación de caudales. Dinámica fluvial y geomorfología y (sedimentación - erosión).

Nota. Tomado de "Protocolo de modelación hidrológica e hidráulica ", por (IDEAM, 2018)

2.2.3.3. Modelos Comerciales

Los primeros modelos comerciales fueron los más usados por su amplia difusión y sencillez y que permitieron estudiar cauces fluviales mediante la aproximación unidimensional de los que destacan el modelo HEC-RAS y a cuantos modelos bidimensionales, destacan los modelos MIKE21, SOBEK e IBER. Una herramienta de modelado 2D es el sistema IBER, que incorpora esquemas numéricos de última generación.

Los modelos comerciales, bidimensionales o unidimensionales, son cómodos para utilizar y muchas veces se desconoce de los mismos.

Tabla 18. Modelos Comerciales para Modelizaciones Hidráulicas

Modelo	Malla 2D	Régimen Variable Adecuado para Cauces Torrenciales	Esquema Numérico	Admite Modelamiento de Estructuras Hidráulicas	Integración SIG	2D	1D Régimen Variable	1D Régimen Permanente
IBER	I	SI	VF	SI	SI	SI	SI	SI
HEC-RAS	-	NO	DF	SI	SI	NO	SI	SI
MIKE FLOOD	R	NO	DF	SI	SI	SI	SI	SI
SOBEK	R	NO	DF	SI	SI	SI	SI	SI
ISIS FLOW	-	NO	DF	SI	SI	NO	NO	SI

ISIS PROFFESI ONAL	I	SI (2D)	DF- VF	SI	SI	SI	SI	SI
INFRAWOR KS	I	SI (2D)	DF- VF	SI	SI	SI	SI	SI
TELEMAC	I	NO	EF	NO	N O	SI	NO	NO
SMS RMA2	I	NO	EF	NO	SI	SI	NO	NO
SMS HVEL 2D	I	NO	EF	SI	SI	SI	NO	NO
GUAD 2D	I	SI	VF	SI	SI	SI	SI	SI

Nota. Tomado de "Modelización numérica en ríos en régimen permanente y variable ", por (Bladé, Sánchez, Niñerola, & Gómez, 2009)

Donde:

R: Malla regular

I: Malla Irregular

DF: Diferencias finitas

VF: Volúmenes finitos

EF: Elementos finitos

Modelo Hidráulico Bidimensional IBER

Según (Bladéa, y otros, 2012), presenta un modelo matemático bidimensional que simula flujos superficiales libres en estuarios y ríos. Este software fué creado por GEAMA, un Grupo de Ingeniería Matemática del Instituto Flumen y del Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

Según (Ortega & Rebolledo, 2020), una de las capacidades de software IBER es el gran número de parámetros y resultados que es capaz de resolver en el módulo de postproceso, incluyendo mapas de resultados máximos de las principales variables (calado, cota y velocidad) para cada punto de la malla, garantizando la identificación de los escenarios más desfavorables para todo el proceso de la simulación. Para la comprobación y diseño de los elementos modelados se utilizan los valores máximos, por lo que identificarlos de forma rápida resulta de gran utilidad.

Campos de Aplicación

- ❖ Para el diseño hidráulico en lámina libre.
- ❖ Para zonas donde el flujo es permanente.
- ❖ Modelar y simular en cauces naturales el flujo en lámina libre.
- ❖ Para identificar zonas inundables.
- ❖ Para una estabilidad de sedimentos en el lecho
- ❖ Para un diseño hidráulico en estructuras de encauzamientos.
- ❖ Para diseñar en estuarios corrientes de mareas.
- ❖ Procesos de sedimentación y erosión

Interfaz de Postproceso y Preproceso

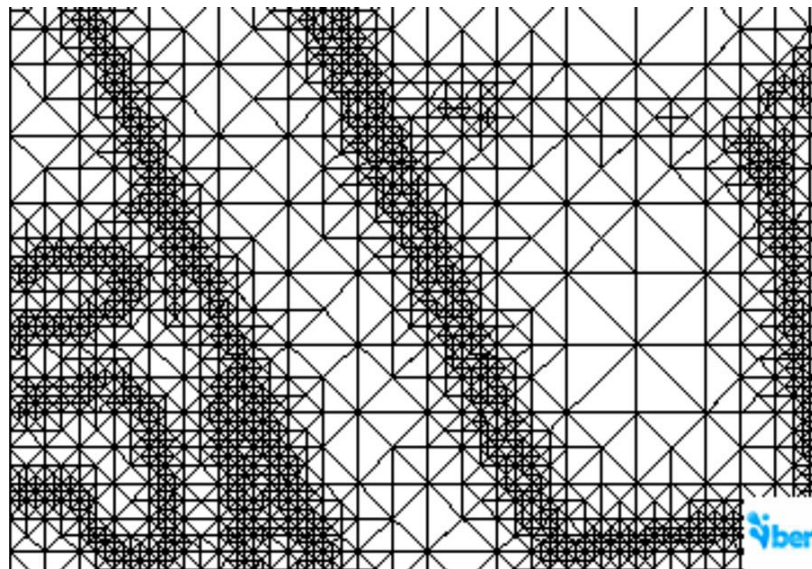
Es un programa que simulación a través de valores, debido a la variedad y la cantidad de datos de entrada que se necesitan. Uno de los desarrollos más destacados para el preproceso es la importación con el uso de un dato georreferenciado de rugosidad de Manning que tiene que ver con el uso de suelo y su incorporación manera automática a los elementos de la malla.

La generación de la malla de análisis es una de las etapas que necesitan mayor capacidad computacional y esfuerzo para ejecutar un estudio donde se simula el flujo de los ríos. Para el caso de un río la construcción de una buena malla no es una tarea fácil puesto que su geometría representa una geometría irregular. La malla debe ser irregular, con la intención de disminuir la cantidad de elementos con transiciones suaves, por ende, las formas de mallado son esenciales basados en el error cordal. Y es ahí cuando el software IBER agrega capacidades estándar de mallado GID, creando mallas tanto estructuradas como no estructuradas, de diferentes formas usando variedad de algoritmos de mallado.

Un río no tiene una geometría regular, por lo que al construir buena malla para desapercibido. Se requiere que la malla no tenga una geometría regular, con el propósito de reducir la cantidad de elementos con transiciones suaves. Por lo cual es necesario usar

métodos de mallado conforme al error cordal. Por eso el software Iber agrega las capacidades estándar de mallado de GiD creando diferentes tipos de mallas. Aparte de eso se han adecuado herramientas que crean y editan mallas conforme a lo requerido por estudios de hidráulica fluvial.

Figura 13. Malla de Cálculo Formada por una Red Irregular de Triángulos Rectángulos (RTIN)



Nota. Tomado de "Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería", por (Bladéa, y otros, 2012).

2.2.3.4. Información básica para la Modelización Hidráulica en dos Dimensiones con IBER

Modelo Digital del Terreno

Según El software IBER al ser modelado en un flujo 2D necesita la incorporación de una malla tridimensional de terreno como dato de inicio.

Para la modelización de cauces naturales se recomienda usar un archivo MDT, pues al trabajar con este archivo es posible generar de manera automática una malla formada por cuadrados de lados constantes mediante la opción de importación Raster GDAL, denominada malla estructural y una malla formada por triángulos empleando la herramienta RTIN denominada malla no estructural.

También se permita la posibilidad de incorporar ortofotos georreferenciados que mejora la edición de características del modelo para la posterior interpretación de resultados claro que se requiere de archivos georreferenciados obtenidos con herramientas externas.

Condiciones de Contorno

Se consideran los siguientes:

- ❖ Ingreso de curvas de caudal o niveles de agua en el tiempo, un caudal específico o una cota de agua.
- ❖ Ingreso de condiciones de contorno subcrítico, crítico y supercrítico

En el caso de condiciones de salida, se necesita especificar más parámetros si en caso el régimen es subcrítico, recomendable usar la condición tipo vertedero. Si el caso es un régimen crítico o supercrítico no se necesita agregar parámetros.

Para condiciones internas se tiene consideradas los vertederos, compuerta, combinación de vertedero, compuerta y el ancho de la compuerta.

Rugosidad

Según el (IBER, 2012) , la rugosidad se debe asignar mediante el coeficiente de Manning. Se puede escoger el uso del suelo y asignarlo a la superficie con los valores predeterminados que pueden ser cambiados, añadidas o eliminadas. También se puede realizar la asignación automática con datos georreferenciados a partir del formato básico ASCII Grid ArclInfo y del formato XY. Para los dos casos existe un directorio de archivo csv que contienen datos utilizados de suelos.

Según (Gilberto, 2002), las fórmulas que más se usan para calcular el coeficiente de Manning, es el coeficiente que utilizó Ganguillet y Kutter, que fue utilizada para determinar la velocidad en tuberías del agua y canales abiertos.

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

Donde:

V: Velocidad media en m/s.

n: Coeficiente de rugosidad.

Rh: Radio hidráulico en m.

S: Pendiente.

La siguiente tabla muestra los coeficientes de rugosidad obtenidas mediante una serie de fotografías.

Tabla 19. Valores del Coeficiente n en la Ecuación de Manning.

Descripción del Canal	Mínimo	Normal	Máximo
A. Arroyos			
a) Corrientes en planicie:			
1. Rectos, limpios, sin deslaves			
2. Similar al anterior, con vegetación y rocoso	0.025	0.030	0.033
3. con pocas irregularidades, Limpios y sinuosos.	0.030	0.035	0.040
4. similar al anterior, rocas y poca hierba.	0.033	0.040	0.045
5. similar al anterior, con secciones no muy eficaces y de una menor profundidad.	0.035	0.045	0.050
6. Similar al 4, con mucha más piedra.	0.040	0.048	0.055
7. con longitud irregular, estancamientos de mayor profundidad y con vegetación.	0.045	0.050	0.060
8. Longitud con exceso de vegetación, profundos estancamientos, con plantas subacuáticas y cauces de inundación con raíces.	0.050	0.070	0.080
b) Corrientes de montaña, con bordos muy inclinados, sin nada de vegetación en el cauce, arbustos y árboles a lo largo de los bordes, que quedan inundados por fenómenos naturales:			
1. Fondo de boleó y enormes rocas.			
2. Fondo de grava, con pocos cantos rodados y boleó.	0.040	0.050	0.070
	0.030	0.040	0.050
B. Planicies inundables:			
a) Pastura sin arbustos:			
1. Pasto bajo.			
2. Pasto alto.	0.025	0.030	0.035
b) Áreas de cultivo:	0.030	0.035	0.050
1. Sin cultivo.			
2. Cultivo maduro en surcos.	0.020	0.030	0.040
3. Cultivo maduro en campos.	0.025	0.040	0.045
c) Arbustos:			

Descripción del Canal	Mínimo	Normal	Máximo
1. Mucha vegetación y escasos arbustos.			
2. Árboles con pocos arbustos, en invierno.			
3. Árboles con pocos arbustos, en verano.	0.035	0.050	0.070
5. Mediana a densa población de arbustos, en verano.	0.035	0.050	0.060
	0.040	0.060	0.080
5. Mediana a densa población de arbustos, en invierno.	0.070	0.100	0.160
d) Árboles:	0.045	0.070	0.110
1. Sauces rectos en verano.			
2. Terrenos talados con troncos muertos.			
3. Similar al anterior, pero con troncos retoñados.	0.110	0.150	0.200
	0.030	0.040	0.050
4. mucha concentración de madera, con un nivel de inundación bajo las ramas, pocos árboles caídos, con escaso crecimiento.	0.050	0.060	0.080
5. Similar al anterior, pero la inundación alcanza a las ramas.	0.080	0.100	0.120
C. Ríos:			
a) Secciones sin cantos rodados, regulares y sin arbustos.	0.100	0.120	0.160
b) Secciones irregulares y rugosas.			
	0.025		0.060
	0.035		0.100

Nota. Tomado de "Hidrología Aplicada", por (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

Tabla 20. Valores del Coeficiente de Rugosidad según Cowan

CONSIDERACIONES		VALORES	
Material considerado	Grava gruesa		0.028
	Grava fina	n0	0.024
	Roca cortada		0.025
	Tierra		0.020
Grado de irregularidad	Severo		0.020
	Moderado	n1	0.010
	Menor		0.005
	Liso		0.000
Variaciones de la sección transversal del canal	Frecuentemente alternante		0.010 - 0.015
	Ocasionalmente alternante	n2	0.005
	Gradual		0.000
Vegetación	Muy alta		0.050 - 0.100
	Alta	n3	0.025 - 0.050
	Media		0.010 - 0.025

Efecto relativo de obstrucciones	Baja		0.005 - 0.010
	Severo		0.040 - 0.060
	Apreciable	n4	0.020 - 0.030
	Menor		0.010 - 0.015
	Despreciable		0.000
Cantidad de meandros	Severa		1.300
	Apreciable	m5	1.150
	Menor		1.000

Nota. Tomado de "Hidrología Aplicada", por (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

El coeficiente de Manning se puede calcular con la ecuación mostrada, de acuerdo a los establecido en la tabla anterior:

$$A = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) x m^5$$

Planicies de Inundación

Se conocen como Zonas Inundables o planicies de inundación aquellas que son cubiertas por el agua en caso de eventos extraordinarios. Se excluyen aquellos lugares de cauces inundables, que son ocupados frecuentemente del orden, una vez en 10 años

Las zonas inundables varías conforme a las causas que los generan como:

- ❖ Empozamiento por carencia de drenaje superficial.
- ❖ Por el desborde de corrientes naturales.
- ❖ Desbordamiento de ciénagas.
- ❖ Al ensancharse el cauce por la presencia de lluvias intensas sobre áreas planas.
- ❖ Desprendimientos o avalanchas generadas por sismos, erupción volcánica y formación de presas naturales.
- ❖ Cuando se generan trabas al fujo natural debido a la creación de obras de encauzamiento (muros de contención), puentes, viviendas dentro de los cauces y acumulación para uso de material aluvial.
- ❖ Sedimentación.

Presentamos ciertos problemas que se presentan por inundaciones:

- ❖ Pérdida de vidas humanas en casos extremos, inundación, cierre de vías de comunicación, daños en las propiedades y áreas de cultivo.
- ❖ Estancamiento de drenajes que generan problemas sanitarios o enfermedades.
- ❖ Cambios en el curso del río por el desborde producido, pérdida de áreas cultivables.

- **Susceptibilidad a inundaciones**

Según (INDECI, 2011):

Trata de una posibilidad de que las inundaciones vuelvan a ocurrir en un mismo lugar, para analizar esa susceptibilidad se debe determinar una simulación de cómo funcionaría un lugar si pasará un desastre natural como precipitación, por lo que debemos tratar de visualizar las áreas propensas a inundaciones, conociendo las dinámicas naturales de estos terrenos, que permitan a instituciones y planificadores un manejo adecuado de desastres, con el fin de evitar sucesos naturales peligrosos que atenten contra el desarrollo humano (p. 28).

En base al análisis expuesto se ha determinado la siguiente clasificación:

Tabla 21. Clasificación de Susceptibilidad a Inundación

Clase	Indicador	Descripción
1	Muy alta	Sin susceptibilidad muy alta inundación
2	Alta	Susceptibilidad alta a inundación
3	Media	Susceptibilidad media a inundación
4	Baja	Susceptibilidad baja inundación
5	Sin	Susceptibilidad a inundación

Nota. Tomado de "Manual de Estimación del Riesgo Ante Inundaciones Fluviales", por (INDECI, 2011).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **AVENIDA**

Se considera a la escorrentía de un canal que supera la capacidad de traslado del agua provocando una inundación de terrenos cercanas (Mejía, 2012).

- **QGIS**

Es un software para delimitar cuencas y usado en las áreas de hidrología e hidráulica (QGIS, 2021).

- **CUENCA HIDROGRÁFICA**

Comprende una superficie en la tierra donde las precipitaciones se acumulan y son drenadas generando un sistema de cursos de agua posteriormente descargadas en una salida simple (Aparicio, 1989).

- **HEC-HMS**

Es un software el cual determina hidrogramas de cuencas si en caso se les da acceso a datos de precipitaciones y de la cuenca misma (Sánchez, 2017).

- **IBER**

Comprende un modelo numérico bidimensional que simula el flujo superficial libre en ríos y estuarios. Resuelve ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad completa para hallar la altura del agua y los dos componentes horizontales de la velocidad promediada en profundidad (Iber, 2014).

- **HIDRÁULICA**

Es un área encargada de estudiar las propiedades mecánicas del fluido, para hallar estas propiedades requieren distintas fuerzas que se involucran con la masa (fuerza) (MTC, 2007).

- **HIDROLOGÍA**

Es un área encargada de estudiar la distribución, el espacio, el tiempo y propiedades del agua que encontramos en la atmósfera y en la superficie terrestre (MTC, 2007).

- **INTENSIDAD**

Comprende la profundidad por unidad de tiempo (mm/h), calcula la cantidad de precipitación (MTC, 2007).

- **INUNDACIÓN**

Es la acumulación de agua en áreas que anteriormente se encontraban secas generando pérdidas de áreas (Sanchez, 2018).

- **MODELIZACIÓN HIDRÁULICA**

Es un método que consiste en conocer valores como: calado, velocidad, caudal, etc. a partir de una malla generada por software hidráulicos, estudia por qué y cómo se comportan los flujos.

(Oliveras, 2014).

- **MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA**

Es una herramienta importancia que sirve para estudiar avenidas que, extendidas por todo el mundo, especialmente en países muy desarrollados (Estrada & Pacheco, 2012).

- **MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL**

Es un modelo digital representado mediante la matemática y también se visualiza de valores de altura con respecto al nivel medio del mar, caracteriza las diferentes formas del relieve, elementos u objetos presentes (SIGLA, 2014).

- **PERIODO DE RETORNO**

Es el promedio del periodo en años en el cual un máximo caudal de una creciente es superado o igualado cada "T" años (MTC, 2007).

- **PRECIPITACIÓN**

Es la humedad presente en las nubes que a medida que el calor aumenta desciende a la superficie terrestre (Villón, 2004).

- **SENAMHI**

Es el ente encargado de la hidrología y meteorología del Perú, es un organismo público ejecutor adscrito al Ministerio del Ambiente que genera, provee información y conocimiento meteorológico, hidrológico y climático (Ministerio del Ambiente, 2020)

- **SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

En un conjunto de sistemas de software, hardware, personas, datos, organizaciones y convenios institucionales que recopila, almacena,

analiza y distribuye información de territorios de la Tierra" (Deuker & Kjerne, 1989).

- **TIEMPO DE CONCENTRACIÓN**

Es la duración en el cual una gota de agua viaja y se escurre en la superficie empezando desde un lugar lejano de la cuenca hasta llegar a un punto de salida (Vélez & Botero, 2010).

- **TORMENTA**

Es el conjunto de lluvias intensas que obedecen a una sola perturbación meteorológica y de características bien definidas (Villón, 2004).

- **ZONAS INUNDABLES**

Comprende a aquellas áreas en donde las aguas cuyo de retorno sea como máximo de quinientos años, comprende a estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, también a una serie de avenidas históricas y evidencias históricas de las mismas (Zarza, 2018).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La modelización hidrológica e hidráulica, permitirá establecer las zonas inundables en la cuenca del río Vizcarra del área urbana de los distritos de la Unión y Ripán.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- ❖ Se podrán calcular los parámetros morfométricos utilizando el software QGIS en la cuenca del río Vizcarra.
- ❖ Los caudales máximos para los distintos periodos de retorno de 100, 140 y 500 años se podrán calcular aplicando el software HEC-HMS en el área de estudio.
- ❖ Los resultados de la modelización hidráulica bidimensional se podrán calcular aplicando el software IBER en el área de estudio.

- ❖ Los resultados permitirán identificar los puntos críticos y zonas de inundación en el área de estudio.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

X: Modelización hidráulica e hidrológica.

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Y: Zonas inundables.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 22. Operacionalización de Variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE Modelización hidrológica e hidráulica	Hidrología Es el estudio encargado de la distribución, temporal y espacial, al igual que de las propiedades del agua encontradas en la atmósfera y en la superficie terrestre.	Caudales en la zona de estudio.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelos digitales del terreno. ▪ Precipitación. ▪ Periodo de Retorno. ▪ Hietograma. ▪ Hidrograma. ▪ Caudal
	Hidráulica Rama de la ingeniería y física encarga de estudiar las propiedades mecánicas de los fluidos.	Flujo en conductos abierto.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tirante. ▪ Velocidad ▪ Número de Froude ▪ Área Hidráulica. ▪ Dirección del flujo.
VARIABLE DEPENDIENTE Zonas de inundación	Mapas Es una representación gráfica de un territorio con medidas reales a escala plasmados sobre una superficie bidimensional ya sea plana, esférica o incluso poliédrica.	Mapas de áreas potencialmente inundables.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala. ▪ Tamaño.

FUENTE: Elaboración Propia

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Para esta tesis se empleó una investigación tipo aplicada.

3.1.1. ENFOQUE

Según el enfoque de esta tesis es de tipo cuantitativo, pues permite analizar los datos de manera numérica utilizando la recolección para comprobar la hipótesis en base al análisis estadístico y a la medición numérica. Es verificada mediante la recopilación de información de forma cuantitativa dirigida por metodologías empíricas que se puedan medir, esta información puede estar producido mediante conceptos teóricos con las que se formulan las hipótesis de concepto. Con esta información que se recolecto se realiza el grado de significancia y relación que existe ente las variables (Mintaje, 2011).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

La investigación presentada es de nivel descriptivo y explicativo, centrándose en dar respuesta la causalidad de los acontecimientos sociales o físicos. Su finalidad se centra en dar una explicación del porqué de la causa del fenómeno y cuáles son sus condiciones, o por qué la relación 2 o más variables (Hernandez, Fernández, & Baptista, 2004).

Es descriptivo por que incluye los procesos de identificación, descripción y las características de la cuenca investigada y sus parámetros morfométricos.

Es explicativo porque nos define las causas ante eventos de inundación provocado por precipitaciones de gran intensidad.

3.1.3. DISEÑO

Este estudio presenta un diseño no experimental, tipo longitudinal, pues el autor de esta tesis tiene la finalidad de realizar un análisis de las variables su relación, y cambios en el tiempo, recopilan información en el tiempo a través de periodos específicos, con el fin de realizar las inferencias para el cambio, sus consecuencias y determinantes(Hernandez, Fernández, & Baptista, 2004).

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

En este estudio la población pertenece al área urbana de los distritos de la Unión y Ripán de la provincia de Dos de Mayo, de la región Huánuco.

3.2.2. MUESTRA

Se realizó un muestreo no probabilístico, que corresponde al tramo vulnerable a inundación en la margen derecho e izquierdo de la zona urbana del río Vizcarra que abarca una longitud de 1.3 km.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Para recolectar los datos, se emplearon diferentes técnicas e instrumentos mostradas a continuación.

❖ TÉCNICAS

- ✓ **Observación del cauce y ribera del río.** Se pudo observar las características físicas del cauce, presencia de obstáculos inertes (bolonería, desmontes, etc) y vivientes (vegetación), localización de estructuras en sus riberas (muros de contención, puentes, etc.) a lo largo del lugar de estudio
- ✓ **Observación y análisis de las estructuras aledañas.** Se observaron diversas características y uso de puentes existentes,

ya sea peatonal y otro vehicular, también la presencia de viviendas construidas con diversos materiales y número de niveles.

- ✓ **Levantamiento topográfico.** Se hizo el levantamiento topográfico en una longitud de 1.3 kilómetros.
- ✓ **Descarga de datos digitales.** Utilizamos datos de elevación proporcionados por satélites de la nasa.
- ✓ **Descarga de datos hidrológicos.** Se utilizaron datos pluviométricos de estaciones meteorológicas.

Los procesos para la obtención de los datos se presentan en el **APÉNDICE N°02** – Para la Recolección de Datos.

❖ **INSTRUMENTOS**

Usamos instrumentos físicos mostrados a continuación:

- ✓ Libreta de campo
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Vehículo aéreo no tripulado (Dron)
- ✓ Información meteorológica del lugar y tirantes del cauce
- ✓ Fuentes bibliográficas

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Fueron necesarios la elaboración de cuadros para luego ser procesados en softwares de ingeniería especializados como:

- ✓ Software Google Earth Pro (Software libre).
- ✓ Software Autocad Civil 3D 2019 (Versión estudiante).
- ✓ Software QGIS 3.16 (Software libre).
- ✓ Software Hydrognomon (Software libre).
- ✓ Software HEC-HMS 4.2.1 (Software libre).
- ✓ Software Iber versión 2.5.2 (Software libre).

El cuadro empleado para la recopilación de los datos pluviométricos se muestran el **APÉNDICE N°02** – Para la Presentación de los Datos

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Se ordenaron de la siguiente manera:

- ✓ Delimitación y parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica.

- ✓ Tratamiento de los datos y modelización hidrológica.
- ✓ Modelización hidráulica y análisis de los parámetros hidráulicos para identificación de zonas inundables.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA

Dado que la cuenca tiene una forma muy irregular, para el presente proyecto se utilizó el software libre QGIS por su rápida, eficaz y preciso resultado. Para la descarga de imágenes satelitales, se utilizó el satélite Alaska de la Nasa con un segundo de arco (12.5 m), con el DEM de tipo ALOS PALSAR proyectado en la zona WGS 1984_UTM Zona 18 S.

Tabla 23. Parámetros de Forma de la Cuenca

PARÁMETROS	UND	VALOR
Superficie total de la cuenca	km ²	1127.48
Contorno de la cuenca	km	273.03
Longitud Máxima del Cauce	km	52.74
Ancho promedio de la cuenca	km	21.38
Coefficiente de compacidad	-	2.29
Factor de forma	-	0.4053
Longitud Total de los Ríos de Diferente Grado		
Orden 1	km	580.41
Orden 2	km	296.47
Orden 3	km	96.66
Orden 4	km	134.99
Orden 5	km	35.03
Orden 6	km	11.13
Long. Total	km	1154.69
Centroide		
Este X	m	287044.57
Norte Y	m	8909689.53
Altitud Z	msnm	4341.00

En la tabla 23 mostramos los diferentes parámetros de forma con un área de cuenca de 1127.478 km² correspondiente a una cuenca Intermedia-grande. Otro parámetro importante en índice de compacidad con un valor de 2.29 que representa una cuenca casi rectangular. Además, tiene relación con el tiempo de concentración, el escurrimiento superficial y la infiltración.

Tabla 24. Parámetros de Relieve de la Cuenca

PARÁMETROS	UND	VALOR
Altitud media de la cuenca	msnm	4287.44
Coefficiente masividad (Cm)	-	0.0038
Coefficiente orográfico	-	0.0163
Coefficiente de torrencialita	-	0.60489
Pendiente Media de la Cuenca		
Pendiente media	%	40.580
Mínima altitud	msnm	3222.03
Máxima altitud	msnm	5296.00

El parámetro que mejor representa el relieve de la cuenca es el coeficiente orográfico, siendo su valor adimensional de 0.0163 por lo que se considera una cuenca poco accidentada y de potencial de degradación bajo.

Tabla 25. Parámetros de la Red Hidrográfica de la Cuenca

PARÁMETRO	UND	VALOR
Altura media del río principal	msnm	4111.02
Pendiente media del río principal	m/m	0.0302
Densidad de drenaje	ríos/km ²	1.024
Cotas de la Longitud Máxima del Cauce		
Máxima altitud	msnm	5000
Altitud mínima	msnm	3222
N° de Orden de los Ríos		
Orden 1	-	682
Orden 2	-	307
Orden 3	-	114
Orden 4	-	196
Orden 5	-	49
Orden 6	-	14
N° Total de ríos	-	1362
Grado de ramificación	-	6
Frecuencia de densidad de los ríos (Dr)	ríos/km ²	1.208
Extensión media del escurrimiento superficial	km ² /km	0.976

Los valores de los parámetros de la red hidrográfica nos muestran una cuenca no bien drenada con una pendiente moderada.

ANÁLISIS HIDROLÓGICO EN LA ZONA DE ESTUDIO

a) Análisis y Tratamiento de la Información Hidrológica

Precipitaciones de diseño

Para los datos de máxima precipitación en un día en el lugar utilizamos recursos de 3 estaciones pluviométricas, pertenecientes al SENAMHI y al ANA. En las siguientes tablas se muestran los periodos y precipitaciones correspondientes a cada estación meteorológica.

Tabla 26. Precipitaciones Máximas- Estación Dos de Mayo

Año	Precipitación (mm)
2001	32
2002	31.2
2003	24.1
2006	30.5
2007	21.1
2008	18.5
2009	26.1
2010	22.1
2011	23.1
2012	29.1
2013	31.1
2014	34.5
2015	26.8
2016	27.1
2017	23
2018	26.3
2019	41.1
2020	22.9

La tabla 26 nos muestra 20 años de precipitación con rangos desde los 18.5 mm hasta 41.1 mm de precipitación.

Tabla 27. Precipitaciones Máximas - Estación Chavín

Año	Precipitación (mm)
1987	20
1988	23

1989	21.4
1990	26.3
1991	31.4
1992	21.1
1993	28.5
1994	29.6
1995	31.4
1996	35.4
1997	22.6
1998	27
1999	25.5
2000	20.7
2001	25.2
2002	21.8
2003	18.4
2004	19.7
2005	19.2
2006	23.2
2007	31.5
2008	17.8
2009	22.2
2010	22.2
2011	20
2012	28.4
2013	25.8
2014	20.7
2015	25.8
2016	30.5
2017	14.8
2018	24.9
2019	28.8
2020	27.2

La tabla 27 nos muestra 34 años de precipitación con rangos desde los 14.8 mm hasta 35.4 mm de precipitación.

Tabla 28. Precipitaciones Máximas - Estación Huallanca

Año	Precipitación (mm)
1964	42
1965	18
1966	35
1967	24
1968	29
1969	35.8

1970	25.4
1971	48.2
1972	28
1973	25
1974	34
1975	31.5
1976	26.5

La tabla 28 nos muestra 13 años de precipitación con rangos desde los 18 mm hasta 48.2 mm de precipitación.

Análisis de Datos Dudosos

Con el análisis para detectar los Outliers (valores atípicos), no se observaron datos que pudieran encontrarse fuera de los límites de confianza. Se aprecia los resultados de precipitaciones de las 3 estaciones en la tabla 29.

Tabla 29. Rango de Precipitaciones

Estación	Precipitación Mínima Anual (mm)	Precipitación Máxima Anual (mm)	Precipitación Mínima Calculada (mm)	Precipitación Máxima Calculada (mm)
Chavín	14.8	---	14.39	---
Dos de Mayo	18.5	41.1	16.88	42.4
Estación Huallanca	18	30.95	17.09	52.7

Se puede concluir lo siguiente:

- ❖ En el caso de la Estación Chavín no se detectaron datos dudosos bajos pues la precipitación de 14.8 mm supero la precipitación mínima aceptada de 14.39 mm.
- ❖ La Estación Dos de Mayo no se detectó datos dudosos altos ni bajos, pues la precipitación de 18.5 mm supero la precipitación mínima aceptada de 16.88 mm y la precipitación de 41.10 mm no supero la precipitación máxima aceptada de 42.40 mm.
- ❖ La Estación Huallanca no se detectó datos dudosos altos ni bajos, pues la precipitación de 18.0 mm supero la precipitación mínima aceptada de 17.09 mm y la precipitación de 30.95 mm no supero la precipitación máxima aceptada de 52.70 mm.

El cálculo detallado se muestra en el **anexo N° 04**.

Prueba de Bondad y Ajuste

La prueba de ajuste y bondad consiste en corroborar estadísticamente y mediante un gráfico, para el análisis se empleó el programa Hydrognomon donde se introdujeron los datos de Pp. Max. 24 hr. de cada estación, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ y mediante el método de Kilmogorov – Smirnov se realizó la comparación de las distribuciones probabilísticas.

- Estación Chavín. La sucesión de datos de las máximas lluvias en 24h. de la estación Chavín posee un mejor ajuste a la distribución de probabilidad Log Normal, ya que el % de error es menor comparándolos con otros. Adquiriendo un delta máximo de 0.0923. usando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$,

Tabla 30. Método Kolmogorov - Smirnov - Estación Chavín

Distribución Probabilística	Porcentaje de ajuste	Delta Max.	Ajuste a distribución ($\alpha = 0.05$)
Distribución Log Normal	99.53 %	0.06571	Si se ajusta
Distribución Log Pearson tipo III	99.04 %	0.06987	Si se ajusta
Distribución Pearson tipo III	97.71 %	0.0762	Si se ajusta
Distribución Normal	90.64 %	0.0915	Si se ajusta
Distribución Gumbel	90.08 %	0.0923	Si se ajusta

- Estación Dos de Mayo. El la información de precipitaciones de lluvia máximas en 24h. de la estación meteorológica Dos de Mayo, posee un ajuste a la distribución de probabilidad Pearson III superior, ya que el % de error es menor comparándolos con otras distribuciones. Se obtiene un delta máximo de 0.0902 usando nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Tabla 31. Método Kolmogorov - Smirnov - Estación Dos de Mayo

Distribución Probabilística	Porcentaje de ajuste	Delta Max.	Ajuste a distribución ($\alpha = 0.05$)
Distribución Pearson tipo III	99.83 %	0.0762	Si se ajusta

Distribución Log Normal	99.62 %	0.0813	Si se ajusta
Distribución Log Pearson tipo III	99.57 %	0.0821	Si se ajusta
Distribución Gumbel	99.24 %	0.0865	Si se ajusta
Distribución Normal	98.84 %	0.0902	Si se ajusta

- Estación Huallanca. El conjunto de datos de precipitaciones de máximas lluvias en un día. de la estación Huallanca se ajusta una distribución de probabilidad Normal superior, debido a que el % de error es menor comparado con otras distribuciones. Se obtiene un delta máximo de 0.0955 para un nivel de significancia de 0.05.

Tabla 32. Método Kolmogorov - Smirnov - Estación Huallanca

Distribución Probabilística	Porcentaje de ajuste	Delta Max.	Ajuste a distribución ($\alpha = 0.05$)
Distribución Normal	100.00 %	0.0514	Si se ajusta
Distribución Log Pearson tipo III	100.00 %	0.0528	Si se ajusta
Distribución Pearson III	100.00 %	0.0559	Si se ajusta
Distribución Gumbel	100.00%	0.0644	Si se ajusta
Distribución Normal	99.48 %	0.0955	Si se ajusta

Los resultados tabulares y gráficos que corresponden a los cálculos se presentan en el **anexo N° 04**.

Después de realizar el análisis anterior, mostramos un resumen de resultados de la prueba de bondad de todas las estaciones meteorológicas de estudio y con ello calcularemos las precipitaciones para diferentes periodos de retorno.

Tabla 33. Resumen de Distribuciones Probabilísticas Elegidas

Distribución Probabilística	Estaciones		
	Chavín	Dos de Mayo	Huallanca
Distribución Probabilística	Log Normal	Pearson tipo III	Normal

Los resultados tabulares y gráficos que corresponden a los cálculos se presentan en el **anexo N° 04**.

Corrección de Precipitación para Diferentes Periodos de Retorno

Se muestra en diferentes periodos de retorno los resultados de las máximas precipitaciones obtenidas con ayuda del software Hydrognomon, cada estación pluviométrica está afectada por el factor de corrección 1.13, recomendado por Organización Meteorológica Mundial.

Tabla 34. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno –
Estación Chavín

Periodo de Retorno T (años)	Hydrognomon Pmax (mm)	Pmax Corregido (mm)	Probabilidad de no Excedencia
100	37.528	42.407	0.990
140	38.428	43.424	0.993
500	41.716	47.139	0.998

Los resultados de la Estación Chavín nos muestran precipitaciones corregidas que alcanzan un máximo de 47.139 mm.

Tabla 35. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno -
Estación Dos de Mayo

Periodo de Retorno T (años)	Hydrognomon Pmax (mm)	Pmax Corregido (mm)	Probabilidad de no Excedencia
100	43.160	48.771	0.990
140	44.290	50.047	0.993
500	48.404	54.697	0.998

Los resultados de la Estación Dos de Mayo nos muestran precipitaciones corregidas que alcanzan un máximo de 54.697 mm.

Tabla 36. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno -
Estación Huallanca

Periodo de Retorno T (años)	Hydrognomon Pmax (mm)	Pmax Corregido (mm)	Probabilidad de no Excedencia
100	54.429	61.505	0.990
140	56.185	63.490	0.993
500	62.715	70.868	0.998

Los resultados de la Estación Huallanca nos muestran precipitaciones corregidas que alcanzan un máximo de 70.868 mm.

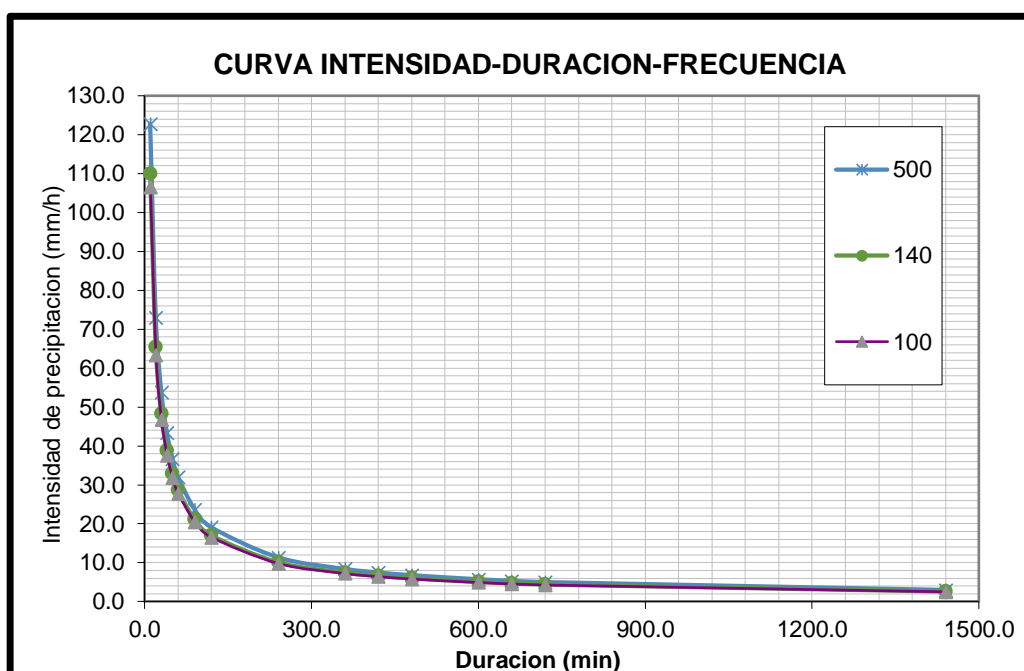
Cálculo de las Curvas: Intensidad - Duración – Frecuencia (IDF)

La metodología aplicada es la Dick y Peschke que consiste en disgregar las máximas lluvias en un día para diferentes periodos de retorno, para duraciones de 10, 20, 30, ..., 1440 min, con la finalidad de encontrar las intensidades en los periodos de retorno de 100, 140 y 500 años. En las siguientes tablas se aprecia las para la cuenca de estudio.

Tabla 37. Intensidades de Diseño para Duraciones Menores a 24 h. - Estación Chavín

DURACIÓN		PERIODO DE RETORNO (AÑOS)		
Hr	min	100	140	500
0.17	10.00	73.45	75.21	81.65
0.33	20.00	43.67	44.72	48.55
0.50	30.00	32.22	33.00	35.82
0.67	40.00	25.97	26.59	28.87
0.83	50.00	21.97	22.49	24.42
1.00	60.00	19.16	19.62	21.30
1.50	90.00	14.14	14.47	15.71
2.00	120.00	11.39	11.67	12.66
4.00	240.00	6.77	6.94	7.53
6.00	360.00	5.00	5.12	5.56
7.00	420.00	4.45	4.56	4.95
8.00	480.00	4.03	4.12	4.48
10.00	600.00	3.41	3.49	3.79
11.00	660.00	3.17	3.25	3.53
12.00	720.00	2.97	3.04	3.30
24.00	1440.00	1.77	1.81	1.96

Figura 14. Curva IDF – Estación Chavín

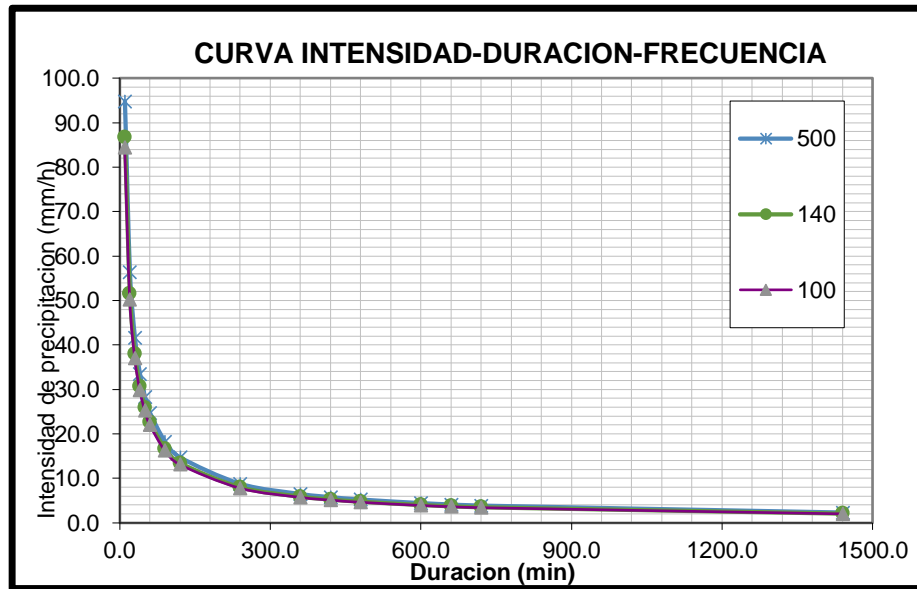


La tabla 37 y la figura 14 muestran los resultados de las intensidades para los distintos periodos de retorno. Además, se observa que para el año 140 la variación de las intensidades inicia con 75.21 mm/h y desciende hasta llegar a los 1.81 mm/h.

Tabla 38. Intensidades de Diseño para Duraciones Menores a 24 h. – Estación Dos de Mayo

DURACIÓN		PERIODO DE RETORNO (AÑOS)		
Hr	min	100	140	500
0.17	10.00	84.47	86.68	94.74
0.33	20.00	50.23	51.54	56.33
0.50	30.00	37.06	38.03	41.56
0.67	40.00	29.87	30.65	33.49
0.83	50.00	25.26	25.92	28.33
1.00	60.00	22.03	22.61	24.71
1.50	90.00	16.26	16.68	18.23
2.00	120.00	13.10	13.44	14.69
4.00	240.00	7.79	7.99	8.74
6.00	360.00	5.75	5.90	6.45
7.00	420.00	5.12	5.25	5.74
8.00	480.00	4.63	4.75	5.20
10.00	600.00	3.92	4.02	4.39
11.00	660.00	3.65	3.74	4.09
12.00	720.00	3.42	3.51	3.83
24.00	1440.00	2.03	2.09	2.28

Figura 15. Curva IDF - Estación Dos de Mayo

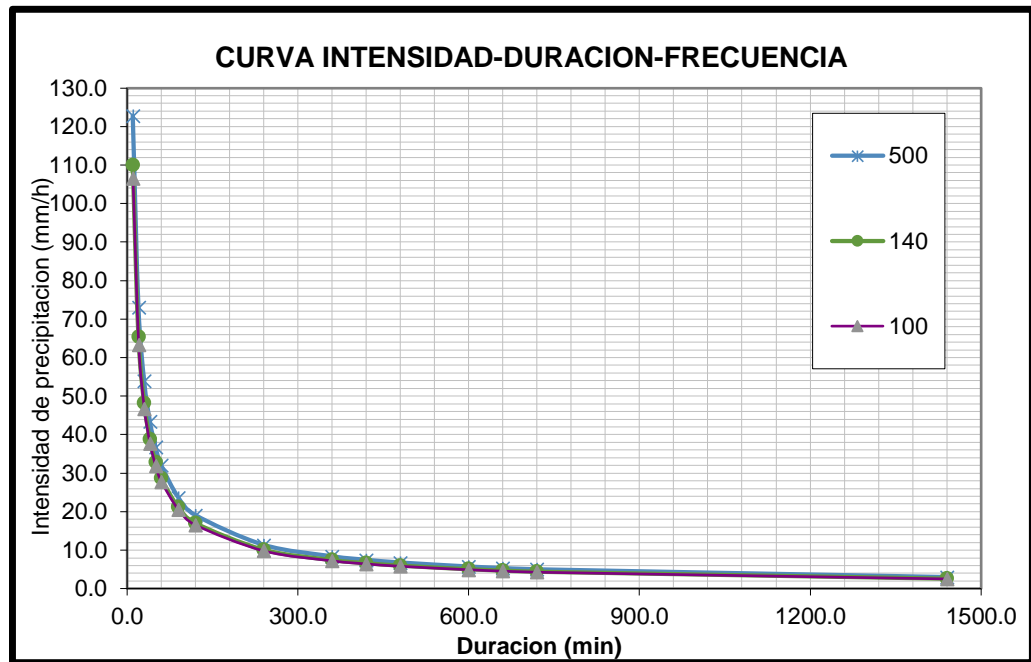


La tabla 38 y la figura 15 muestran los resultados de las intensidades para los distintos periodos de retorno. Además, se observa que para el año 140 la variación de las intensidades inicia con 86.68 mm/h y desciende hasta llegar a los 2.09 mm/h.

Tabla 39. Intensidades de Diseño para Duraciones Menores a 24 h. – Estación Huallanca

DURACIÓN		PERIODO DE RETORNO (AÑOS)		
Hr	min	100	140	500
0.17	10.00	17.76	18.33	20.46
0.33	20.00	21.11	21.80	24.33
0.50	30.00	23.37	24.12	26.92
0.67	40.00	25.11	25.92	28.93
0.83	50.00	26.55	27.41	30.59
1.00	60.00	27.79	28.68	32.02
1.50	90.00	30.75	31.74	35.43
2.00	120.00	33.05	34.11	38.08
4.00	240.00	39.30	40.57	45.28
6.00	360.00	43.49	44.89	50.11
7.00	420.00	45.20	46.66	52.08
8.00	480.00	46.73	48.24	53.85
10.00	600.00	49.42	51.01	56.94
11.00	660.00	50.61	52.24	58.31
12.00	720.00	51.72	53.39	59.59
24.00	1440.00	61.505	63.490	70.868

Figura 16. Curva IDF - Estación Huallanca



La tabla 39 y la figura 16 muestran los resultados de las intensidades para los distintos periodos de retorno. Además, se observa que para el año 140 la variación de las intensidades inicia con 63.49 mm/h y desciende hasta llegar a los 18.33 mm/h.

Hietograma de Precipitación – Bloque Alterno

Las curvas IDF se utilizará para obtener el Hietograma de diseño, utilizaremos las lluvias incrementales de forma variada y tomando en consideración las lluvias máximas en el centro para periodos de retorno de la duración y lo restante alternado de manera descendente hacia izquierda y derecha de la barra del centro. después se muestran los Hietogramas para periodos de retorno entre 100, 140 y 500 años la duración de las lluvias están en minutos y las precipitaciones en milímetros.

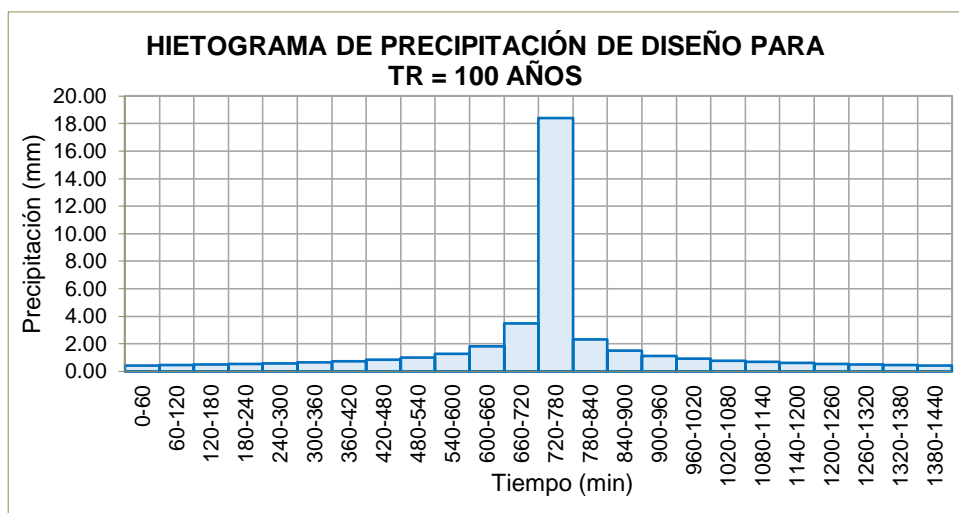
En la siguiente tabla mostramos las precipitaciones calculadas para cada hora en periodos de retorno seleccionadas de cada estación considerada.

Periodo de Retorno $Tr=100$ años

Tabla 40. Hietograma de Precipitación $Tr=100$ años - Estación Chavín

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	18.384	18.384	18.384	0-60	0.431
120	10.931	21.862	3.478	60-120	0.460
180	8.065	24.195	2.332	120-180	0.495
240	6.500	25.999	1.804	180-240	0.537
300	5.498	27.490	1.492	240-300	0.588
360	4.795	28.772	1.282	300-360	0.653
420	4.272	29.903	1.130	360-420	0.736
480	3.865	30.918	1.015	420-480	0.850
540	3.538	31.842	0.924	480-540	1.015
600	3.269	32.692	0.850	540-600	1.282
660	3.044	33.480	0.788	600-660	1.804
720	2.851	34.216	0.736	660-720	3.478
780	2.685	34.908	0.692	720-780	18.384
840	2.540	35.561	0.653	780-840	2.332
900	2.412	36.179	0.619	840-900	1.492
960	2.298	36.768	0.588	900-960	1.130
1020	2.196	37.329	0.562	960-1020	0.924
1080	2.104	37.867	0.537	1020-1080	0.788
1140	2.020	38.382	0.515	1080-1140	0.692
1200	1.944	38.877	0.495	1140-1200	0.619
1260	1.874	39.354	0.477	1200-1260	0.562
1320	1.810	39.815	0.460	1260-1320	0.515
1380	1.750	40.260	0.445	1320-1380	0.477
1440	1.695	40.690	0.431	1380-1440	0.445

Figura 17. Hietograma de Precipitación $Tr=100$ años – Estación Chavín

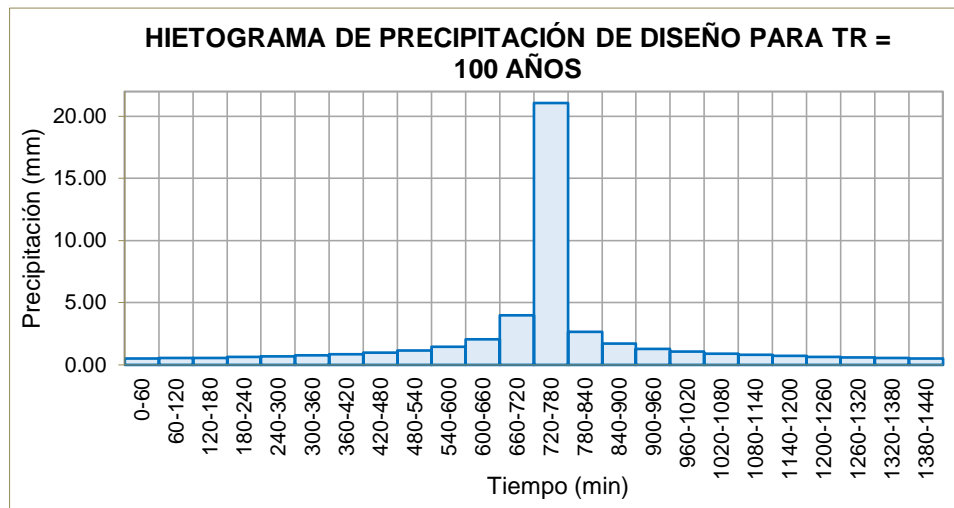


El resultado de los valores del hietograma de la tabla 40 y figura 17 nos muestra un valor máximo de precipitación de 18.384 mm para el periodo de retorno de 100 años.

Tabla 41. Hietograma de Precipitación $T_r=100$ años - Estación Dos de Mayo

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	21.058	21.058	21.058	0-60	0.493
120	12.521	25.043	3.984	60-120	0.527
180	9.238	27.714	2.672	120-180	0.567
240	7.445	29.781	2.067	180-240	0.615
300	6.298	31.490	1.709	240-300	0.674
360	5.493	32.958	1.469	300-360	0.748
420	4.893	34.253	1.295	360-420	0.843
480	4.427	35.416	1.163	420-480	0.973
540	4.053	36.474	1.058	480-540	1.163
600	3.745	37.448	0.973	540-600	1.469
660	3.486	38.351	0.903	600-660	2.067
720	3.266	39.194	0.843	660-720	3.984
780	3.076	39.986	0.792	720-780	21.058
840	2.910	40.734	0.748	780-840	2.672
900	2.763	41.443	0.709	840-900	1.709
960	2.632	42.117	0.674	900-960	1.295
1020	2.515	42.760	0.643	960-1020	1.058
1080	2.410	43.375	0.615	1020-1080	0.903
1140	2.314	43.966	0.590	1080-1140	0.792
1200	2.227	44.533	0.567	1140-1200	0.709
1260	2.147	45.079	0.547	1200-1260	0.643
1320	2.073	45.607	0.527	1260-1320	0.590
1380	2.005	46.116	0.510	1320-1380	0.547
1440	1.942	46.610	0.493	1380-1440	0.510

Figura 18. Hietograma de Precipitación $T_r=100$ años - Estación Dos de Mayo

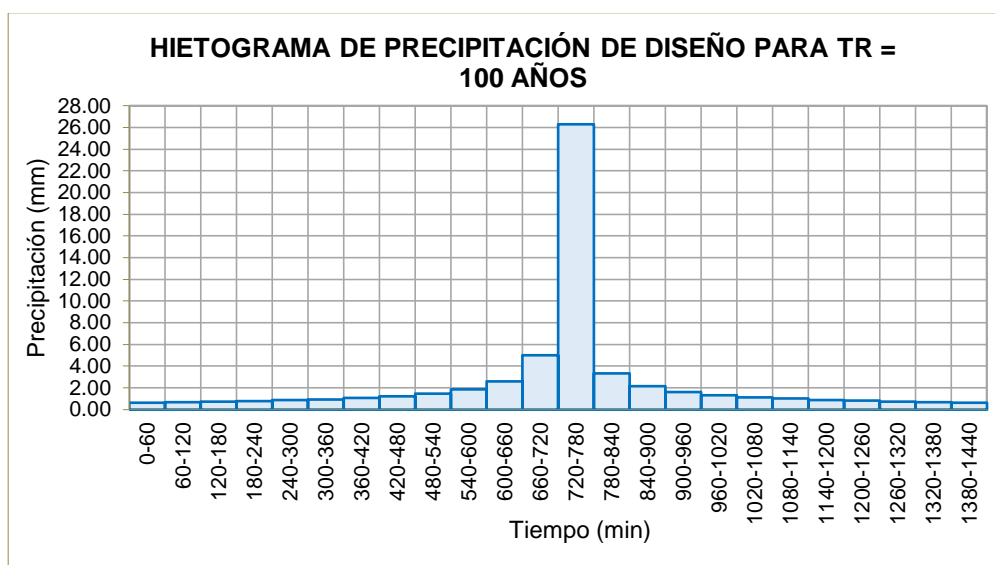


El resultado de los valores del hietograma de la tabla 41 y figura 18 nos muestra un valor máximo de precipitación de 21.058 mm para el periodo de retorno de 100 años.

Tabla 42. Hietograma de Precipitación Tr=100 años - Estación Huallanca

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	26.292	26.292	26.292	0-60	0.616
120	15.633	31.267	4.975	60-120	0.658
180	11.534	34.602	3.336	120-180	0.708
240	9.296	37.183	2.580	180-240	0.768
300	7.863	39.316	2.133	240-300	0.842
360	6.858	41.149	1.834	300-360	0.934
420	6.109	42.766	1.617	360-420	1.053
480	5.527	44.218	1.452	420-480	1.215
540	5.060	45.539	1.321	480-540	1.452
600	4.675	46.755	1.215	540-600	1.834
660	4.353	47.882	1.127	600-660	2.580
720	4.078	48.935	1.053	660-720	4.975
780	3.840	49.924	0.989	720-780	26.292
840	3.633	50.858	0.934	780-840	3.336
900	3.450	51.743	0.885	840-900	2.133
960	3.287	52.584	0.842	900-960	1.617
1020	3.140	53.387	0.803	960-1020	1.321
1080	3.009	54.156	0.768	1020-1080	1.127
1140	2.889	54.893	0.737	1080-1140	0.989
1200	2.780	55.601	0.708	1140-1200	0.885
1260	2.680	56.283	0.682	1200-1260	0.803
1320	2.588	56.942	0.658	1260-1320	0.737
1380	2.503	57.578	0.636	1320-1380	0.682
1440	2.425	58.194	0.616	1380-1440	0.636

Figura 19. Hietograma de Precipitación Tr=100 años - Estación Huallanca



El resultado de los valores del hietograma de la tabla 42 y figura 19 nos muestra un valor máximo de precipitación de 26.292 mm para el periodo de retorno de 100 años.

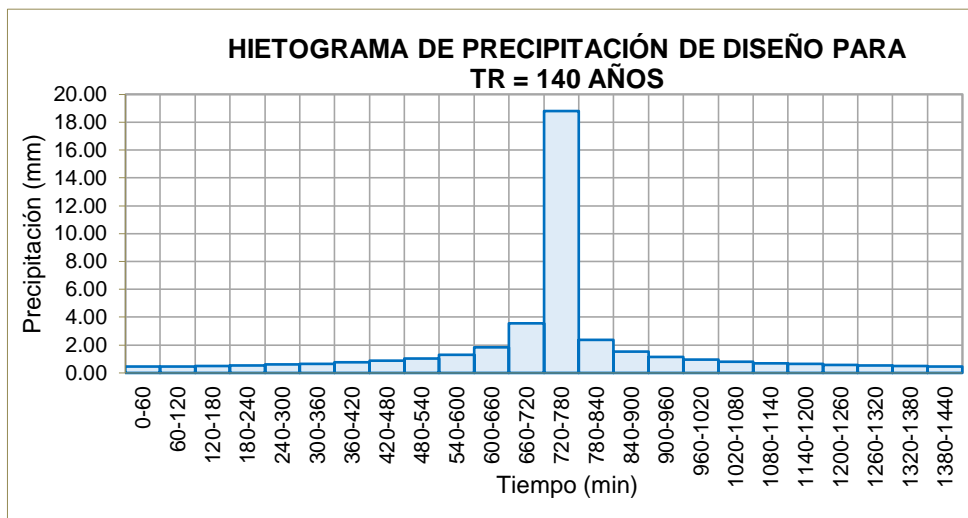
Periodo de Retorno Tr=140 años

Tabla 43. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Chavín

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	18.797	18.797	18.797	0-60	0.440
120	11.177	22.353	3.556	60-120	0.471
180	8.246	24.738	2.385	120-180	0.506
240	6.646	26.582	1.845	180-240	0.549
300	5.622	28.108	1.525	240-300	0.602
360	4.903	29.418	1.311	300-360	0.667
420	4.368	30.574	1.156	360-420	0.753
480	3.952	31.612	1.038	420-480	0.869
540	3.617	32.557	0.945	480-540	1.038
600	3.343	33.426	0.869	540-600	1.311
660	3.112	34.232	0.806	600-660	1.845
720	2.915	34.984	0.753	660-720	3.556
780	2.746	35.692	0.707	720-780	18.797
840	2.597	36.359	0.667	780-840	2.385
900	2.466	36.992	0.633	840-900	1.525
960	2.350	37.593	0.602	900-960	1.156
1020	2.245	38.167	0.574	960-1020	0.945
1080	2.151	38.717	0.549	1020-1080	0.806
1140	2.065	39.244	0.527	1080-1140	0.707

1200	1.988	39.750	0.506	1140-1200	0.633
1260	1.916	40.238	0.488	1200-1260	0.574
1320	1.850	40.709	0.471	1260-1320	0.527
1380	1.790	41.163	0.455	1320-1380	0.488
1440	1.733	41.604	0.440	1380-1440	0.455

Figura 20. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Chavín



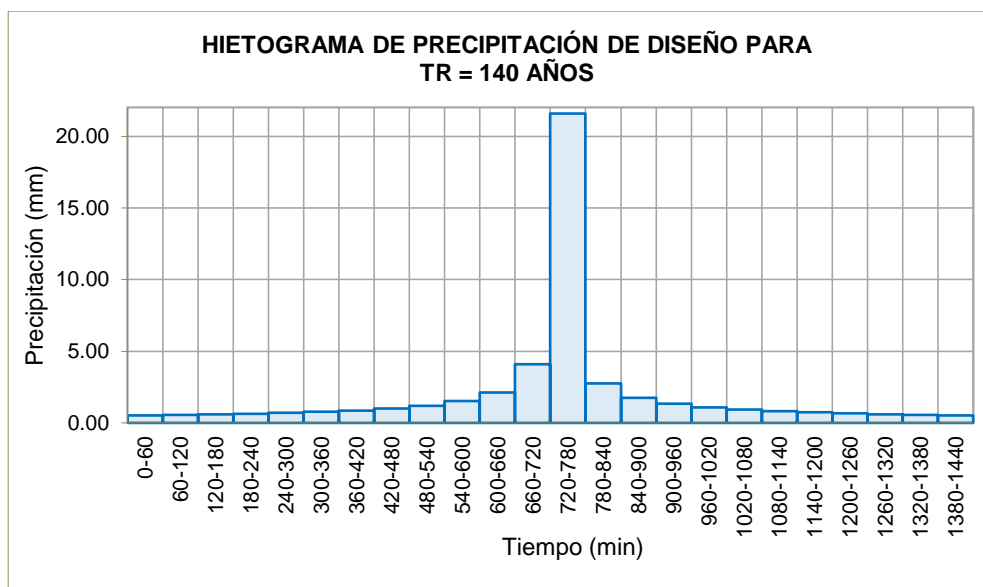
El resultado de los valores del hietograma de la tabla 42 y figura 19 nos muestra un valor máximo de precipitación de 18.797 mm para el periodo de retorno de 140 años.

Tabla 44. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Dos de Mayo

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	21.578	21.578	21.578	0-60	0.505
120	12.830	25.661	4.083	60-120	0.540
180	9.466	28.398	2.738	120-180	0.581
240	7.629	30.516	2.118	180-240	0.631
300	6.453	32.267	1.751	240-300	0.691
360	5.629	33.771	1.505	300-360	0.766
420	5.014	35.098	1.327	360-420	0.864
480	4.536	36.290	1.191	420-480	0.998
540	4.153	37.374	1.084	480-540	1.191
600	3.837	38.372	0.998	540-600	1.505
660	3.572	39.297	0.925	600-660	2.118
720	3.347	40.161	0.864	660-720	4.083
780	3.152	40.973	0.812	720-780	21.578
840	2.981	41.739	0.766	780-840	2.738

900	2.831	42.465	0.726	840-900	1.751
960	2.697	43.156	0.691	900-960	1.327
1020	2.577	43.815	0.659	960-1020	1.084
1080	2.469	44.446	0.631	1020-1080	0.925
1140	2.371	45.051	0.605	1080-1140	0.812
1200	2.282	45.632	0.581	1140-1200	0.726
1260	2.200	46.192	0.560	1200-1260	0.659
1320	2.124	46.732	0.540	1260-1320	0.605
1380	2.055	47.255	0.522	1320-1380	0.560
1440	1.990	47.760	0.505	1380-1440	0.522

Figura 21. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Dos de Mayo



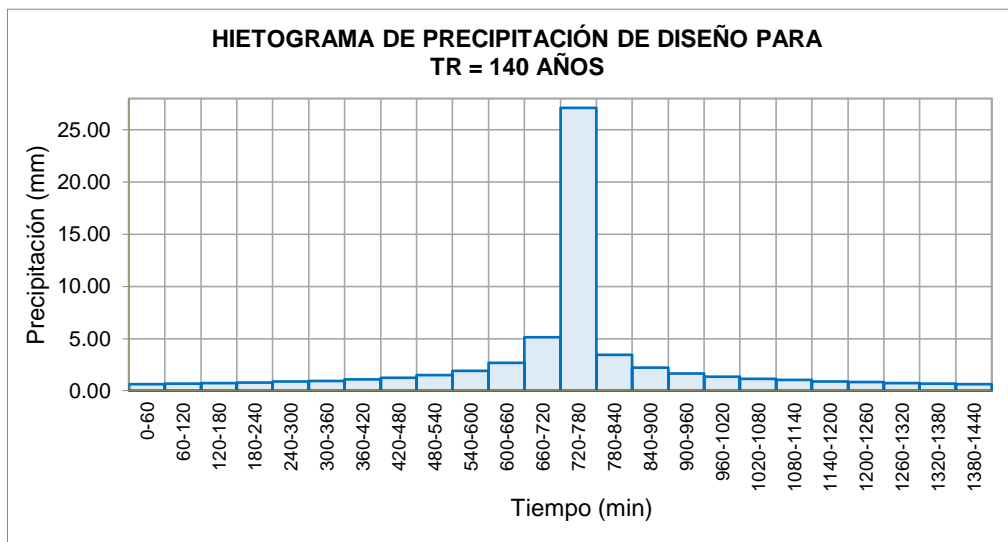
El resultado de los valores del hietograma de la tabla 44 y figura 21 nos muestra un valor máximo de precipitación de 26.292 mm para el periodo de retorno de 140 años.

Tabla 45. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Huallanca

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	27.086	27.086	27.086	0-60	0.634
120	16.105	32.210	5.125	60-120	0.678
180	11.882	35.647	3.436	120-180	0.730
240	9.576	38.305	2.658	180-240	0.792
300	8.101	40.503	2.198	240-300	0.867
360	7.065	42.391	1.889	300-360	0.962
420	6.294	44.057	1.666	360-420	1.085
480	5.694	45.552	1.496	420-480	1.252

540	5.213	46.914	1.361	480-540	1.496
600	4.817	48.166	1.252	540-600	1.889
660	4.484	49.327	1.161	600-660	2.658
720	4.201	50.412	1.085	660-720	5.125
780	3.956	51.431	1.019	720-780	27.086
840	3.742	52.393	0.962	780-840	3.436
900	3.554	53.304	0.912	840-900	2.198
960	3.386	54.171	0.867	900-960	1.666
1020	3.235	54.999	0.827	960-1020	1.361
1080	3.099	55.790	0.792	1020-1080	1.161
1140	2.976	56.549	0.759	1080-1140	1.019
1200	2.864	57.279	0.730	1140-1200	0.912
1260	2.761	57.982	0.703	1200-1260	0.827
1320	2.666	58.660	0.678	1260-1320	0.759
1380	2.579	59.316	0.656	1320-1380	0.703
1440	2.498	59.950	0.634	1380-1440	0.656

Figura 22. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Huallanca



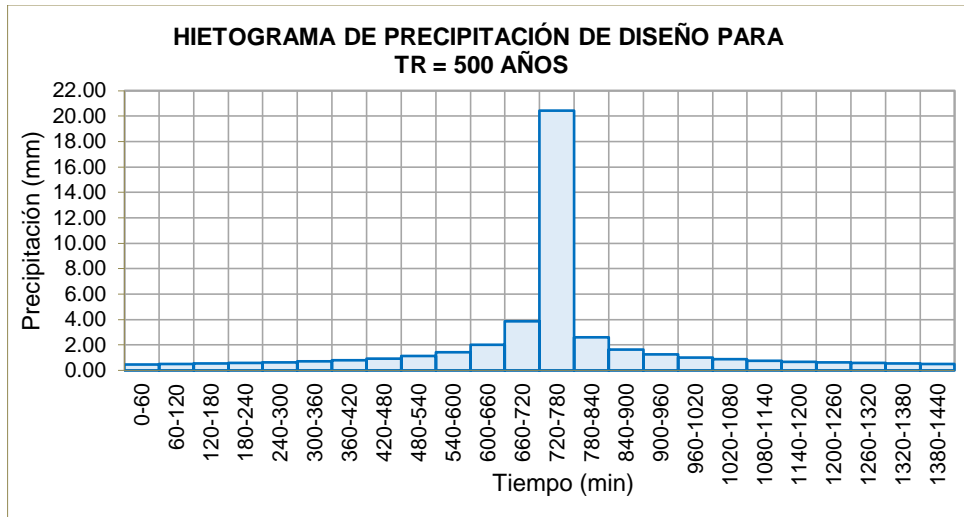
El resultado de los valores del hietograma de la tabla 45 y figura 22 nos muestra un valor máximo de precipitación de 27.086 mm para el periodo de retorno de 140 años.

Periodo de Retorno TR=500 Años

Tabla 46. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Chavín

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	20.443	20.443	20.443	0-60	0.479
120	12.156	24.311	3.868	60-120	0.512
180	8.968	26.905	2.594	120-180	0.551
240	7.228	28.911	2.006	180-240	0.597
300	6.114	30.570	1.659	240-300	0.654
360	5.333	31.996	1.426	300-360	0.726
420	4.750	33.253	1.257	360-420	0.819
480	4.298	34.382	1.129	420-480	0.945
540	3.934	35.409	1.027	480-540	1.129
600	3.635	36.354	0.945	540-600	1.426
660	3.385	37.231	0.877	600-660	2.006
720	3.171	38.050	0.819	660-720	3.868
780	2.986	38.819	0.769	720-780	20.443
840	2.825	39.545	0.726	780-840	2.594
900	2.682	40.232	0.688	840-900	1.659
960	2.555	40.887	0.654	900-960	1.257
1020	2.442	41.511	0.624	960-1020	1.027
1080	2.339	42.109	0.597	1020-1080	0.877
1140	2.246	42.682	0.573	1080-1140	0.769
1200	2.162	43.233	0.551	1140-1200	0.688
1260	2.084	43.763	0.531	1200-1260	0.624
1320	2.013	44.275	0.512	1260-1320	0.573
1380	1.947	44.770	0.495	1320-1380	0.531
1440	1.885	45.249	0.479	1380-1440	0.495

Figura 23. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Chavín



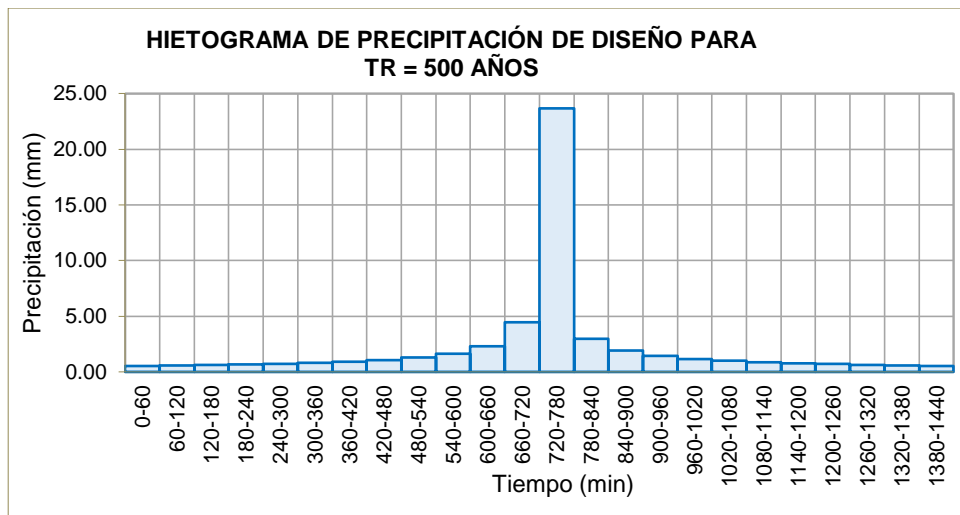
El resultado de los valores del hietograma de la tabla 46 y figura 23 nos muestra un valor máximo de precipitación de 20.443 mm para el periodo de retorno de 500 años.

Tabla 47. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Dos de Mayo

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	23.663	23.663	23.663	0-60	0.554
120	14.070	28.140	4.477	60-120	0.593
180	10.381	31.142	3.002	120-180	0.638
240	8.366	33.464	2.322	180-240	0.692
300	7.077	35.384	1.920	240-300	0.757
360	6.172	37.034	1.650	300-360	0.840
420	5.498	38.489	1.455	360-420	0.948
480	4.974	39.796	1.307	420-480	1.094
540	4.554	40.985	1.189	480-540	1.307
600	4.208	42.079	1.094	540-600	1.650
660	3.918	43.094	1.015	600-660	2.322
720	3.670	44.041	0.948	660-720	4.477
780	3.456	44.932	0.890	720-780	23.663
840	3.269	45.772	0.840	780-840	3.002
900	3.105	46.568	0.796	840-900	1.920
960	2.958	47.325	0.757	900-960	1.455
1020	2.826	48.048	0.723	960-1020	1.189
1080	2.708	48.740	0.692	1020-1080	1.015
1140	2.600	49.403	0.663	1080-1140	0.890
1200	2.502	50.041	0.638	1140-1200	0.796
1260	2.412	50.655	0.614	1200-1260	0.723

1320	2.329	51.247	0.593	1260-1320	0.663
1380	2.253	51.820	0.573	1320-1380	0.614
1440	2.182	52.374	0.554	1380-1440	0.573

Figura 24. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Dos de Mayo



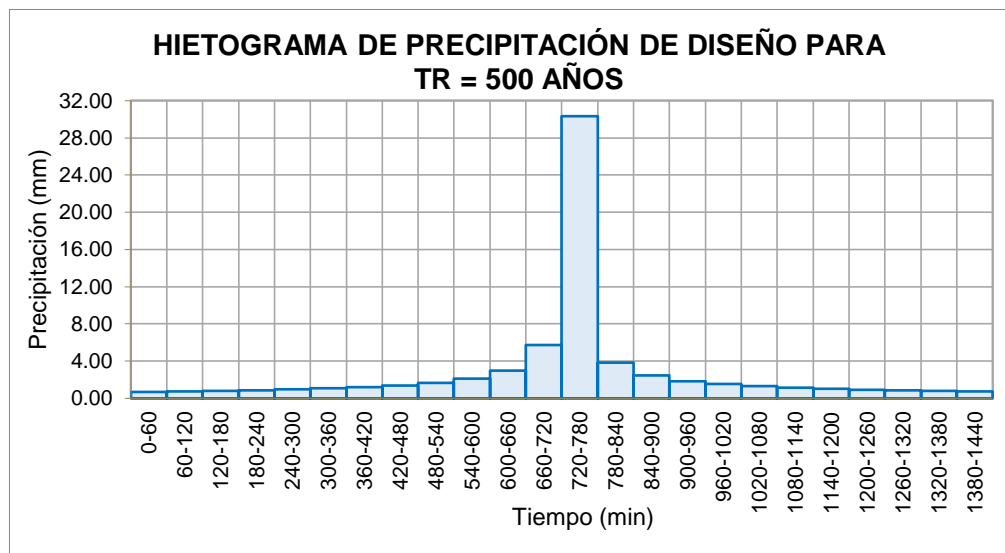
El resultado de los valores del hietograma de la tabla 47 y figura 24 nos muestra un valor máximo de precipitación de 26.292 mm para el periodo de retorno de 500 años.

Tabla 48. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Huallanca

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO						
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.	
min	mm/hr	mm	mm	min	mm	
60	30.311	30.311	30.311	0-60	0.710	
120	18.023	36.045	5.735	60-120	0.759	
180	13.297	39.891	3.845	120-180	0.817	
240	10.716	42.866	2.975	180-240	0.886	
300	9.065	45.325	2.459	240-300	0.970	
360	7.906	47.439	2.114	300-360	1.076	
420	7.043	49.302	1.864	360-420	1.214	
480	6.372	50.976	1.674	420-480	1.401	
540	5.833	52.499	1.523	480-540	1.674	
600	5.390	53.901	1.401	540-600	2.114	
660	5.018	55.200	1.300	600-660	2.975	
720	4.701	56.414	1.214	660-720	5.735	
780	4.427	57.554	1.140	720-780	30.111	
840	4.188	58.631	1.076	780-840	3.845	
900	3.977	59.651	1.020	840-900	2.459	

960	3.789	60.621	0.970	900-960	1.864
1020	3.620	61.547	0.926	960-1020	1.523
1080	3.468	62.433	0.886	1020-1080	1.300
1140	3.331	63.282	0.850	1080-1140	1.140
1200	3.205	64.099	0.817	1140-1200	1.020
1260	3.090	64.886	0.787	1200-1260	0.926
1320	2.984	65.645	0.759	1260-1320	0.850
1380	2.886	66.378	0.734	1320-1380	0.787
1440	2.795	67.088	0.710	1380-1440	0.734

Figura 25. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Huallanca



El resultado de los valores del hietograma de la tabla 48 y figura 25 nos muestra un valor máximo de precipitación de 30.111 mm para el periodo de retorno de 500 años.

Determinación del Número de Curva CN.

Es uno de los parámetros más importantes para la construcción de un modelo hidrológico. Para lo cual se empleará un mapa temático de curva número de todo el Perú, publicado en el año 2015 por el ANA.

Es importante mencionar que dicho mapa se genera por tres factores, el modelo de elevación, el mapa de cobertura y uso, al igual que el mapa de suelos. A continuación, se muestra los números de curvas calculados para cada subcuenca.

Tabla 49. Número de Curva para las Subcuencas

SUBCUENCA	NC
Subcuenca 1	64
Subcuenca 2	65
Subcuenca 3	65
Subcuenca 4	62
Subcuenca 5	62
Subcuenca 6	64
Subcuenca 7	52
Subcuenca 8	41

La subcuenca con mayor valor del número de curva pertenece a la subcuenca 2 y 3, la de menor corresponde a la subcuenca 8 .

El mapa del número de curva se procesó en el software QGIS y fueron generadas en condiciones húmedas presentadas en el **anexo N°4**.

b) Modelación Hidrológica con HEC-HMS

Modelo de Cuenca

Se ha desarrollado un modelo dividido en 8 subcuencas y 5 tramos de tránsito de río por donde recorre el caudal.

Mostramos en las tablas siguientes los valores de parámetros de cada subcuenca, haciendo uso la nueva herramienta GIS contenida en el software HEC-HMS 4.7.

Tabla 50. Parámetros Morfométricos para Subcuencas

Subcuenca	Área (Km²)	Longitud de máximo recorrido (Km)	Cota máxima (msnm)	Cota mínima (msnm)	Pendiente del Cauce Principal (m/m)
1	178.9	47.1	4186	3311	0.0236
2	306.8	38.3	4230	3384	0.037
3	115.38	26.16	4288	3551	0.049
4	228.4	31.6	4065	3551	0.0441
5	91.1	29.1	4247	3526	0.034
6	121.3	28	4179	3526	0.0432
7	40.34	12.75	3551	3384	0.0811
8	45.16	17.64	3526	3311	0.0609

Se observan áreas de subcuencas desde los 40.16 m2 hasta los 121.3 m2, alcanzando longitudes de máximos recorrido de 47.1 km con pendientes máximas 0.0811 m/m.

En la tabla 51, se muestran los parámetros para el tránsito de avenida según Maskingum Cunge haciendo uso la nueva herramienta GIS contenida en el programa HEC-HMS 4.7 y Google Earth, se encontraron estos resultados.

Tabla 51. Parámetros del Río Según Maskingum Cunge

Río	Longitud (Km)	Pendiente (m/m)	Coefficiente de Manning	Ancho promedio del Tramo (m)	Talud Horizontal promedio (xH:1V)
1	7.2	0.012	0.035	25	1.3
2	3	0.015	0.035	15	1.8
3	1.2	0.012	0.035	20	2.5
4	9.1	0.02	0.035	12	1.3
5	5.2	0.034	0.035	10	1.8

Se observan longitudes máximas de río de 47.1 km, alcanzando pendientes de 0.0811 m/m.

En el **anexo N° 04** se muestran el procedimiento detallado de los componentes del modelo hidrológico.

Hidrograma de diseño

Con el software HEC-HMS se hace la simulación del modelo hidrológico, donde se obtiene el desarrollo de caudales y caudales pico para los periodos de retorno de 100, 140 y 500 años.

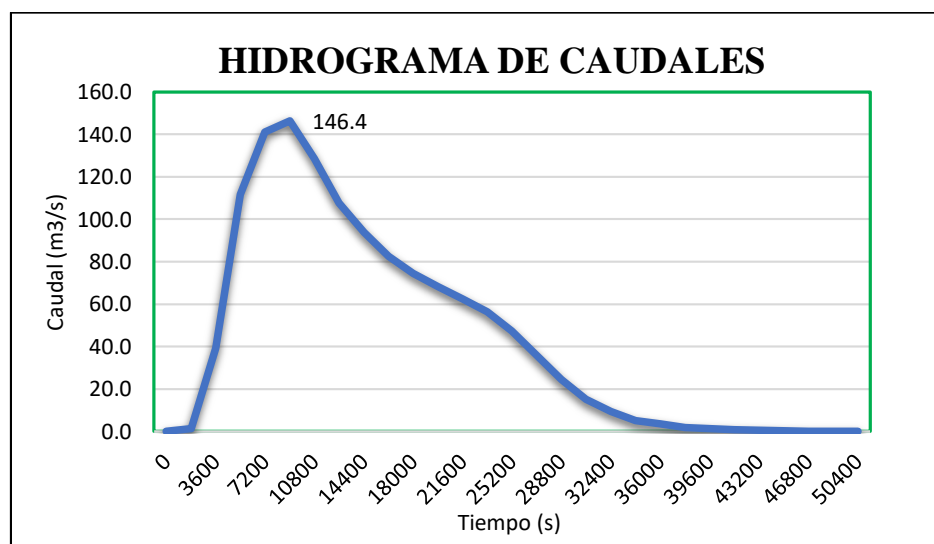
Tabla 52. Desarrollo de Caudales para Diferentes Periodos de Retorno

HORA DE CORRIDA	TIEMPO (s)	CAUDAL TR= 100 AÑOS (m3/s)	CAUDAL TR= 140 AÑOS (m3/s)	CAUDAL TR= 500 AÑOS (m3/s)
13:00	0	0.0	0.0	0.0
14:00	1800	1.3	2.7	13.5
15:00	3600	39.4	51.5	113.4
16:00	5400	111.7	131.7	223.7
17:00	7200	141.1	161.9	259.6
18:00	9000	146.4	165.9	252.3
19:00	10800	128.4	142.3	203.3
20:00	12600	107.7	118.6	165.4
21:00	14400	93.9	102.5	139.4

22:00	16200	82.6	90	120.8
23:00	18000	74.4	80.6	107.4
00:00	19800	68.1	73.7	97.1
01:00	21600	62.4	67.3	88.6
02:00	23400	56.5	61	79.4
03:00	25200	47.3	50.7	65.3
04:00	27000	35.9	38.5	49.0
05:00	28800	24.6	26	32.1
06:00	30600	15.1	16	19.6
07:00	32400	9.4	9.8	11.4
08:00	34200	5.2	5.4	6.5
09:00	36000	3.6	3.7	4.3
10:00	37800	2.0	2.1	2.3
11:00	39600	1.5	1.5	1.8
12:00	41400	0.9	0.9	1.0
13:00	43200	0.6	0.6	0.7
14:00	45000	0.4	0.4	0.5
15:00	46800	0.2	0.2	0.2
16:00	48600	0.1	0.1	0.1
17:00	50400	0.1	0.1	0.1

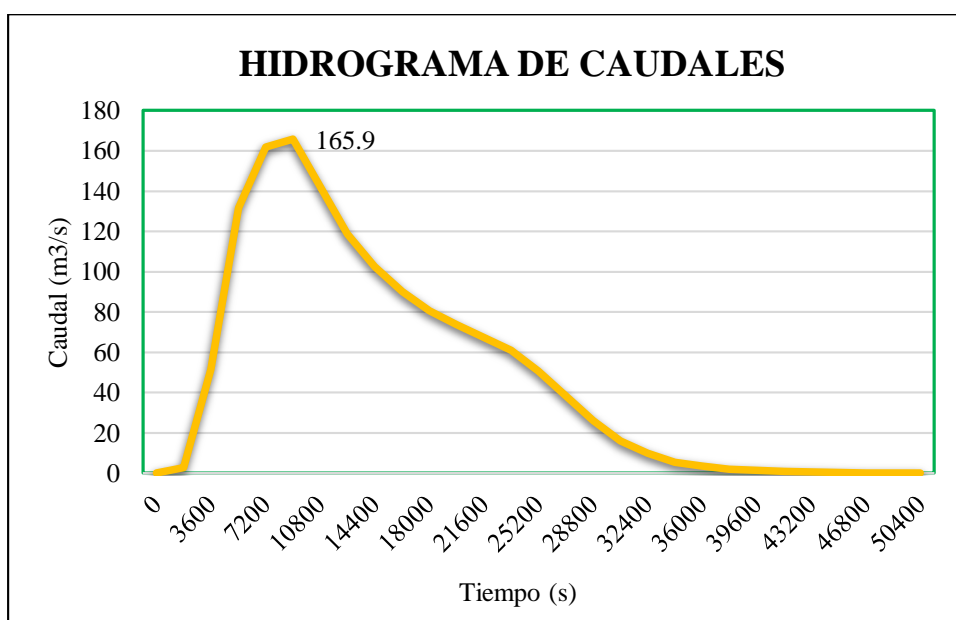
El inicio de la simulación se da a la 13:00 horas con un caudal cero y se desarrolla hasta alcanzar un caudal pico de 146.4, 165.9 y 259.6 m³/s para periodos de retorno entre 100, 140 y 500 años a las 17:00 y 18:00 horas, luego el caudal disminuye progresivamente hasta finalizar a las 17:00 horas con un caudal de 0.1 m³/s

Figura 26. Hidrograma de Caudales - Tr= 100 Años



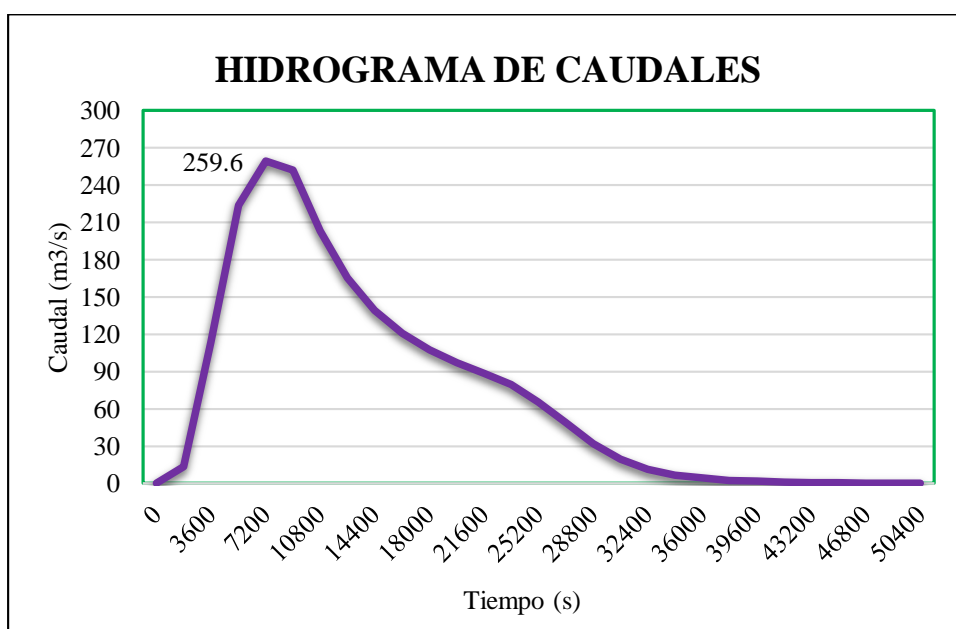
Se aprecia el desarrollo de los caudales a través del tiempo donde alcanza su pico más alto con un caudal de 146.4 m³/s.

Figura 27. Hidrograma de Caudales - Tr= 140 Años



Se aprecia el desarrollo de los caudales a través del tiempo donde alcanza su pico más alto con un caudal de 165.9 m³/s.

Figura 28. Hidrograma de Caudales - Tr= 500 Años



Se aprecia el desarrollo de los caudales a través del tiempo donde alcanza su pico más alto con un caudal de 259.6 m³/s.

c. Calibración del Modelo

Se calibró el modelo hidrológico por medio de la medición de una máxima huella, por tal motivo se hizo una visita en campo donde se apreció la huella dejada por las máximas avenidas cercanas al puente Fierro, ubicada

dentro del tramo de estudio. Además, se consultó con los pobladores del lugar acerca del periodo cuando ocurrió la inundación más reciente.

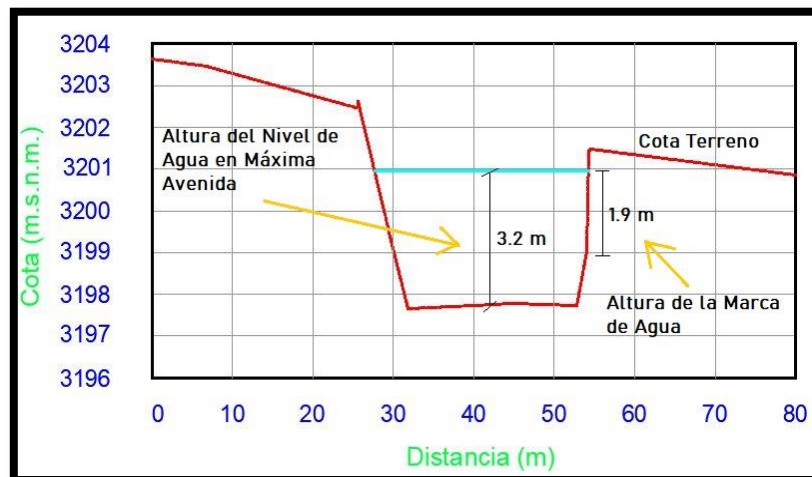
Con ambos datos se procedió a calibrar el modelo, con el modelo de caudal máximo registrado, utilizando el software HEC-HMS e IBER.

Figura 29. Medición de la Huella en la Máxima Avenida



Se tomo un punto referencial cercana al estribo izquierdo del puente Fierro, tomando medida de la huella dejada por el río en máximas avenidas.

Figura 30. Sección de Calibración



La ubicación del tirante máximo está en sección 0+640, a 15 metros del eje del río, es de 1.9 metros y con una altura del nivel del agua en una máxima avenida de 3.2 metros como indica en la figura 28.

El parámetro a calibrar en la simulación hidrológica es el valor del número de curva y en segundo lugar variando el coeficiente de rugosidad de Manning con los valores de rugosidad del cauce hasta alcanzar un valor que corresponda a la huella del agua medida en campo.

ANÁLISIS HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL EN LA ZONA DE ESTUDIO

Asignación del coeficiente de rugosidad

Se elaboró un mapa de utilización de suelos de los puntos de estudio para zonificar áreas inundables con base al uso de una ortofoto con el propósito de asignar el coeficiente de rugosidad.

La metodología se basó en identificar el uso del suelo con la ortofoto, observando 7 formas de usar el suelo, estas se pueden apreciar en la figura 29. Los coeficientes de rugosidad, fueron tomados del libro Hidráulica de canales abiertos cuya autoría es de Chow. Es importante mencionar que el valor rugosidad del cauce del río estuvo sujeto a variación para efectuar la calibración del modelo hidráulico. En la tabla 53, se muestra el cálculo del coeficiente de Manning para el cauce y la ribera del río.

Tabla 53. Valores del Coeficiente de Rugosidad del Cauce y Ribera Según Cowan

COEFICIENTE	CAUCE		RIVERA	
	CONDICIONES	VALOR	CONDICIONES	VALOR
n0	Grava Gruesa	0.028	Grava Gruesa	0.028
n1	Moderado	0.005	Moderado	0.010
n2	Gradual	0.000	Gradual	0.000
n3	Menor	0.01	Menor	0.0125
n4	Baja	0.005	Media	0.01
m5	Menor	1	Menor	1
	n =	0.048	n =	0.061

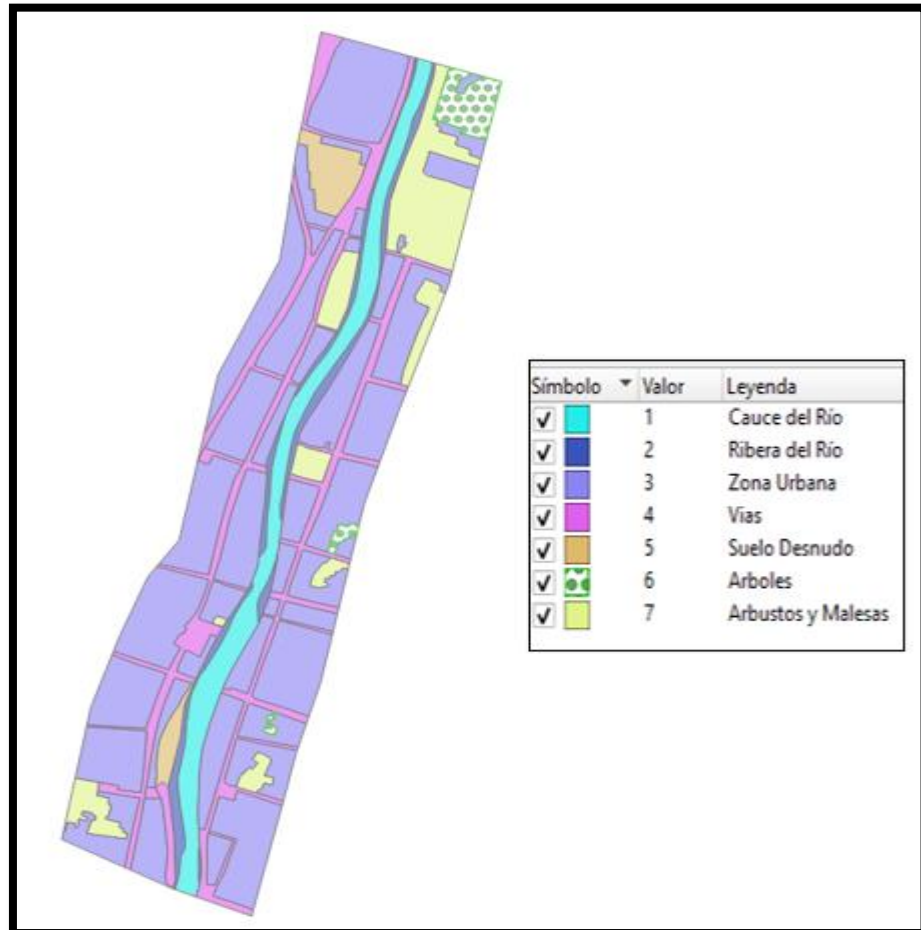
Se uso el método de Cowan y se generó valores según las condiciones del suelo, luego de haber calculado todos los números de Manning para diferentes tipos de suelo, en la tabla 54 se muestran el resumen final de obtenidos en la modelización hidráulica bidimensional.

Tabla 54. Resumen de Valores de Coeficientes de Rugosidad

Uso de Suelo	Coef. Manning
Cauce	0.042
Ribera	0.061
Zona Urbana	0.1
Vías	0.015
Suelo Desnudo	0.025
Árboles	0.060
Arbustos y Malesas	0.050

El coeficiente de rugosidad de Manning por donde circula el cauce del río posee un valor de 0.042, y el de mayor valor corresponde a la zona urbana asignado con un valor de 0.1.

Figura 31. Mapa de Clasificación del Uso de Suelo



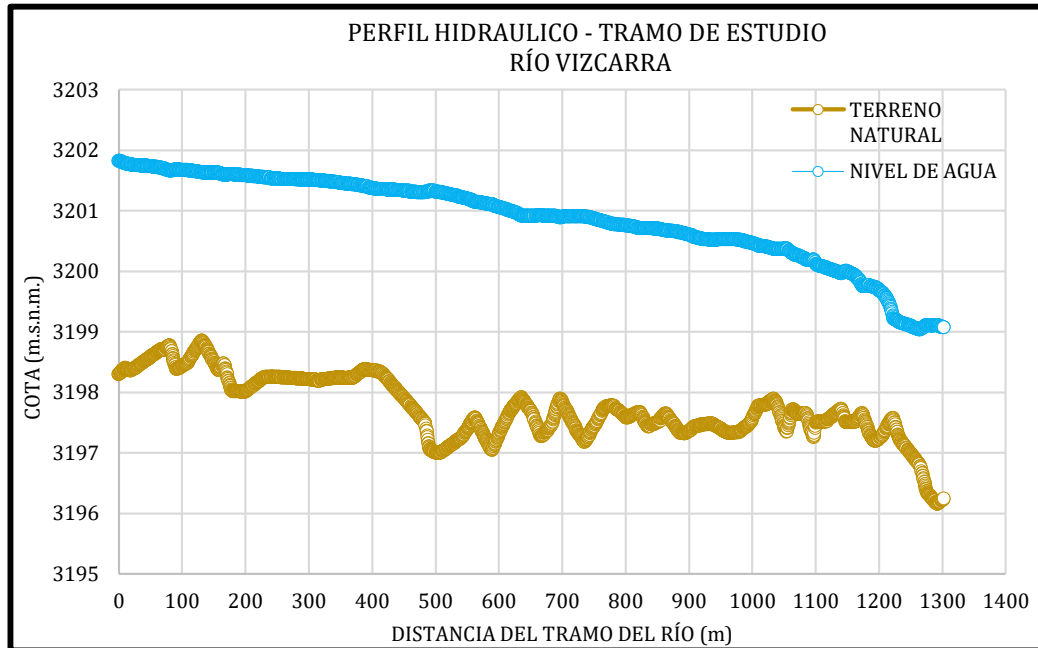
El mapa de uso de suelo está clasificado en 7 grupos, trazado con ayuda de la ortofoto en los puntos de estudio y representada según la paleta de colores como se aprecia en la figura 31.

Análisis del Perfil del Río

Se produjo el perfil hidráulico del río Vizcarra en el tramo de está investigando modelando de forma bidimensional IBER, por lo que se realizó la exportación del ráster de elevación del agua del software IBER en el formato txt, para obtener puntos del perfil hidráulico en Excel.

En el perfil hidráulico se puede ver las variaciones del calado del agua con una longitud de 1.3 km, desde el Km 0+000 hasta el Km 1+300 como se puede ver en la figura 30.

Figura 32. Perfil Hidráulico del Río Vizcarra



El perfil generado en IBER, inicia en la progresiva 0+000 con un desnivel entre el agua y el terreno natural de 3.5 m, mientras que en la parte final en la progresiva 1+300 el desnivel es de 1.46 m debido a la sección más ancha en este punto.

Secciones transversales

El número de secciones transversales generados por el programa es de 33, con un ancho de 40 m de lado desde el eje del alineamiento, con progresivas a partir del Km 0+40 hasta el Km 1+280, que incluyen los niveles máximos de agua adquiridos de la modelización hidráulica bidimensional con IBER. El paso 9000 de la simulación, nos ayudó a evaluar variables hidráulicas como las velocidades, marcar los puntos críticos de desborde, número de Froude y calado. Todas las secciones transversales se presentan en el **anexo N°05**.

Parámetros Hidráulicos

Obtuvimos velocidades, tirantes máximos y número de Froude del flujo para cada sección a los 9000 segundos de la simulación del software IBER, para analizar los parámetros se empezó de la progresiva 0+020 hasta la

progresiva 1+280, ya que la progresiva 0+000 y 1+300 son influenciados por las condiciones de salida y contorno.

Tabla 55. Parámetros Hidráulicos del Río Vizcarra

Progresiva	Tirante Máximo	Velocidad Máxima	Número de Froude
0+040	3.504	2.996	1.700
0+080	3.193	2.683	1.032
0+120	3.609	1.789	0.307
0+160	3.187	1.809	0.344
0+200	3.583	1.604	0.274
0+240	3.521	1.638	0.283
0+280	3.654	1.566	0.276
0+320	3.632	1.438	0.255
0+360	3.384	1.542	0.275
0+400	3.223	1.726	0.315
0+440	3.632	1.685	0.301
0+480	4.231	1.622	0.265
0+520	4.177	1.713	0.264
0+560	3.722	2.08	0.348
0+600	3.67	2.276	0.383
0+640	3.237	2.416	0.434
0+680	3.375	2.073	1.792
0+720	3.638	1.836	0.308
0+760	3.409	2.057	0.372
0+800	3.135	2.072	0.377
0+840	3.385	1.959	0.359
0+880	3.208	2.151	0.388
0+920	3.31	2.024	0.368
0+960	3.14	1.892	0.351
1+000	2.718	2.059	0.414
1+040	3.007	2.219	0.667
1+080	2.626	2.506	0.498
1+120	2.763	2.339	0.486
1+160	2.476	2.705	0.545
1+200	2.157	3.482	0.765
1+240	3.037	2.735	0.518
1+280	2.636	2.802	0.549

En el instante 9000 segundos de iniciada la simulación, se hizo la exportación de pixeles de 0.5 metros en formato ráster, a través de esto se logró generar los valores para el QGIS.

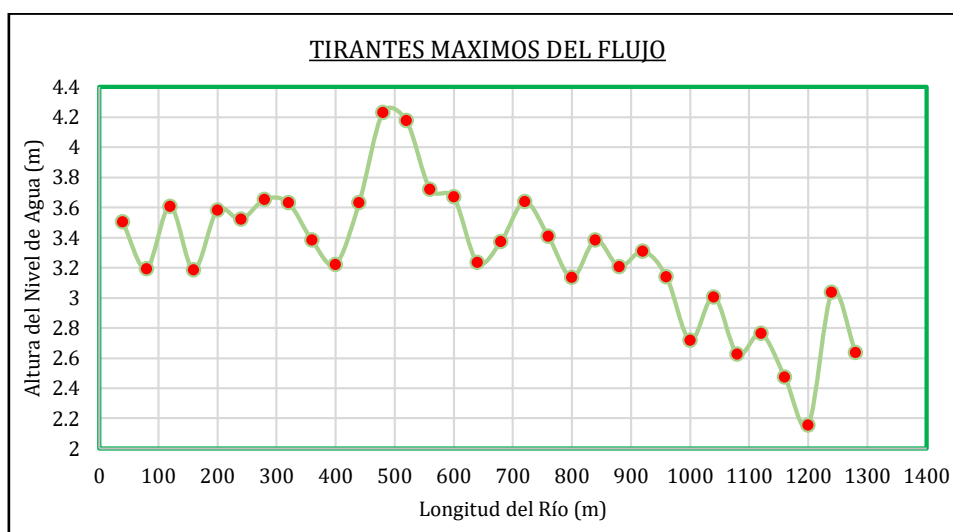
Tirantes Máximos del Flujo

Los tirantes máximos fueron analizados en el pico máximo de la simulación correspondiente a los 9000 segundos de la simulación del flujo obtenidos con el IBER. La serie de valores del tramo de estudio son mostrados en la siguiente figura 31.

Los tirantes máximos se encontraron cerca de las estructuras existentes como puentes, donde el río presenta curvas, secciones angostas y las inundaciones se presentan en los tirantes mínimos.

Se realizó el seccionamiento cada 40 m en el tramo de estudio para un análisis más detallado véase la tabla 55 de parámetros hidráulicos y mostrado en la figura 31.

Figura 33. Tirantes Máximos del Flujo

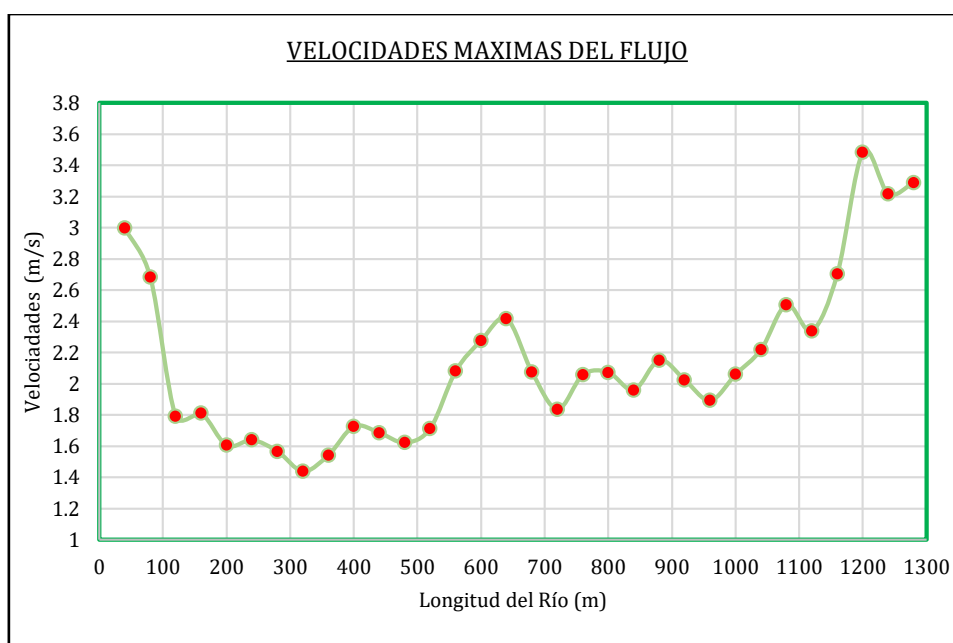


Se contempla un tirante máximo de 3.4 m a 3.6 m que se encuentra entre la progresiva 0+000 a 0+100 y produce el primer desborde de inundación por estrechamiento de la sección. Desde la progresiva 0+150 hasta 0+300 desde un tirante máximo de 3.6 m a 3.8 m y produce el segundo tramo de la inundación por estrechamiento de la sección. Finalmente, de la progresiva 0+480 a 0+680 con un tirante máximo de 4.2 m a 4.8 m, produce el desborde por la curvatura en el tramo mencionado.

Velocidades del Flujo

Las velocidades máximas en el flujo del tramo estudiado se muestran en la figura 32, los cuales fueron generados en el software IBER, donde los valores son crecientes hasta llegar a la zona de desborde.

Figura 34. Velocidades Máximas del Flujo



Se puede apreciar que las velocidades no son constantes en el flujo del tramo analizado, presentando el máximo valor de 3.5 m/s en el tramo 1+200 y una velocidad promedio de 2.11 m/s, con tendencia al aumento según el avance del tramo del río. Además, por la presencia de estructuras como de muros de encausamiento y los estribos en puentes, se presenta un incremento de las velocidades resultantes.

Régimen de flujo y Número de Froude

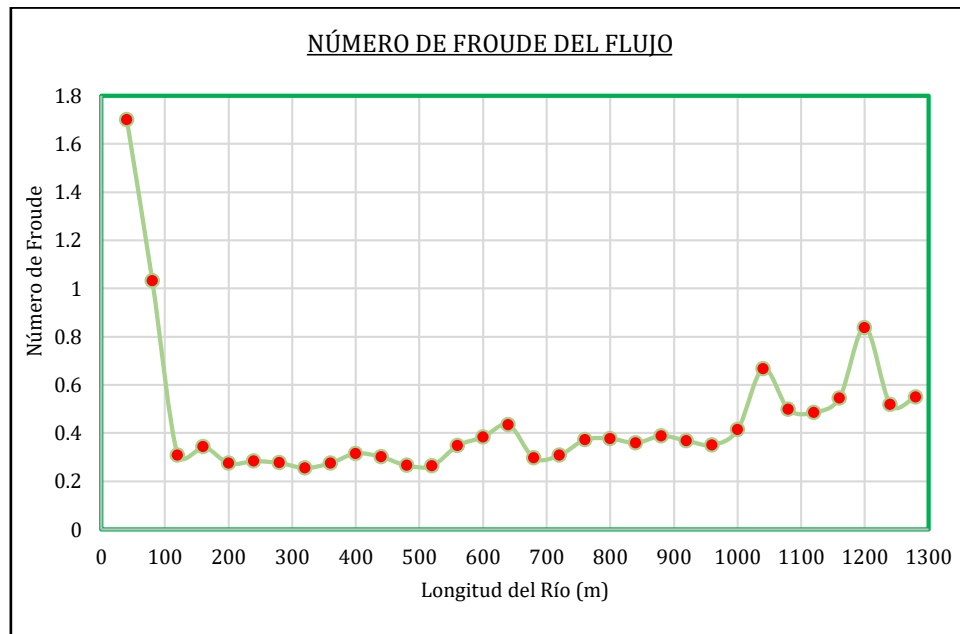
De la tabla 56 y figura 35 se consiguieron los valores del número de Froude resultante para cada sección mediante el software IBER en un tiempo de simulación de 9000 segundos, siendo el instante donde se produce la inundación más crítica.

Tabla 56. Número de Froude del Flujo

Progresiva	Froude	Régimen del Flujo	Progresiva	Froude	Régimen del Flujo
0+040	1.7	Supercrítico	0+680	0.296	Subcrítico
0+080	1.032	Supercrítico	0+720	0.308	Subcrítico
0+120	0.307	Subcrítico	0+760	0.372	Subcrítico
0+160	0.344	Subcrítico	0+800	0.377	Subcrítico
0+200	0.274	Subcrítico	0+840	0.359	Subcrítico
0+240	0.283	Subcrítico	0+880	0.388	Subcrítico
0+280	0.276	Subcrítico	0+920	0.368	Subcrítico
0+320	0.255	Subcrítico	0+960	0.351	Subcrítico

0+360	0.275	Subcrítico	1+000	0.414	Subcrítico
0+400	0.315	Subcrítico	1+040	0.667	Subcrítico
0+440	0.301	Subcrítico	1+080	0.498	Subcrítico
0+480	0.265	Subcrítico	1+120	0.486	Subcrítico
0+520	0.264	Subcrítico	1+160	0.545	Subcrítico
0+560	0.348	Subcrítico	1+200	0.838	Subcrítico
0+600	0.383	Subcrítico	1+240	0.518	Subcrítico
0+640	0.434	Subcrítico	1+280	0.549	Subcrítico

Figura 35. Número de Froude del Flujo



Fuente: Elaboración Propia

Se observa en la progresiva 0+040 y 0+080 un valor del número de Froude superior a 1, por lo que el régimen de flujo es supercrítico. En las siguientes progresivas los valores pertenecen a un régimen subcrítico.

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN

Para obtener el mapa de inundación se escogió el tiempo de 9000 segundos de simulación para el periodo de retorno entre 140 años, que representa el instante donde se produce el mayor desborde del río mostrando las siguientes áreas afectadas.

Figura 36. Zonas de Inundación en el Área de Estudio



Se identificó 3 zonas afectadas por el incremento del río:

Zona 1, está ubicada en el borde derecho del río Vizcarra entre la progresiva 0+000 y 0+100, lugar donde se ubica la sección más estrecha a pocos metros del estribo de un puente y protegido con un muro de contención

en la margen derecha y de un talud natural del lado izquierdo. Las zonas afectadas corresponden una vía principal del Jirón Dos de Mayo

Zona 2, está ubicada en el borde derecho del río Vizcarra entre la progresiva 0+120 y 0+280, lugar donde no se vio la presencia de alguna estructura de contención en ambas márgenes. Las zonas afectadas corresponden a las viviendas construidas al borde de la margen del río, por lo que pone en riesgo la vida de los residentes. También se afectó un tramo de 134 m de longitud del Jirón Dos de Mayo.

Zona 3, está ubicado en el borde derecho del río Vizcarra en la progresiva 0+480 hasta 0+840. Se observa que el desborde inicia en la progresiva 0+480 y por el recorrido del flujo empieza a inundar las viviendas cercanas, así como también el Jirón Dos de Mayo y calles aledañas como el Jr. Lourdes, Jr. Arica, Jr. Junín y Jr. España correspondientes desde la progresiva 0+480 hasta 1+040 afectadas por la creciente del río Vizcarra además de representar un riesgo de la vida de los pobladores y el tránsito urbano.

Empezando de las zonas se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 57. Áreas Inundables en los Márgenes del río

ZONIFICACIÓN	ÁREA TOTAL DE INUNDACIÓN (m²)	ÁREA TOTAL DE INUNDACIÓN (Ha)
ZONA 1	288	0.0288
ZONA 2	5527	0.5527
ZONA 3	31934	3.1934

Visualizamos que la mayor parte de la inundación se presentan en la zona 3, del borde derecho del río Vizcarra en el distrito de la Unión. Sin embargo, no se identificó zonas de inundables en la margen correspondiente al distrito de Ripán.

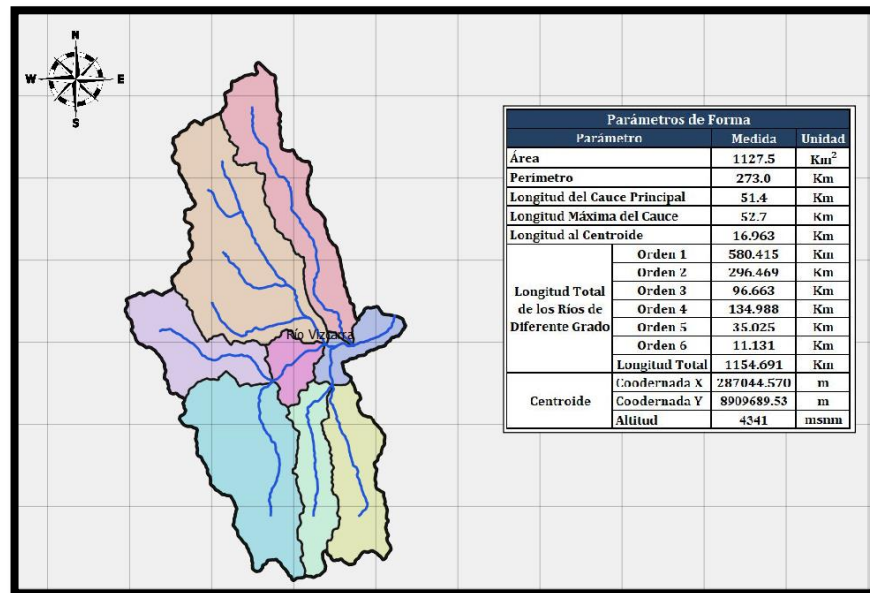
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hipótesis Específica N°01

H0: Se podrán calcular los parámetros morfométricos utilizando el software QGIS en la cuenca del río Vizcarra.

H1: No se podrán calcular los parámetros morfométricos utilizando el software QGIS en la cuenca del río Vizcarra.

Figura 37. Parámetros Morfométricos del Área de Estudio



Contrastación: Se realizó el cálculo de los parámetros morfométricos de la cuenca con uso del software QGIS 3.16, considerando parámetros de forma, relieve y de la red hidrográfica. El parámetro de forma nos mostró que nuestra cuenca es grande, casi rectangular y con un orden de río igual a 6. El parámetro de relieve nos muestra una cuenca ubicada a una altitud media de 4315 m.s.n.m., con pendiente media de 0.409 m/m y con gran potencial erosivo. El parámetro de la red hidrográfica nos ayudó a entender el comportamiento de los ríos, con pendiente moderadas de 3.02% y una densidad de los ríos con bajo drenaje.

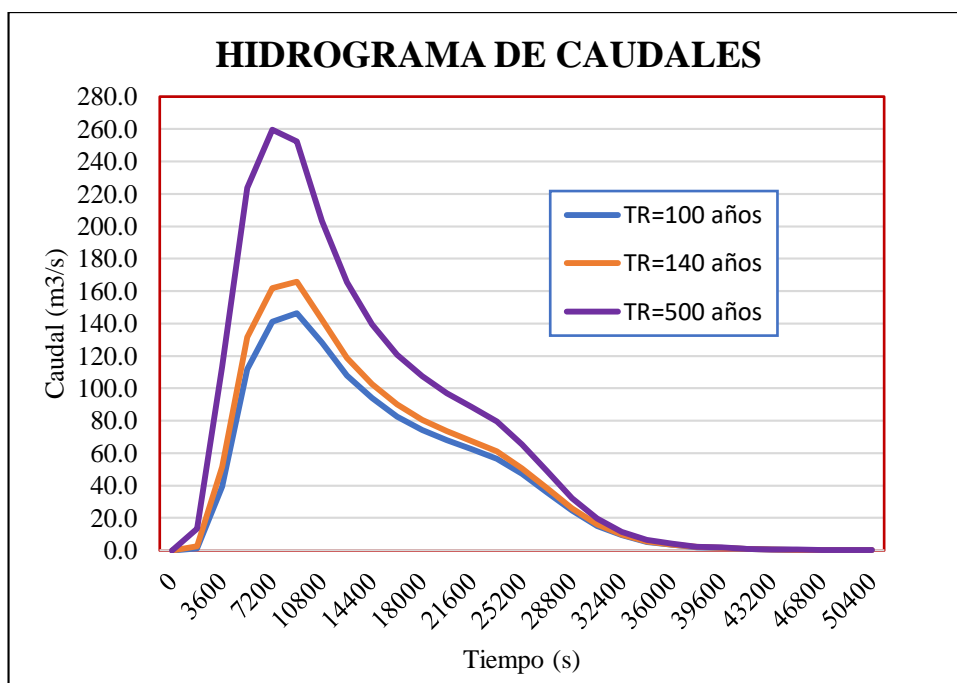
Entonces, de lo expuesto anteriormente, es importante para validar y aceptar la hipótesis específica H0: “Se podrán calcular los parámetros morfométricos utilizando el software QGIS en la cuenca del río Vizcarra”.

Hipótesis Específica N°02

H0: Los caudales máximos para los distintos periodos de retorno de 100, 140 y 500 años se podrán calcular aplicando el software HEC-HMS en el área de estudio.

H1: Los caudales máximos para los distintos periodos de retorno de 100, 140 y 500 años no se podrán calcular aplicando el software HEC-HMS en el área de estudio.

Figura 38. Hidrograma de Caudales para Diferentes Periodo de Retorno



Contrastación: Se realizó la modelización hidrológica para el cálculo de los caudales con el uso del software HEC-HMS. Primero la información base de precipitación paso por análisis, pruebas y tratamientos estadísticos hasta obtener los hietogramas de precipitación para una duración de tormenta de 24 horas en las diferente estaciones y subcuencas generadas, dichos valores de precipitación se introdujeron al HEC-HMS con resultados de caudales picos de 146.4 m³/s, 165.9 m³/s y 259 m³/s para los periodos de retorno de 100, 140 y 500 años respectivamente.

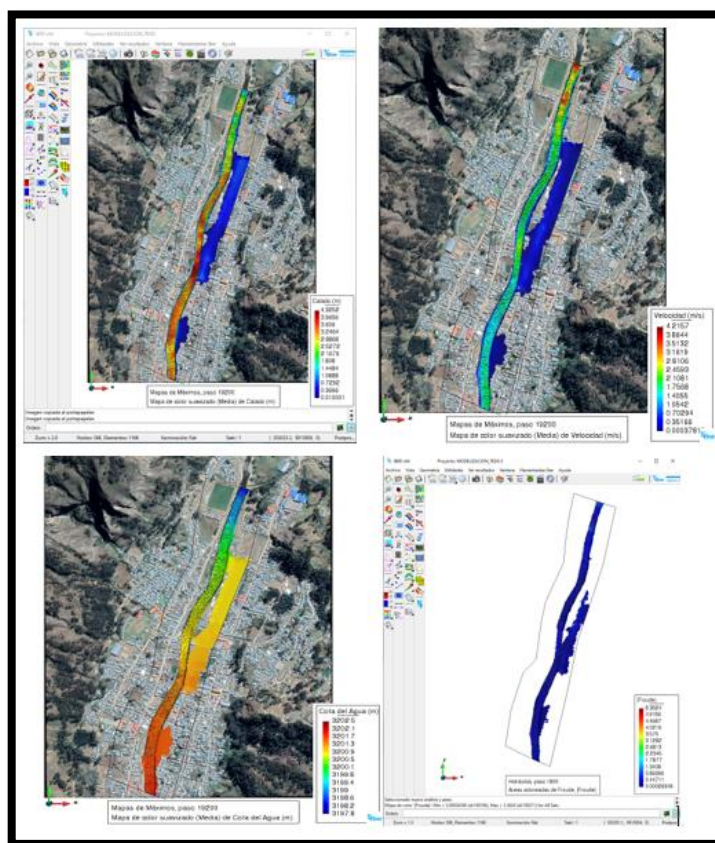
Entonces, de lo expuesto anteriormente, es importante para validar y aceptar la hipótesis específica H0: “Los caudales máximos para los distintos periodos de retorno de 100, 140 y 500 años se podrán calcular aplicando el software HEC-HMS en el área de estudio”.

Hipótesis Específica N°03

H0: Los resultados hidráulicos de la modelización hidráulica bidimensional se podrán calcular aplicando el software IBER en el área de estudio.

H1: Los resultados hidráulicos de la modelización hidráulica bidimensional no se podrán calcular aplicando el software IBER en el área de estudio.

Figura 39. Parámetros Hidráulicos con el Software IBER



Contrastación: Se realizó la modelización hidráulica bidimensional con el software IBER, ingresando información base de topografía y el hidrograma de caudales. Para la simulación se tomó en cuenta parámetros de tiempo e intervalos de los resultados hidráulicos, se generaron calados máximos del flujo de hasta los 4.32 metros, velocidades máximas de 4.15 m/s y Número de Froude que representa a régimen de flujo subcríticos (P: 0+100 – 1+300) y supercríticos (P: 0+040 – 0+080).

Entonces, de lo expuesto anteriormente, es importante para validar y aceptar la hipótesis específica N°03: “Los resultados hidráulicos de la modelización hidráulica bidimensional se podrán calcular aplicando el software IBER en el área de estudio”.

Hipótesis Específica N°04

Los resultados permitirán identificar los puntos críticos y zonas de inundación en el área de estudio.

De las variables medibles de la investigación, se considera el tirante hidráulico de los puntos críticos y zonas de inundación para la contratación y prueba de hipótesis.

Formulación de la hipótesis

H0: El tirante hidráulico medido de forma tradicional y el calculado en la modelización son iguales.

Donde: H0: $\mu_{\text{tradicional}} = \mu_{\text{modelo}}$

H1: El tirante hidráulico medido de forma tradicional es diferente al calculado en la modelización.

Donde: H1: $\mu_{\text{tradicional}} \neq \mu_{\text{modelo}}$

Tipo de Prueba

Como se requiere contrastar las dos formas de medir el tirante hidráulico, la prueba es de dos colas o bilateral ya que estas pueden ser iguales o diferentes.

Nivel de significancia

El nivel de significancia considerado es de $\alpha=0.05$

Distribución muestral

Los datos se ajustan a distribuciones normales, aun cuando el tamaño de la muestra es menor que 30 ($n < 30$), los datos son resultado de mediciones instrumentales.

Cálculo estadístico

$$S_c^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$S_c^2 = \frac{(20 - 1) \times 0.103546 + (20 - 1) \times 0.126415}{20 + 20 - 2}$$

$$S_c^2 = 0.11498$$

Entonces:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}}$$

$$t = \frac{3.3775 - 3.3430}{\sqrt{\frac{0.11498}{20} + \frac{0.11498}{20}}}$$

$$t = 0.3217416$$

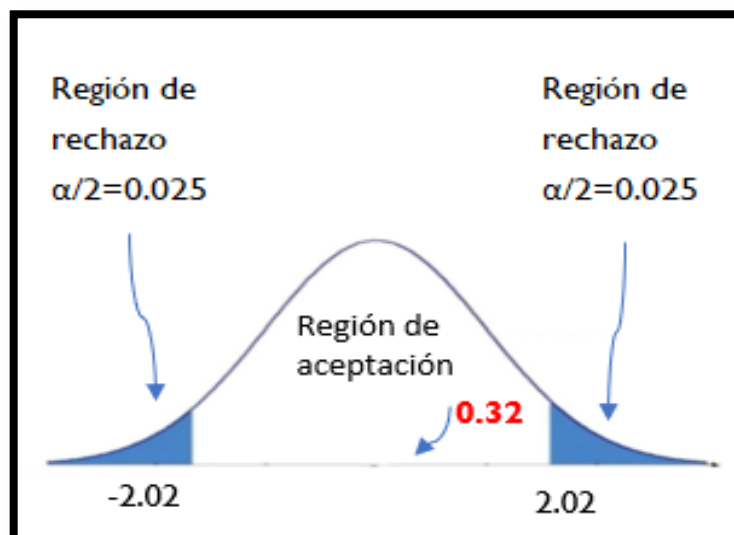
Esquema de prueba

Para obtener el valor crítico según la tabla de distribución t student, se cuenta con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ de dos colas y de grado de libertad de $n_1 + n_2 - 2$.

$$gl = n_1 + n_2 - 2 = 20 + 20 - 2 = 38$$

$$\text{INV.T.2C}(0.05;38) = 2.0243$$

$$t_{\alpha(gl)} = t_{0.05(38)} = 2.024$$



Toma de decisión

Del estadístico de prueba $t=0.321$ al ser mayor que el valor crítico mostrado en el esquema de prueba $t_0=-2.024$ es decir $0.321 > -2.024$, se acepta la hipótesis nula, entonces podemos concluir que el modelo predice bien el tirante hidráulico.

Tabla 58. Resumen de la Prueba de Hipótesis

Parámetros	Variable I	Variable II
Media	3.3775	3.343
Varianza	0.103546053	0.12102211
Observaciones	20	20
Varianza agrupada	0.112284079	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	38	
Estadístico t	0.325581714	
P(T<=t) una cola	0.373263456	
Valor crítico de t (una cola)	1.68595446	
P(T<=t) dos colas	0.746526912	
Valor crítico de t (dos colas)	2.024394164	

Hipótesis General

H0: La modelización hidrológica e hidráulica, permitirá establecer las zonas inundables en la cuenca del río Vizcarra del área urbana de los distritos de la Unión y Ripán.

H1: La modelización hidrológica e hidráulica, no permitirá establecer las zonas inundables en la cuenca del río Vizcarra del área urbana de los distritos de la Unión y Ripán.

Contrastación: Tomando en cuenta lo anterior mencionado de la contrastación de las hipótesis específicas y haber aceptado una de las hipótesis alteras, se puede contrastar la hipótesis general “La modelización hidrológica e hidráulica, permitirá establecer las zonas inundables en la cuenca del río Vizcarra del área urbana de los distritos de la Unión y Ripán”.

Por lo tanto, las hipótesis de investigación al ser contrastadas, se demuestra haber logrado el objetivo principal de establecer las zonas inundables en la cuenca del río Vizcarra del área urbana de los distritos de la Unión y Ripán

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS

Se consideró establecer los parámetros morfométricos utilizando el software QGIS en la cuenca del río Vizcarra. Según la tesis de (Gaspari, 2012), el estudio morfométrico es un grupo de variables lineales, de drenaje, relieve y área; con el cual se puede determinar el aspecto físico característico de una cuenca por lo que nos ayuda a interpretar su funcionabilidad hidrológica.

Los resultados encontrados en los parámetros morfométricos más resaltantes en la presente investigación fueron el área de cuenca de 1127.48 km² correspondiente a una cuenca Intermedia-grande, el índice de Gravelius con un valor de 2.293 y el factor de forma su valor es 0.405 que representa una cuenca casi rectangular, el coeficiente orográfico 0.0163 por lo que se considera una cuenca poco accidentada y de potencial de degradación bajo.

En el estudio de Bolívar (2020) se encontraron en los resultados cierta similitud respecto al índice de compacidad con el valor de 2.29, sin embargo, factores como el área de la cuenca de 4407.7 km² y el factor forma de 0.23 nos da a entender que la cuenca es de forma alargada reduciendo la probabilidad que una tormenta lo cubra en su totalidad. Y por otro lado los parámetros de la cuenca obtenido por García (2019), que analiza una cuenca de 125 km² considerada una cuenca pequeña, clasificándose como Oval Oblonga con un coeficiente orográfico de 0.022 y un índice de Gravelius de 1.387, y el cual indica una cuenca no erosionable.

Las coincidencias evidenciadas con la presente investigación se deben a que la cuenca que estudió Bolívar (2020) contiene a nuestra cuenca, mostrando que cuencas adyacentes o que contienen a otras cuencas, pueden presentar cierta similitud en algunos parámetros morfométricos, mientras que cuencas espacialmente alejadas poseen característica propia y únicas del lugar como la mencionada por García (2019).

En lo que respecta a los máximos caudales en diferentes tiempos de retorno de 100, 140 y 500 años aplicando el software HEC-HMS en el área de

estudio, en base a este modelo según (Wayne, Baxter, & Philip, 2013), se utiliza para simular la tormenta mediante el hidrograma y escorrentía del flujo de agua desde la lluvia de diseño sobre un área de cuenca como medida de control de inundaciones.

Para encontrar los caudales de este estudio se formaron 9 hidrogramas de precipitación para las estaciones y periodos de retorno según sea la influencia que tenga cada subcuenca para luego ser ingresadas al software HEC-HMS. Una vez culminada la simulación se pudo obtener el hidrograma de caudales esta se puede apreciar en las figuras 26,27 y 28, que inició a las 13:00 horas hasta alcanzar un caudal de 146.4, 165.9 y 259.6 m³/s como máximo en los tiempos de retorno 100, 140 y 500 años, con relación al instante en el que ocurre el caudal máximo, se presenta a los 9000 segundos después de haber iniciado la simulación.

De acuerdo con los resultados generales obtenidos, estos se caracterizan por tener relación con lo que sostiene Córdova (2017). Este autor se enfoca en la simulación hidrológica del río Rímac con la aplicación del software HEC-HMS, además de desarrollar una metodología para calcular el hidrograma de caudal con el uso del modelo matemático dicho software del cual se obtener caudales de 43.6, 82.10, 123.9, 178.10, 249.2 m³/s en los tiempos de retorno de 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años en una superficie de cuenca de 1563.543 km². Por otro lado, Hernández (2018) estima los caudales altos en los tiempos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años de 53.41, 66.06, 72.39 y 79.33 m³/s respectivamente mediante el uso del método Racional dentro de una superficie de cuenca de 15.32 km², considerando solo el coeficiente de escorrentía, la intensidad y la superficie de la cuenca con el empleo de software HIDROESTA 2.

Gracias a lo mostrado líneas arriba y analizado los resultados, podemos afirmar que el uso del software HEC-HMS para que los caudales máximos sean calculados, es utilizada para grandes extensiones de cuenca, por otro lado, con el empleo del método Racional se obtiene caudales relativamente bajos y limitado solo para cuencas pequeñas, además se observa que los valores encontrados con el software HEC-HMS se asemejan a los resultados hidrológicos adquiridos en la investigación.

Se consideró obtener los resultados para la modelización hidráulica bidimensional aplicando el software IBER en el área de estudio, en base a ello Ortega y Rebolledo 2020, una de las capacidades de software IBER es el gran número de parámetros y resultados que es capaz de resolver en el módulo de postproceso, incluyendo mapas de resultados máximos de las principales variables (calado, cota y velocidad) para cada punto de la malla, garantizando la identificación de los escenarios más desfavorables para todo el proceso de la simulación. Para la comprobación y diseño de los elementos modelados se utilizan los valores máximos, por lo que identificarlos de forma rápida resulta de gran utilidad.

Los parámetros hidráulicos encontrados en la investigación, se observó un tirante máximo de 4.25 metros ubicado en un tramo curvo perteneciente a el kilómetro 0+480, velocidades variables como se aprecia en la figura 34 que alcanzan un valor máximo de 3.5 m/s en el tramo 1+200 y números de Froude variables con régimen subcríticos y supercríticos mostrados en la figura 35, todos estos valores fueron tomados de las secciones transversales del río en estudio. Todos estos componentes de diseño se plasmaron en perfiles longitudinales, secciones transversales y gráficos que se muestran desde la figura 32 y anexo N°5.

Analizando estos resultados podemos ver que guardan relación con lo que realiza Hurtado (2017), quien se enfoca en encontrar los parámetros hidráulicos en el en el sector de Huachipa del río Rímac con el uso del software IBER, mediante la asignación de condiciones de frontera y datos del problema que generan un tirante máximo de 3.6m en los primeros 100 metros de simulación, con velocidades de más de 6m/s y generando números de Froude en régimen supercrítico en diferentes puntos de las secciones transversales

Las coincidencias con la presenta investigación, evidencian que para encontrar los parámetros hidráulicos la aplicación del software IBER es muy intuitivo y de fácil obtención visual y grafica de resultados en cada sección del área de estudio.

Finalmente se consideró analizar los resultados para establecer los puntos críticos y zonas de inundación, pues según el INDECI (2011), para determinar la susceptibilidad a inundación se determinará un fenómeno de

precipitación excepcional mediante el cual se debe conocer las áreas propensas a inundación que permita a instituciones y planificadores a evitar dichos sucesos naturales que atenten con el desarrollo humano.

De los resultados extraídos del software IBER y tratados en el software QGIS se identificaron 3 zonas afectadas, la primera zona solo cubrió áreas de calles aledañas en un área de 288 m², la segunda zona viviendas y calles en un área de 5527 m² y por último el de mayor desborde presentada es la zona 3 que cubrió un área total de 31964 m², todas en la margen izquierda perteneciente al distrito de la Unión.

Los resultados presentados concuerdan con lo que propuso Hurtado y Caqui (2019), que nos muestra la identificación de las áreas inundables establecido en tres tramos de los cuales son producidos por curvas existentes que hace que la margen afectada se erosiona en una longitud aproximada de 200 m, así como también por el estrechamiento de secciones produciéndose la inundación.

Los antecedentes y sus coincidencias con la investigación, muestran que aquellas zonas inundables más propensas son las que se ubican en zonas curvas, irregulares o que presentan cambios de ancho de sección ya sea debido a la topografía o por la presencia de alguna estructura que cambia el ancho del cauce.

CONCLUSIONES

- De la delimitación de la cuenca del río Vizcarra se obtuvo los parámetros geomorfológicos, siendo una de las principales características la superficie con 1127.5 km², la longitud más extensa del flujo de la cuenca de 52.5 km, con una pendiente del cauce de 0.026 m/m, el factor de forma con el valor y el índice de compacidad de 0.405 y 2.29 respectivamente, siendo estos dos factores adimensionales que nos representa una cuenca casi rectangular.
- Para la modelización hidrológica se optó un periodo de retorno de $T_r=140$ años, calculado en función de la vida útil de $n=40$ años y riesgo admisible de $R=0.25$ usado en puentes y defensas ribereñas acorde a la protección ante un evento de inundación. El caudal máximo generado por el método de Snyder es de 165.9 m³/s, cuyo valor de caudal fue calibrado con la huella de agua en máxima avenida.
- Para la modelización hidráulica se utilizó el programa IBER, usado para flujos 2D o modelos bidimensionales, con el cual se llegó a generar el desborde del río Vizcarra representado en mapas de inundación para los periodos de retorno de $T_r=140$ años, donde se identificó áreas inundables desde la progresiva 0+120 hasta 0+840, debido a las condiciones del terreno se vieron afectadas 3 zonas. La zona con mayor tirante se encuentra en la progresiva 0+480 hasta 0+520 donde se alcanzan tirantes hasta los 4.23 metros de altura, en consecuencia, se pone en riesgo la vida de los pobladores y perjudicando viviendas y calles ubicadas en la margen derecha. Además, se llegó a calcular un área total de 37779 m² de área de inundación ubicados en las áreas urbanas.
- La elaboración de mapas de inundación en las zonas de estudio del río es importante para la toma de decisiones, así evitar futuros desastres de inundaciones urbanas o áreas aledañas a las márgenes del río en estudio.

RECOMENDACIONES

- Para la recopilación de información hidrológica, en la selección de estaciones meteorológicas, es recomendable elaborar un mapa o cuadro donde se pueda observar que estaciones meteorológicas inciden en la cuenca o tengan mayor representación, descartando inicialmente estaciones que carecen de información o de discontinuidad de datos de precipitaciones, así como también aquellas que difieran de condiciones climáticas similares, de elevación y radio de influencia de la cuenca en estudio.
- Para el tratamiento de la información hidrológica en máximas avenidas, se recomienda utilizar el análisis de consistencia de datos dudosos (OUTLIER), para la eliminación de datos atípicos para luego ajustarlos a los parámetros estadísticos recomendados por el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTC).
- Para realizar la modelización hidráulica se recomienda contar con información topográfica detallada, y realizar la calibración del modelo hidrológico necesaria para obtener datos precisos y resultados que se ajusten a lo real.
- Para la modelización hidrológica e hidráulica se recomienda utilizar softwares libres que contengan componentes GIS, pues permiten disminuir posibles errores de cálculo y de error transportabilidad de información un programa a otro.
- Se recomienda a las autoridades de la provincia de la Unión y Ripán, así como al Instituto Nacional de Defensa Civil, tomar acciones para prevenir desastres naturales y a partir de los mapas de inundación elaborar el diseño de estructuras hidráulicas de encauzamiento como defensas ribereñas de gaviones, arrocado o muros de contención, que permitan el confinamiento de las inundaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, E., Battikk, M., Castillo, C., Mendoza, A., Poveda, J., & Vásquez, E. (2015). *Revista de Iniciación Científica*. Obtenido de Métodos numéricos para la predicción de inundaciones: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/345/html>
- ANA. (2015). *Autoridad Nacional del Agua*. Obtenido de Generación del Mapa Temático de Curva Número (CN): <https://es.scribd.com/document/383082462/An-a-Curva-Numero-2015>
- Aparicio, F. J. (1989). *Fundamentos de la Hidrología de Superficie*. Mexico: LIMUSA, S.A de C.V.
- Aragón, F. (2014). *Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina*. Perú: F. Aragón-Durand. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11762/19850>
- Aristizába, V. M., Botero, B. A., & Vélez, J. J. (2012). *Manual de Hidrología para Obras Viales Basado en el Uso de Sistemas de Información Geográfica [versión PDF]*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/236826280_Manual_de_hidrologia_para_obras_viales_basado_en_el_uso_de_Sistemas_de_Informacion_Geografica
- Autoridad Nacional del Agua. (2012). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú [versión PDF]*. Obtenido de Ministerio de Agricultura: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/597>
- Bautista, M. (2020). *Tendencias de Riesgo Asociadas a Inundaciones*. Obtenido de INDECI: <https://drive.google.com/file/d/1Tw7FGfPg0g7xWDAe8JUQaB8FkDAZxviC/view?usp=sharing>
- Bladé, E., Cea, L., & Corestein, G. T. (2014). Modelización Numérica de Inundaciones Fluviales. *Ingeniería del Agua*, 18(1), 71-82. doi:<https://doi.org/10.4995/ia.2014.3144>
- Bladé, E., Sánchez, M., Niñerola, D., & Gómez, M. (2009). *Modelación Numérica en Ríos en Régimen Permanente y Variable*. Barcelona: UPC.

Bladéa, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., . . . Coll, A. (2012). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para*, 1-10. Obtenido de Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos.

Bocco, G., Sánchez, R., & Riemann, H. (1993). Evaluación del Impacto de las Inundaciones en Tijuana (enero de 1993). Uso Integrado de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica. *Frontera Norte*, 5(10), 53-83. Mexico. Obtenido de EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS INUNDACIONES EN TIJUANA (ENERO DE 1993). USO INTEGRADO DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SIS(ENERO DE 1993). USO INTEGRADO DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: <https://fronteranorte.colef.mx/index.php/fronteranorte/article/view/1557>

Bolívar, G. E. (2019). *Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del Río Marañón sector Puente Tingo Chico. Carretera Huánuco - Conococha, [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria la Molina]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/UNITUMBES/444>

Breña, A. F., & Jacobo, M. A. (2006). *Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Obtenido de Universidad Autónoma Metropolitana: https://uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf

Breña, A., & Jacobo, M. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Cahuana, A. (2009). *Material de Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Hidrología civ-233*. Obtenido de <https://civilmbh.files.wordpress.com/2013/11/hidrology-san-simon.pdf>

Campos, D. F. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana*. Mexico: Editorial Universitaria Portosina.

Cárdenas, N., Muñoz, J., & Riaño, E. (2017). *Evaluación de Amenaza por Inundación en el Sector Betania del Municipio de Gachancipá, Pernteneciente a la Cuenca Alca del Río Bogotá [Tesis de licenciatura, Universidad de Cuenca]*. Repositorio Institucional, Colombia. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36807/RiveraMendivselsoGustavoAlexander.2020.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Chereque, W. (1989). *Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Chow, V. T. (1994). *Hidrología Aplicada*. Colombia: McGraw-Hill.

Chow, V. T. (2004). *Hidraulica de Canales Abiertos*. Bogotá: Mc Graw Hill.

Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Colombia: McGraw-Hill.

Cordova, D. (2017). *Aplicación de la Simulación Hidrológica e Hidráulica con Sistemas de Información Geográfica para Identificar las Áreas de Inundación del Río Huallaga en el tramo Huaylla - Ambo, 2017 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Hermilio Valdizan]*. Repositorio Institucional, Huánuco. Obtenido de <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/1534>

Deuker, K. J., & Kjerne, D. (1989). Proceedings of the American Society for Photography and Remote Sensing and American Congress on Surveying and Mapping. *Multipurpose Cadastre Terms and Definitions*.

Espinoza, A. (2020). *Análisis de la dinámica fluvial en el sector del coliseo Jefferson Pérez mediante modelación bidimensional [Tesis de licenciatura, Universidad de Cuenca]*. Repositorio Institucional, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34535>

Estrada , V., & Pacheco, R. (2012). *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. Obtenido de Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382012000100008

Fattorelli, S., & Fernandez, P. C. (2007). *Diseño Hidrológico*. Obtenido de Civilgeeks.com Ingeniería y construcciones: <https://marianiztli.files.wordpress.com/2016/06/diseno-hidrologico.pdf>

Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2013). *Elementos Metodológicos para el Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Argentina: Editorial de la Universidad de La Plata.

Gerardo, O. (2018). *Determinación de Zonas Inundables Mediante Simulación Hidráulica Bidimensional Aplicando HEC – RAS 5.0 en un Tramo del Río Huancabamba, desde la Quebrada Chula (km 2.42) hasta la Quebrada Lungulo (km 5.51), Provincia de Huancabamba, Departamento de Piura .*

Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1656>

Gilberto, Á. (2002). *Hidráulica de canales*. Mexico: UNAM.

Gómez, N., & Monge, K. (2017). *Diseño de obras de mitigación y encausamiento mediante modelaciones hidráulicas e hidrológicas para disminuir la condición por vulnerabilidad de inundaciones en un tramo de 3km del río [Informe de Graduación, Tecnológico de Costa Rica]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/8658>

Guaya, C., & Montalván, E. (2018). *Modelación numérica bidimensional del río Garrapata en la provincia de Manabí aplicando el programa Iber [Tesis de licenciatura, Universidad de Cuenca]*. Repositorio Institucional, Ecuador. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19326>

Hasbleidy, D., & Montoya, J. (2016). *Integración de Herramientas SIG con Modelos Hidrológicos e Hidráulicos para la Generación de Mapas de Áreas Susceptibles de Inundación. Caso de Estudio la Cuenca del Río Acacias Municipio de Acacias, Meta*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/3081>

Hernández, J. (2018). *Zonificación de Áreas Inundables de la Localidad de Santa Bárbara Ocaionado por Avenidad Extraordinarias de la Quebrada Sambarbamba-Baños del Inca [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio Institucional, Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2583>

Hernández, R. (2014). *Método de la Investigación*. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Hernandez, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2004). *Metodología de la Investigación [versión PDF]*. Mexico. Obtenido de <https://josetavarez.net/Compendio-Metodologia-de-la-Investigacion.pdf>

Huancas, C. (2019). *Modelamiento Hidráulico con Hec-ras para la prevención de Inundaciones desde el km 44+100 al km 49+100 en el Río Reque [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/37005>

Hurtado, E. (2017). *Modelamiento Hidráulico Bidimensional del Río Rímac en el Sector Huachipa, Tramo KM. 27+450 al KM. 28+525 [Tesis de licenciatura,*

Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional, Lima. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3051>

Hurtado, N., & Caqui, J. (2019). *Focalización de Áreas Vulnerables y Análisis Hidráulicos para Reducir Riesgos por Inundación en el Río Pendencia, en el Caserío Manju, Distrito de Pueblo Nuevo – Provincia Leoncio Prado – Región Huánuco 2018*. Repositorio Institucional, Huánuco. Obtenido de <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/5324>

Iber. (2014). *Iberaula*. Obtenido de ¿Qué es Iber?: <https://www.iberaula.es/>

IDEAM. (2018). *Instituto de Hidrología Meteorológica y Estudios Ambientales*. Obtenido de Protocolo de Modelación Hidrológica e Hidráulica: <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=38314>

INDECI. (2011). *Manual de Estimación del Riesgo ante Inundaciones Fluviales [versión PDF]*. Lima. Obtenido de <http://repo.floodalliance.net/jspui/handle/44111/1912>

INDECI. (2020). *INDECI*. Obtenido de Boletín Estadístico Virtual de la Gestión Reactiva: <https://www.indeci.gob.pe/direccion-politicas-y-planes/boletin-estadistico-virtual-de-la-gestion-reactiva-del-indeci/>

Junco, J. (2014). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro*. Mexico. Obtenido de Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro: <https://agua.org.mx/biblioteca/analisis-morfometrico-de-cuencas-caso-de-estudio-del-parque-nacional-pico-de-tancitaro/>

Lawrence, S. (1994). *Physical Hydrology*. Estados Unidos de America: Prentice Hall.

López, E., Posada, C., & Moreno, J. (1998). Los Sistemas de Información Geográfica. *I Congreso de Ciencia Regional de Andalucía: Andalucía en el umbral del siglo XXI*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11441/40831>

Lozano, E. (2017). *Vocación Estadística*. Obtenido de El Nivel de Investigación: <http://vocacionxestadistica.blogspot.com/2017/10/criterio-2-el-nivel-de-investigacion.html#:~:text=En%20nivel%20aplicativo%20se%20requiere,y%20transformar%20positivamente%20la%20realidad.>

Lux, C. (2016). *Universidad de San Carlos Guatemala*. Obtenido de Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/>

Maderey, L. (2005). *Principios de Hidrogeografía*. Mexico: Agustín Fernández Eguiarte.

Maguire, D. J. (2016). ArcGIS: General-Purpose GIS. *Encyclopedia of GIS*. Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6_68-2

Martínez, R., Martínez, A., & Hidalgo, A. (2017). Modelo Bidimensional para Flujo en Aguas Poco Profundas: Tratamiento con IBER. *Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería*.

Mejía, J. A. (2012). *Hidrología Aplicada*. Universidad Nacional Agraria la Molina.

Ministerio de Agricultura. (1984). *Proyecto de Conservación de Suelos y Aguas Microcuenca Velamocco Cuenca del Río Ilpa-Puno*. Lima: Dirección General de aguas, Suelos e Irrigaciones.

Ministerio del Ambiente. (2020). *¿Quiénes somos?* Obtenido de Senamhi: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=senamhi>

Mintaje, C. A. (2011). *Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa*. Colombia. Obtenido de <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>

MTC. (2007). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima: MTC.

Municipalidad Distrital de Ripán, Dos de Mayo, Huáunco. (2019). *CENEPRED*. Obtenido de Estudio de Evaluación de Riesgo por Inundaciones de la Localidad de Ripán: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/6663>

Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica [versión PDF]*. Obtenido de Sistema de Información Geográfica: <http://volaya.github.io/libro-sig/>

Oliveras, J. (2014). *HidroJING*. Obtenido de Modelización hidráulica de propagación de avenidas ¿1D o 2D?: <https://www.hidrojing.com/modelizacion-hidraulica-de-propagacion-de-avenidas-1d-o-2d/>

Ortega, J., & Rebolledo, R. (2020). *Análisis de Herramientas de Modelización Hidráulica Bidimensional*. España: WSP Spain. Obtenido de

<https://www.wsp.com/es-ES/insights/analisis-herramientas-modelizacion-hidraulica-bidimensional>

Osorio, M. (2010). *Evolucion de los sistemas de Informacion Gerencial*. Obtenido de Bitacora del Curso - SIG Admon 8: <http://marioadmon8.blogspot.com/2010/08/evolucion-de-los-sistemas-de.html>

Pascual, J. (2016). *Guía Práctica sobre la Modelización Hidrológica y el Modelo HEC-HMS*. Obtenido de AGUASRESIDUALES.INFO: <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/guia-practica-sobre-la-modelizacion-hidrologica-y-el-modelo-hec-hms>

Pérez, J. (1979). *Fundamentos del ciclo hidrológico*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela.

QGIS. (2021). *QGIS - El SIG Líder de Código Abierto para Escritorio*. Obtenido de Acerca de QGIS: <https://qgis.org/es/site/about/index.html>

Rocha, A. (1998). *INTRODUCCIÓN A LA HIDRAULICA FLUVIAL*. LIMA: Universidad Nacional de Ingeniería.

Rocha, A. (2017). *Hidráulica de Tuberías y Canales [versión PDF]*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Rojas, J. (2018). *Modelación Hidrológica e Hidráulica del Río Tirishuanca para Identificación de Zonas Vulnerables a Inundaciones en la Localidad de Molino, Distrito de Molino, Provincia de Pachitea, Departamento de Huánuco*. Repositorio Institucional, Huánuco. Obtenido de <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/3999>

Saenz Saavedra, N. (1992). Ingeniería e Investigación. *Los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones*, 31-40. Obtenido de Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones.: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingeinvt/article/view/20790/21718>

Sánchez, J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. España: Createspace Independent Publishing Platform.

Sanchez, J. (2018). *Causas y consecuencias de las inundaciones*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/causas-y-consecuencias-de-las-inundaciones-1282.html>

SIGLA. (2014). *Modelos Digitales de Elevación*. Obtenido de SIGLA: <http://www.sigla-sas.com/modelos-digitales-de-elevacion.html>

Tomás, V., Rico, A., & Dasso, C. (2018). Calibración de Modelo Hidráulico HEC-RAS 2d en una Cuenca no Aforada de la Provincia de Córdoba, Argentina. *Hidráulica de Ríos*, 12. Obtenido de https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/Congreso_libro/TC_TEMA_3.pdf

Torres, M. (2017). *Modelación Hidrológica para el Estudio de Inundación, en el Departamento de Cundinamarca, del Río Frío a la Altura del Municipio de Chía [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Colombia]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10983/14636>

US Army Corps of Engineers. (2018). *Supplemental to HEC-RAS Version 5.0 User's Manual*. Obtenido de US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_5.0.4_Supplemental_UsersManual.pdf

Varas, E., & Bois, P. (s.f.). *Hidrología Probabilística*. Chile: Univercidad Católica de Chile.

Vélez, J. J., & Botero, A. (2010). Estimación del Tiempo de Concentración y Tiempo de Rezago en la Cuenca Experimental Urbana de la Quebrada San Luis, Manizales. *Dyna*, 78(165). Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49622372006>

Vergara, M. d., Ellis, E. A., Cruz, J., Alarcón, L. d., & Galván del Moral, U. (2011). La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *Política y Cultura*.

Viessman, J. (1997). *Introducción to Hydrology* (4th Edition ed.). United States of America: Prentice Hall.

Villón Bejar, M. (2016). *Hidrología Estadística*. Lima: Villon.

Villón, M. (2004). *Hidrología*. Lima: Villón.

Wayne, H., Baxter, V., & Philip, B. (2013). *Hydrology and Floodplain Analysis*. United States: Pearson Education.

World Bank Group. (2020). *The World Bank Group*. Obtenido de Poverty and Shared Prosperity 2020: <http://documents.worldbank.org/curated/en/669141603288540994/People-in-Harms-Way-Flood-Exposure-and-Poverty-in-189-Countries>

Zarza, L. (2018). *iagua*. Obtenido de Agua Respuestas: <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-zonas-inundables>

ANEXOS

**ANEXO N°01. RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN**

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 687-2021-D-FI-UDH

Huánuco, 05 de julio de 2021

Visto, el Oficio N° 454-2021-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) titulado: "MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA ESTABLECER LAS ZONAS INUNDABLES EN LA CUENCA DEL RÍO VIZCARRA, DEL ÁREA URBANA DE LOS DISTRITOS DE LA UNIÓN Y RIPÁN, HUÁNUCO 2021" presentado por el (la) Bach. Kevin Joel, GODOY BERNACHEA.

CONSIDERANDO:

Que, según mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 125-2021-D-FI-UDH, de fecha 05 de febrero de 2021, perteneciente al Bach. Kevin Joel, GODOY BERNACHEA se le designó como ASESOR(A) de Tesis al Mg. Rosner Nadler Mato Vicente, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 454-2021-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) titulado: "MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA ESTABLECER LAS ZONAS INUNDABLES EN LA CUENCA DEL RÍO VIZCARRA, DEL ÁREA URBANA DE LOS DISTRITOS DE LA UNIÓN Y RIPÁN, HUÁNUCO 2021" presentado por el (la) Bach. Kevin Joel, GODOY BERNACHEA, integrado por los siguientes docentes: Mg. Johnny Prudencio Jacha Rojas (Presidente), Mg. Hamilton Denniss Abal García (Secretario) y Ing. Percy Mello Dávila Herrera (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución titulado: "MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA ESTABLECER LAS ZONAS INUNDABLES EN LA CUENCA DEL RÍO VIZCARRA, DEL ÁREA URBANA DE LOS DISTRITOS DE LA UNIÓN Y RIPÁN, HUÁNUCO 2021" presentado por el (la) Bach. Kevin Joel, GODOY BERNACHEA para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Mg. Johnny P. Jacha Rojas
SECRETARÍA DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.
BCR/(JR)/slo.

**ANEXO N°02. RESOLUCIÓN DEL NOMBRAMIENTO DE ASESOR
DE TESIS**

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 125-2021-D-FI-UDH

Huánuco, 05 de febrero de 2021

Visto, el Oficio N° 072-2021-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 3436, del Bach. **Kevin Joel, GODOY BERNACHEA**, quién solicita cambio de Asesor de Tesis.

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45° inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 3436, presentado por el (la) Bach. **Kevin Joel, GODOY BERNACHEA**, quién solicita cambio de Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación, y;

Que, con Resolución N° 120-2020-D-FI-UDH, de fecha 13 de febrero de 2020, en la cual se designa como Asesor de Tesis del Bach. **Kevin Joel, GODOY BERNACHEA** al Ing. Josué Choquevilca Chinguel; el mismo que no cuenta con el grado de maestro y que para el Registro Nacional de Trabajos de Investigación - RENATI, es requisito que el asesor cuente con dicho grado, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 31 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - **DEJAR SIN EFECTO**, la Resolución N° 120-2020-D-FI-UDH, de fecha 13 de febrero de 2020.

Artículo Segundo.- **DESIGNAR**, como nuevo Asesor de Tesis del Bach. **Kevin Joel, GODOY BERNACHEA** al Mg. Rosner Nadler Mato Vicente, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

Regístrese, comuníquese, archívese



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Mg. Rosner N. Mato Vicente
SECRETARIO FACULTAD



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANA FIDE. FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:
Fac. de Ingeniería - PAIC- Asesor- Mat. y Reg.Acad. - Interesado - Archivo.
BCR/JPJR/nls

ANEXO N°04. APÉNDICE

APÉNDICE N°01 – PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Tramo del Río en el Área de Estudio

El tramo de estudio se ubica en ambos márgenes del río Vizcarra y tiene una longitud de 1300 m de eje del río, comprende la zona urbana que comprende mayor densidad poblacional. La zona para la modelización hidráulica está comprendida entre el jirón Federico Ríos hasta el campo de fútbol ubicado en la provincia de Ripán. Se hará la descripción general del tramo en estudio.

Para la parte inicial del tramo, sus riberas se encuentran protegidas por muros de contención en ambas márgenes, existe concentración de botonería con mayor cantidad a la orilla izquierda perteneciente a la provincia de Ripán y no presenta vegetación, las viviendas se encuentran muy cercanas en la margen derecha que pertenece a la provincia de la Unión como se aprecia en la figura 40.

Figura 40. Tramo Inicial del Río – Aguas Arriba



En el tramo central de la ciudad, se presenta discontinuidad en los muros de contención en la margen izquierda y del margen derecho estos se encuentran deteriorados con presencia de viviendas muy cercanas a las riberas del río, con presencia de botonería como se aprecia en la figura.

Figura 41. Tramo Central del Río



En la parte baja del tramo de estudio está constituido principalmente de botonería en el cauce, con presencia de vegetación propio de la zona; las márgenes están constituido por el talud conformado con relleno de desmonte, con poca presencia de viviendas y en su mayoría se encuentran alejadas de la ribera.

Figura 42. Tramo Final del Río - Aguas Abajo



Figura 43. Ubicación de la Zona de Estudio

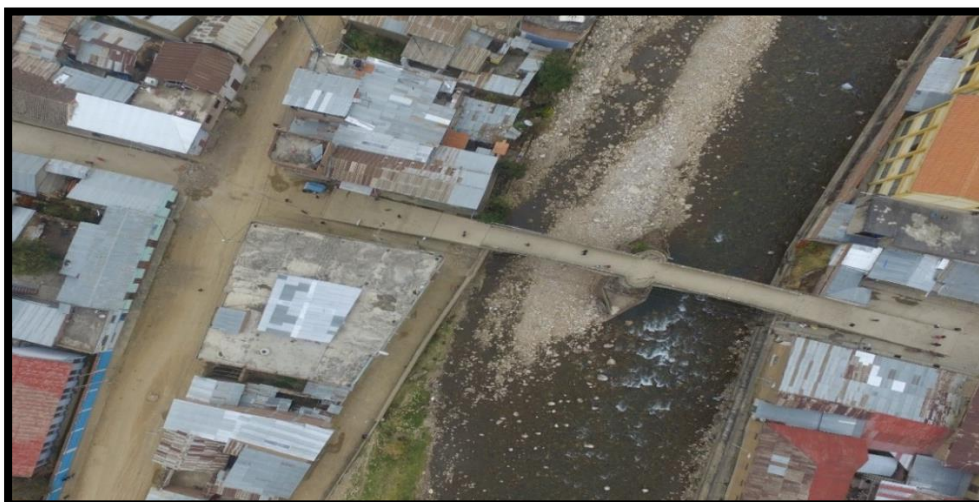


Estructuras Existentes

Puente Cáceres (Jr. La Unión)

Se ubica sobre el jirón la Unión, es un puente hecho a base de piedra, cal y canto, diseñada con dos arcos y un estribo central además de contar con 2 descansos en forma de media luna y bancas de piedra. Es utilizado únicamente para el tránsito peatonal y ciclista de 39 m de luz.

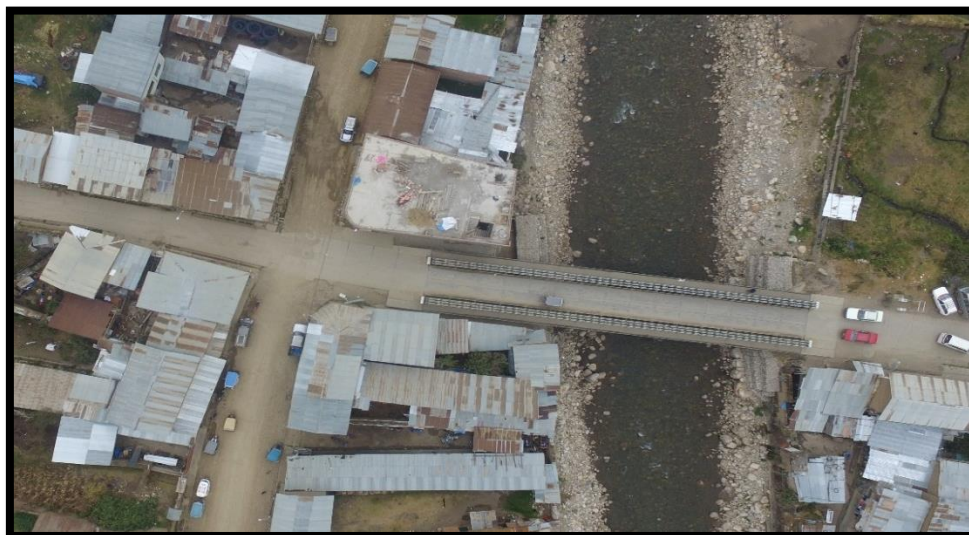
Figura 44. Puente Cáceres - Vista Aérea



Puente de Fierro (Jr. Junin)

Se ubica en el jirón la Unión, es un puente tipo Bailey de doble vía y también peatonal de 8.6m de ancho y de 45m de luz, siendo una estructura que permite la intercomunicación entre ambos distritos.

Figura 45. Puente Fierro - Vista Aérea



Viviendas

En las riberas del río Vizcarra la densidad de viviendas ha ido progresando con los años y se describe según el distrito en el tramo de estudio.

En el distrito de la Unión, las viviendas están hechas de adobe y de material noble protegidas en su mayoría y asentadas a nivel de las estructuras de la contención pero que presentan deterioro en dichas estructuras, las viviendas construidas con material noble están varían de 1 a 6 niveles. Las calles se encuentran asfaltadas en su mayoría.

En el distrito de Ripán, las viviendas también están hechas de adobe y de material noble con techos de calamina, las viviendas construidas con material noble varían desde 1 a 3 niveles. Los muros de contención solo se encuentran protegiendo estructuras como puentes y vías principales, solo algunas viviendas se encuentran cercanas las riberas del río y en su mayoría alejadas. Las calles se encuentran a nivel de afirmado.

La parte baja de los dos distritos, en las riberas del río, presenta menor densidad de viviendas y con una mediana vegetación característica de la zona. Este sector no cuenta con estructuras de contención.

Por lo que se ha podido observar, la mayoría de las viviendas se encuentran cercanas al río, y hechas de material como el adobe que representan condiciones desfavorables y más vulnerables ante un evento climatológico extremo.

Figura 46. Viviendas de la Unión Dos de Mayo - Vista Aérea



LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICA EN LA ZONA DE ESTUDIO

Se realizó el levantamiento topográfico con Dron en el tramo de estudio del río Vizcarra incluyendo las márgenes del cauce, en una longitud de 1300 metros, las secciones transversales se encuentran 40 metros de longitud, la topografía en planta, el perfil longitudinal y las secciones transversales se muestra en el anexo N°4. Cabe mencionar que el levantamiento topográfico se realizó para obtener el detalle de la sección del río que contenga la planicie de inundación para el modelamiento hidráulico.

Se obtuvo la topografía del área que pertenece a la zona urbana de los distritos de la Unión y Ripán con probabilidad de inundación por la máxima avenida del río Vizcarra para el cual se empleó la Fotogrametría con el uso de un vehículo volador no tripulado (Dron).

En el levantamiento se obtuvieron 189 imágenes con una altura de vuelo de 50 m, con una resolución de terreno 3.5 cm/pix con una distancia focal 20 mm y los solapes están al 75%, con una posición de cámara perpendicular al suelo.

Tabla 59. Características del Equipo Topográfico

Modelo de cámara	Imágenes	Resolución	Distancia Focal	Tamaño de pixel
FOV 94° (20mm)	189 imágenes	4000x3000	35 mm	1/2x2.3” pixeles

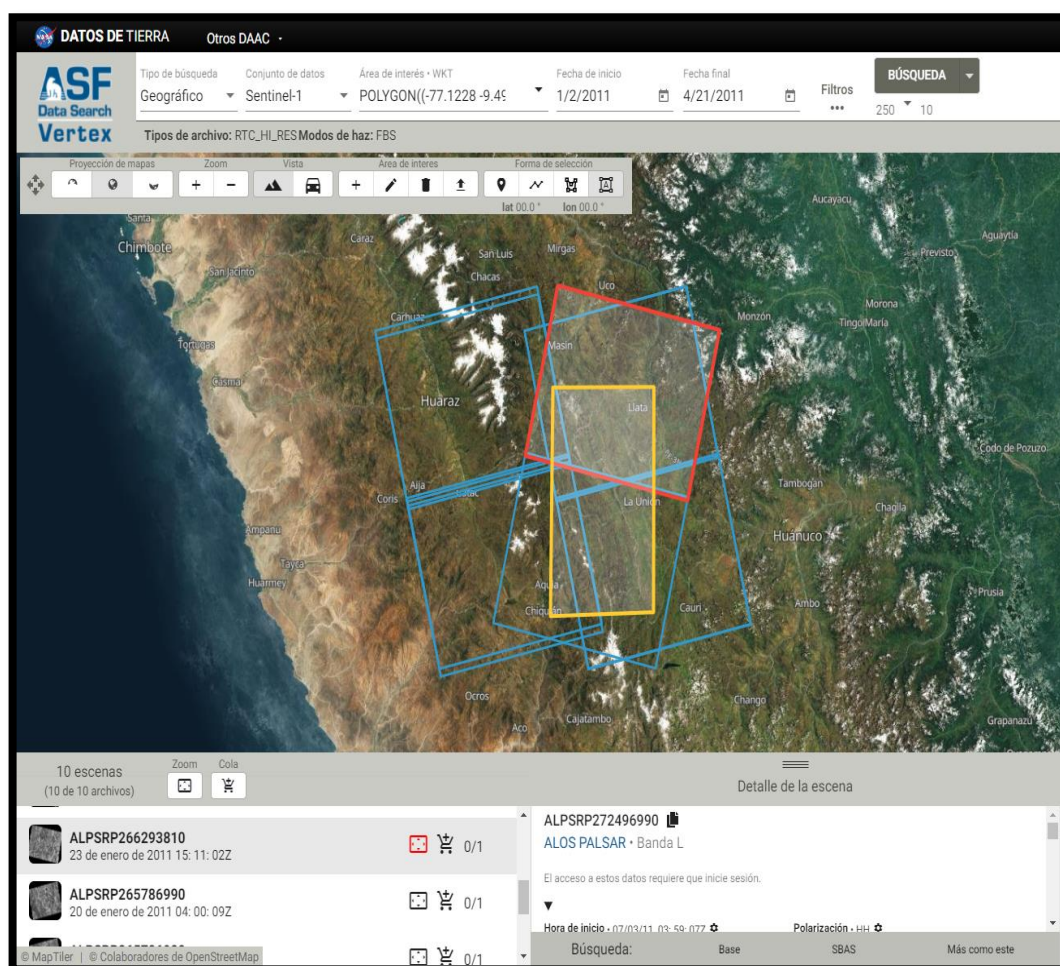
Las imágenes fueron procesadas con el software Agisoft para obtener el modelo de elevación digital que será empleada en el modelamiento hidráulico con el software bidimensional IBER.

DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES

En el presente estudio se utilizó imágenes satelitales, proporcionado por el satélite Alaska de la Nasa con un segundo de arco (12.5 m), con el DEM de tipo Alos Palsar proyectado en la zona WGS 1984_UTM_Zona 18 S.

Para la delimitación de la cuenca y determinación de los parámetros morfométricos se usó de manera referencial las cuencas hidrográficas del Perú en formato Shapefile (SPH) proporcionado por la ANA, para luego ser procesado con el programa QGIS aproximando la cuenca de estudio, mediante un rectángulo e importando un archivo KMZ del punto de aforo.

Figura 47. Imagen Satelital ALOS PALSAR – Data Search Vertex



Las imágenes satelitales fueron procesadas, con el objetivo de obtener la delimitación y estimación de los parámetros morfométricos de la cuenca.

DESCARGA Y RECOLECCIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICA

Información Disponible

Se encontró una sola estación pluviométrica dentro de la cuenca, por tal motivo se seleccionaron las estaciones más cercanas al área de influencia en la zona de estudio. Para la investigación se cuentan con 3 estaciones disponibles.

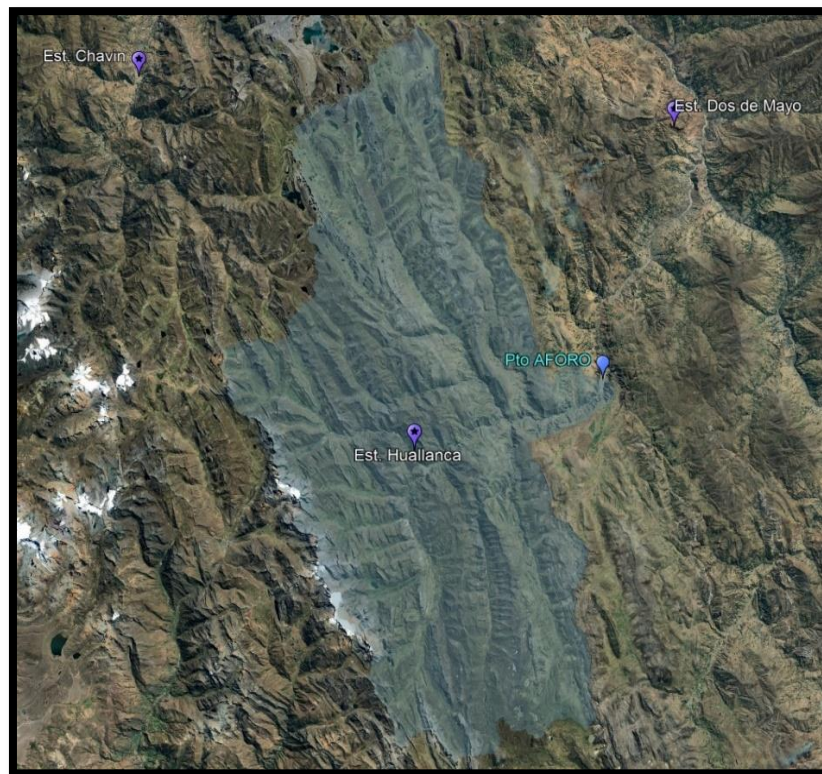
- ❖ La Estación Chavín, se encuentra a una altitud de 3140 m.s.n.m. y cuenta con información disponible de 35 años.
- ❖ La Estación Dos de Mayo, se encuentra ubicada a una altitud de 3442 m.s.n.m. y cuenta con información disponible de 21 años.

- ❖ La Estación Jacas Chico, se encuentra ubicada a una altitud de 3260 m.s.n.m. y cuenta con información disponible de 13 años.

Tabla 60. Estaciones Meteorológicas

Estación	Tipo	Departamento	Este	Norte	Altitud (msnm)	Periodo
Chavín	Pluviómetrico	Huánuco	296601	8936616	3140	1986-2020
Dos de Mayo	Pluviómetrico	Huánuco	305424	8925374	3442	2000-2020
Huallanca	Pluviómetrico	Ancash	286173	8906865	3260	1964-1976



Figura 48. Ubicación de las Estaciones Pluviómetricas



Análisis de Precipitación



Para la representación de precipitación en la zona de estudio se han descargado datos de precipitación máxima de 24 horas de 3 estaciones pluviómetricas, proporcionadas por El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) así como también por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Tabla 61. Registro de Precipitaciones Máximas en 24 Horas (mm) -
Estación Huallanca

		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
<p align="center">“MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA ESTABLECER LAS ZONAS INUNDABLES EN LA CUENCA DEL RÍO VIZCARRA, DEL ÁREA URBANA DE LOS DISTRITOS DE LA UNIÓN Y RIPÁN, HUÁNUCO 2021”</p>													
<p align="center">ESTACIÓN METEOROLÓGICA HUALLANCA PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL EN 24 HORAS (mm)</p>													
TESISTA		Bachiller Kevin Joel Godoy Bernachea											
LONGITUD		76° 57´ 0.003" W					DEPARTAMENTO		Ancash				
LATITUD		9° 52´ 59.90" S					PROVINCIA		Bolognesi				
ALTITUD		3260 m.s.n.m.					DISTRITO		Huallanca				
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	MAX.
1964	21	19	24	11	42	1	13	13	15	22	23	15	42
1965	13	18	15	17	17	5	11	7	13	10	13	17	18
1966	17	35	28	17.7	16.5	9.4	6	6.5	16.5	17	12.5	24	35
1967	20	20.5	21	20	13.5	4	8.5	15	17.5	24	13.5	12.5	24
1968	19	21	25	29	13	7.5	10	14	15	22	14.5	20	29
1969	16	35.8	16.8	26.8	5.4	15	4.4	8.4	15	20	32.2	23.8	35.8
1970	21.8	14.2	23	18.2	14	13.8	12.2	11.4	16	25.4	15	15.3	25.4
1971	20.2	48.2	27	21	15.5	7	5.5	28.4	5	S/D	14.2	31	48.2
1972	21.2	20.4	21.2	18	12.6	5	4	14.5	11.5	16	28	18.5	28
1973	15.5	25	15	22.9	17	7.5	14.3	7	15.5	19	19.3	15.5	25
1974	13	S/D	19	34	9.7	8.3	32	12.8	9	25	18	17	34
1975	31.5	18.5	20.5	14.3	11	10	6	12	9	14	25	20	31.5
1976	26.5	15.1	21	25	12.8	9.1	3	9	6.2	23.4	23.4	13	26.5

S/D: Sin Dato


Tabla 62. Registro de Precipitaciones Máximas en 24 Horas (mm) -
Estación Chavín

		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
“MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA ESTABLECER LAS ZONAS INUNDABLES EN LA CUENCA DEL RÍO VIZCARRA, DEL ÁREA URBANA DE LOS DISTRITOS DE LA UNIÓN Y RIPÁN, HUÁNUCO 2021”													
ESTACIÓN METEOROLÓGICA CHAVÍN PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)													
TESISTA		Bachiller Kevin Joel Godoy Bernachea											
LONGITUD		77° 10´ 31.04" W					DEPARTAMENTO		Ancash				
LATITUD		9° 35´ 9.54" S					PROVINCIA		Huari				
ALTITUD		3140 m.s.n.m.					DISTRITO		Chavín de Huantar				
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	MAX.
1987	S/D	S/D	20	15	5.9	4.7	5.7	5.5	16.1	10	15.2	18.8	20
1988	23	17.9	12.5	22.1	5.1	0	0	0	15.9	13.8	17.6	13.6	23
1989	10.7	19.7	18.4	17.1	5.7	8.1	1.9	7.2	11.2	11.1	14.9	21.4	21.4
1990	13.4	19.9	22.5	13.1	10.1	15.5	7.7	0	11.2	26.3	11.9	19	26.3
1991	16.1	13.1	31.4	9.1	9.3	4.1	2.8	0	16	17	19.2	6.8	31.4
1992	16.1	17.7	13.8	9.8	0	2.8	2.4	14.4	3.7	9.8	14.4	21.1	21.1
1993	28.5	19.6	18.9	12.5	4.8	4.6	5	7.1	16.4	13.6	20.5	27.1	28.5
1994	20	29.6	18.9	16	6.9	9.5	0	0	19	15	21.5	12.7	29.6
1995	20	27.4	18.9	13.4	20.6	14.1	1	0	10.6	23.9	31.4	24.6	31.4
1996	16.6	19.8	17.5	35.4	8.9	2.4	0	8.8	11.1	11.3	12.3	10.1	35.4
1997	11.2	15.8	14.8	5.3	6	2.4	1.4	5.5	10.7	10.1	17.7	22.6	22.6
1998	24.9	18	14.1	12.8	4.6	1.9	0	3.7	4.3	9.3	27	10	27
1999	17.5	22.6	25.5	15.8	10.8	5.3	2.9	3.6	14	14.5	17	11.4	25.5
2000	14.6	14.5	20.7	12.4	7.7	3.2	5.7	12	5.8	4.8	14.4	12.8	20.7
2001	15.3	10	17	9.1	7.7	1.9	2.9	6.9	9.5	25.2	14.7	23.6	25.2
2002	16.3	16.2	21.8	16	8.4	0	11.4	2.6	9	14.2	11.7	19.3	21.8
2003	6.1	9.5	16.4	7	7	6.7	1	10	5.7	11.8	9.9	18.4	18.4
2004	7	17.9	8	4.4	6.7	6.6	5.2	2.9	7.8	10.3	19.7	12.3	19.7
2005	8.5	19.2	12.4	9.5	5.1	1.4	0.8	3.1	5.4	15.9	18.9	10.7	19.2
2006	8	13.6	13.7	13.1	6.6	23.2	3.7	5.1	14.4	11.6	22.2	13.2	23.2
2007	20.8	5.7	31.5	22.8	12.4	0.9	2.6	4.1	8.6	17.6	21.6	14.5	31.5
2008	15	13	11.7	14.3	5.8	8.5	1.7	3.8	7.5	17.8	11.3	12.3	17.8
2009	19.8	17.6	22.2	15.6	10.8	7.6	4.1	2.9	2.8	16.7	7.8	16.6	22.2
2010	13.9	22.2	11.9	7.8	13.1	2	7.5	1.6	10.8	15.4	12	14.2	22.2
2011	14.1	17	16.7	20	4.2	0	5	2.2	7.4	10.6	14	18.9	20
2012	14.2	28.4	17.8	17.6	8.6	4	0	4.3	8.8	9.3	11.7	14.1	28.4
2013	25.8	16.7	13.8	8.2	11	2.8	3.5	12.4	5.8	18.4	8.3	19.5	25.8
2014	19.9	20.6	15.6	18.2	13	1.3	1.1	0	11.7	20.7	13.6	13.2	20.7

2015	17.2	14.3	17.5	13.7	16.8	7.8	1.4	4.2	9	9.5	14.4	25.8	25.8
2016	5.4	30.5	13	22	5.3	4.2	2.3	2.9	12.8	20.9	12.5	14.4	30.5
2017	14.8	14	12.6	12.3	9.5	4	0	2.9	5	13.4	7.2	13.8	14.8
2018	21.2	13.2	14	10.4	9.4	5	2.8	4.9	12.5	9.5	8.7	24.9	24.9
2019	16.4	28.8	15.2	12.4	6.8	8.2	2.4	1	11.2	9.4	16.4	12.2	28.8
2020	7.2	24.6	10.4	8	10.4	1.8	6.2	0	10.2	6	27.2	19.2	27.2

S/D: Sin Dato

Tabla 63. Registro de Precipitaciones Máximas en 24 Horas (mm) -
Estación Huallanca

		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
“MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA ESTABLECER LAS ZONAS INUNDABLES EN LA CUENCA DEL RÍO VIZCARRA, DEL ÁREA URBANA DE LOS DISTRITOS DE LA UNIÓN Y RIPÁN, HUÁNUCO 2021”													
ESTACIÓN METEOROLÓGICA CHAVÍN PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)													
TESISTA		Bachiller Kevin Joel Godoy Bernachea											
LONGITUD		76° 46' 25" W					DEPARTAMENTO		Huánuco				
LATITUD		9° 43' 1" S					PROVINCIA		Dos de Mayo				
ALTITUD		3442 m.s.n.m.					DISTRITO		Pachas				
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	MAX.
2001	32	29	14.3	30	7.8	0	8	7.8	18.3	29.2	15.8	13.6	32
2002	9.1	31.2	24.6	16.1	12.3	0	13.6	0.8	10.3	24.9	15.3	21.3	31.2
2003	22.8	24.1	16.3	5.9	12.6	S/D	12	10.9	5.8	9.3	12.2	17.1	24.1
2006	S/D	30.5	13.8	26.4	5.9	13	3.7	8	14.5	17.6	20.5	14.1	30.5
2007	18.8	12.1	19.1	21.1	8.5	1.2	3.9	3.5	9	9.7	16.8	19.2	21.1
2008	17.8	18.5	12.8	14.5	7.8	7.3	0.6	1.1	7	14.6	13.2	17.9	18.5
2009	21.7	21.8	18.6	12.3	9.3	3.9	3.7	7.4	24.5	14.7	15.8	26.1	26.1
2010	16	21.9	22.1	20.2	9.2	4	4.4	3.3	8	18.5	S/D	17.2	22.1
2011	20.9	23.1	20.4	16.1	16.2	1.5	4.1	0.8	9.1	21.1	14.9	21.1	23.1
2012	15.6	29.1	19.9	24.9	6	8.1	0.8	17.1	7.2	10.7	20.2	26	29.1
2013	13.2	20.1	26.3	12.5	18.6	4.6	11.1	31.1	8.8	20.6	19.2	27	31.1
2014	18.6	34.5	27	17.9	12.6	2.1	3.7	2.2	14.6	12.4	20.3	19.6	34.5
2015	25	14.5	20	12.3	20.3	2.3	3.5	2.2	4.1	9.2	26.8	16.3	26.8
2016	11.9	S/D	10.7	27.1	8.4	1.6	0.4	17.7	8.4	19.2	14.2	16	27.1
2017	14.1	14.3	13.5	10.6	7.3	6.2	2	6.8	6.2	16	23	15.1	23
2018	26.3	13.9	17.6	20.7	16.8	1.9	2.1	4.6	14.8	10.9	11.4	14	26.3
2019	16.2	29	19.6	19.7	2.8	7.1	2.6	0	9.8	14.6	29.8	41.1	41.1
2020	12.1	9.4	7	5.9	14.3	7.8	4.6	8.2	14.7	14.8	22.6	22.9	22.9

S/D: Sin Dato

APÉNDICE N°3 – PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

A) DELIMITACIÓN Y PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Cuenca Hidrográfica del Río Vizcarra

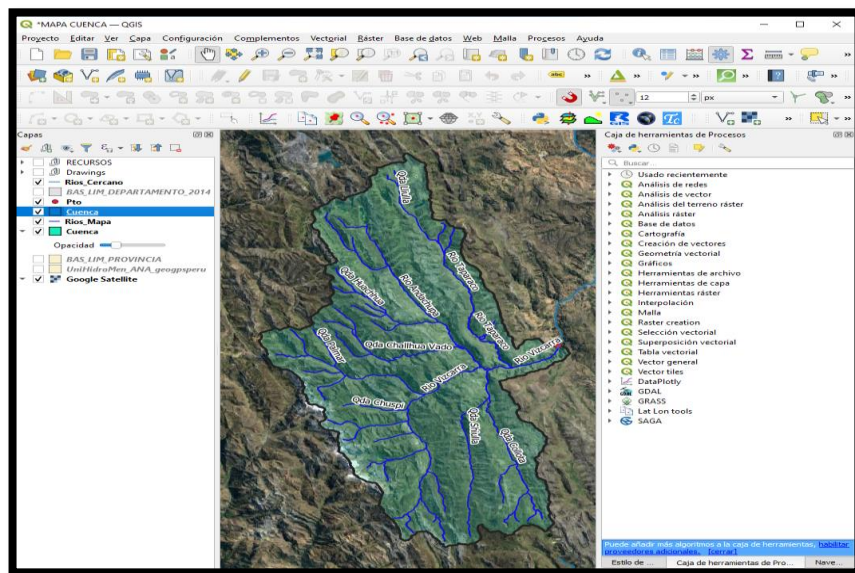
La cuenca del río Vizcarra se encuentra en un tramo naciente del río ,Marañón hasta donde se ubica el punto de estudio y pertenece a la región hidrográfica del Amazonas. Para a la investigación la delimitación del área de estudio se realizó en función del punto de salida ubicado con las coordenadas 302359.96 E y 8913265.03 S, tomando como referencia el tramo central del puente Bailey. La delimitación de la cuenca que nace en la provincia de Dos de Mayo y parte de Huamalíes en el departamento de Huánuco, y en la mayor parte de su área en la provincia de Bolognesi perteneciente al departamento de Ancash.

Delimitación de la Cuenca

Se estimó los parámetros morfométricos de la cuenca del río Vizcarra, para conocer más su comportamiento ante un a máxima avenida, definida por su forma relieve y drenaje.

Debido a que la forma de la cuenca es muy irregular para el presente proyecto se utilizó el software libre QGIS por su rápida, eficaz y preciso resultado.

Figura 49. Delimitación de la Cuenca Hidrográfica del Río Vizcarra



FUENTE: Software QGIS 3.16

Determinación de los Parámetros Geomorfológicos

El cálculo de los parámetros geomorfológicos de la cuenca fue evaluado sobre el área delimitada de la cuenca, por ello se utilizó el modelo digital de elevación con el empleo del software QGIS.

a) Parámetros de Forma de la Cuenca

Área y Perímetro

El área y perímetro fueron calculados de manera automática con el software QGIS con tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 65. Área y Perímetro de la Cuenca

Descripción	Valor	Und.
Área	1127.478	Km2
Perímetro	273.025	Km

Longitud Máxima del Cauce

Es la longitud tomada desde el punto de aforo hasta la parte más elevada del cauce de la cuenca.

Tabla 66. Longitud Máxima del Cauce de la Cuenca

Descripción	Valor	Und.
Longitud Máxima del Cauce	1127.478	Km

Centroide

Se determinó las coordenadas x, y así como la altitud del centroide de la cuenca en estudio.

Tabla 67. Centroide de la Cuenca

Descripción	Valor	Und.	
Centroides	Este X	287044.6	m
	Norte Y	8909690	m
	Altitud Z	4341	msnm

Coefficiente de Compacidad

Obtenido de los parámetros del perímetro y el área de la cuenca y su valor determina su forma.

Tabla 68. Coeficiente de Compacidad de la Cuenca

Descripción	Valor	Und.	Evaluación	Conclusión
Coeficiente de Compacidad	2.29	----	$K > 1.75$	Casi Rectangular (Alargada)

Factor Forma

El factor forma es el resultado del cociente entre área y la longitud del cauce al cuadrado.

Tabla 69. Factor Forma de la Cuenca

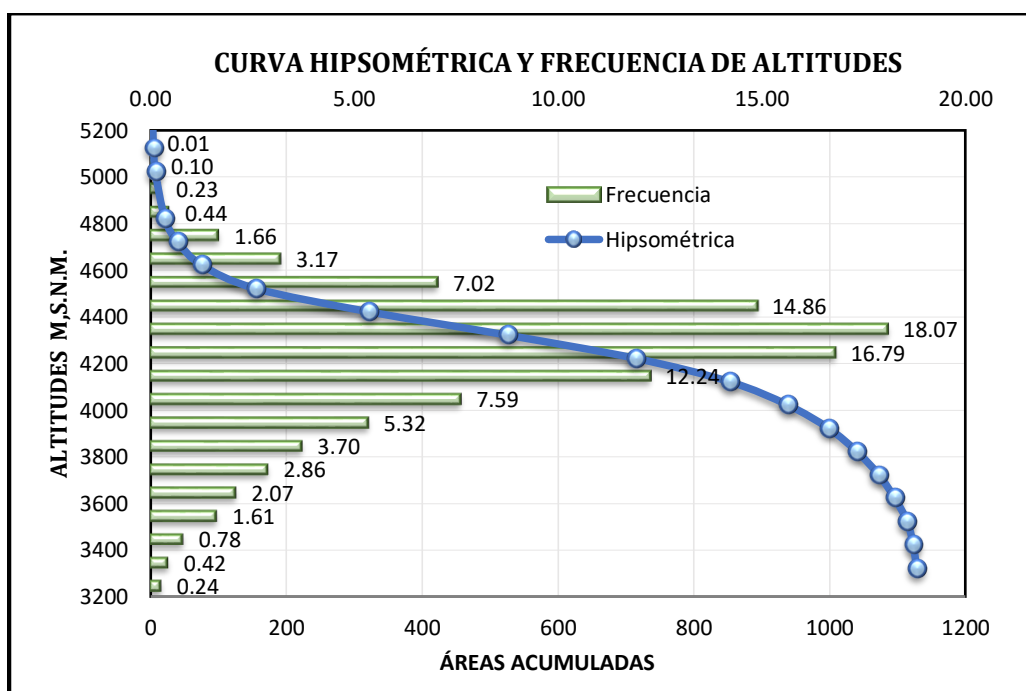
Descripción	Valor	Und.	Evaluación	Conclusión
Factor Forma	0.405	----	$0.37 < F < 0.45$	Ni alargada ni ensanchada

b) Parámetros de Relieve de la Cuenca

Curva Hipsométrica

Se muestra la curva hipsométrica y de frecuencia generado con los valores de altitud y áreas acumuladas entre curvas de nivel de la cuenca.

Figura 50. Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes



De acuerdo a la figura 50, la curva hipsométrica se asemeja a la Curva que representa una cuenca con gran potencial erosivo.

Altitud Media de la Cuenca

Corresponde a la altitud más frecuente dentro de la cuenca de estudio. A continuación, se calcula con la siguiente expresión.

$$Hm = 4864045.03/1127.47$$

$$Hm = 4315 \text{ msnm}$$

Pendiente Media de la Cuenca

La pendiente media de la cuenca es calculada con la siguiente expresión:

$$Pm = \frac{291932302}{7194123}$$

$$Pm = 40.58 \%$$

Altitud Mínima y Máxima de la Cuenca

Las altitudes fueron calculadas de manera automática con el software QGIS y se presentan en la tabla 70

Tabla 70. Altitud Mínima y Máxima de la Cuenca

Descripción	Valor	Und.
Altitud Mínima	3222	msnm
Altitud Máxima	5296	msnm

FUENTE: Elaboración Propia

c) Parámetros de la Red Hidrográfica de la Cuenca

Número de Orden de los Ríos

Para determinar el número máximo de orden de ríos, se utilizó como base el Shape del IGN bridado por la ANA que cuenta con los principales ríos de la zona de estudio, posteriormente se procesó utilizando el software QGIS.

Tabla 71. Número de Orden de Ríos de la Cuenca

Descripción	Cantidad	Und.
Número de orden de los ríos	Orden 1	682 ríos
	Orden 2	307 ríos
	Orden 3	114 ríos
	Orden 4	196 ríos
	Orden 5	49 ríos
	Orden 6	14 ríos
	Nº Total de ríos	1362 ríos
Grado de ramificación	6	-

Frecuencia de Densidad de los Ríos

La densidad de los ríos se calcula con el cociente de número total de ríos y el área de la cuenca.

$$Dr = \frac{1362}{1127.48}$$

$$Dr = 1.2 \text{ ríos}/\text{km}^2$$

Tabla 72. Densidad de los Ríos

Descripción	Valor	Und.	Evaluación	Conclusión
Densidad de Drenaje	1.2	ríos/km ²	$0.1 < D < 1.8$	Bajo drenaje

Altitudes de la Longitud Máxima del Cauce

La altitud de la longitud máxima del cauce es generada de manera automática con el software QGIS y mostrada en la tabla 73.

Tabla 73. Altitudes de la Longitud Máxima del Cauce

Descripción	Valor	Und.
Cotas de la Longitud Máxima del Cauce	Altitud máxima	5000 msnm
	Altitud mínima	3222 msnm

FUENTE: Elaboración Propia

Pendiente Media del Río Principal

La pendiente media del río principal es calculada con el método de Alvord y mostrada en la tabla 74.

Tabla 74. Pendiente Media del Río Principal

Descripción	Valor	Und.	Conclusión
Pendiente Media	3.02	%	La pendiente es moderada

B) TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Análisis de Datos Dudosos

Se realizó el análisis de datos dudosas de las 3 estaciones meteorológicas mostradas a continuación:

Tabla 75. Análisis de Datos Dudosos Estación Chavín

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	20.00	34.000
Sumatoria	832.00	46.942
Valor Máximo	35.40	1.549
Valor Mínimo	14.80	1.170
Media:	24.47	1.381
Varianza:	22.42	0.007
Desviación Estándar:	4.73	0.085
Coefficiente Variación:	0.19	0.062
Coefficiente de Sesgo:	0.26	-0.1856

Se Considera: Pruebas para detectar datos dudosos bajos

n= 34.00

Kn= 2.616

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

Umbral de datos dudosos bajos (**xL**)

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot s$$

xL= 1.16

Precipitación mínima aceptaba

PH= 10^{xH}

PL= 14.39 mm

Nota: Se observa que todos los valores de P24 están dentro de los límites PL, es decir se no existen datos dudosos mínimo de la muestra.

Tabla 76. Análisis de Datos Dudosos Estación Dos de Mayo

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	18.00	18.000
Sumatoria	490.60	25.693
Valor Máximo	41.10	1.614
Valor Mínimo	18.50	1.267
Media:	27.26	1.427
Varianza:	30.52	0.007
Desviación Estándar:	5.52	0.086
Coefficiente Variación:	0.20	0.060
Coefficiente de Sesgo:	0.78	0.2517

Se Considera: Pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos

n= 18.00

Kn= 2.335

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

Umbral de datos dudosos **altos (xH: unidad Log.)**

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s \quad \mathbf{xH= \quad 1.63}$$

Precipitación máxima aceptaba

$$\mathbf{PH= 10^{xH} \quad PH= \quad 42.40 \text{ mm}}$$

Umbral de datos dudosos **bajos (xL: unidad Log.)**

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot s \quad \mathbf{xL= \quad 1.23}$$

Precipitación mínima aceptaba

$$\mathbf{PL= 10^{xL} \quad PL= \quad 16.88 \text{ mm}}$$

Nota: Se observa que todos los valores de P24 están dentro de los límites PH y PL, es decir se no existen datos dudosos mínimo ni máximos de la muestra.

Tabla 77. Análisis de Datos Dudosos Estación Huallanca

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	13.00	13.0
Sumatoria	402.40	19.205
Valor Máximo	48.20	1.683
Valor Mínimo	18.00	1.255
Media:	30.95	1.477
Varianza:	65.31	0.013
Desviación Estándar:	8.08	0.112
Coficiente Variación:	0.26	0.076
Coficiente de Sesgo:	0.69	-0.0140

Se Considera: Pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos

n= 13.00

Kn= 2.175

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

Umbral de datos dudosos **altos (xH: unidad. Log.)**

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s \quad \mathbf{xH= \quad 1.72}$$

Precipitación máxima aceptaba

$$\mathbf{PH= 10^{xH} \quad PH= \quad 52.70 \text{ mm}}$$

Umbral de datos dudosos **bajos (xL: unidad. Log)**

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot s \quad \mathbf{xL= \quad 1.23}$$

Precipitación mínima aceptaba

$$\mathbf{PL= 10^{xL} \quad PL= \quad 17.09 \text{ mm}}$$

Nota: Se observa que todos los valores de precipitaciones están dentro de los límites PH y PL, es decir se no existen datos dudosos mínimo ni máximos de la muestra.

Análisis de Frecuencias

Para el análisis de frecuencia se utilizaron los registros de precipitaciones máximas en 24 horas, con la finalidad de seleccionar un modelo probabilístico que se mejor se ajuste al comportamiento de la información obtenida. En la presente investigación se consideró las distribuciones teóricas más usuales para eventos extremos:

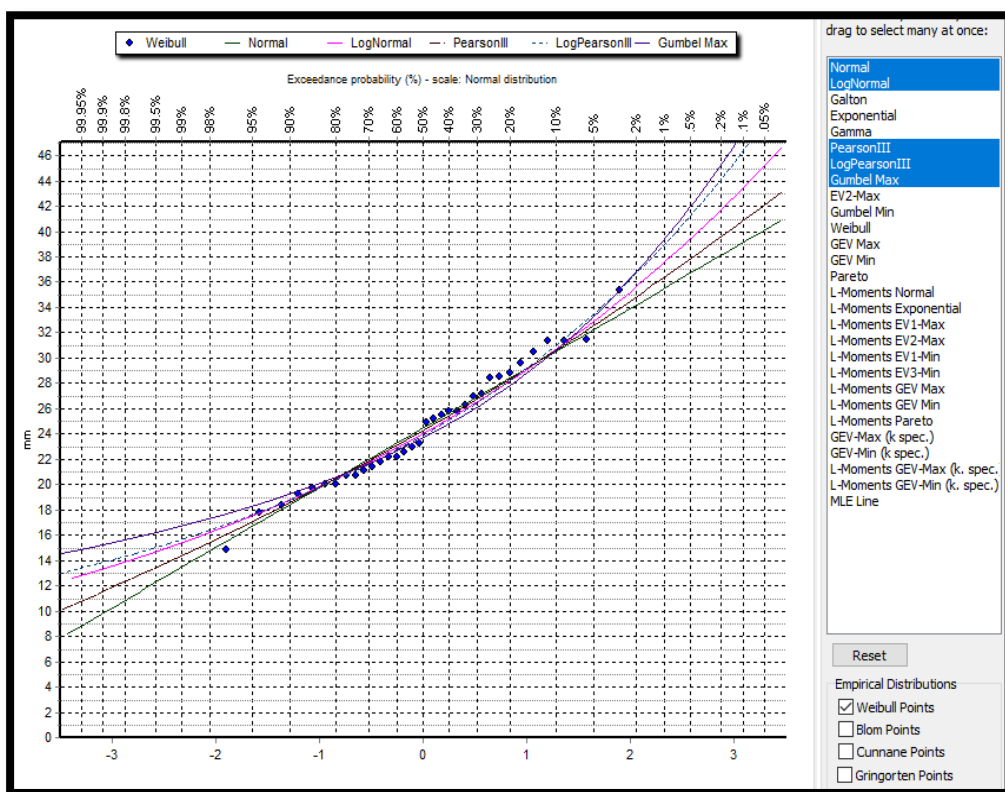
- Distribución normal
- Distribución Log normal
- Distribución Pearson tipo III
- Distribución Log Pearson tipo III
- Distribución Gumbel

Es importante mencionar que se realizó el análisis de frecuencias utilizando el software Hydrognomon, que nos permitió el análisis y procesamiento de los datos hidrológicos considerando las funciones de distribución. Para ello se ingresó los datos de las precipitaciones máximas anuales en 24 horas dentro del programa con una serie de tiempo, para obtener resultados gráficos de visualización y valores numéricos de las todas las distribuciones anteriormente mencionada. Las curvas de ajuste de las distribuciones para las estaciones en estudio se muestran a continuación.

Tabla 78. Prueba Smirnov Kolgomorov – Estación Chavín

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attaineda	DMax
Log Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.53%	0.06571
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.04%	0.06987
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.71%	0.0762
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	90.64%	0.0915
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	90.08%	0.09234

Figura 51. Curvas de Ajuste de Distribución – Estación Chavín

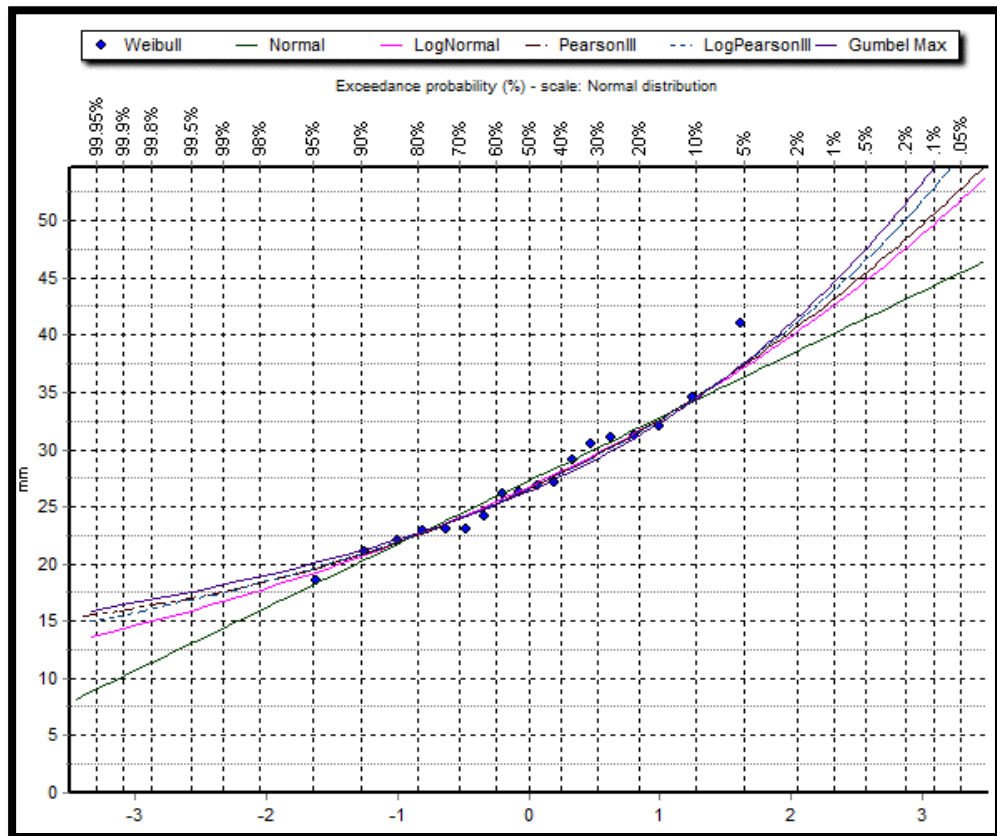


Fuente: Software Hydrognomon

Tabla 79. Prueba Smirnov Kolmogorov - Estación Dos de Mayo

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained	DMax
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.998258	0.07623
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.996177	0.08128
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.995715	0.08209
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.992406	0.08651
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.988444	0.09018

Figura 52. Curvas de Ajuste de Distribución – Estación Dos de Mayo



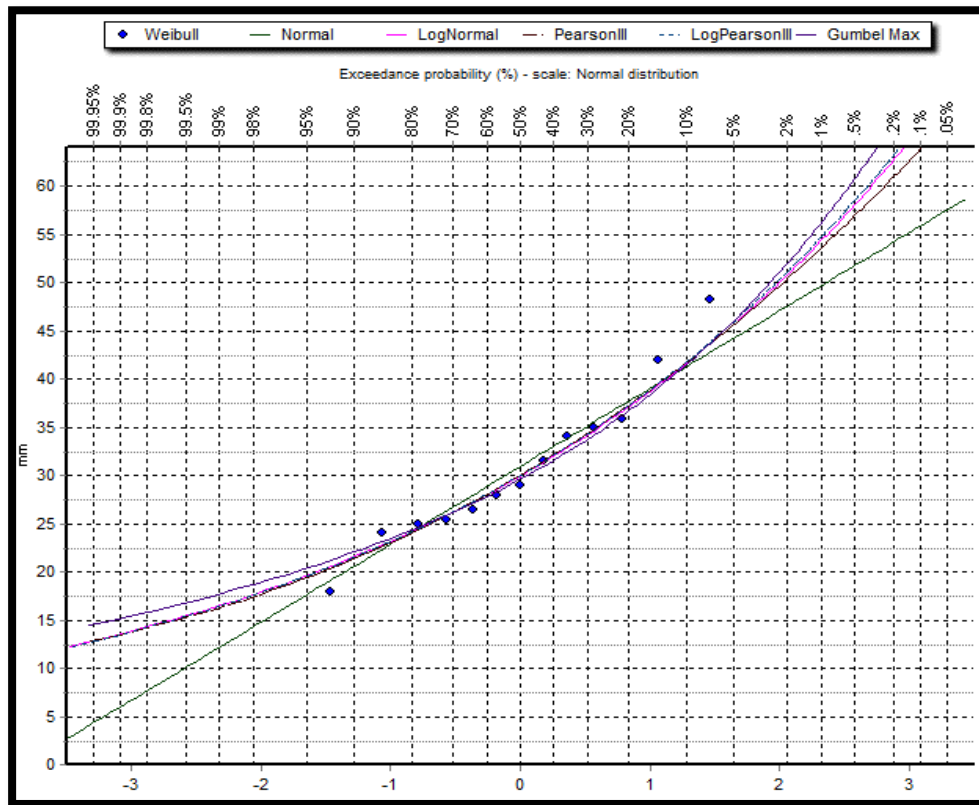
Fuente: Software Hydrognomon

Tabla 80. Prueba Smirnov Kolmogorov - Estación Huallanca

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained	DMax
Log Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	100.00%	0.05136
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	100.00%	0.05278
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	100.00%	0.05596
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.99%	0.06444
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.47%	0.09552

Fuente: Software Hydrognomon

Figura 53. Curvas de Ajuste de Distribución – Estación Huallanca



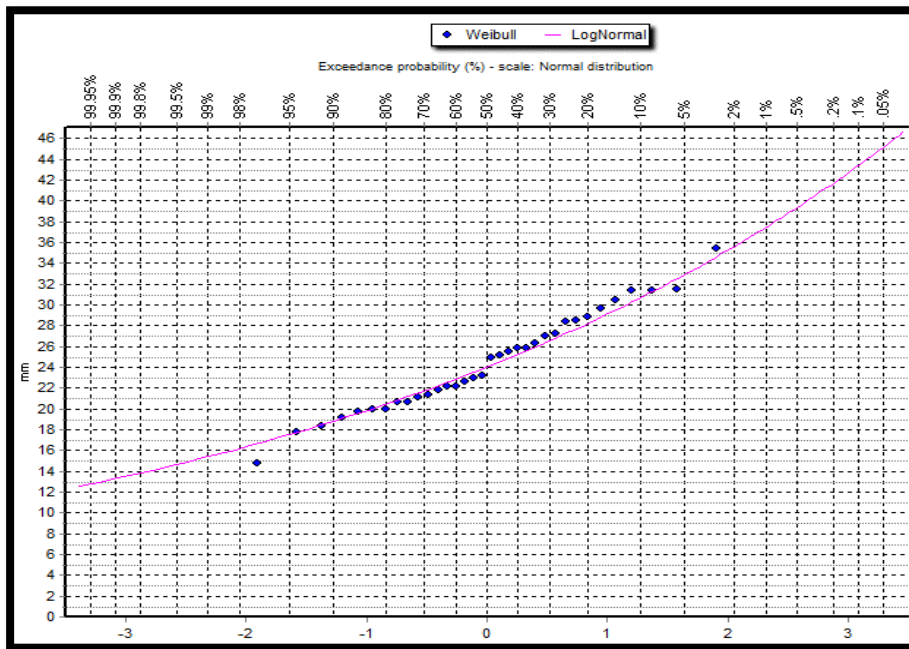
Fuente: Software Hydrognomon

Prueba de Bondad y Ajuste

La prueba de bondad y ajuste consiste en comprobar estadísticamente y mediante un gráfico, si la frecuencia empírica de la serie de análisis se ajusta a una función de probabilidad teórica seleccionada a priori. Para el análisis con el programa Hydrognomon se introdujeron los datos de Pp. Max. 24 hr. De cada estación, considerando un nivel de significancia de $\alpha= 0.05$ y mediante el método de Kilmogorov – Smirnov se realizó la comparación de las distribuciones probabilísticas.

a. Estación Chavín. El conjunto de datos de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Chavín tiene un mejor ajuste a la distribución Normal, debido a que el porcentaje de error es menor en comparación de otras distribuciones para un nivel de significancia de $\alpha= 0.05$, obteniendo un delta máximo de 0.0923.

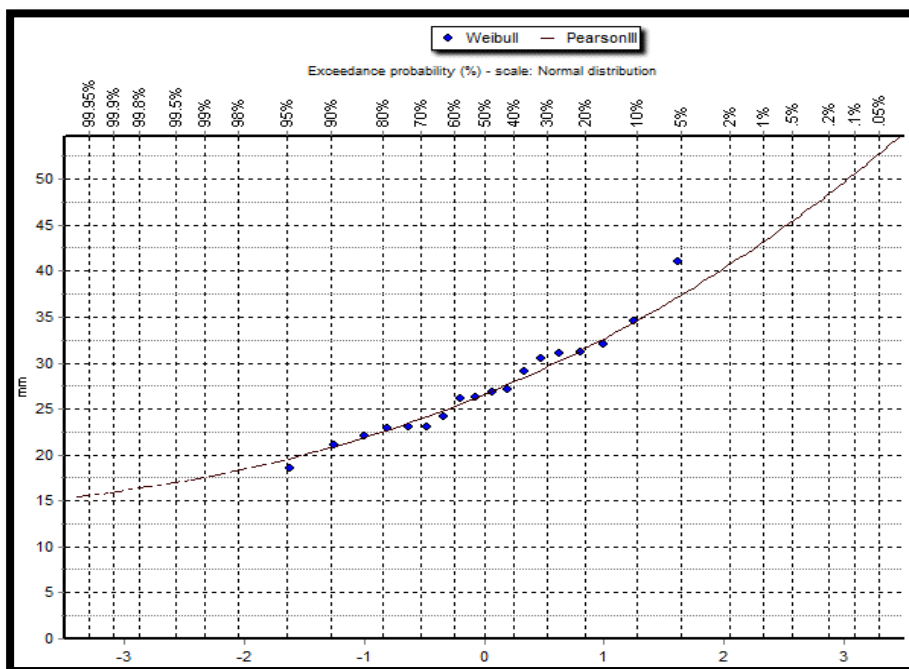
Figura 54. Función de Distribución Normal



Fuente: Software Hydrognomon

b. Estación Dos de Mayo. El conjunto de datos de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Dos de Mayo se ajusta mejor a una distribución de probabilidad Pearson III, debido a que el porcentaje de error es menor en comparación de otras distribuciones, para un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, se obtiene un delta máximo de 0.0902.

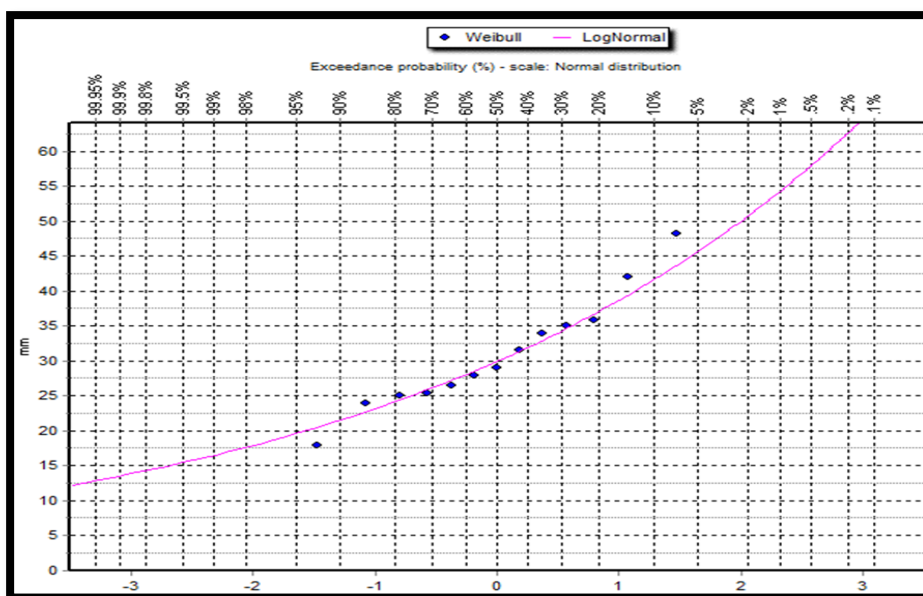
Figura 55. Función de Distribución Pearson III



Fuente: Software Hydrognomon

c. **Estación Huallanca.** El conjunto de datos de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Chiquián se ajusta mejor a una distribución de probabilidad Log Pearson III debido a que el porcentaje de error es menor en comparación de otras distribuciones, para un nivel de significancia de $\alpha= 0.05$, se obtiene un delta máximo de 0.0955.

Figura 56. Función de Distribución Log Normal



Fuente: Software Hydrognomon

Después de realizar el análisis anterior, Se concluye que las distribuciones que mejor se ajusta a la Estación Chavín es Log Normal, Estación Dos de Mayo es Pearson tipo III y la estación Huallanca es la distribución Normal.

Selección del Periodo de Retorno

Debido a que el proyecto de investigación cuenta con puentes vehiculares, peatonales y viviendas en las márgenes del río Vizcarra, la selección del periodo de retorno se encuentra en función al tipo de estructura, vida útil y riesgo admisible para proteger dichas estructuras.

Teniendo en cuenta que un evento extremo podría ocasionar daños a los pobladores y estructuras importantes, de acuerdo al Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje del M.T.C, en puentes y defensas ribereñas se ha considerado un riesgo admisible de $R=0.25$ y un tiempo de vida útil de $n=40$ años del cual se obtiene un periodo de retorno de 140 años para el análisis hidráulico por ser estructuras de vital importancia y las recomendadas

para la contención de inundaciones; para el análisis hidrológico los periodos de retorno de 100, 140 y 500 años para observar la evolución de los caudales y considerarse también periodos críticos ante la ocurrencia de una máxima avenida.

Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno

Las precipitaciones máximas corregidas para diferentes periodos de retorno fueron obtenidas con ayuda del software Hydrognomon aplicada a cada estación pluviométrica.

Tabla 81. Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Chavín

Periodo de Retorno T (años)	Pmax (mm)
100	37.528
140	38.428
500	41.716

Fuente: Software Hydrognomon

Tabla 82. Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Dos de Mayo

Periodo de Retorno T (años)	Pmax Corregido (mm)
100	43.160
140	44.290
500	48.404

Fuente: Software Hydrognomon

Tabla 83. Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Huallanca

Periodo de Retorno T (años)	Pmax Corregido (mm)
100	54.429
140	56.185
500	62.715

Fuente: Software Hydrognomon

Corrección de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno

Tabla 84. Precipitaciones Corregidas para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Chavín

Periodo de Retorno T (años)	Pmax Corregido (mm)	Probabilidad de no Excedencia
100	42.407	0.990
140	43.424	0.993
500	47.139	0.998

Tabla 85. Precipitaciones Corregidas para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Dos de Mayo

Periodo de Retorno T (años)	Pmax Corregido (mm)	Probabilidad de no Excedencia
100	48.771	0.990
140	50.047	0.993
500	54.697	0.998

Tabla 86. Precipitaciones Corregidas para Diferentes Periodos de Retorno - Estación Huallanca

Periodo de Retorno T (años)	Pmax Corregido (mm)	Probabilidad de no Excedencia
100	61.505	0.990
140	63.490	0.993
500	70.868	0.998

Cálculo de las curvas: Intensidad- Duración - Frecuencia (IDF)

La metodología aplicada es por medio del método de Dick y Peschke que consiste en disgregar la precipitación máxima de 24 horas de los diferentes periodos de retorno, en duraciones de 10, 20, 30, ..., 1440 minutos, con el objetivo de obtener las intensidades para diferentes duraciones y tiempos de periodo de retorno.

Tabla 87. Intensidades de Diseño para Duraciones Menores a 24 h. -

Estación Chavín

DURACIÓN		PERIODO DE RETORNO (AÑOS)		
Hr	min	100	140	500
0.17	10.00	73.45	75.21	81.65
0.33	20.00	43.67	44.72	48.55
0.50	30.00	32.22	33.00	35.82
0.67	40.00	25.97	26.59	28.87
0.83	50.00	21.97	22.49	24.42
1.00	60.00	19.16	19.62	21.30
1.50	90.00	14.14	14.47	15.71
2.00	120.00	11.39	11.67	12.66
4.00	240.00	6.77	6.94	7.53
6.00	360.00	5.00	5.12	5.56
7.00	420.00	4.45	4.56	4.95
8.00	480.00	4.03	4.12	4.48
10.00	600.00	3.41	3.49	3.79
11.00	660.00	3.17	3.25	3.53
12.00	720.00	2.97	3.04	3.30
24.00	1440.00	1.77	1.81	1.96

Figura 57. Curva IDF - Estación Chavín

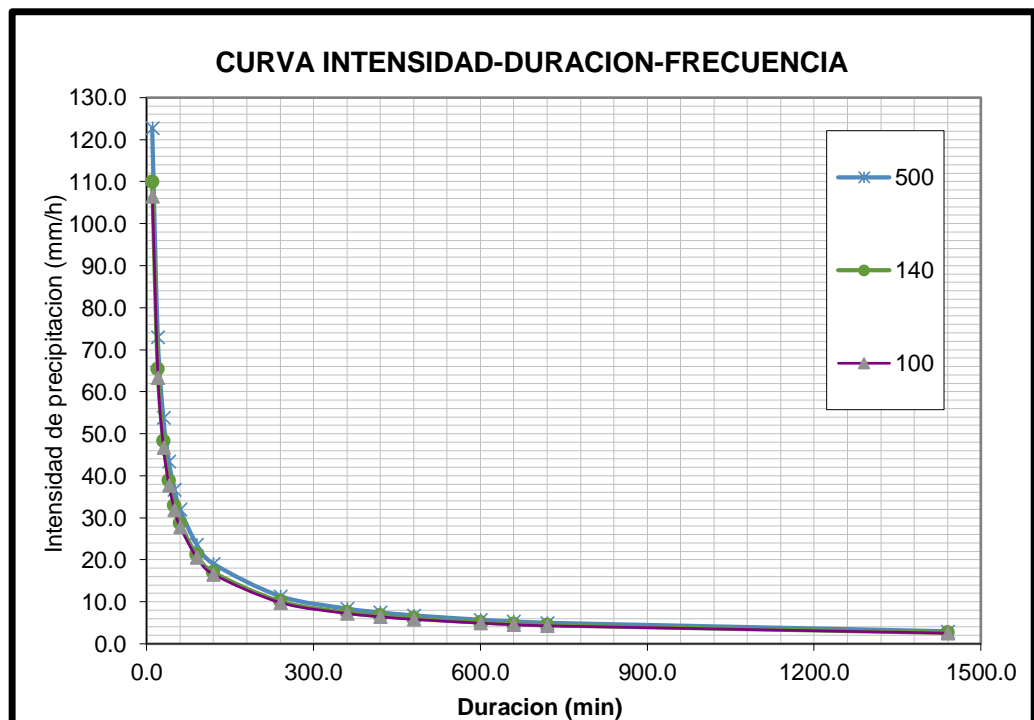


Tabla 88. Intensidades de Diseño para Duraciones Menores a 24 h. –
Estación Dos de Mayo

DURACIÓN		PERIODO DE RETORNO (AÑOS)		
Hr	min	100	140	500
0.17	10.00	84.47	86.68	94.74
0.33	20.00	50.23	51.54	56.33
0.50	30.00	37.06	38.03	41.56
0.67	40.00	29.87	30.65	33.49
0.83	50.00	25.26	25.92	28.33
1.00	60.00	22.03	22.61	24.71
1.50	90.00	16.26	16.68	18.23
2.00	120.00	13.10	13.44	14.69
4.00	240.00	7.79	7.99	8.74
6.00	360.00	5.75	5.90	6.45
7.00	420.00	5.12	5.25	5.74
8.00	480.00	4.63	4.75	5.20
10.00	600.00	3.92	4.02	4.39
11.00	660.00	3.65	3.74	4.09
12.00	720.00	3.42	3.51	3.83
24.00	1440.00	2.03	2.09	2.28

Figura 58. Curva IDF - Estación Dos de Mayo

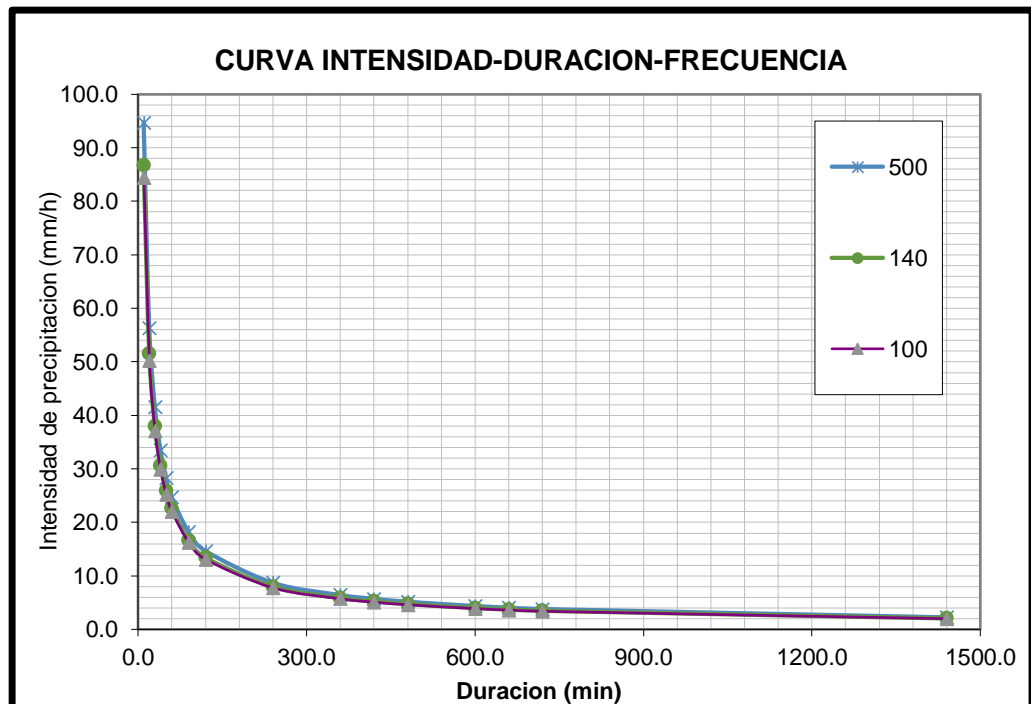
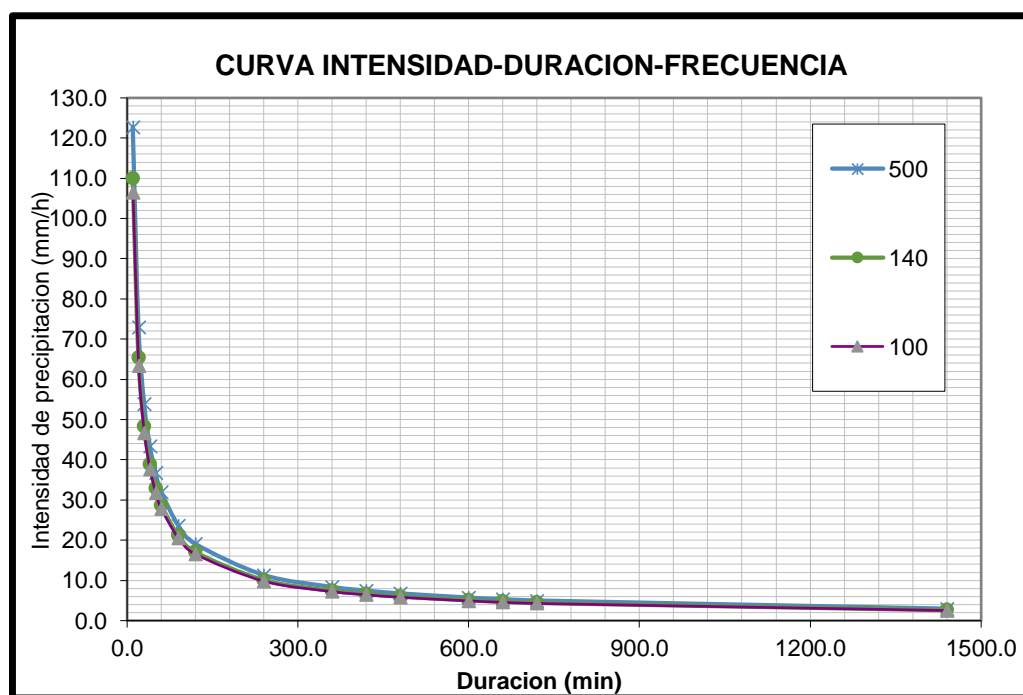


Tabla 89. Intensidades de Diseño para Duraciones Menores a 24 h. –
Estación Huallanca

DURACIÓN		PERIODO DE RETORNO (AÑOS)		
Hr	min	100	140	500
0.17	10.00	17.76	18.33	20.46
0.33	20.00	21.11	21.80	24.33
0.50	30.00	23.37	24.12	26.92
0.67	40.00	25.11	25.92	28.93
0.83	50.00	26.55	27.41	30.59
1.00	60.00	27.79	28.68	32.02
1.50	90.00	30.75	31.74	35.43
2.00	120.00	33.05	34.11	38.08
4.00	240.00	39.30	40.57	45.28
6.00	360.00	43.49	44.89	50.11
7.00	420.00	45.20	46.66	52.08
8.00	480.00	46.73	48.24	53.85
10.00	600.00	49.42	51.01	56.94
11.00	660.00	50.61	52.24	58.31
12.00	720.00	51.72	53.39	59.59
24.00	1440.00	61.505	63.490	70.868

Figura 59. Curva IDF - Estación Huallanca



Hietograma de Precipitación – Bloque Alterno

Para obtener el Hietograma de diseño a partir de las curvas IDF, utilizaremos las precipitaciones incrementales de manera alternada y considerando la precipitación máxima en el centro para periodos de retorno de la duración y lo restante alternado de manera descendente hacia la derecha e izquierda del bloque central. A continuación, se presenta los Hietogramas para un periodo de retorno de 100, 140 y 500 años de dichas precipitaciones en milímetros y la duración de la lluvia en minutos.

Periodo de Retorno $Tr=100$ años

Tabla 90. Hietograma de Precipitación $Tr=100$ años - Estación Chavín

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	18.384	18.384	18.384	0-60	0.431
120	10.931	21.862	3.478	60-120	0.460
180	8.065	24.195	2.332	120-180	0.495
240	6.500	25.999	1.804	180-240	0.537
300	5.498	27.490	1.492	240-300	0.588
360	4.795	28.772	1.282	300-360	0.653
420	4.272	29.903	1.130	360-420	0.736
480	3.865	30.918	1.015	420-480	0.850
540	3.538	31.842	0.924	480-540	1.015
600	3.269	32.692	0.850	540-600	1.282
660	3.044	33.480	0.788	600-660	1.804
720	2.851	34.216	0.736	660-720	3.478
780	2.685	34.908	0.692	720-780	18.384
840	2.540	35.561	0.653	780-840	2.332
900	2.412	36.179	0.619	840-900	1.492
960	2.298	36.768	0.588	900-960	1.130
1020	2.196	37.329	0.562	960-1020	0.924
1080	2.104	37.867	0.537	1020-1080	0.788
1140	2.020	38.382	0.515	1080-1140	0.692
1200	1.944	38.877	0.495	1140-1200	0.619
1260	1.874	39.354	0.477	1200-1260	0.562
1320	1.810	39.815	0.460	1260-1320	0.515
1380	1.750	40.260	0.445	1320-1380	0.477
1440	1.695	40.690	0.431	1380-1440	0.445

Figura 60. Hietograma de Precipitación Tr=100 años - Estación Chavín

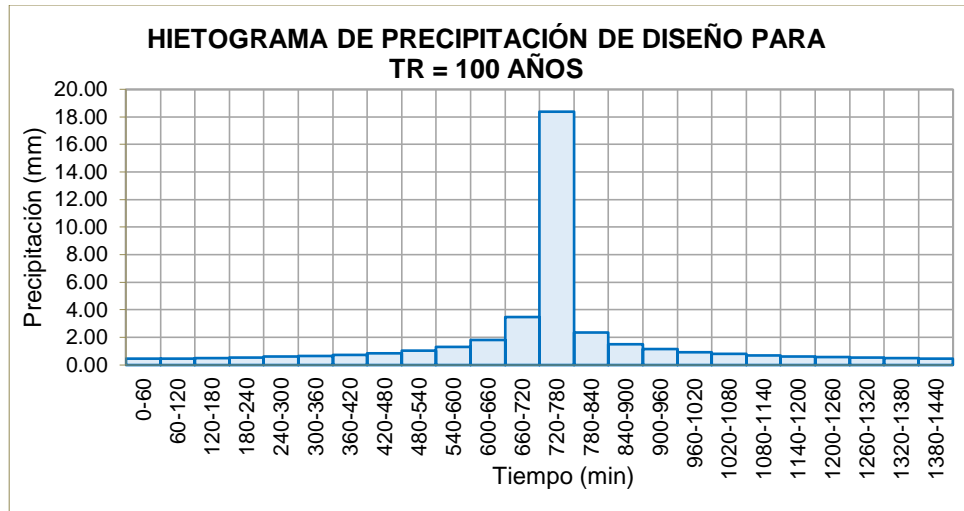


Tabla 91. Hietograma de Precipitación Tr=100 años - Estación Dos de Mayo

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	21.058	21.058	21.058	0-60	0.493
120	12.521	25.043	3.984	60-120	0.527
180	9.238	27.714	2.672	120-180	0.567
240	7.445	29.781	2.067	180-240	0.615
300	6.298	31.490	1.709	240-300	0.674
360	5.493	32.958	1.469	300-360	0.748
420	4.893	34.253	1.295	360-420	0.843
480	4.427	35.416	1.163	420-480	0.973
540	4.053	36.474	1.058	480-540	1.163
600	3.745	37.448	0.973	540-600	1.469
660	3.486	38.351	0.903	600-660	2.067
720	3.266	39.194	0.843	660-720	3.984
780	3.076	39.986	0.792	720-780	21.058
840	2.910	40.734	0.748	780-840	2.672
900	2.763	41.443	0.709	840-900	1.709
960	2.632	42.117	0.674	900-960	1.295
1020	2.515	42.760	0.643	960-1020	1.058
1080	2.410	43.375	0.615	1020-1080	0.903
1140	2.314	43.966	0.590	1080-1140	0.792
1200	2.227	44.533	0.567	1140-1200	0.709
1260	2.147	45.079	0.547	1200-1260	0.643
1320	2.073	45.607	0.527	1260-1320	0.590
1380	2.005	46.116	0.510	1320-1380	0.547
1440	1.942	46.610	0.493	1380-1440	0.510

Figura 61. Hietograma de Precipitación Tr=100 años - Estación Dos de Mayo

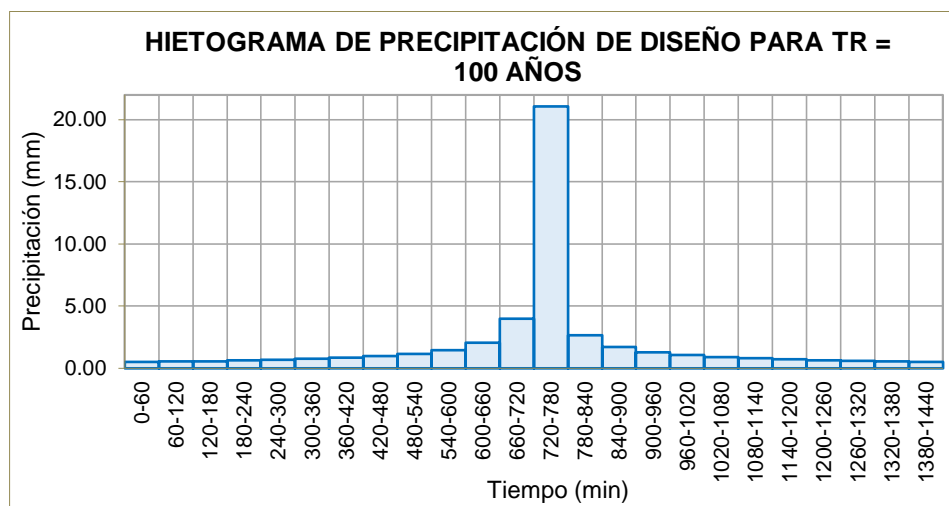
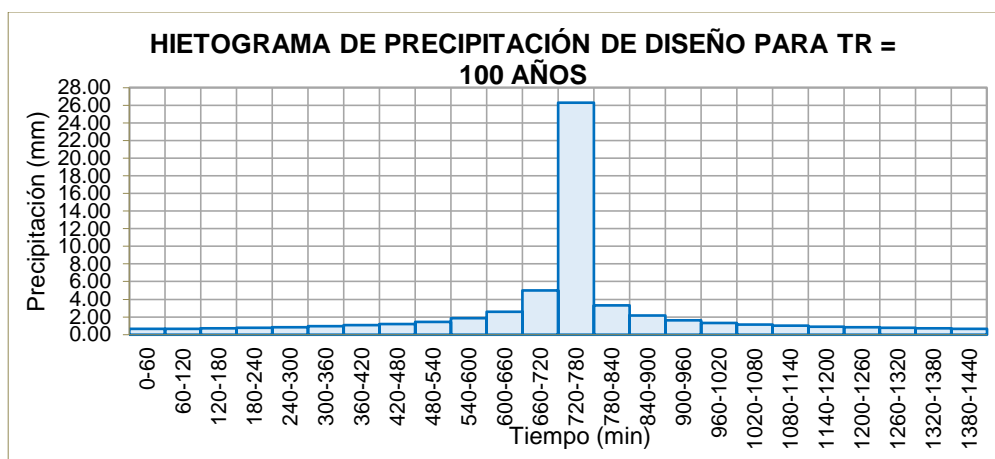


Tabla 92. Hietograma de Precipitación Tr=100 años - Estación Huallanca

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	26.292	26.292	26.292	0-60	0.616
120	15.633	31.267	4.975	60-120	0.658
180	11.534	34.602	3.336	120-180	0.708
240	9.296	37.183	2.580	180-240	0.768
300	7.863	39.316	2.133	240-300	0.842
360	6.858	41.149	1.834	300-360	0.934
420	6.109	42.766	1.617	360-420	1.053
480	5.527	44.218	1.452	420-480	1.215
540	5.060	45.539	1.321	480-540	1.452
600	4.675	46.755	1.215	540-600	1.834
660	4.353	47.882	1.127	600-660	2.580
720	4.078	48.935	1.053	660-720	4.975
780	3.840	49.924	0.989	720-780	26.292
840	3.633	50.858	0.934	780-840	3.336
900	3.450	51.743	0.885	840-900	2.133
960	3.287	52.584	0.842	900-960	1.617
1020	3.140	53.387	0.803	960-1020	1.321
1080	3.009	54.156	0.768	1020-1080	1.127
1140	2.889	54.893	0.737	1080-1140	0.989
1200	2.780	55.601	0.708	1140-1200	0.885
1260	2.680	56.283	0.682	1200-1260	0.803
1320	2.588	56.942	0.658	1260-1320	0.737
1380	2.503	57.578	0.636	1320-1380	0.682
1440	2.425	58.194	0.616	1380-1440	0.636

Figura 62. Hietograma de Precipitación Tr=100 años - Estación Huallanca



Periodo de Retorno Tr=140 años

Tabla 93. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Chavín

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	18.797	18.797	18.797	0-60	0.440
120	11.177	22.353	3.556	60-120	0.471
180	8.246	24.738	2.385	120-180	0.506
240	6.646	26.582	1.845	180-240	0.549
300	5.622	28.108	1.525	240-300	0.602
360	4.903	29.418	1.311	300-360	0.667
420	4.368	30.574	1.156	360-420	0.753
480	3.952	31.612	1.038	420-480	0.869
540	3.617	32.557	0.945	480-540	1.038
600	3.343	33.426	0.869	540-600	1.311
660	3.112	34.232	0.806	600-660	1.845
720	2.915	34.984	0.753	660-720	3.556
780	2.746	35.692	0.707	720-780	18.797
840	2.597	36.359	0.667	780-840	2.385
900	2.466	36.992	0.633	840-900	1.525
960	2.350	37.593	0.602	900-960	1.156
1020	2.245	38.167	0.574	960-1020	0.945
1080	2.151	38.717	0.549	1020-1080	0.806
1140	2.065	39.244	0.527	1080-1140	0.707
1200	1.988	39.750	0.506	1140-1200	0.633
1260	1.916	40.238	0.488	1200-1260	0.574
1320	1.850	40.709	0.471	1260-1320	0.527
1380	1.790	41.163	0.455	1320-1380	0.488
1440	1.733	41.604	0.440	1380-1440	0.455

Figura 63. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Chavín

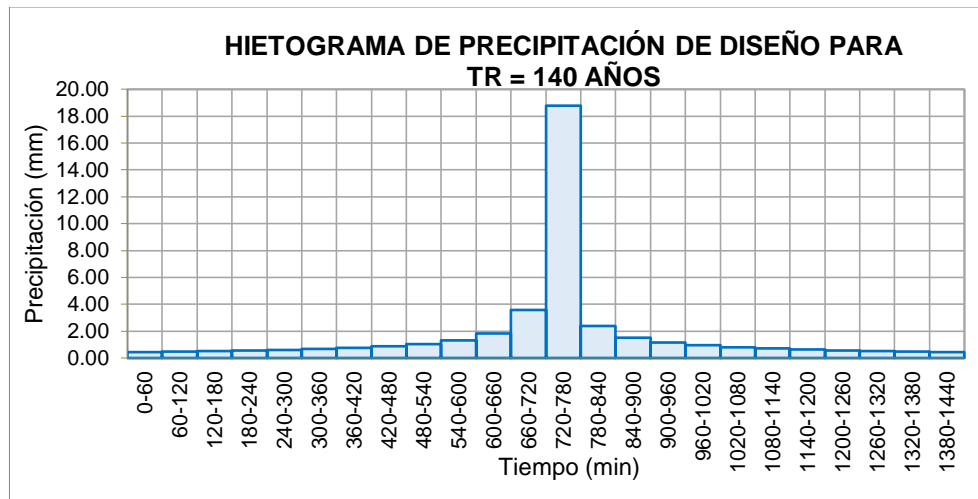


Tabla 94. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Dos de Mayo

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	21.578	21.578	21.578	0-60	0.505
120	12.830	25.661	4.083	60-120	0.540
180	9.466	28.398	2.738	120-180	0.581
240	7.629	30.516	2.118	180-240	0.631
300	6.453	32.267	1.751	240-300	0.691
360	5.629	33.771	1.505	300-360	0.766
420	5.014	35.098	1.327	360-420	0.864
480	4.536	36.290	1.191	420-480	0.998
540	4.153	37.374	1.084	480-540	1.191
600	3.837	38.372	0.998	540-600	1.505
660	3.572	39.297	0.925	600-660	2.118
720	3.347	40.161	0.864	660-720	4.083
780	3.152	40.973	0.812	720-780	21.578
840	2.981	41.739	0.766	780-840	2.738
900	2.831	42.465	0.726	840-900	1.751
960	2.697	43.156	0.691	900-960	1.327
1020	2.577	43.815	0.659	960-1020	1.084
1080	2.469	44.446	0.631	1020-1080	0.925
1140	2.371	45.051	0.605	1080-1140	0.812
1200	2.282	45.632	0.581	1140-1200	0.726
1260	2.200	46.192	0.560	1200-1260	0.659
1320	2.124	46.732	0.540	1260-1320	0.605
1380	2.055	47.255	0.522	1320-1380	0.560
1440	1.990	47.760	0.505	1380-1440	0.522

Figura 64. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Dos de Mayo

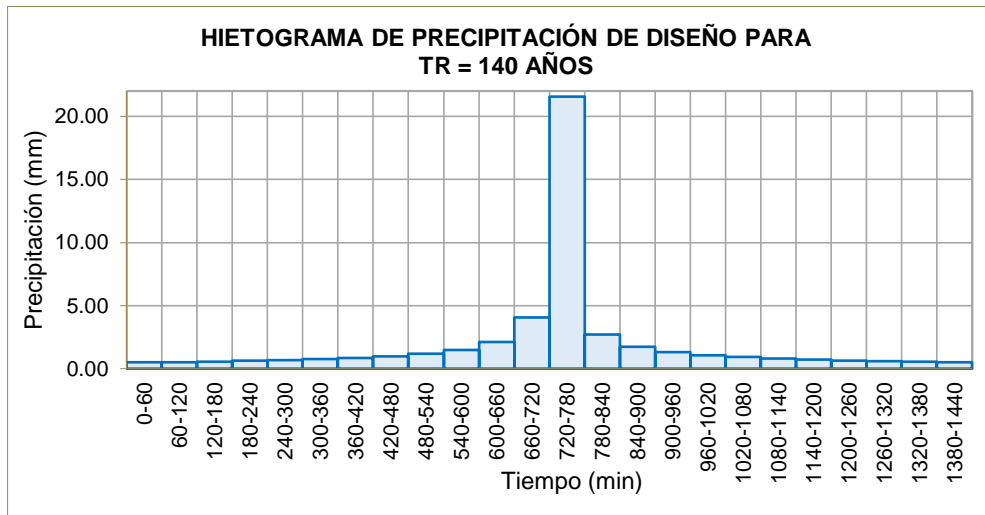
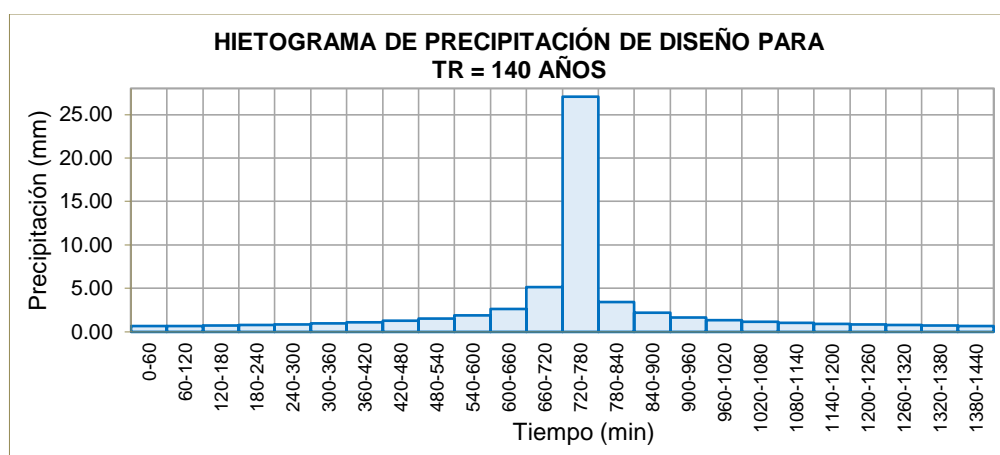


Tabla 95. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Huallanca

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	27.086	27.086	27.086	0-60	0.634
120	16.105	32.210	5.125	60-120	0.678
180	11.882	35.647	3.436	120-180	0.730
240	9.576	38.305	2.658	180-240	0.792
300	8.101	40.503	2.198	240-300	0.867
360	7.065	42.391	1.889	300-360	0.962
420	6.294	44.057	1.666	360-420	1.085
480	5.694	45.552	1.496	420-480	1.252
540	5.213	46.914	1.361	480-540	1.496
600	4.817	48.166	1.252	540-600	1.889
660	4.484	49.327	1.161	600-660	2.658
720	4.201	50.412	1.085	660-720	5.125
780	3.956	51.431	1.019	720-780	27.086
840	3.742	52.393	0.962	780-840	3.436
900	3.554	53.304	0.912	840-900	2.198
960	3.386	54.171	0.867	900-960	1.666
1020	3.235	54.999	0.827	960-1020	1.361
1080	3.099	55.790	0.792	1020-1080	1.161
1140	2.976	56.549	0.759	1080-1140	1.019
1200	2.864	57.279	0.730	1140-1200	0.912
1260	2.761	57.982	0.703	1200-1260	0.827
1320	2.666	58.660	0.678	1260-1320	0.759
1380	2.579	59.316	0.656	1320-1380	0.703
1440	2.498	59.950	0.634	1380-1440	0.656

Figura 65. Hietograma de Precipitación Tr=140 años - Estación Huallanca



Periodo de Retorno TR=500 Años

Tabla 96. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Chavín

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	20.443	20.443	20.443	0-60	0.479
120	12.156	24.311	3.868	60-120	0.512
180	8.968	26.905	2.594	120-180	0.551
240	7.228	28.911	2.006	180-240	0.597
300	6.114	30.570	1.659	240-300	0.654
360	5.333	31.996	1.426	300-360	0.726
420	4.750	33.253	1.257	360-420	0.819
480	4.298	34.382	1.129	420-480	0.945
540	3.934	35.409	1.027	480-540	1.129
600	3.635	36.354	0.945	540-600	1.426
660	3.385	37.231	0.877	600-660	2.006
720	3.171	38.050	0.819	660-720	3.868
780	2.986	38.819	0.769	720-780	20.443
840	2.825	39.545	0.726	780-840	2.594
900	2.682	40.232	0.688	840-900	1.659
960	2.555	40.887	0.654	900-960	1.257
1020	2.442	41.511	0.624	960-1020	1.027
1080	2.339	42.109	0.597	1020-1080	0.877
1140	2.246	42.682	0.573	1080-1140	0.769
1200	2.162	43.233	0.551	1140-1200	0.688
1260	2.084	43.763	0.531	1200-1260	0.624
1320	2.013	44.275	0.512	1260-1320	0.573
1380	1.947	44.770	0.495	1320-1380	0.531
1440	1.885	45.249	0.479	1380-1440	0.495

Figura 66. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Chavín

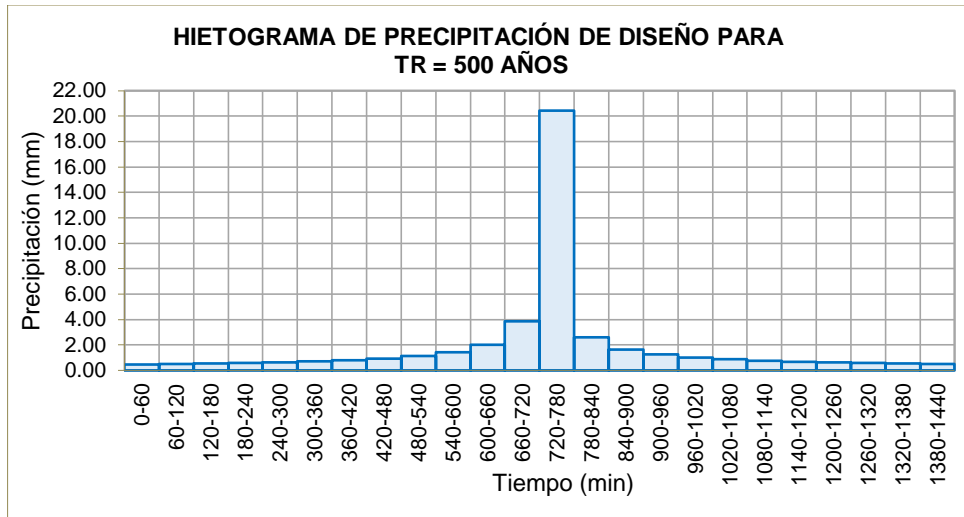


Tabla 97. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Dos de Mayo

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	23.663	23.663	23.663	0-60	0.554
120	14.070	28.140	4.477	60-120	0.593
180	10.381	31.142	3.002	120-180	0.638
240	8.366	33.464	2.322	180-240	0.692
300	7.077	35.384	1.920	240-300	0.757
360	6.172	37.034	1.650	300-360	0.840
420	5.498	38.489	1.455	360-420	0.948
480	4.974	39.796	1.307	420-480	1.094
540	4.554	40.985	1.189	480-540	1.307
600	4.208	42.079	1.094	540-600	1.650
660	3.918	43.094	1.015	600-660	2.322
720	3.670	44.041	0.948	660-720	4.477
780	3.456	44.932	0.890	720-780	23.663
840	3.269	45.772	0.840	780-840	3.002
900	3.105	46.568	0.796	840-900	1.920
960	2.958	47.325	0.757	900-960	1.455
1020	2.826	48.048	0.723	960-1020	1.189
1080	2.708	48.740	0.692	1020-1080	1.015
1140	2.600	49.403	0.663	1080-1140	0.890
1200	2.502	50.041	0.638	1140-1200	0.796
1260	2.412	50.655	0.614	1200-1260	0.723
1320	2.329	51.247	0.593	1260-1320	0.663
1380	2.253	51.820	0.573	1320-1380	0.614
1440	2.182	52.374	0.554	1380-1440	0.573

Figura 67. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Dos de Mayo

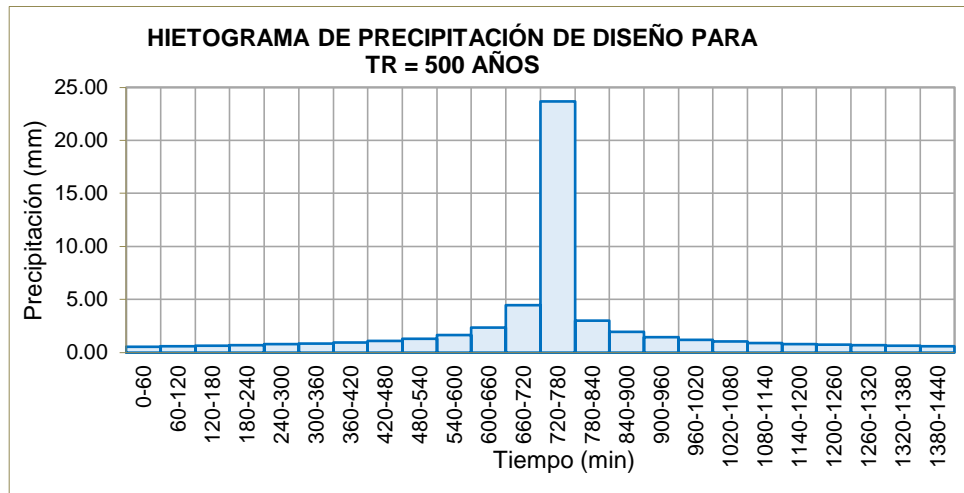
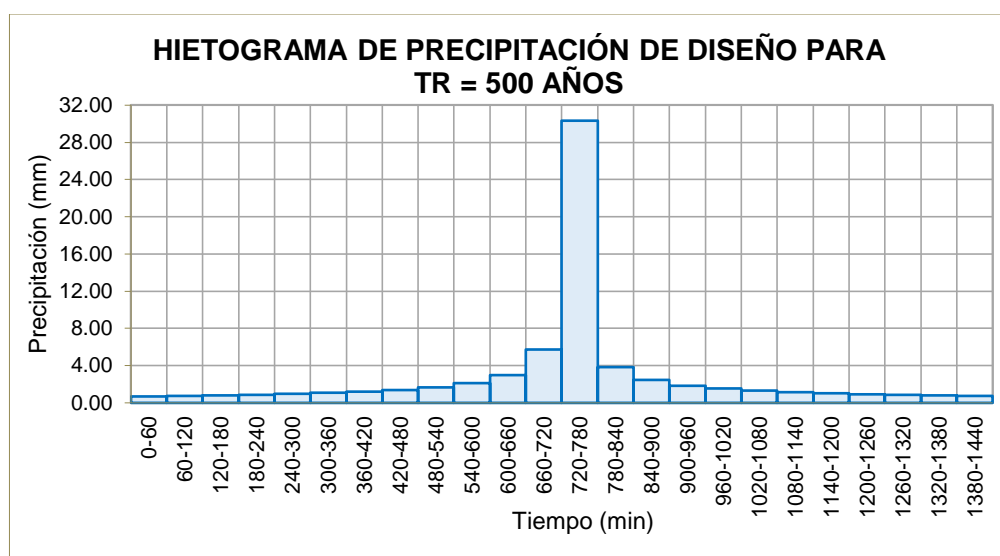


Tabla 98. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Huallanca

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO						
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIP.	
min	mm/hr	mm	mm	min	mm	
60	30.311	30.311	30.311	0-60	0.710	
120	18.023	36.045	5.735	60-120	0.759	
180	13.297	39.891	3.845	120-180	0.817	
240	10.716	42.866	2.975	180-240	0.886	
300	9.065	45.325	2.459	240-300	0.970	
360	7.906	47.439	2.114	300-360	1.076	
420	7.043	49.302	1.864	360-420	1.214	
480	6.372	50.976	1.674	420-480	1.401	
540	5.833	52.499	1.523	480-540	1.674	
600	5.390	53.901	1.401	540-600	2.114	
660	5.018	55.200	1.300	600-660	2.975	
720	4.701	56.414	1.214	660-720	5.735	
780	4.427	57.554	1.140	720-780	30.111	
840	4.188	58.631	1.076	780-840	3.845	
900	3.977	59.651	1.020	840-900	2.459	
960	3.789	60.621	0.970	900-960	1.864	
1020	3.620	61.547	0.926	960-1020	1.523	
1080	3.468	62.433	0.886	1020-1080	1.300	
1140	3.331	63.282	0.850	1080-1140	1.140	
1200	3.205	64.099	0.817	1140-1200	1.020	
1260	3.090	64.886	0.787	1200-1260	0.926	
1320	2.984	65.645	0.759	1260-1320	0.850	
1380	2.886	66.378	0.734	1320-1380	0.787	
1440	2.795	67.088	0.710	1380-1440	0.734	

Figura 68. Hietograma de Precipitación Tr=500 años - Estación Huallanca



Determinación del Número de Curva CN.

Los años elegidos corresponden a los últimos 5 años de la estación más influyente en la cuenca de estudio. Así mismo los meses y días corresponden a las precipitaciones máximas en esas fechas, finalmente se obtuvo la sumatoria de los 5 días antecedentes a las fechas elegidas mostradas en la siguiente tabla.

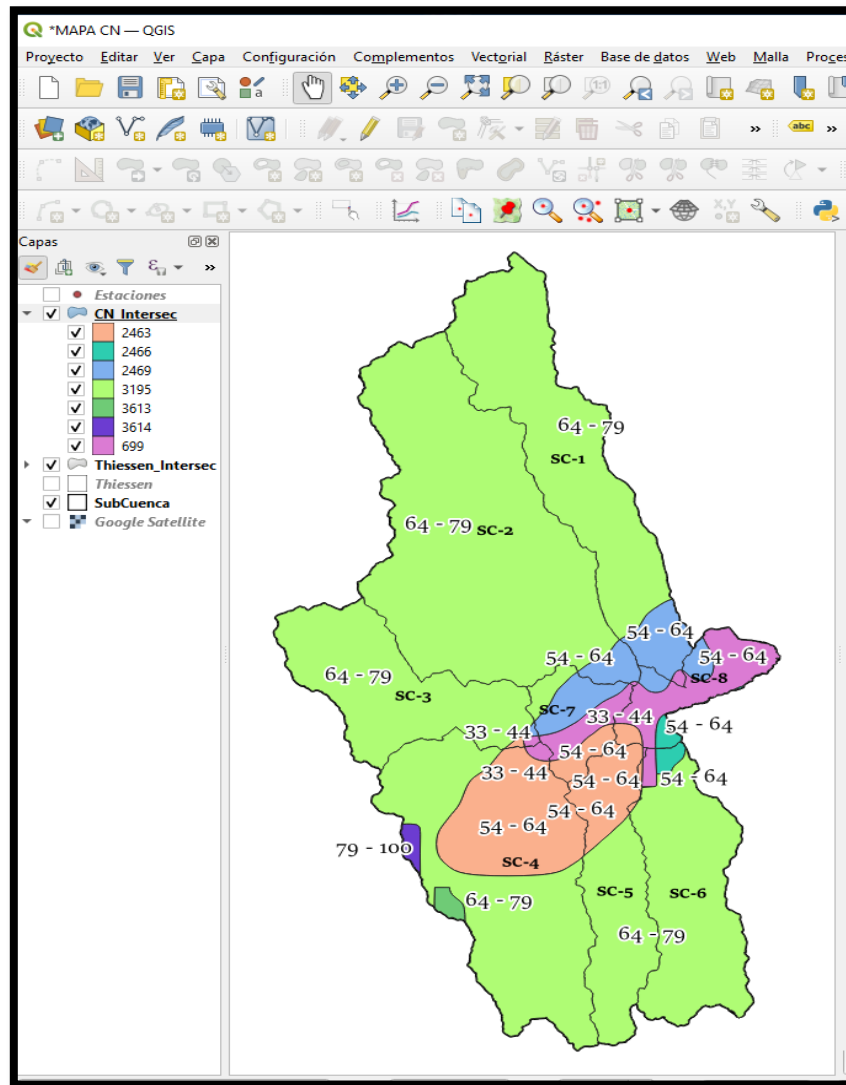
Tabla 99. Precipitación Promedio de las Condiciones de Humedad

ESTACIÓN HUALLANCA				
Años	Mes	Día	PP Max	∑5d. Antes
1972	Noviembre	24	28	19.9
1973	Febrero	4	25	18.6
1974	Abril	30	34	18.7
1975	Enero	16	31.5	27
1976	Enero	30	26.5	24
Promedio				21.64

Se observa que de las precipitaciones acumuladas de los últimos 5 días desde el año 1972 hasta 1976, no sobrepasan a la precipitación de la estación de crecimiento de un valor de 35.6 mm, por lo que se consideran suelos en condiciones secas (AMC I).

Teniendo en cuenta las condiciones del suelo, se procede a elegir el shape del mapa de número de curva en condiciones secas proporcionada por el ANA. Con ayuda del software Qgis se adecua el mapa y se intercepta con la cuenca de estudio y mostrada a continuación.

Figura 69. Número de Curva de la Cuenca del Río Vizcarra



FUENTE: Software QGIS 3.16

Se observa el resultado final de los valores del número de curva en la cuenca del río Vizcarra asignados a cada subcuenca, siendo el intervalo de 64-79 con mayor influencia y la de menor influencia el intervalor de 79-100 correspondiente a la parte mas alejada de la cuenca. La parte central corresponde a l intervalo de 54-64 y la parte mas baja tambien al intervalo de 54-64.

Finalmente se elige el número de curva representativo para cada subcuenca que se encuentra dentro de los intervalos presentados en el anterior mapa y resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 100. Curva Número Asignada para cada Subcuenca

SUBCUENCA	NC
Subcuenca 1	71
Subcuenca 2	71
Subcuenca 3	71
Subcuenca 4	68
Subcuenca 5	68
Subcuenca 6	70
Subcuenca 7	55
Subcuenca 8	45

Se observa que el valor del número de curva asciende proporcionalmente a la atitud de cada subcuenca estableciendo su valor mínimo desde un CN=45 para la subcuenca 8 y un CN=71 para las subcuencas 1, 2 y 3 como valor máximo.

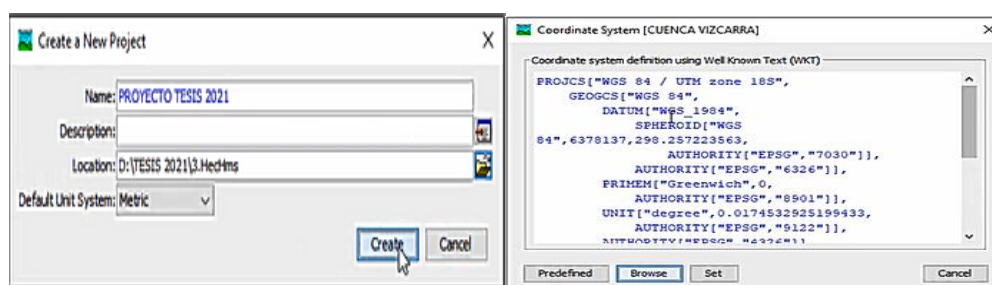
b) Modelización Hidrológica con HEC-HMS

Modelo de Cuenca

Este modelo representa la parte física de la cuenca que conecta los elementos hidrológicos como la subcuenca, unión, salida Con ayuda del software HecHms 4.7,

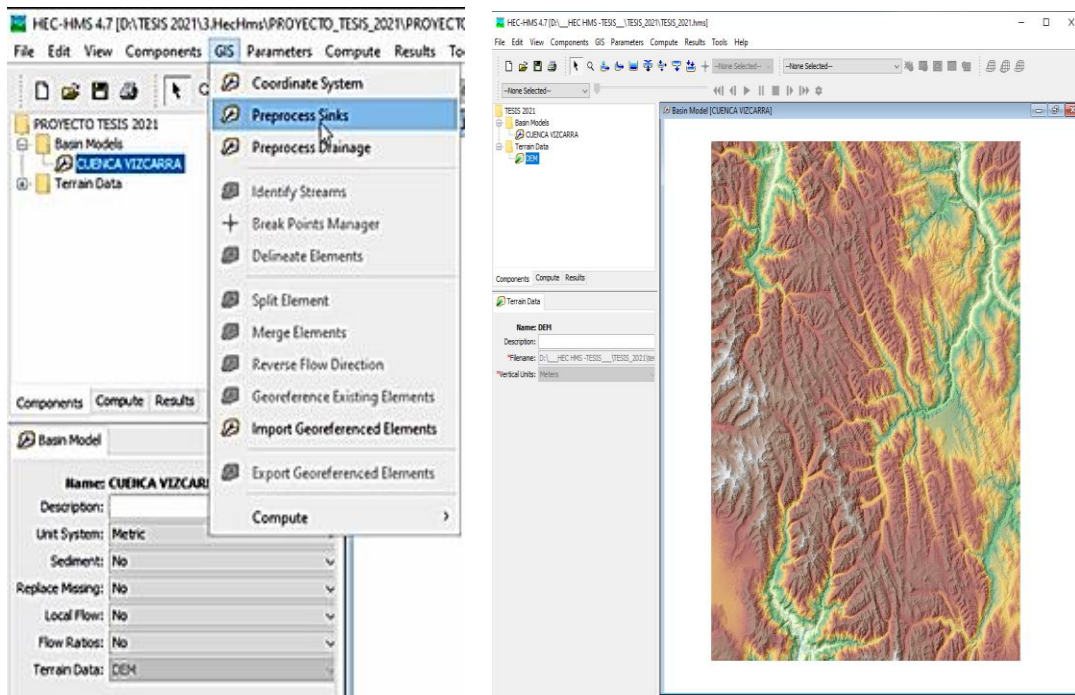
Haciendo uso de la nueva herramienta GIS contenida en el programa, se delimito la cuenca en 8 subcuencas y 5 tramos de río siguiendo los pasos presentados a continuación.

Figura 70. Creación de un Nuevo proyecto y Georreferenciación del Modelo



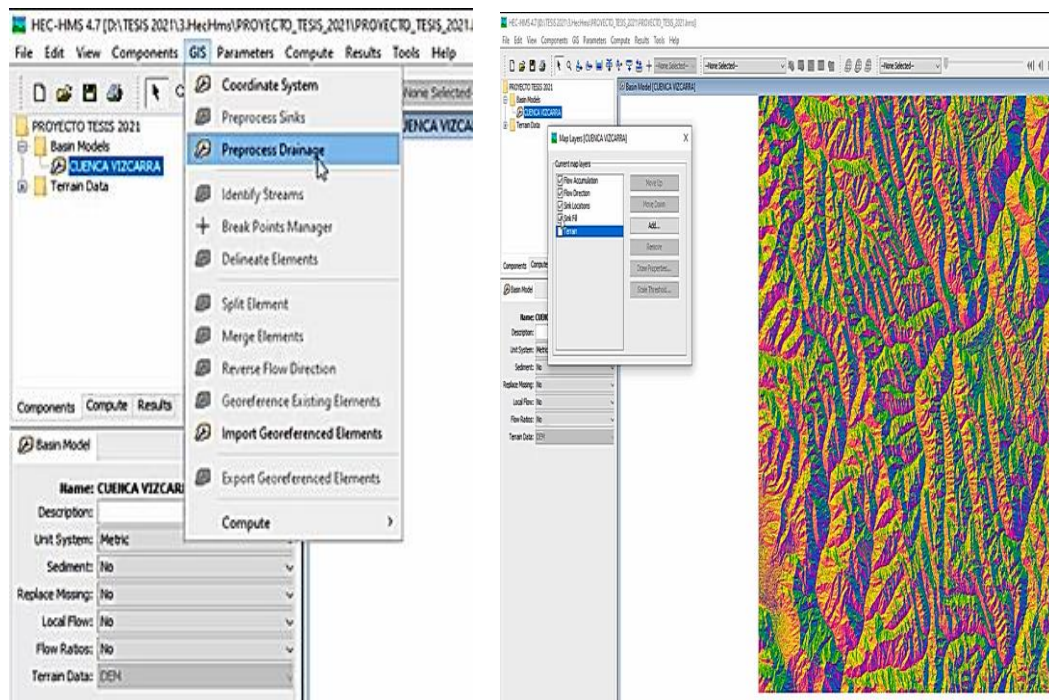
FUENTE: Software HEC-HMS 4.7

Figura 71. Corrección de Vacíos del MDT con la Herramienta SINKS



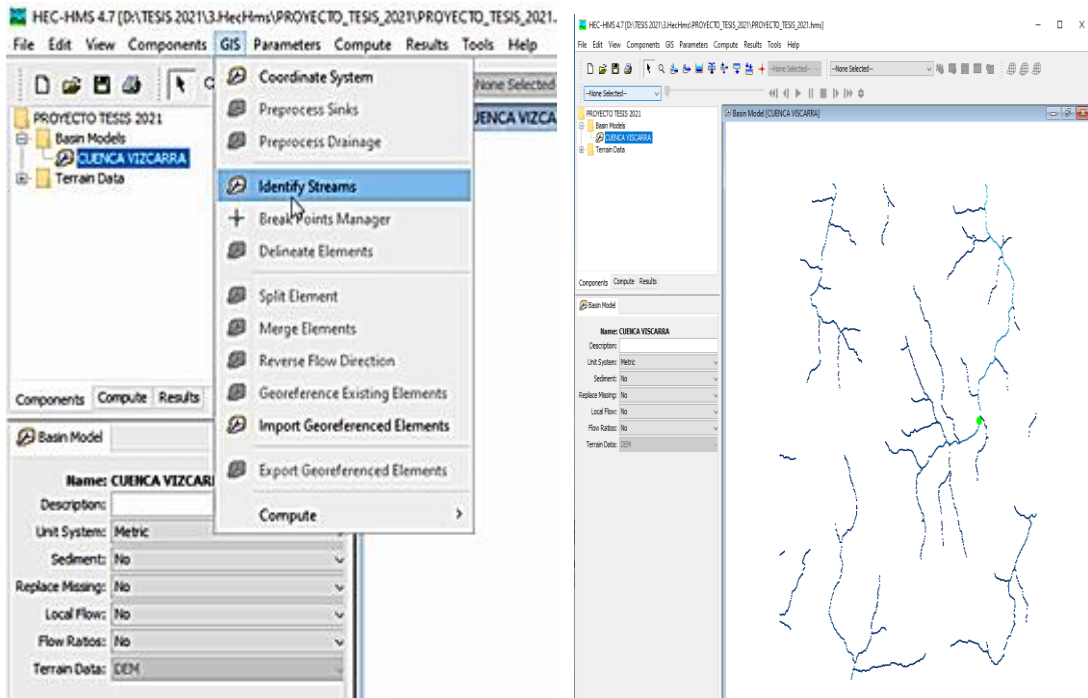
FUENTE: Software HEC-HMS 4.7

Figura 72. Generación de la Acumulación y Dirección del Flujo del MDT con la Herramienta DRAINAGE



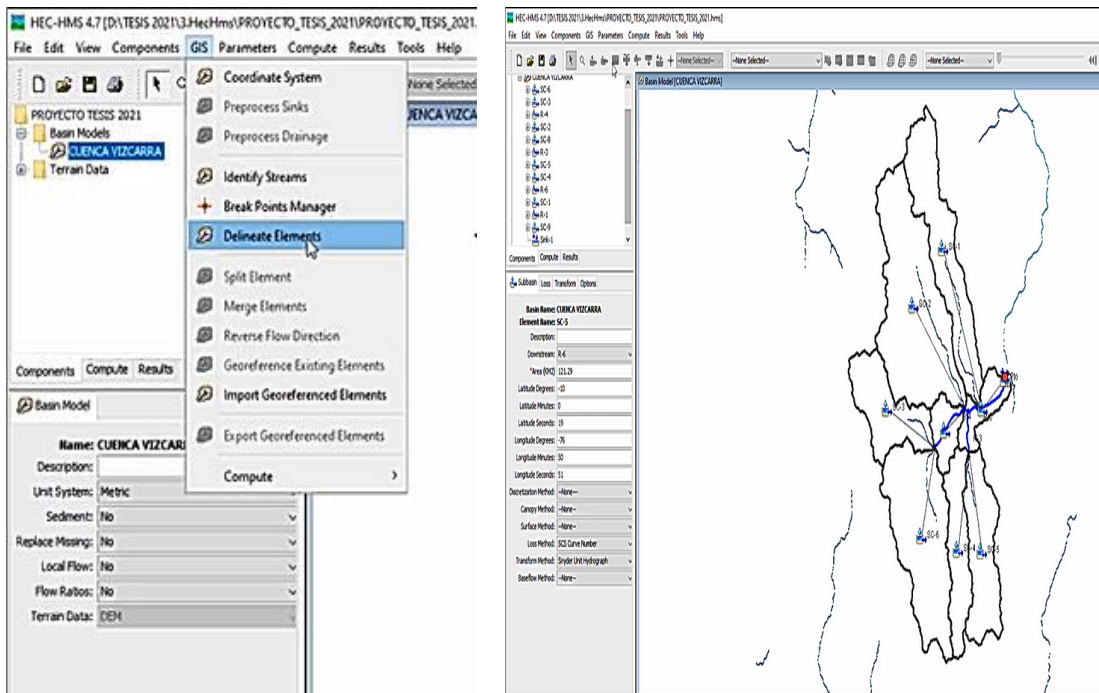
FUENTE: Software HEC-HMS 4.7

Figura 73. Generación de Corrientes y ríos del MDT e Importación del Punto de Aforo



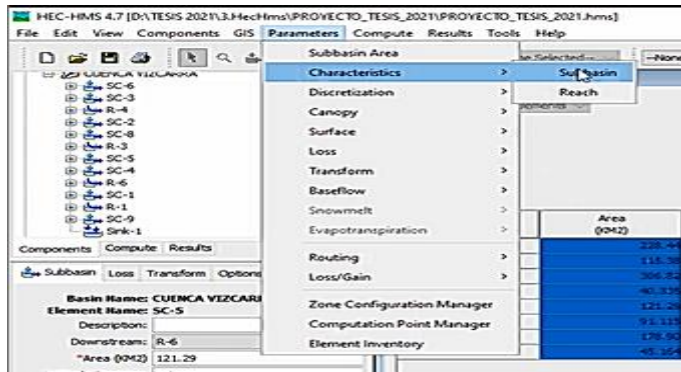
FUENTE: Software HEC-HMS 4.7

Figura 74. Delimitación de la Cuenca Hidrográfica



FUENTE: Software HEC-HMS 4.7

Figura 75. Parámetros de las Subcuencas



HEC-HMS 4.7 [D:\TESIS 2021\3.HecHms\PROYECTO_TESIS_2021\PROYECTO_TESIS_2021.hms]

File Edit View Components GIS Parameters Compute Results Tools Help

Subbasin Area [CUENCA VIZCARRA]

Filter: --None-- Sorting: Hydrologic

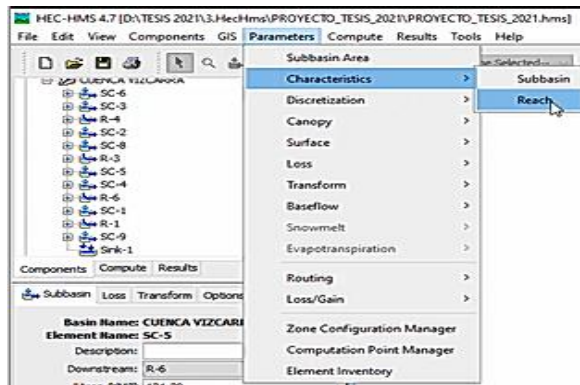
Subbasin	Longest Flowpath Length (Q4)	Longest Flowpath Slope	Centroidal Flowpath Length (Q4)	Centroidal Flowpath Slope	10-85 Flowpath Length (Q4)	10-85 Flowpath Slope	Basin Slope	Basin Relief (M)	Relief Ratio	Elongation R
SC-3	26.16089	0.04923	13.47600	0.04054	19.62066	0.03675	0.46220	1674.00000	0.06399	0.1
SC-4	29.13321	0.03402	14.26285	0.03540	21.84991	0.03608	0.36077	1370.00000	0.04703	0.1
SC-1	47.10195	0.02361	24.54275	0.02604	35.32847	0.02047	0.35367	1507.00000	0.03199	0.1
SC-2	38.25289	0.03674	17.36529	0.02341	28.68967	0.03134	0.42200	1998.00000	0.04177	0.1
SC-9	17.65077	0.06085	7.01027	0.11184	13.23808	0.02655	0.44328	1080.00000	0.06119	0.1
SC-8	12.75158	0.08109	5.48455	0.20298	9.56369	0.05457	0.47165	1037.00000	0.08132	0.1
SC-5	28.00127	0.04316	13.76467	0.03375	21.00095	0.03427	0.31173	1260.00000	0.04500	0.1
SC-6	31.64515	0.04405	11.50837	0.03415	23.73386	0.02552	0.43363	1745.00000	0.05514	0.1

Basin Name: CUENCA VIZCARRA
Element Name: SC-5
Description:
Downstream: R-6
Area (Q42) 121

Re-compute Apply Close

FUENTE: Software HEC-HMS 4.7

Figura 76. Parámetros de los Ríos



HEC-HMS 4.7 [D:\TESIS 2021\3.HecHms\PROYECTO_TESIS_2021\PROYECTO_TESIS_2021.hms]

File Edit View Components GIS Parameters Compute Results Tools Help

[CUENCA VIZCARRA]

Filter: --None-- Sorting: Hydrologic

Reach	Length (M)	Slope	Relief (M)	Sinuosity
R-1	7.22000	0.01191	86.00000	1.18331
R-4	9.11847	0.02040	186.00000	1.17834
R-3	1.19764	0.01169	14.00000	1.23640
R-6	8.23590	0.02659	219.00000	1.48857

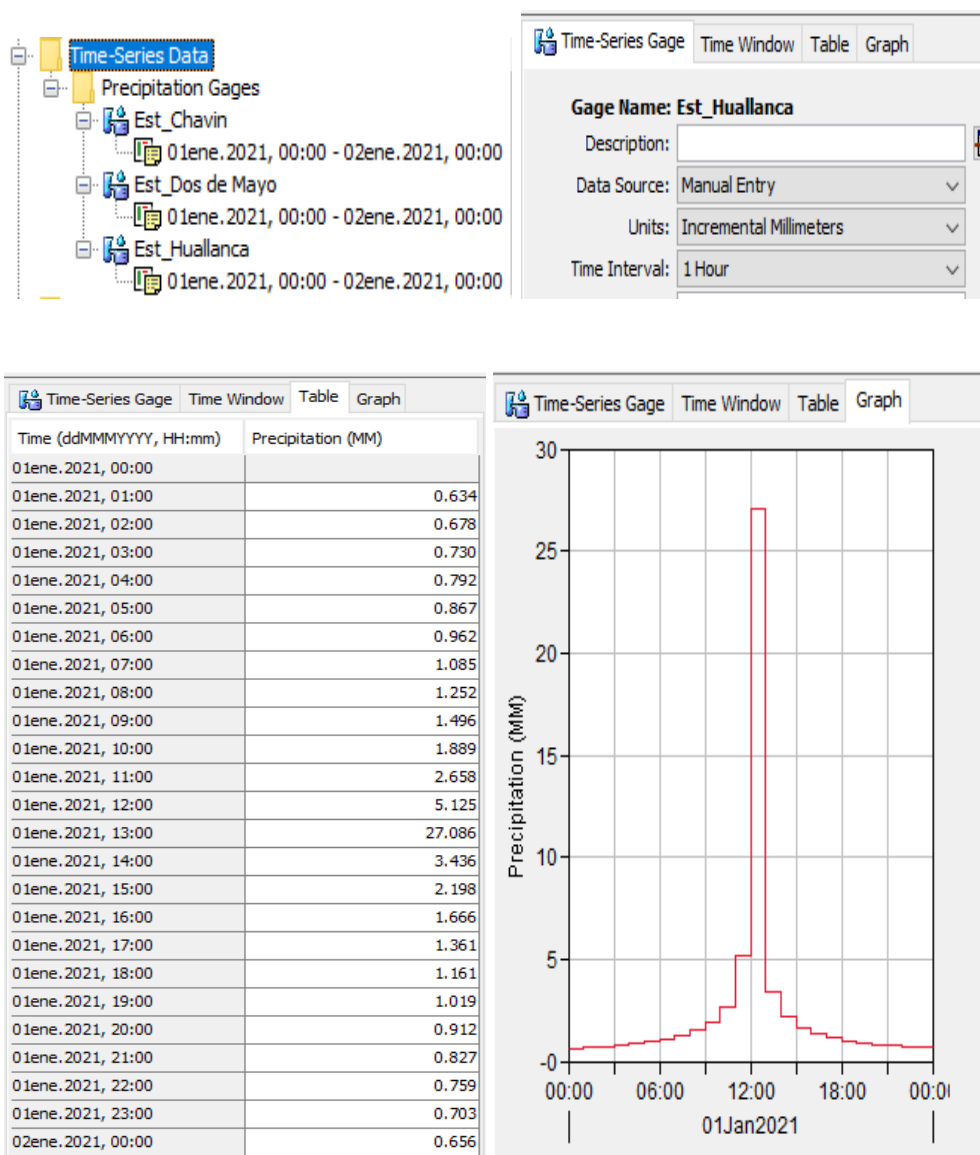
Re-compute Apply Close

FUENTE: Software HEC-HMS 4.7

Serie de Tiempo de Precipitación

En el modelo de la serie de tiempo, se ingresó los hietogramas determinados en el análisis metereológico para las tres estaciones en estudio como se muestran acontinuación.

Figura 77. Ingreso de Datos de la Serie de Tiempo



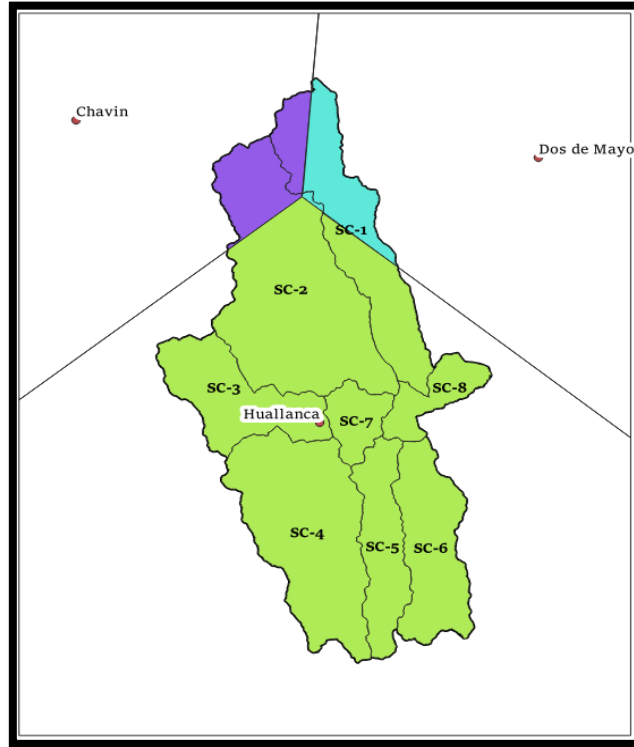
FUENTE: Software HEC-HMS 4.7

Modelo Meteorológico

Este modelo nos indica la precipitación que contendrá cada subcuenca, por ello se ingresó los hietogramas para los periodos de retorno considerados para las máximas avenidas de 100, 140 y 500 años. Para el presente análisis se escogió un periodo de retorno de 140 años ya que representa el periodo en que se diseñan estructuras que contengan una eventual inundación.

Previamente se realizó la división de áreas de la cuenca según el método de Thiessen con ayuda del software QGIS para identificar las áreas de influencias entre las subcuencas y las estaciones meteorológicas.

Figura 78. Áreas de influencia del polígono de Thiessen

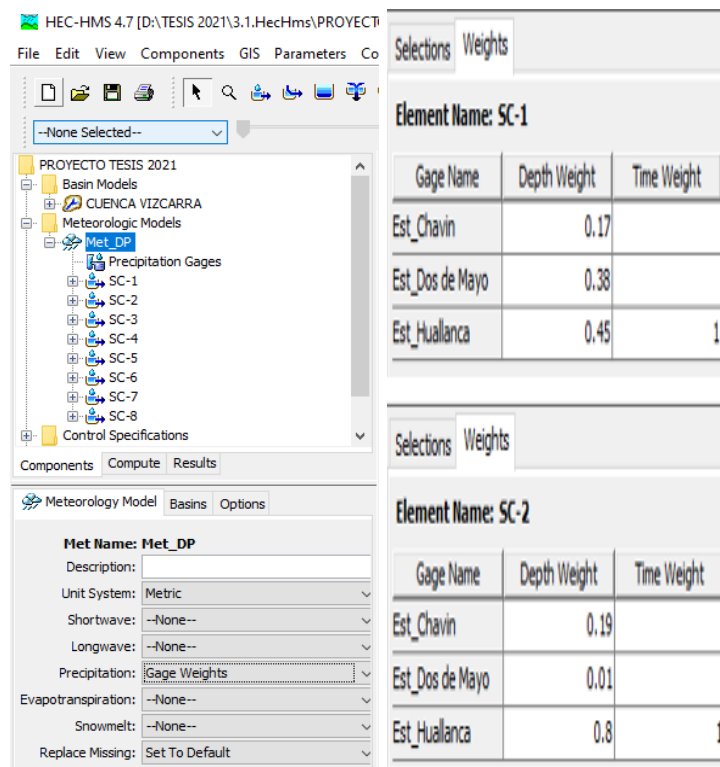


Fuente: Software QGIS 3.16.

Se observa la influencia de cada estación meteorológica para cada subcuenca siendo la estación Huallanca la que influye en las 8 subcuencas, la estación Chavín en la subcuenca 1, 2 y por último la estación Dos de Mayo que también influye en la subcuenca 1 y 2.

Ya en la opción del modelo meteorológico, en la opción de precipitación, seleccionamos la opción Gage Weights que nos permite ingresar el porcentaje de pesos de participación de cada subcuenca. Se ingresarán los porcentajes de peso de participación para cada subcuenca de su área de influencia según corresponda y mostrada en la figura.

Figura 79. Asignación de pesos cada Subcuenca



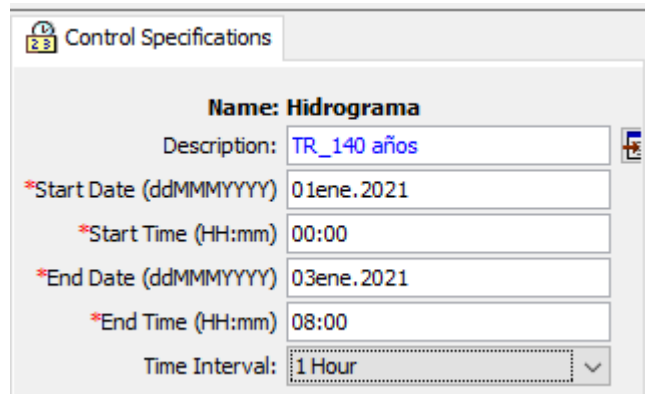
Fuente: Software HEC-HMS 4.7

De la imagen se observa que la estación representa la más influyente en la subcuenca 1 (SC-1), seguidamente de la estación Dos de Mayo y en último lugar con la estación Chavín. Para la subcuenca 2 (SC-2), la estación más influyente es la de Huallanca seguidamente de la estación Chavín y al final la estación Dos de Mayo con la menor representación de precipitación. Las otras subcuencas, como se muestra en la figura anterior solo es afectada por la estación Huallanca a consecuencia solo se ingresará la precipitación en de dicha estación.

Control de Especificaciones

En este apartado se introdujo el inicio y fin de cómputo de la simulación y del intervalo de tiempo para el cálculo del hietograma. Para nuestro caso iniciamos el 1 de enero del 2021 a las 00:00 horas y terminará el 3 de enero del mismo año a las 08:00 horas.

Figura 80. Control de Especificaciones

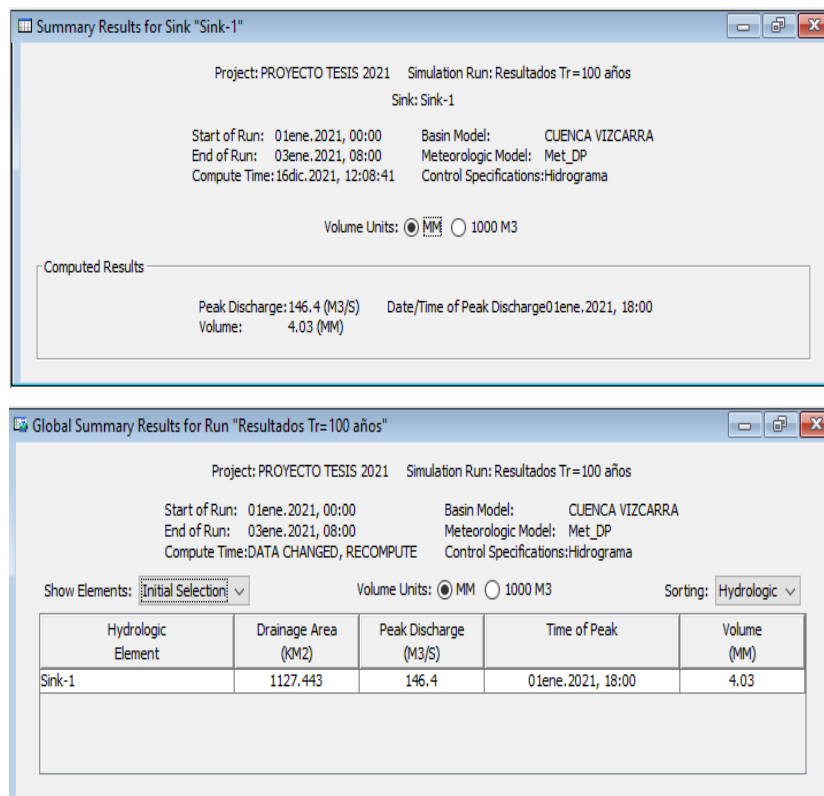


Fuente: Software HEC-HMS 4.7

Hidrograma de Diseño

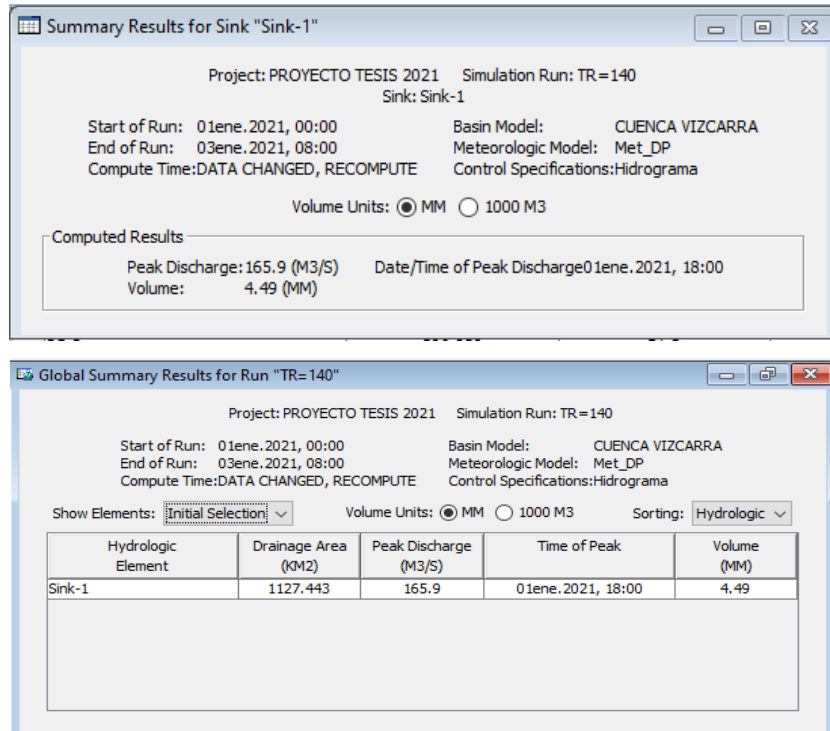
Se realiza modelización hidrológica con el software HEC-HMS 4.7, de donde se obtiene un hidrograma con caudal pico de 165.9 m³/s, para los periodos de retorno de 100,140 y 500 años.

Figura 81. Resultado del Caudal Pico - TR= 100 años



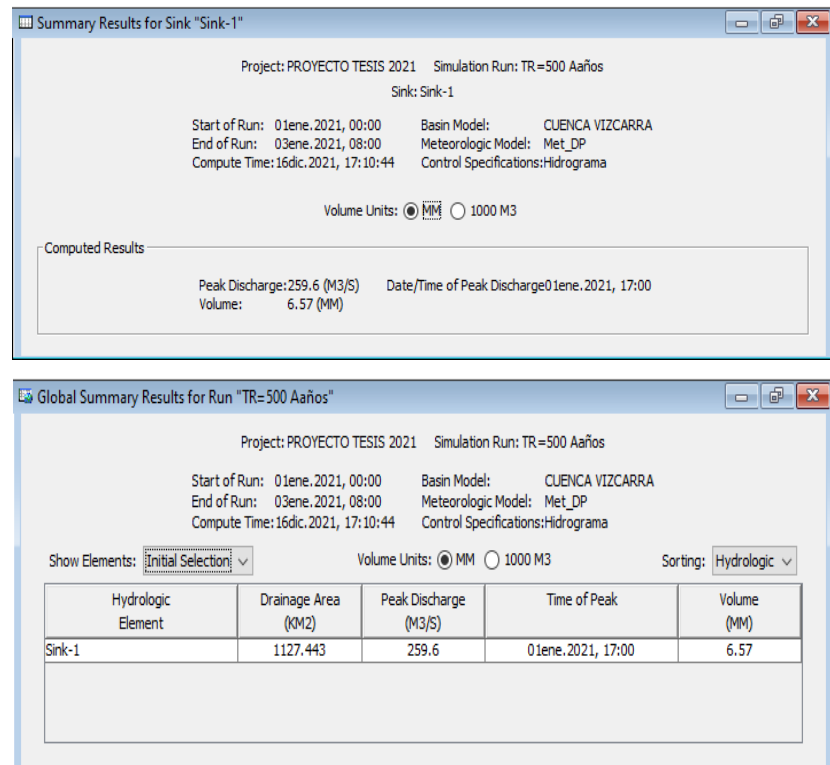
Fuente: Software HEC-HMS 4.7

Figura 82. Resultado del Caudal Pico - TR= 140 años



Fuente: Software HEC-HMS 4.7

Figura 83. Resultado del Caudal Pico - TR= 500 años

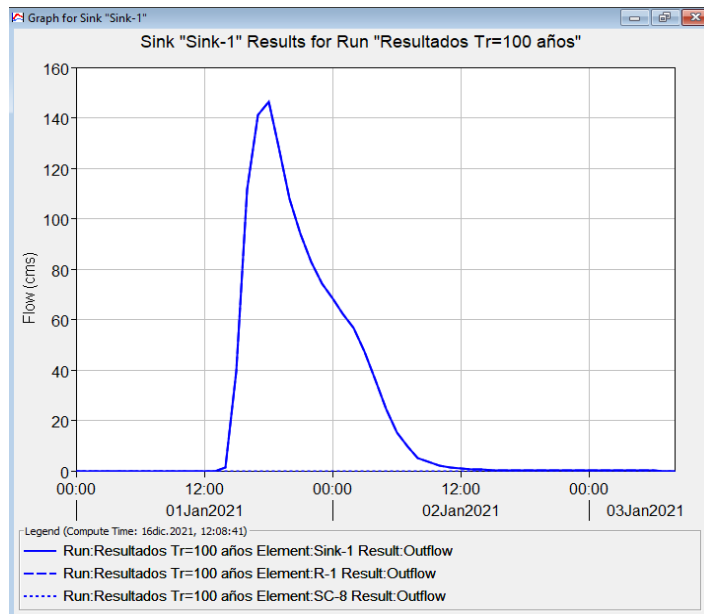


Fuente: Software HEC-HMS 4.7

Como se mencionó al inicio no se cuenta con ninguna estación de aforo de caudales en nuestra zona de estudio, por tal motivo solo se identificaron huellas del nivel del agua en máximas avenidas para la calibración del modelo con resultados mostrados en la figura.

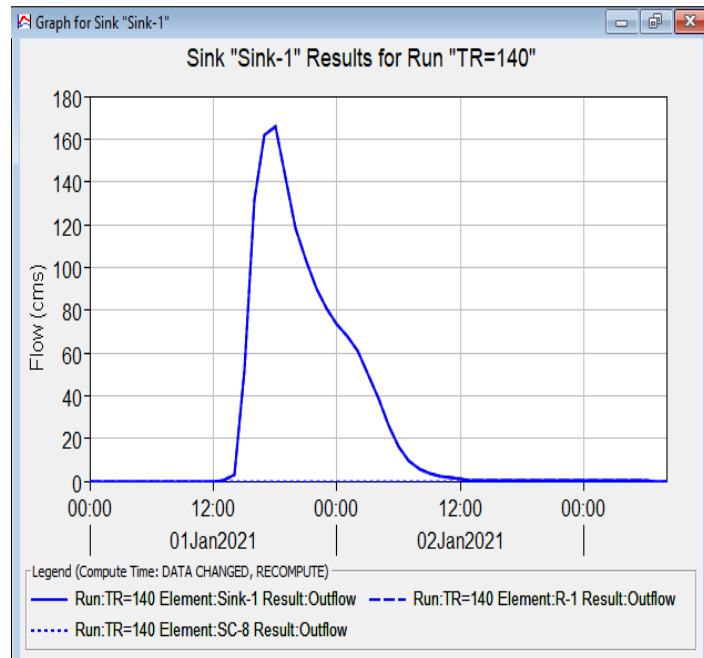
Se presenta el hidrograma de caudales máximos para la cuenca del río Vizcarra generado con el HEC-HMS 4.7 para los periodos de retorno de 100, 140 y 500 años.

Figura 84. Hidrograma de Máxima Avenida - Tr=100 años



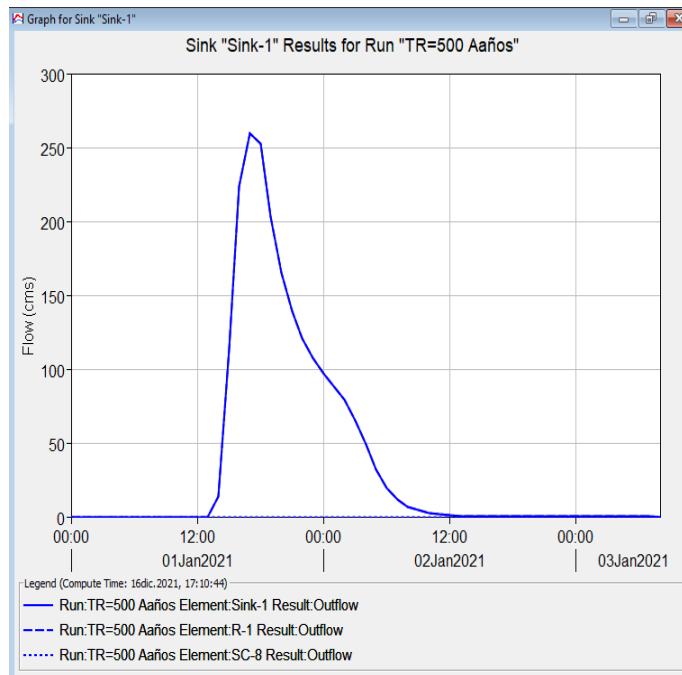
Fuente: Software HEC-HMS 4.7

Figura 85. Hidrograma de Máxima Avenida - Tr=140 años



Fuente: Software HEC-HMS 4.7

Figura 86. Hidrograma de Máxima Avenida - Tr=500 años



Fuente: Software HEC-HMS 4.7

Figura 87. Valores de Caudales Atraves del Tiempo – TR= 100 años

Time-Series Results for Sink "Sink-1"

Project: PROYECTO TESIS 2021 Simulation Run: Resultados Tr=100 años
Sink: Sink-1

Start of Run: 01ene.2021, 00:00 Basin Model: CUENCA VIZCARRA
End of Run: 03ene.2021, 08:00 Meteorologic Model: Met_DP
Compute Time: 16dic.2021, 12:08:41 Control Specifications: Hidrograma

Date	Time	Inflow from...	Inflow from...	Total Inflow
		(M3/S)	(M3/S)	(M3/S)
01ene.2021	13:00	0.0	0.0	0.0
01ene.2021	14:00	1.3	0.0	1.3
01ene.2021	15:00	39.4	0.0	39.4
01ene.2021	16:00	111.7	0.0	111.7
01ene.2021	17:00	141.1	0.0	141.1
01ene.2021	18:00	146.4	0.0	146.4
01ene.2021	19:00	128.4	0.0	128.4
01ene.2021	20:00	107.7	0.0	107.7
01ene.2021	21:00	93.9	0.0	93.9
01ene.2021	22:00	82.6	0.0	82.6
01ene.2021	23:00	74.4	0.0	74.4
02ene.2021	00:00	68.1	0.0	68.1
02ene.2021	01:00	62.4	0.0	62.4
02ene.2021	02:00	56.5	0.0	56.5
02ene.2021	03:00	47.3	0.0	47.3
02ene.2021	04:00	35.9	0.0	35.9
02ene.2021	05:00	24.6	0.0	24.6
02ene.2021	06:00	15.1	0.0	15.1
02ene.2021	07:00	9.4	0.0	9.4
02ene.2021	08:00	5.2	0.0	5.2
02ene.2021	09:00	3.6	0.0	3.6
02ene.2021	10:00	2.0	0.0	2.0
02ene.2021	11:00	1.5	0.0	1.5
02ene.2021	12:00	0.9	0.0	0.9
02ene.2021	13:00	0.6	0.0	0.6
02ene.2021	14:00	0.4	0.0	0.4
02ene.2021	15:00	0.2	0.0	0.2
02ene.2021	16:00	0.1	0.0	0.1
02ene.2021	17:00	0.1	0.0	0.1

Fuente: Software HEC-HMS 4.7

Figura 88. Valores de Caudales Atreves del Tiempo – TR= 140 años

Project: PROYECTO TESIS 2021 Simulation Run: TR=140
Sink: Sink-1

Start of Run: 01ene.2021, 00:00 Basin Model: CUENCA VIZCARRA
End of Run: 03ene.2021, 08:00 Meteorologic Model: Met_DP
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Hidrograma

Date	Time	Inflow from... (M3/S)	Inflow from... (M3/S)	Total Inflow (M3/S)
01ene.2021	13:00	0.0	0.0	0.0
01ene.2021	14:00	2.7	0.0	2.7
01ene.2021	15:00	51.5	0.0	51.5
01ene.2021	16:00	131.7	0.0	131.7
01ene.2021	17:00	161.9	0.0	161.9
01ene.2021	18:00	165.9	0.0	165.9
01ene.2021	19:00	142.3	0.0	142.3
01ene.2021	20:00	118.6	0.0	118.6
01ene.2021	21:00	102.5	0.0	102.5
01ene.2021	22:00	90.0	0.0	90.0
01ene.2021	23:00	80.6	0.0	80.6
02ene.2021	00:00	73.7	0.0	73.7
02ene.2021	01:00	67.3	0.0	67.3
02ene.2021	02:00	61.0	0.0	61.0
02ene.2021	03:00	50.7	0.0	50.7
02ene.2021	04:00	38.5	0.0	38.5
02ene.2021	05:00	26.0	0.0	26.0
02ene.2021	06:00	16.0	0.0	16.0
02ene.2021	07:00	9.8	0.0	9.8
02ene.2021	08:00	5.4	0.0	5.4
02ene.2021	09:00	3.7	0.0	3.7
02ene.2021	10:00	2.1	0.0	2.1
02ene.2021	11:00	1.5	0.0	1.5
02ene.2021	12:00	0.9	0.0	0.9
02ene.2021	13:00	0.6	0.0	0.6
02ene.2021	14:00	0.4	0.0	0.4
02ene.2021	15:00	0.2	0.0	0.2
02ene.2021	16:00	0.1	0.0	0.1
02ene.2021	17:00	0.1	0.0	0.1
02ene.2021	18:00	0.0	0.0	0.0
02ene.2021	19:00	0.0	0.0	0.0

Fuente: Software HEC-HMS 4.7

Figura 89. Valores de Caudales Atreves del Tiempo – TR= 500 años

Project: PROYECTO TESIS 2021 Simulation Run: TR=500 Aaños
Sink: Sink-1

Start of Run: 01ene.2021, 00:00 Basin Model: CUENCA VIZCARRA
End of Run: 03ene.2021, 08:00 Meteorologic Model: Met_DP
Compute Time: 16dic.2021, 17:10:44 Control Specifications: Hidrograma

Date	Time	Inflow from... (M3/S)	Inflow from... (M3/S)	Total Inflow (M3/S)
01ene.2021	13:00	0.0	0.0	0.0
01ene.2021	14:00	13.5	0.0	13.5
01ene.2021	15:00	113.4	0.0	113.4
01ene.2021	16:00	223.7	0.0	223.7
01ene.2021	17:00	259.6	0.0	259.6
01ene.2021	18:00	252.3	0.0	252.3
01ene.2021	19:00	203.3	0.0	203.3
01ene.2021	20:00	165.4	0.0	165.4
01ene.2021	21:00	139.4	0.0	139.4
01ene.2021	22:00	120.8	0.0	120.8
01ene.2021	23:00	107.4	0.0	107.4
02ene.2021	00:00	97.1	0.0	97.1
02ene.2021	01:00	88.6	0.0	88.6
02ene.2021	02:00	79.4	0.0	79.4
02ene.2021	03:00	65.3	0.0	65.3
02ene.2021	04:00	49.0	0.0	49.0
02ene.2021	05:00	32.1	0.0	32.1
02ene.2021	06:00	19.6	0.0	19.6
02ene.2021	07:00	11.4	0.0	11.4
02ene.2021	08:00	6.5	0.0	6.5
02ene.2021	09:00	4.3	0.0	4.3
02ene.2021	10:00	2.3	0.0	2.3
02ene.2021	11:00	1.8	0.0	1.8
02ene.2021	12:00	1.0	0.0	1.0
02ene.2021	13:00	0.7	0.0	0.7
02ene.2021	14:00	0.5	0.0	0.5
02ene.2021	15:00	0.2	0.0	0.2
02ene.2021	16:00	0.1	0.0	0.1
02ene.2021	17:00	0.1	0.0	0.1

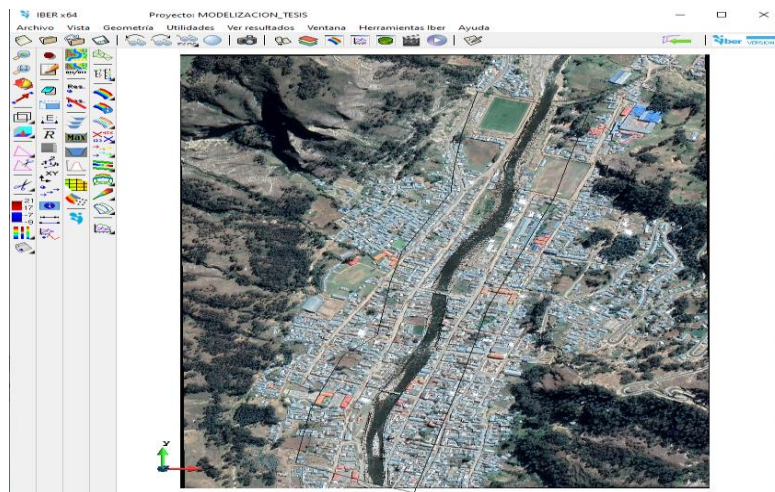
Fuente: Software HEC-HMS 4.7

C) MODELIZACIÓN HIDRÁULICA Y ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS PARA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES

Importación de Ortofoto

La ortofoto utilizada corresponde a la zona de estudio, georreferenciada e ingresada en formato JPG, que nos permite tener una mejor visualización del área evaluada.

Figura 90. Importación de Ortofoto en IBER

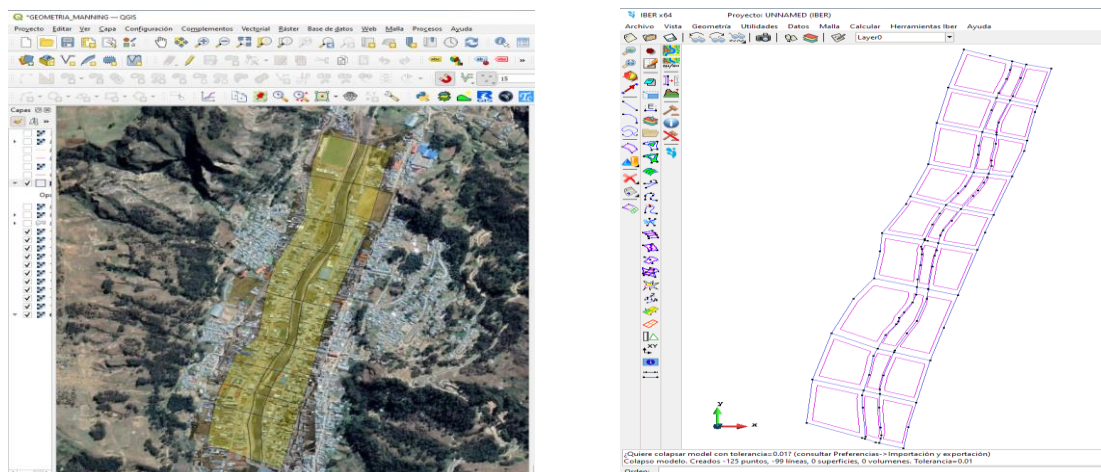


Fuente: Software IBER 2.6

Creación e Importación del Modelo Geométrico

Para la creación del modelo geométrico, se utilizó la ortofoto de la zona de estudio para la división y trazado del cauce y márgenes del río con el uso del software QGIS. El modelo generado en QGIS en formato SPH, es compatible e importado en el IBER.

Figura 91. Importación del Modelo Geométrico

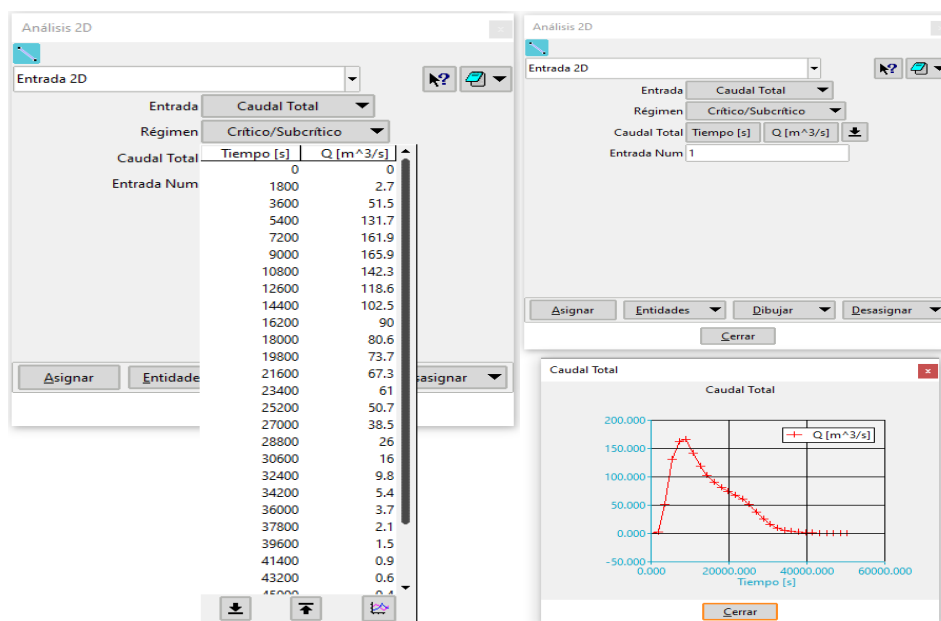


Fuente: Software IBER 2.6

Condiciones de Contorno y Frontera

Para la asignación de los datos de entrada y salida del flujo se tiene que introducir el hidrograma de caudales.

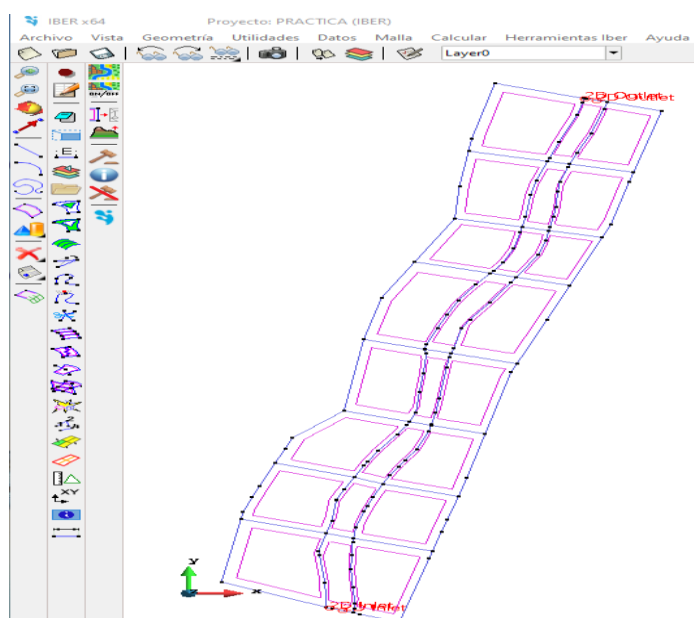
Figura 92. Datos de Entrada y Salida del Flujo



Fuente: Software IBER 2.6

Después de introducir el hidrograma de caudales, en las condiciones de entrada se tiene que seleccionar la línea que dibuja el inicio de la geometría del cauce del río y para las condiciones de salida de la misma manera con la línea de la geometría que dibuja el cauce del río total como se muestra en la figura.

Figura 93. Asignación de las Condiciones de Contorno

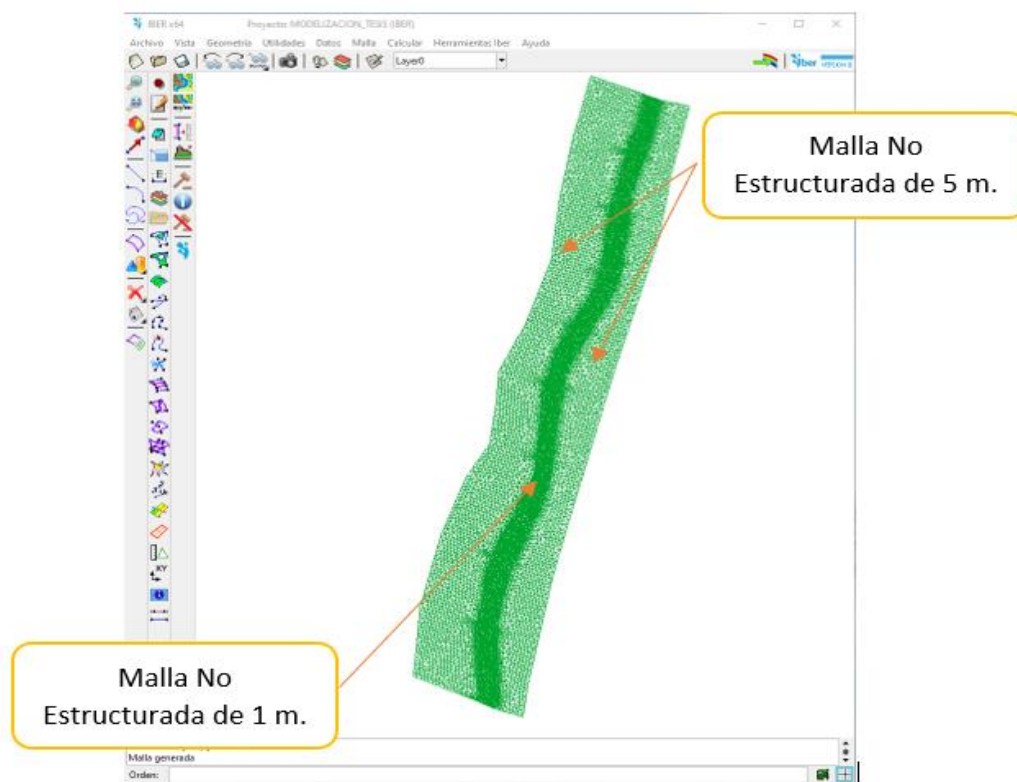


Fuente: Software IBER 2.6

Generación del Mallado 2D

El tipo de malla que mejor se ajusta por la presencia de irregularidades del terreno es la malla no estructurada formado a base de triángulos y distribuidos aleatoriamente en base al modelo geométrico.

Figura 94. Malla no Estructurada de la Zona en Estudio



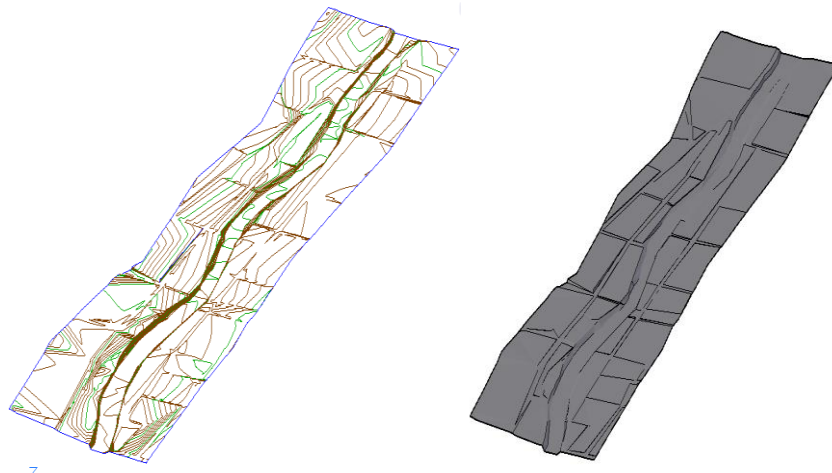
Fuente: Software IBER 2.6

El cauce del río está seleccionado con un tamaño de 1 metro (malla más fina que permite un mayor detalle en los resultados) y el de 5 metros correspondiente a las demás partes.

Importación del Modelo Digital del Terreno

Los datos topográficos fueron procesados en el Autocad Civil 3D. Las curvas se digitalizaron y exportadas a un formato TIFF con celdas de 0.5m de resolución para ser procesadas en el QGIS a un archivo ASCII e importadas al IBER .

Figura 95. Elevación del MDT de Autocad Civil 3D a IBER

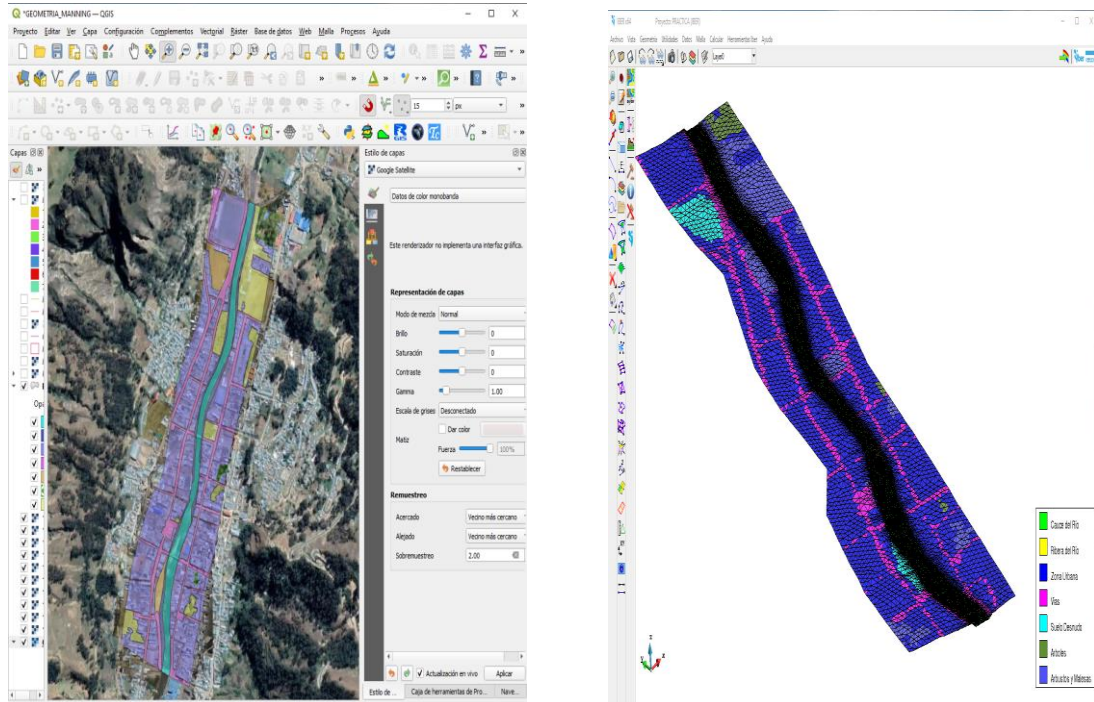


Fuente: Software IBER 2.6

Importación del Mapa de Uso de Suelo

Se realiza la asignación automática del coeficiente de rugosidad de Manning, para ello se tuvo que generar un archivo cvs (texto delimitado por comas) que contenga los usos de suelo con una codificación para cada uso. En segundo lugar, se generó un archivo RASTER en formato ASCII que contiene la distribución espacial de las rugosidades generado en el QGIS, finalmente se importa de manera automática en el software IBER.

Figura 96. Importación del Mapa de Uso de Suelo de QGIS a IBER



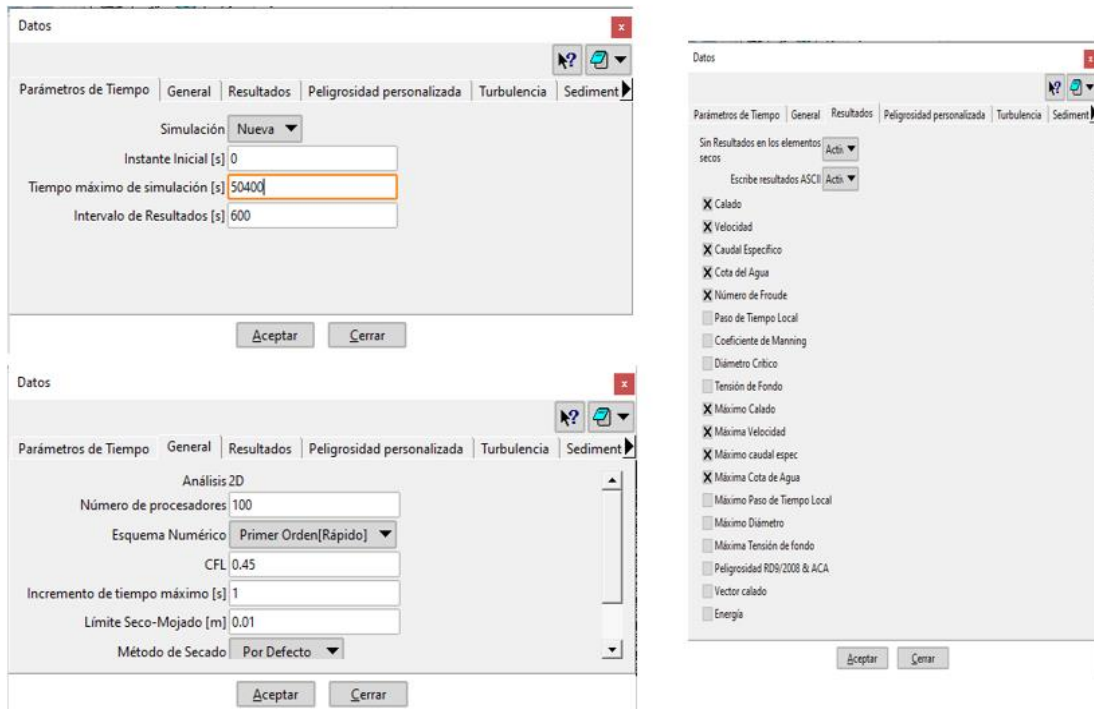
Fuente: Software IBER 2.6

Se consideraron 7 valores diferentes para la distribución espacial del coeficiente de Rugosidad de Manning que representan mejor las zonas identificadas en campo y para zonas de difícil acceso mediante el uso de imágenes satelitales. Se obtuvieron usos de suelo como el cauce del río, ribera del río, zona urbana, vías, suelo desnudo, árboles, arbustos y malezas

Datos del Problema y Corrida del Modelo 2D

Después de culminar con el ingreso de todos los datos para la modelación se procede a configurar el tiempo de simulación, el intervalo de resultados y selección de los resultados a procesar como se como se muestra.

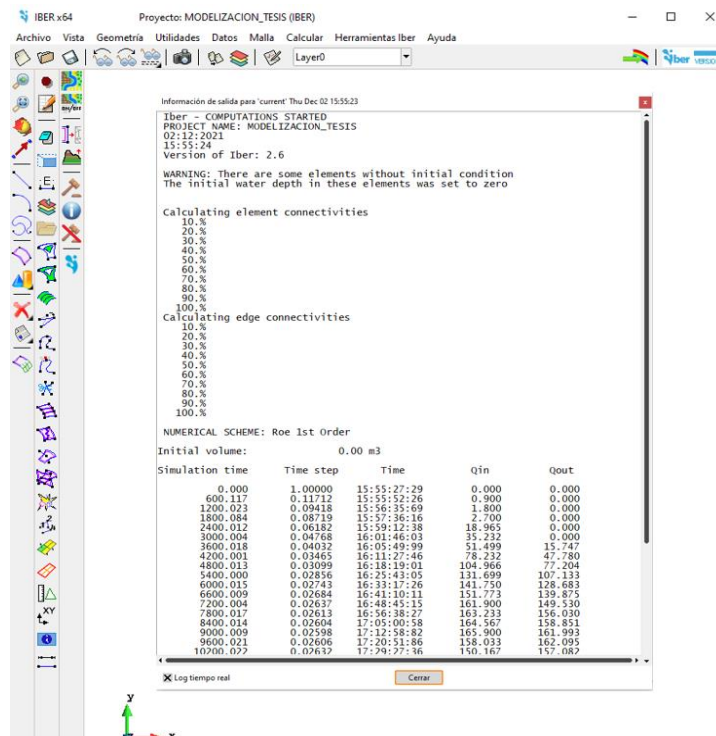
Figura 97. Asignación de los Datos para la Corrida del Modelo 2D



Fuente: Software IBER 2.6

Se observa la ventana de información que muestra el procesado de los cálculos hasta su término.

Figura 98. Corrida de la Simulación 2D



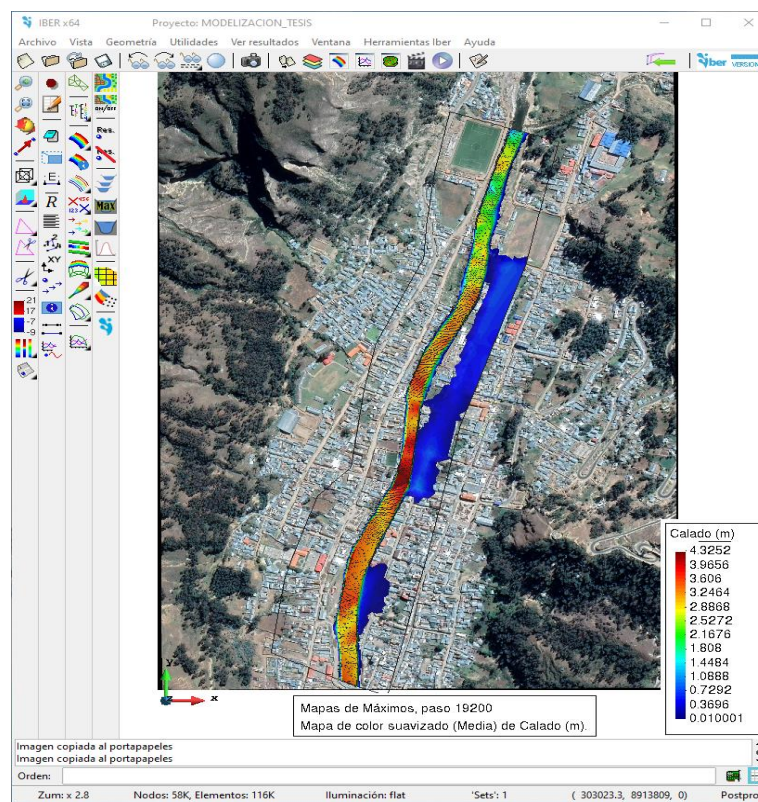
Fuente: Software IBER 2.6

La primera columna, muestra el tiempo de la simulación asignada cada 600 segundos; la segunda columna muestra en tiempo que demora en converger la ecuación de SAINT VENANT; la tercera columna, la hora real del inicio de la simulación; la cuarta y quinta columna, el caudal de entrada y salida (inicio del desborde) respectivamente.

Resultados de la Simulación

Las áreas de inundación generadas por el modelo IBER se registraron en el instante 9000 segundos por presentar el mayor desborde en dicho instante, con una extensión total de 37749 m².

Figura 99. Calados Máximos del Flujo

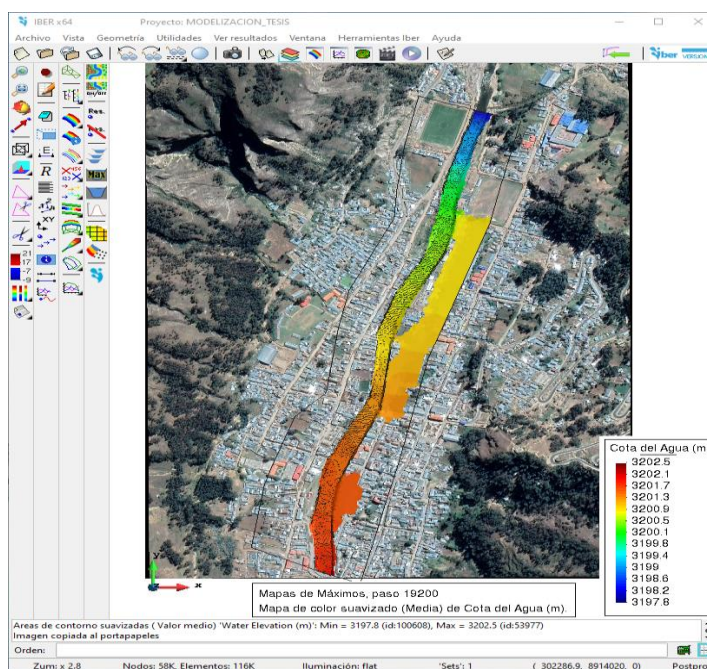


Fuente: Software IBER 2.6

Se observa que los tirantes máximos se encuentran desde parte inicial y central del area de estudio con calados de hasta 4.32 metros (color rojo) y con areas inundables desde 1cm (color azul). Las áreas de inundación se dividieron en 3 zonas, la zona 1 que afectó calles (P: 0+000 – 0+100), la zona 2 afectó viviendas y calles (P: 0+120 – 0+280) y por ultimo la zona 3 afectó calles y viviendas (P: 0+480 – 0+1040).

La imagen nos muestra los niveles de cota del agua gereadas por el modelo IBER en el intante maximo de la inundación.

Figura 100. Cotas de Agua del Flujo

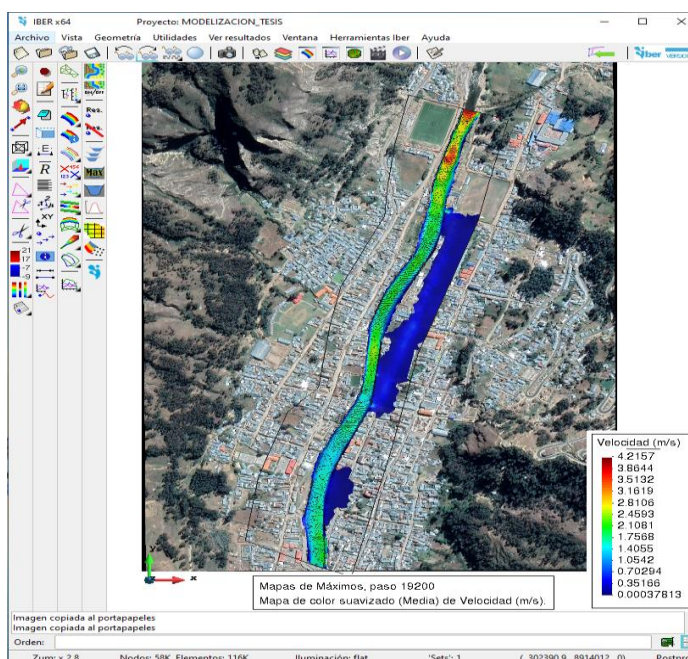


Fuente: Software IBER 2.6

Se observan las cotas del agua en el área de estudio que inicia desde los 3197.8 m.s.n.m. representada de color azul (parte baja) hasta los 3202.5 m.s.n.m. representada de color rojo (parte alta) y las zonas inundables de color naranja y amarilla que corresponden a una altitud alta-intermedia.

Las velocidades generadas por el modelo IBER en el instante máximo de la inundación son mostradas a continuación.

Figura 101. Velocidades Máximas del Flujo

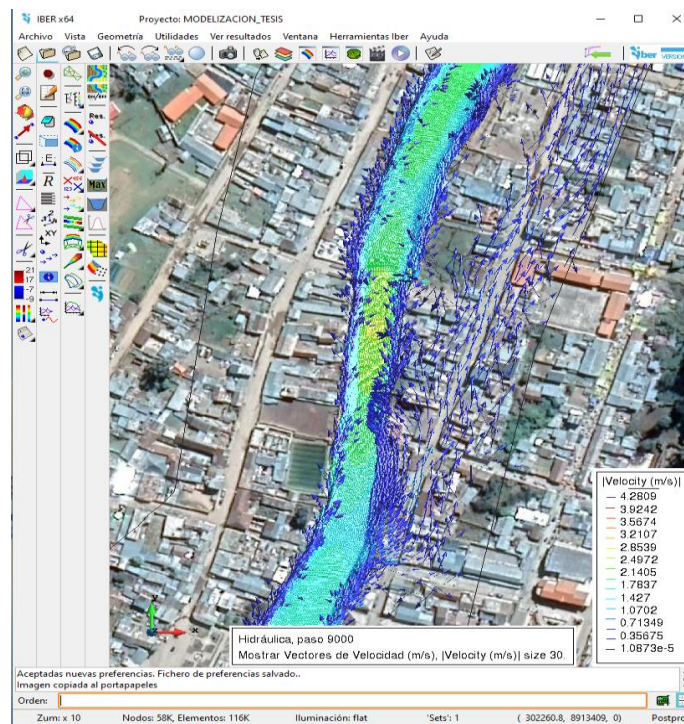


Fuente: Software IBER 2.6

Se observa que las velocidades mínimas se encuentran en la zona de desborde desde 0.000378 m/s y las velocidades máximas en la zona intermedia y al final hasta los 4.215 m/s de la extensión del cauce del río.

Al igual que los anteriores parametros hidraulicos, las lineas de flujo han sido generadas en el instante máximo de la inundación como se muestra.

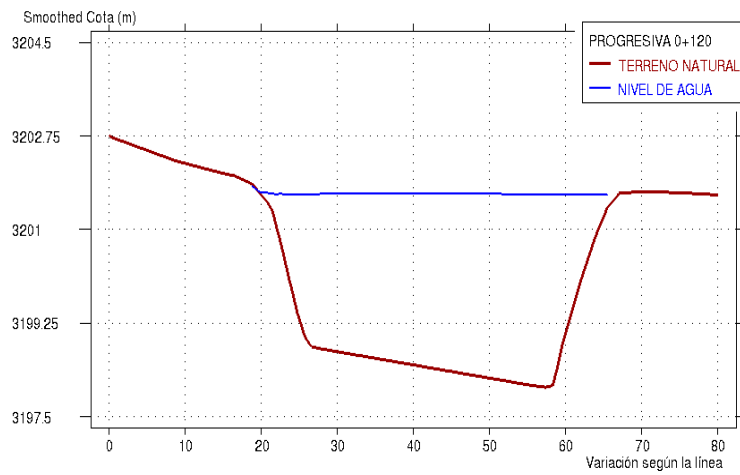
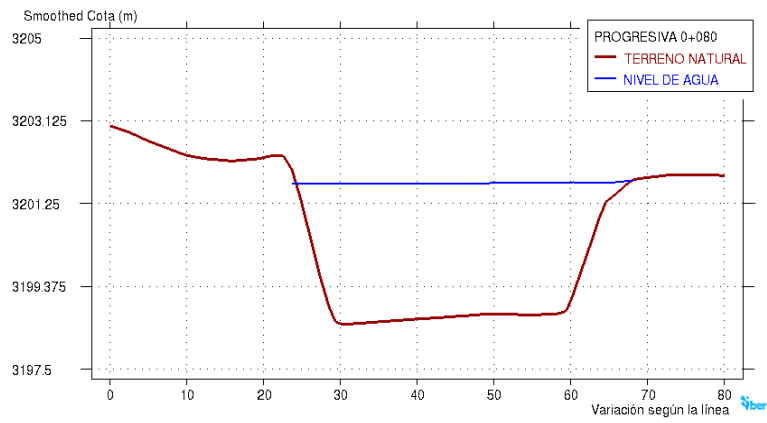
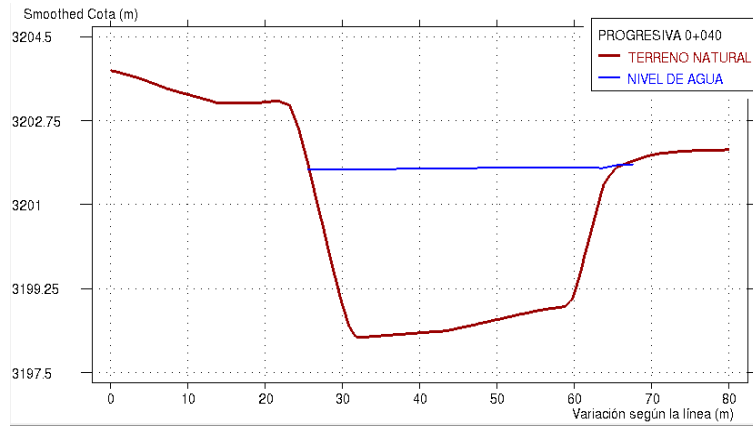
Figura 102. Dirección del Flujo de Agua

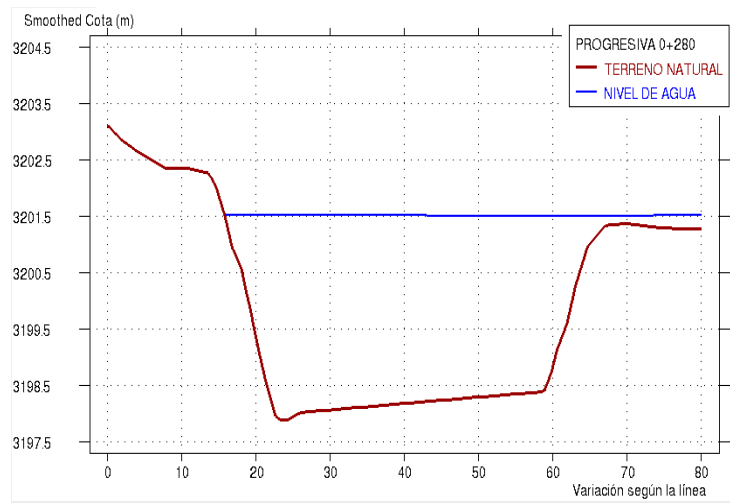
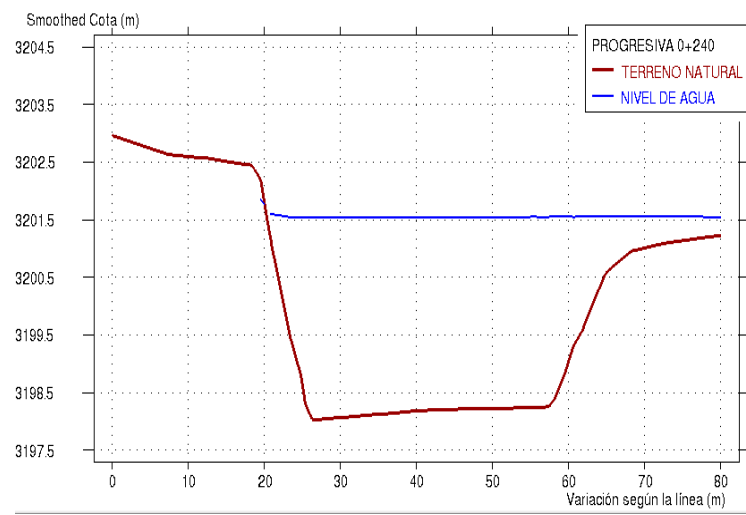
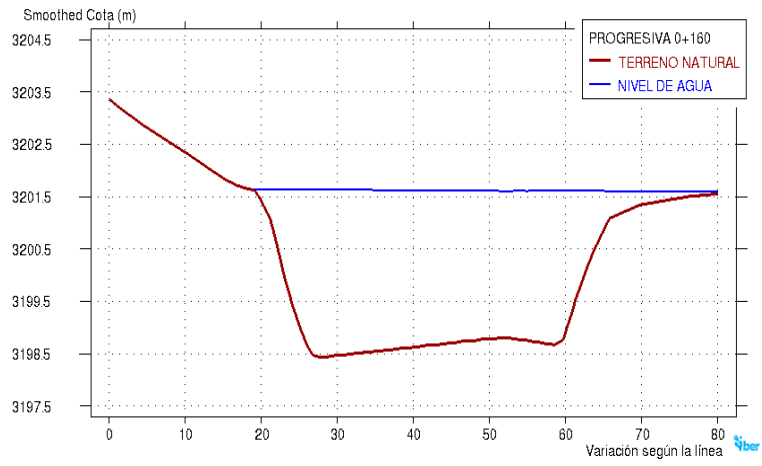


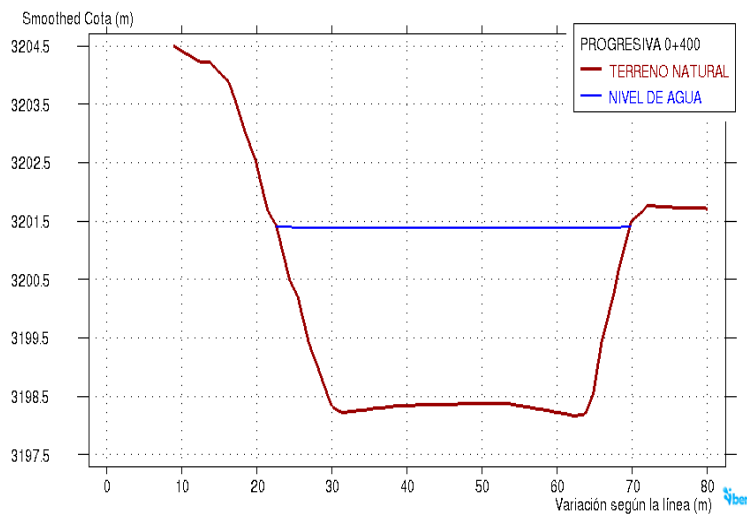
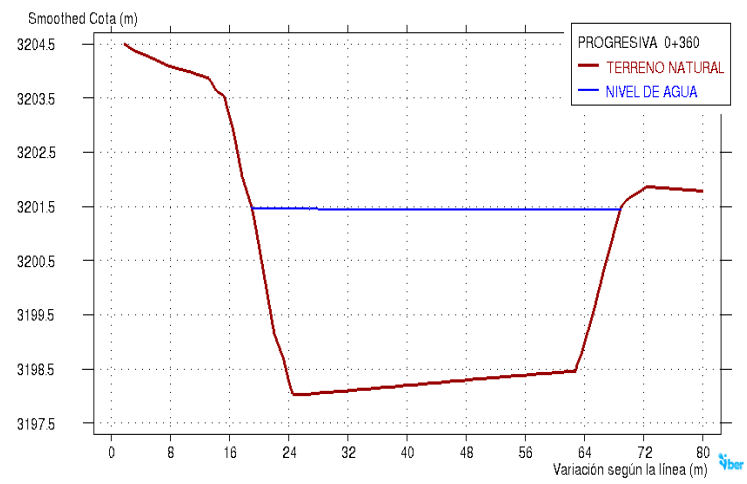
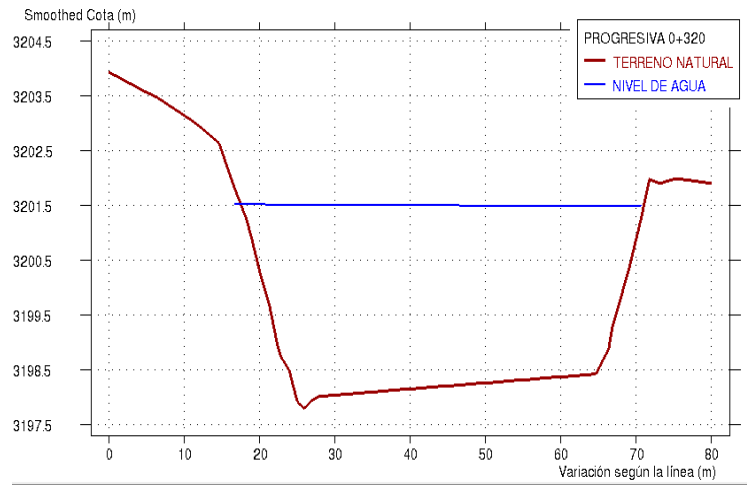
Fuente: Software IBER 2.6

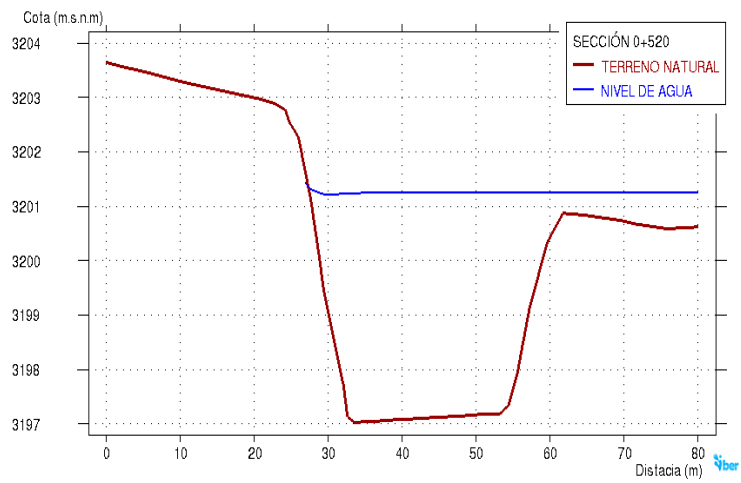
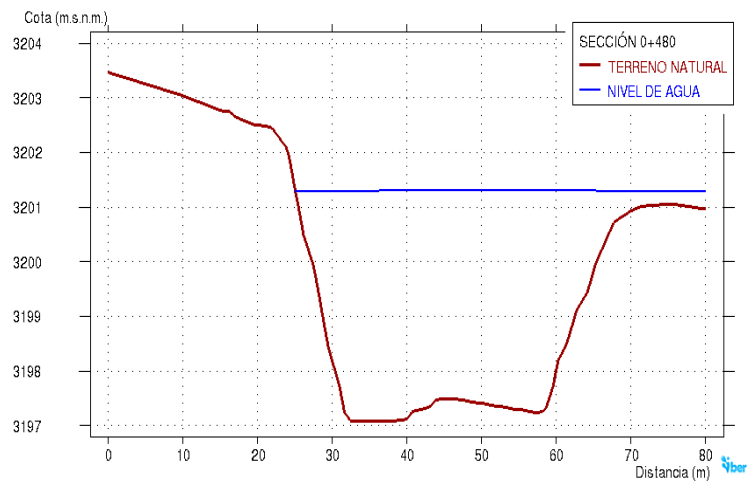
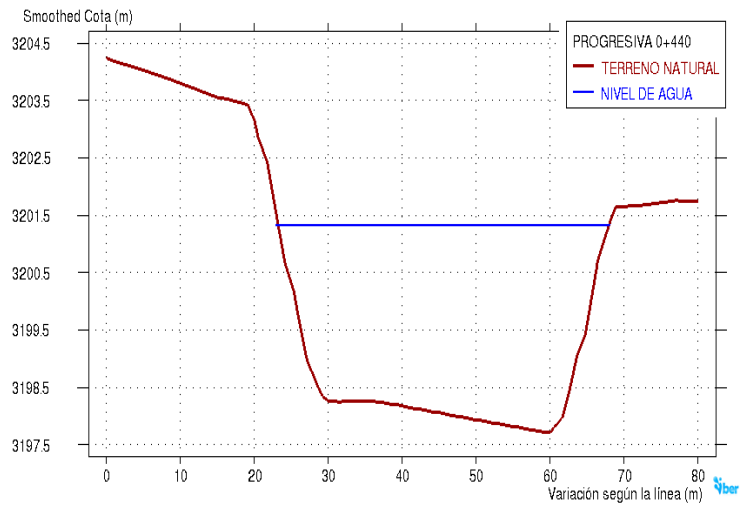
Se observa la parte central del desborde por donde las lineas de flujo recorren la zona de inundación siguiendo la pendiente del terreno y calles adyacentes.

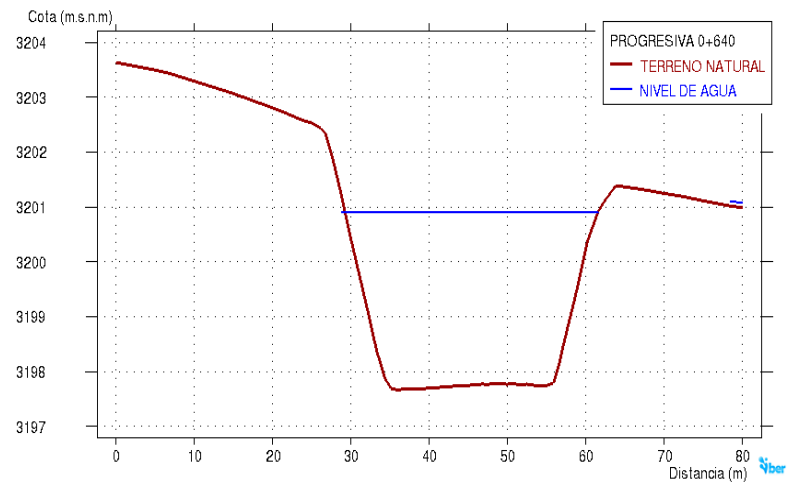
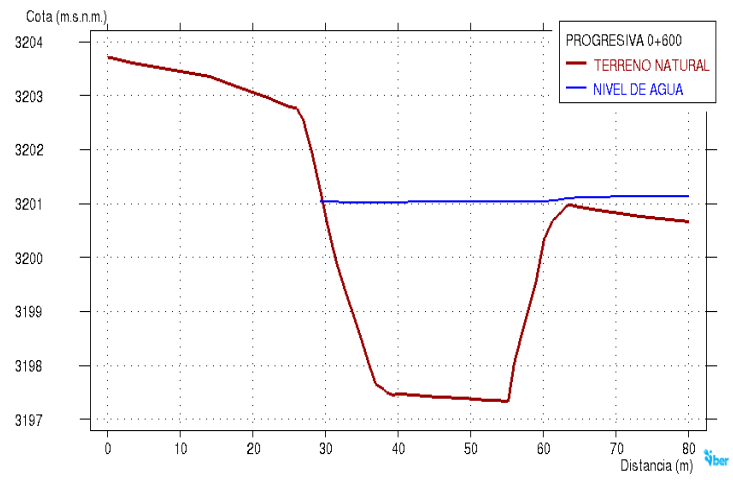
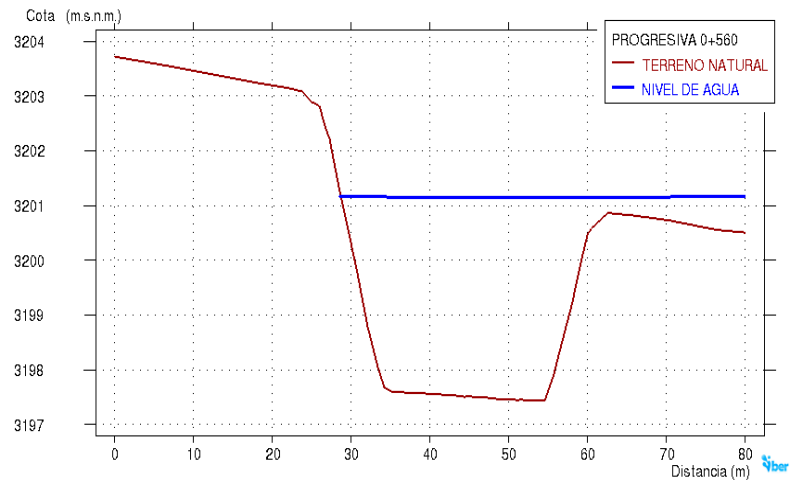
ANEXO N°05. SECCIONES TRANSVERSALES

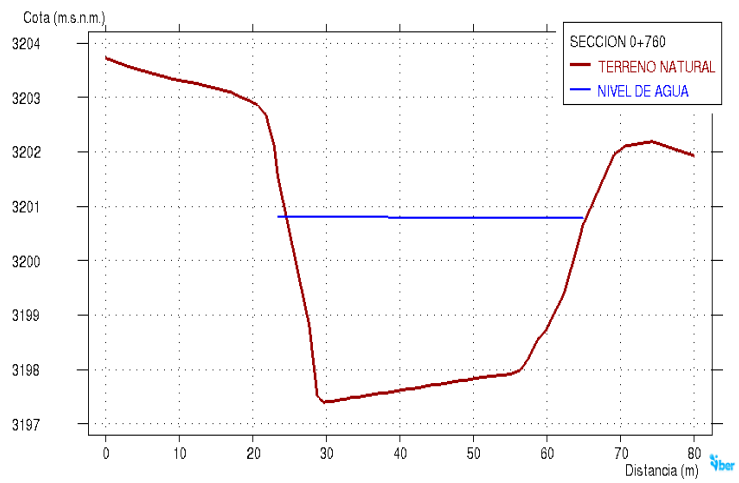
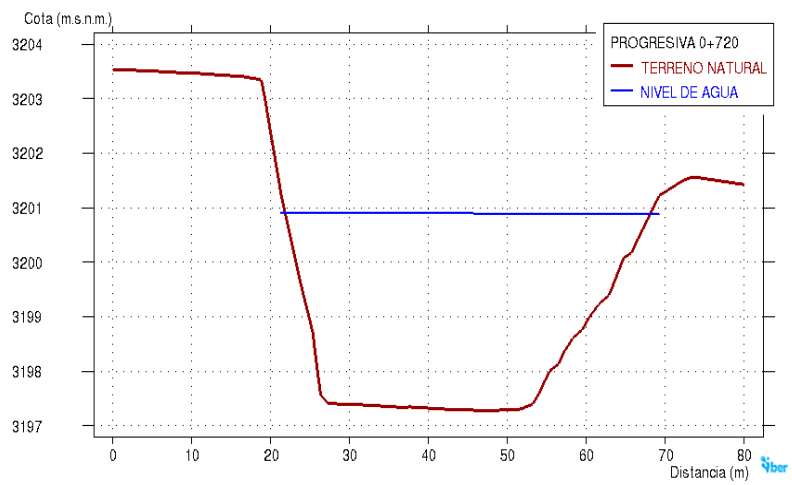
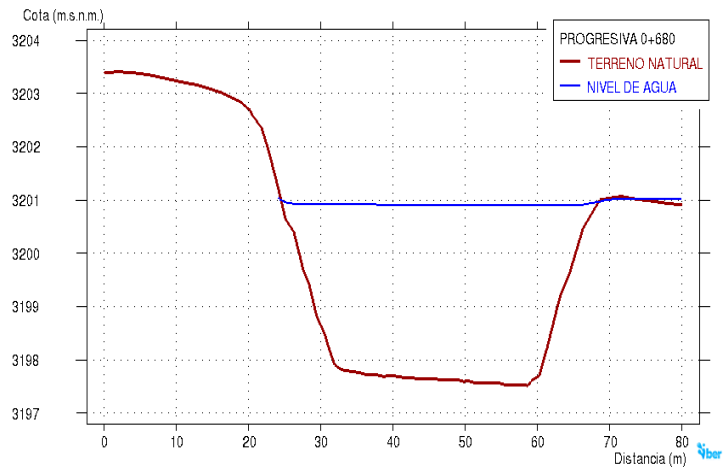


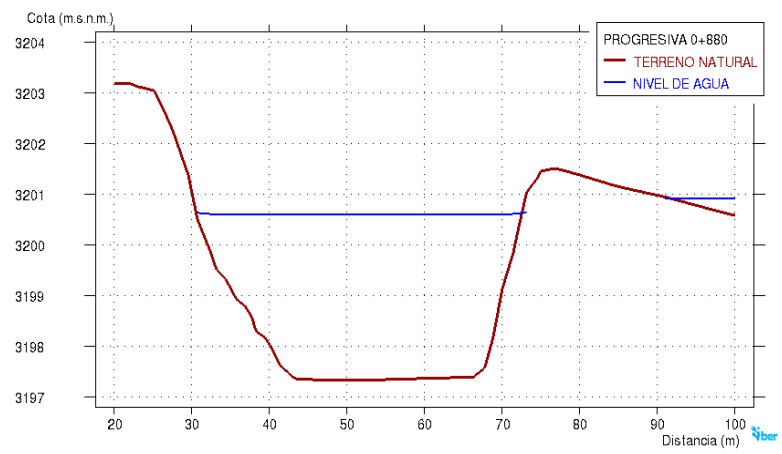
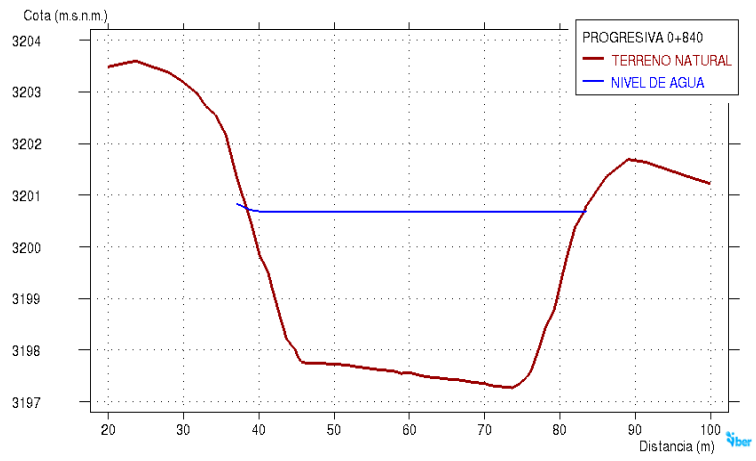
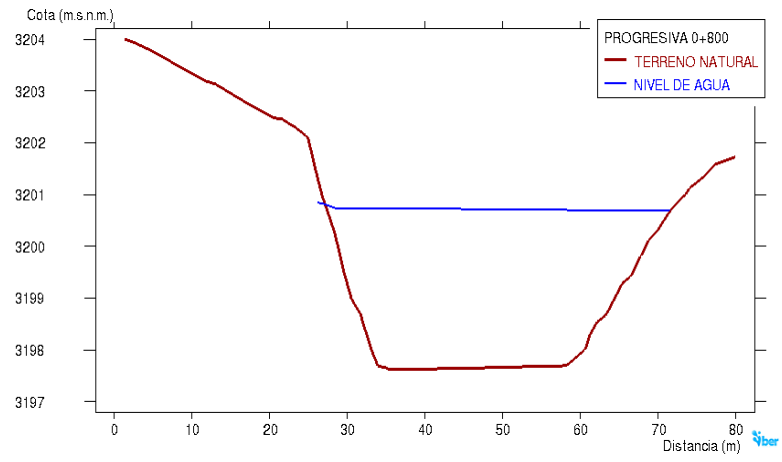


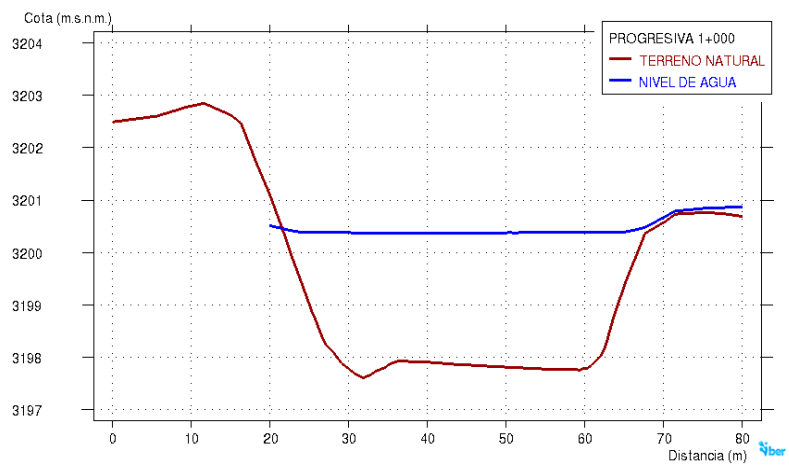
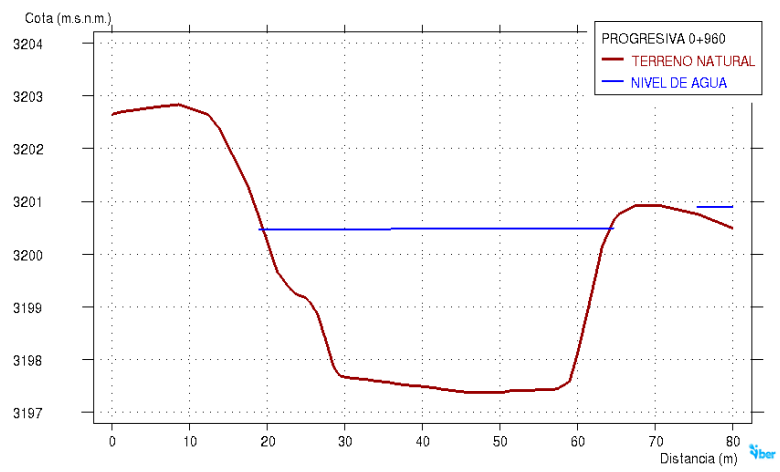
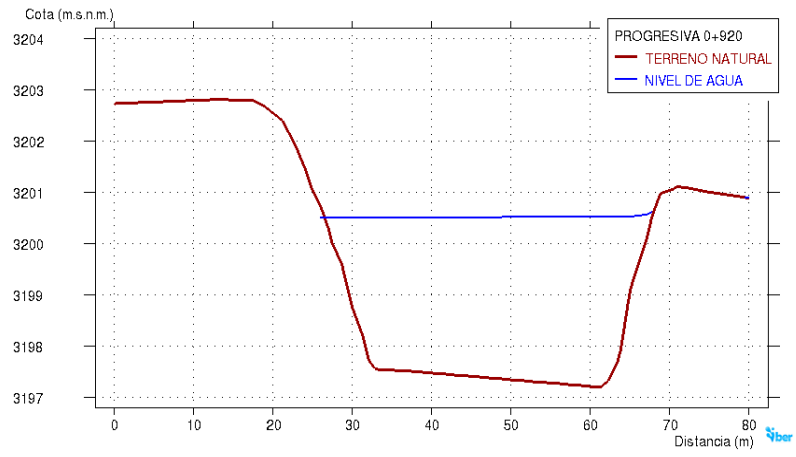


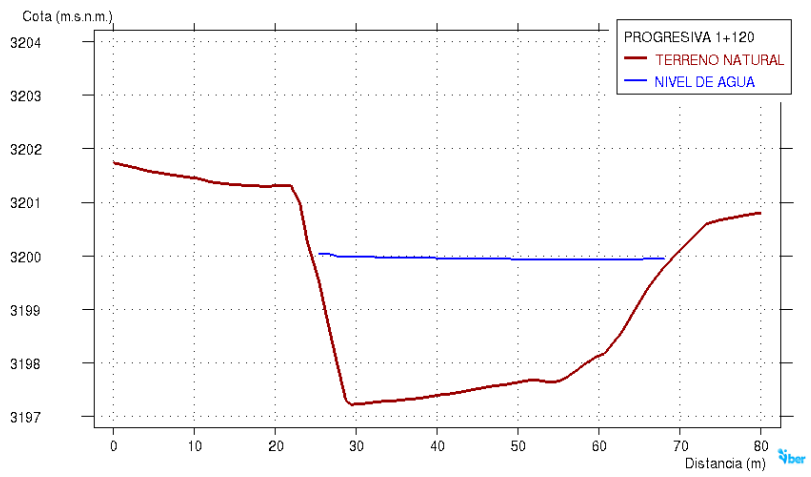
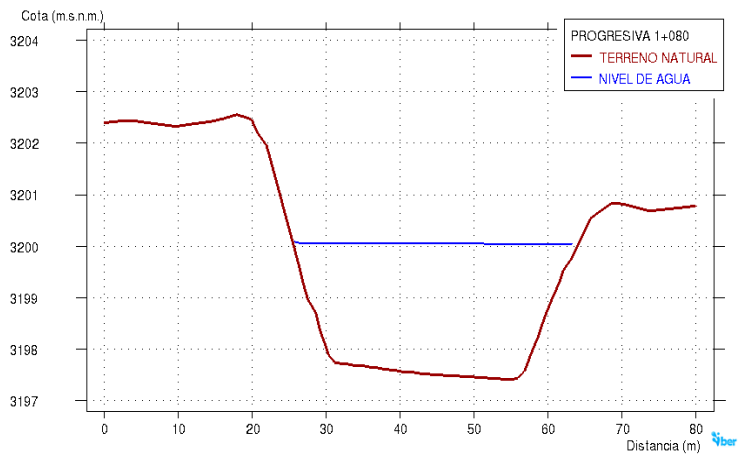
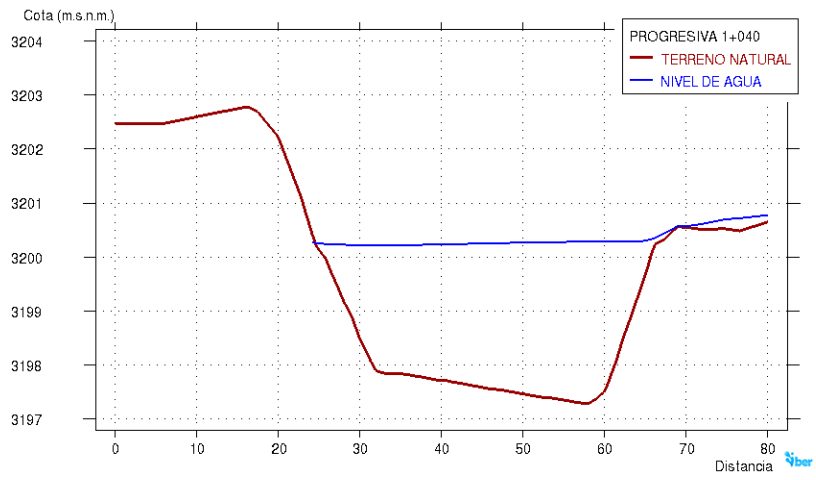


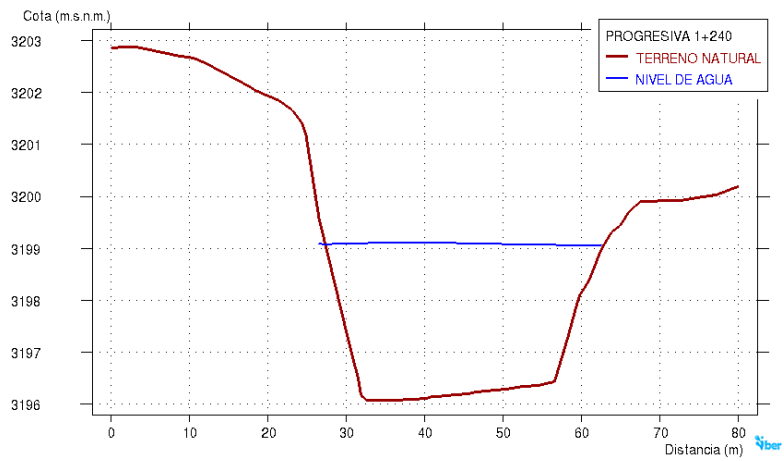
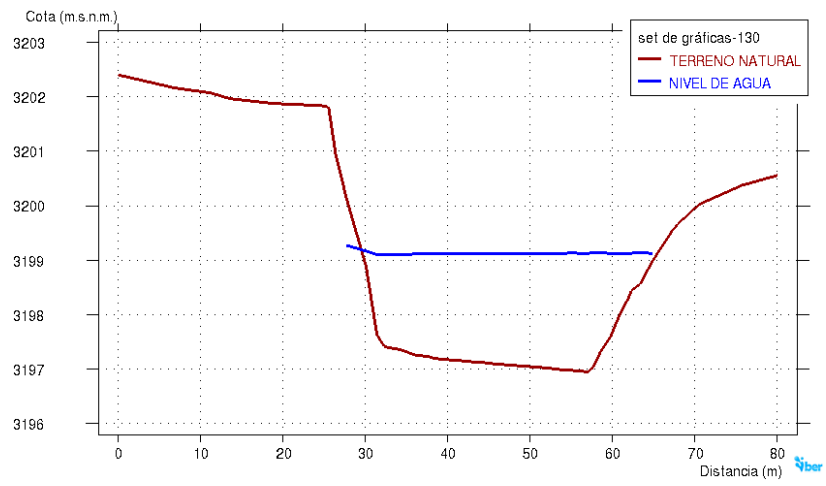
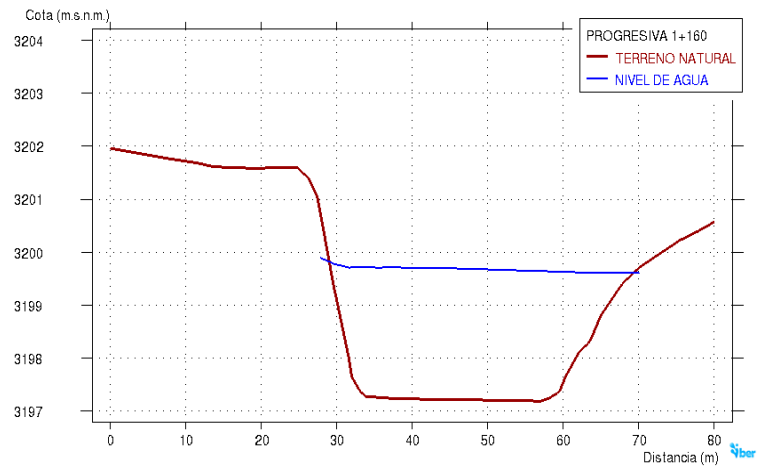


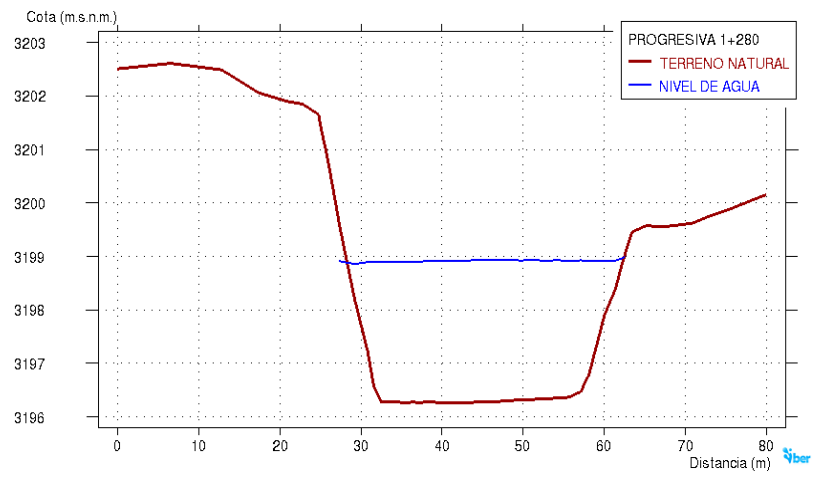




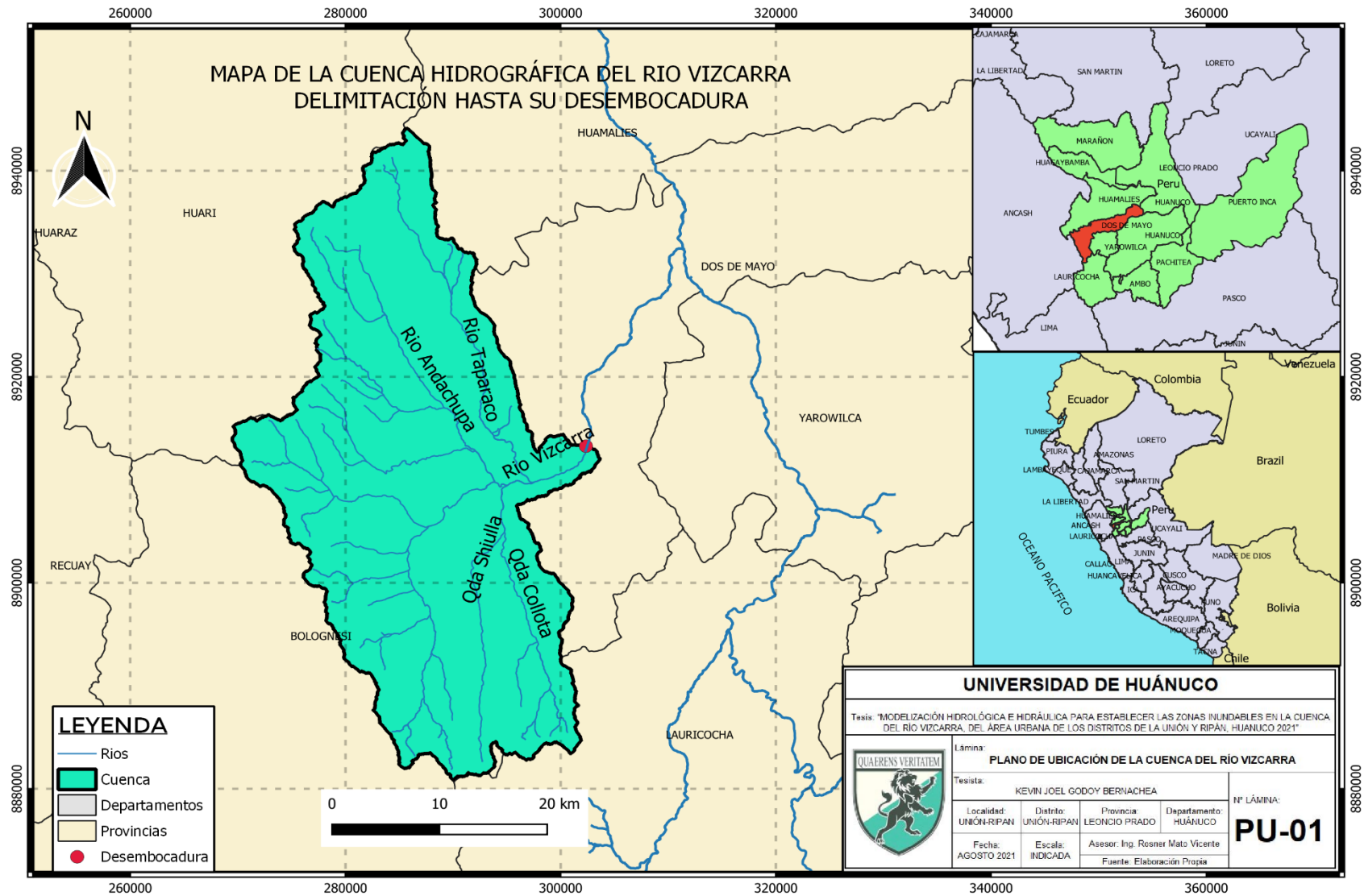


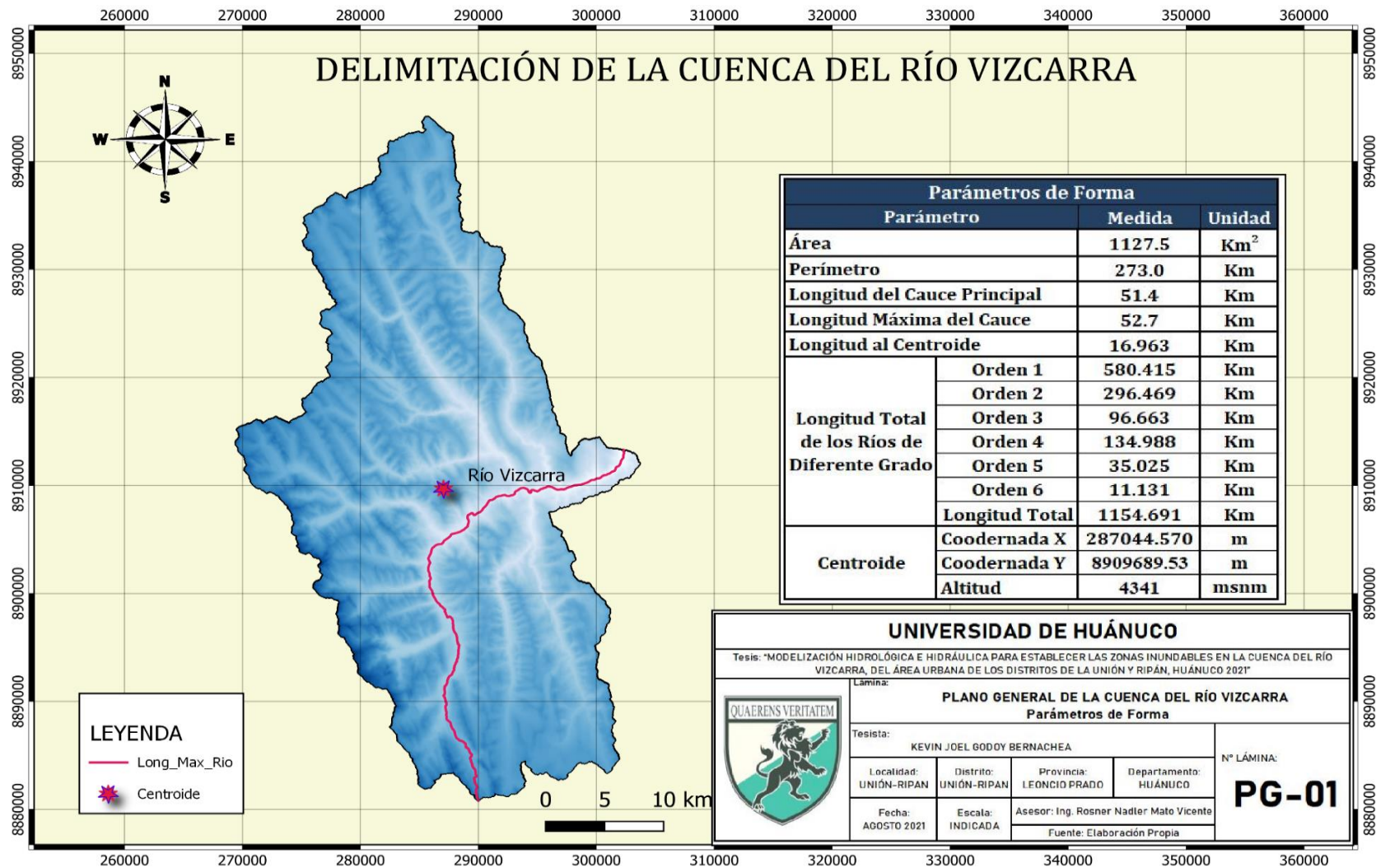


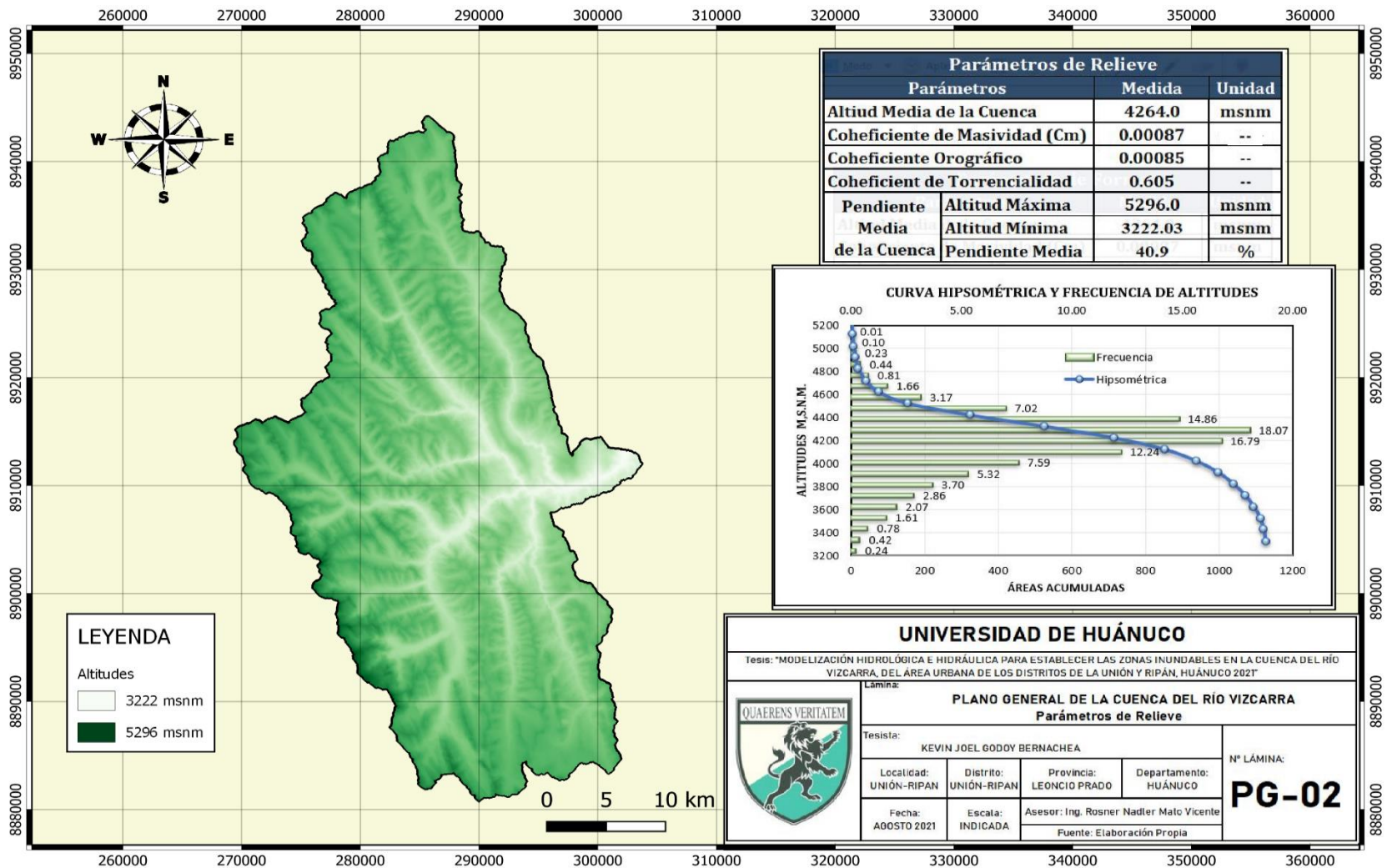




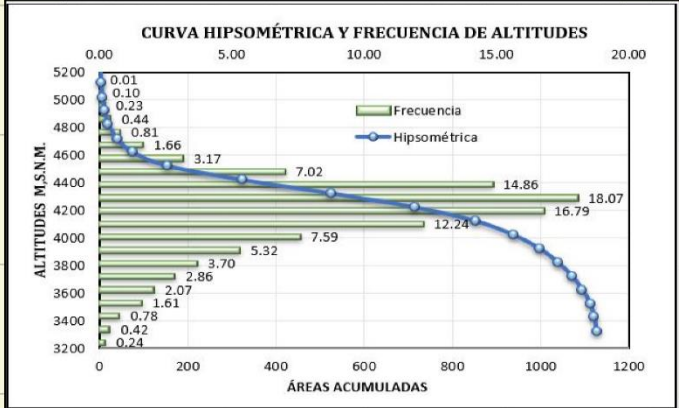
ANEXO N°06. MAPAS TEMÁTICOS







Parámetros de Relieve		
Parámetros	Medida	Unidad
Altitud Media de la Cuenca	4264.0	msnm
Cohesiciente de Masividad (Cm)	0.00087	--
Cohesiciente Orográfico	0.00085	--
Cohesiciente de Torrencialidad	0.605	--
Pendiente Media de la Cuenca	Altitud Máxima	5296.0 msnm
	Altitud Mínima	3222.03 msnm
Pendiente Media	Pendiente Media	40.9 %



LEYENDA

Altitudes

	3222 msnm
	5296 msnm

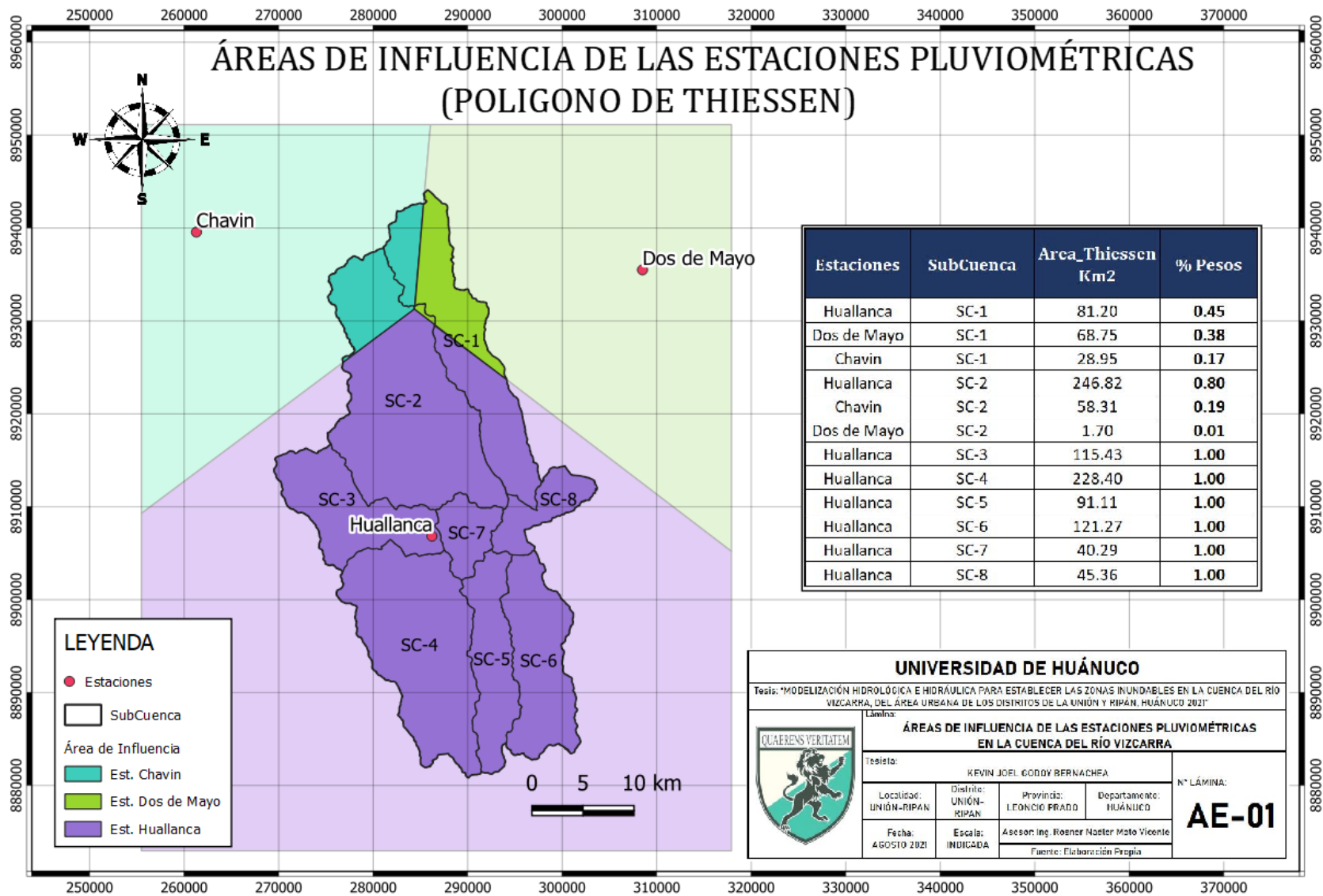
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

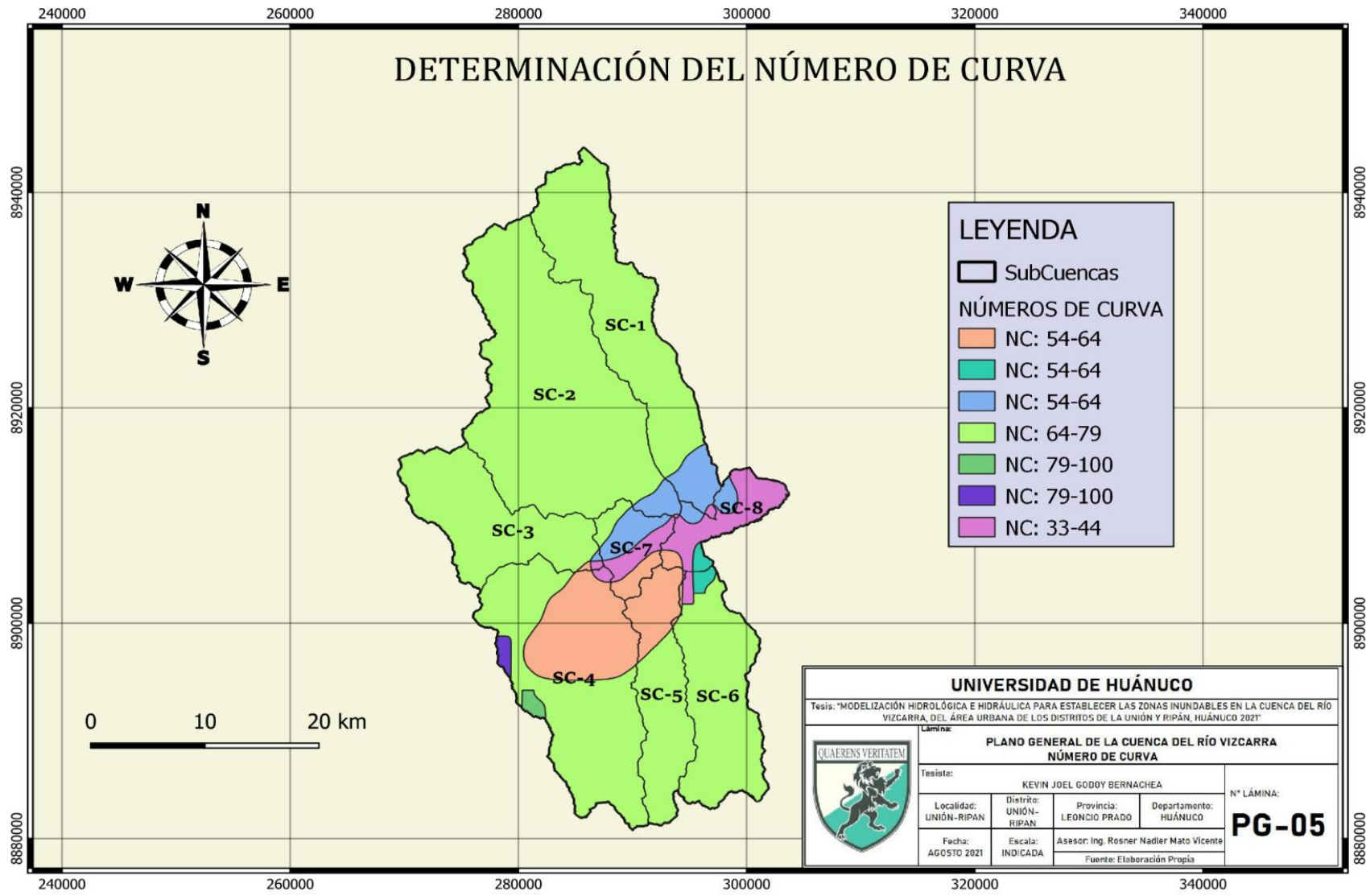
Tesis: "MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA ESTABLECER LAS ZONAS INUNDABLES EN LA CUENCA DEL RÍO VIZCARRA, DEL ÁREA URBANA DE LOS DISTRITOS DE LA UNIÓN Y RIPÁN, HUÁNUCO 2021"

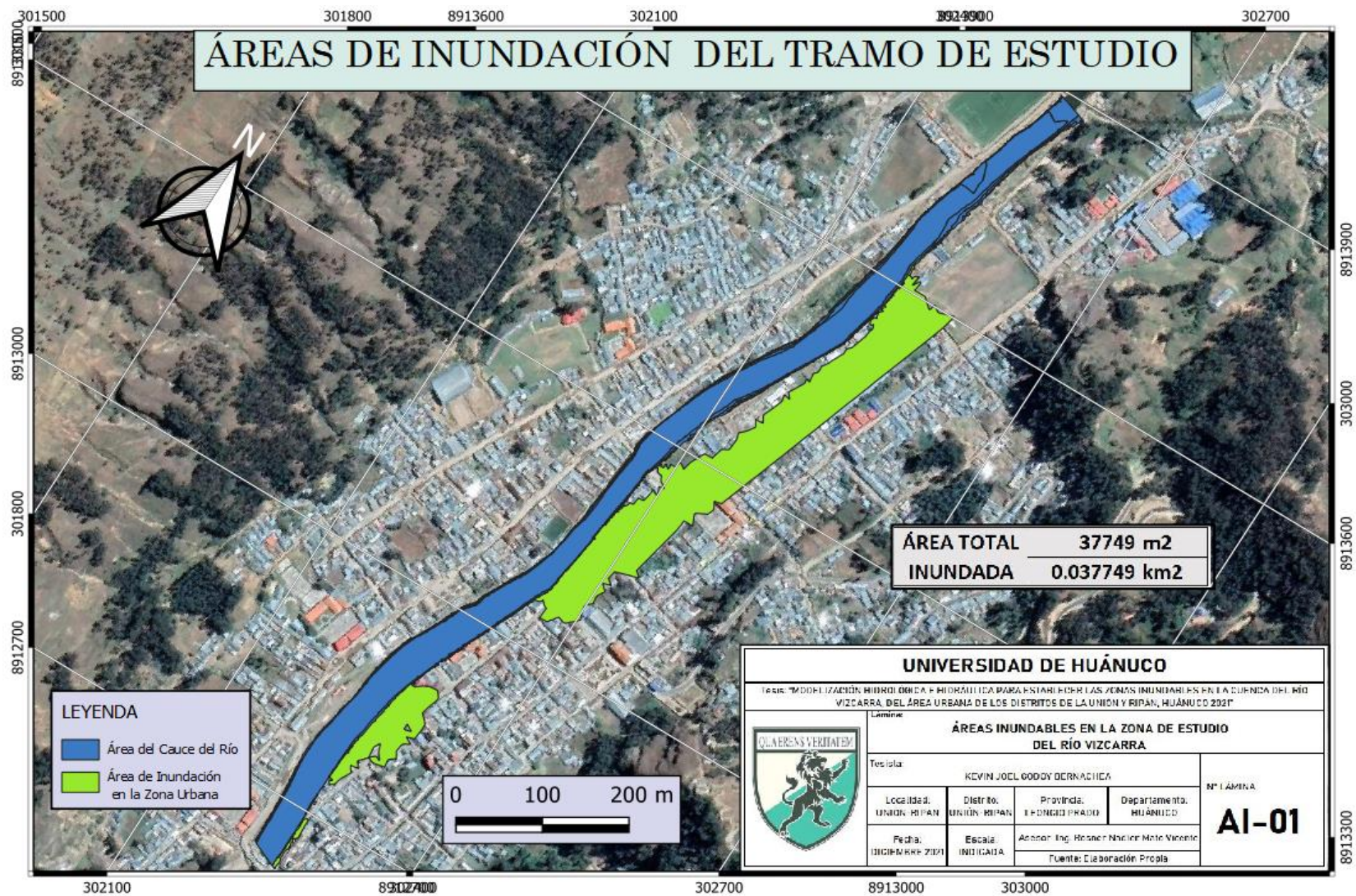
Lámina: **PLANO GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO VIZCARRA**
Parámetros de Relieve

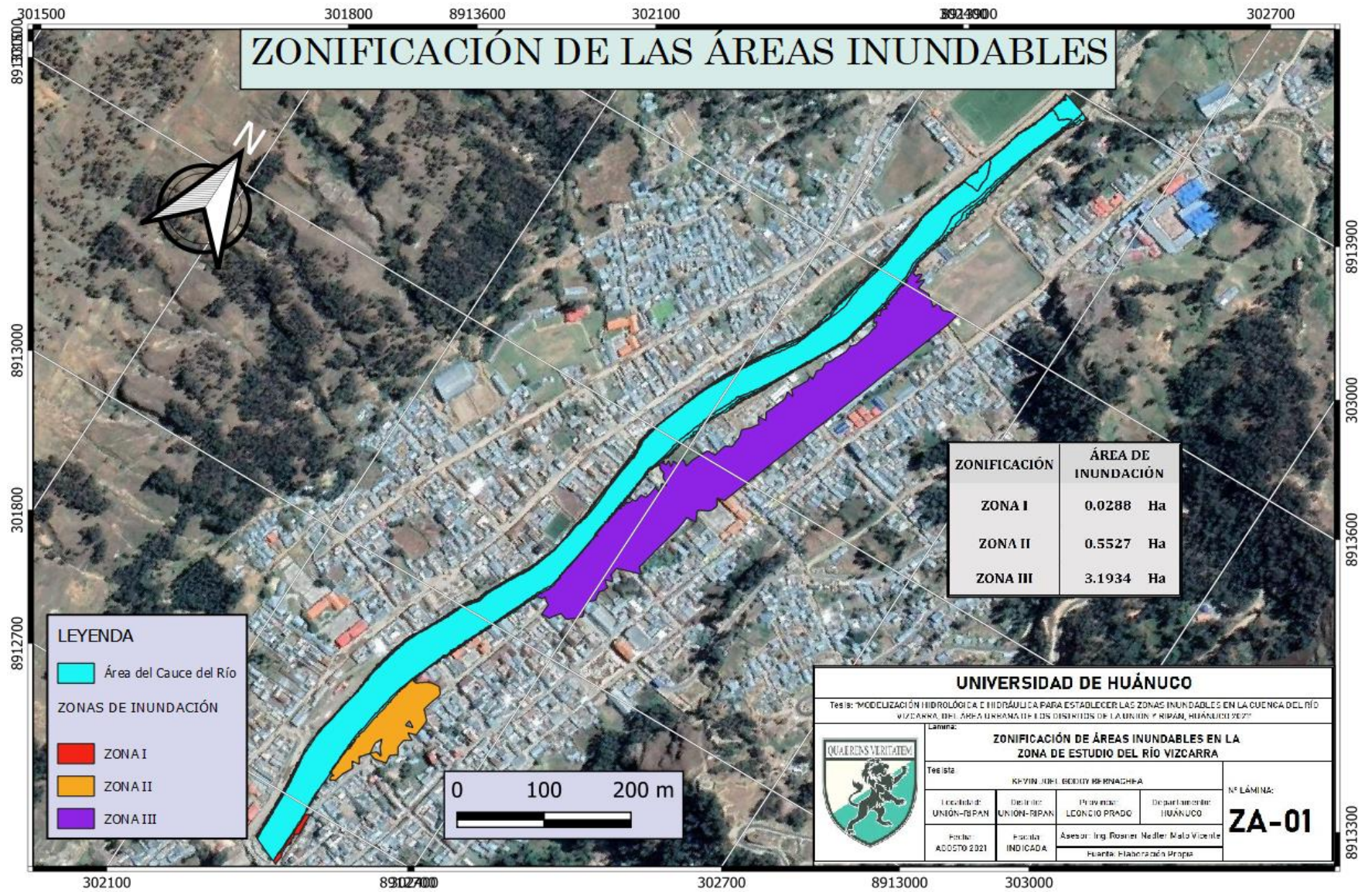
Tesisista: KEVIN JOEL GODDY BERNACHEA				N° LÁMINA: PG-02
Localidad: UNIÓN-RIPÁN	Distrito: UNIÓN-RIPÁN	Provincia: LEONCIO PRADO	Departamento: HUÁNUCO	
Fecha: AGOSTO 2021	Escala: INDICADA	Asesor: Ing. Rosner Nadler Mato Vicente		
Fuente: Elaboración Propia				











ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS INUNDABLES

LEYENDA

Área del Cauce del Río

ZONAS DE INUNDACIÓN

- ZONA I
- ZONA II
- ZONA III

ZONIFICACIÓN	ÁREA DE INUNDACIÓN
ZONA I	0.0288 Ha
ZONA II	0.5527 Ha
ZONA III	3.1934 Ha

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Tesis: "MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA ESTABLECER LAS ZONAS INUNDABLES EN LA CUENCA DEL RÍO VIZCARRA, DPH. ÁREA URBANA DE LOS DISTRITOS DE LA UNIÓN Y RIPAN, HUÁNUCO 2021"

Lámina: **ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN LA ZONA DE ESTUDIO DEL RÍO VIZCARRA**

Tesisista: **KEVIN JHON BODDY BERNACHEA**

Instituto: UNION-RIPAN	Districto: UNION-RIPAN	Provincia: LEONCIO PRADO	Departamento: HUÁNUCO
Fecha: ADOPTO 2021	Fecha INDICADA:	Asesor: Ing. Rosner Medler Malo Vicente	Huanta: Elaboración Propia

N° LÁMINA: **ZA-01**

ANEXO N°07. PANEL FOTOGRÁFICO



Vista panorámica de la zona de estudio correspondiente a los distritos de La Unión y Ripán



Se visualiza el equipo Dron Phantom 3 para el levantamiento topográfico en la zona de estudio



Armado de las piezas del Dron a utilizar en el levantamiento toográfico.



Primer punto de estación ubicada en la margen izquierda del río Vizcarra y cercana a la estación 0+240



Se visualiza el tramo inicial del levantamiento topográfico que inicia a partir de la finalización del puente observado.



En la imagen se muestra el recorrido del flujo de agua hacia el puente Cáseres.



La margen derecha del río Vizcarra cuenta con muros de contención como protección ribereña.



Se observa la acumulación de desechos en la margen izquierda de la ribera del río Vizcarra.



Se observa la acumulación de bolonería de gran tamaño en la margen izquierda de la ribera del río Vizcarra.



La imagen representa el ultimo tramo del levantamiento topográfico correspondiente a la estación 1.



Se finaliza con el levantamiento topografico y se procede a recoger el Dron para colocarnos en otro punto



Nos ubicamos en una nueva estación para continuar con el levantamiento topografico que se ubica en la progresiva 1+240.



Se procede a calibrar el equipo topografico realizando una rotación de 360 grados sobre un mismo eje para el inicio del vuelo.



Se observa parte el ingreso al puente de Fierro donde ambas márgenes cuentan con la protección de muros de contención y con presencia de boloneria en sus riberas



Se observa que la margen izquierda cuenta con muro de contención mientras la margen derecha la vivienda marca el limite del cauce.



El fin del tramo corresponde a la progresiva 1+300, donde la sección del río es mas ancha y no posee protección en ambas márgenes