UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

T E S I S

Estimación de riesgos ante inundaciones, mediante el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, en un tramo de la cuenca del Rio Chaupihuaranga, Yanahuanca, Pasco, 2023

Para optar el grado académico de Maestro en:

Gestión del Sistema Ambiental

Autor:

Bach. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Asesor:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA

Cerro de Pasco - Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

T E S I S

Estimación de riesgos ante inundaciones, mediante el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, en un tramo de la cuenca del Rio Chaupihuaranga, Yanahuanca, Pasco, 2023

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO
PRESIDENTE

Dr. Eusebio ROQUE HUAMAN
MIEMBRO

Mg. José Luis SOSA SANCHEZ
MIEMBRO

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Escuela de Posgrado
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 0204-2024- DI-EPG-UNDAC

La Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:
Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Escuela de Posgrado:
MAESTRÍA EN GESTIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL

Tipo de trabajo:
TESIS

TÍTULO DEL TRABAJO:
ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHUARANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

ASESOR (A): Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA

Índice de Similitud:
14%

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 07 de noviembre del 2024

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: BALDEON DIEGO Jheysen Luis FAU 20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 08/11/2024 09:35:27-0500

DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE
Dr. Jheysen Luis BALDEON DIEGO
DIRECTOR

c.c. Archivo
JLBD/EPG

DEDICATORIA:

A Dios

Por su gloria, todos mis logros se lo debo a él.

A mis Padres

Por el ejemplo, el amor y la dedicación que me dieron y me dan; con mucho cariño y afecto para Jorge Manuel y Gladys.

A mi esposa e hijos

Por su compañía y su motivación, por sus besos y abrazos infinitos; con todo mi amor para Yanina, Alejandra y Adriel.

AGRADECIMIENTO

A mis Maestros

Por sus enseñanzas, por sembrar en mí el conocimiento y la sabiduría, a mi asesor y mis jurados de tesis; a todos quienes directa e indirectamente contribuyeron en la consolidación del presente trabajo de investigación. ¡Gracias por tanto!

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad estimar los riesgo ante inundaciones, es decir, predecir estos fenómenos naturales en el tramo urbano de la ciudad de Yanahuanca, tramo por donde se vierte el cauce del rio Chaupihuaranga, ubicado en el distrito de Yanahuanca, Provincia Daniel Alcides Carrión, departamento de Pasco; esta investigación se desarrolla por la observación de eventos de precipitaciones máximas que recientemente causaron socavaciones y deslizamiento en la ribera de la zona urbana del rio Chaupihuaranga.

En principio, se recopiló la data de registros históricos de SENAMHI, desde el año 2016 hasta el año 2022, esta data fue procesada para su completación y extensión, para ello, se utilizó el software Easyfit; posteriormente con el software Hydrognomon, generamos las precipitaciones máximas, para diferentes periodos de retorno, la distribución de mejor ajuste y con menor delta teórico, fue la distribución Person III; con el software ArcGIS, se realizó la delimitación de la cuenca, para obtener los parámetros hidrográficos, fisiográficos y el número curva; paralelamente, se realizó el levantamiento topográfico del tramo del rio que pasa por la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca; posteriormente, se trabajó en la obtención de las curvas IDF y del hietograma o tormenta de diseño; para el cálculo de los caudales máximos se utilizó el modelo matemático Hec-HMS; la simulación hidráulica del rio Chaupihuaranga se realizó con el Hec-RAS, donde se identificó las zonas altamente vulnerables ante inundaciones, clasificándolo, según el manual del INDECI, como una zona de Alto Riesgo; Finalmente, concluimos que existiría un desbordamiento del cauce del rio, para periodos de retorno desde los 50 años, por ello, se concluye la investigación proponiendo soluciones no estructurales y estructurales, en ambos márgenes del rio Chaupihuaranga.

Palabras claves: Estudio hidrológico, simulación hidráulica, hidrología, cuenca hidrológica, inundaciones, riesgos ante inundaciones, delimitación de cuencas, modelos matemáticos en hidrología e hidráulica.

ABSTRACT

The present research aims to estimate flood risks, specifically to predict such natural phenomena within the urban section of the city of Yanahuanca, where the Chaupihuaranga River flows through. This section is located in the Yanahuanca District, Daniel Alcides Carrión Province, Pasco Department, Peru. The study is motivated by recent extreme precipitation events that have caused riverbank erosion and landslides along the urban stretch of the Chaupihuaranga River.

Initially, historical rainfall data from SENAMHI, covering the period from 2016 to 2022, was collected, processed, and completed using Easyfit software. Then, maximum precipitation values for different return periods were generated using Hydrognomon software. The Pearson Type III distribution was identified as the best fit with the smallest theoretical delta. Watershed delineation and the extraction of hydrographic, physiographic parameters, and the Curve Number were performed using ArcGIS. Concurrently, a topographic survey was conducted along the urban section of the river.

Subsequently, IDF curves and the design storm hyetograph were developed. Maximum flow rates were calculated using the HEC-HMS hydrologic model. Hydraulic simulation of the Chaupihuaranga River was carried out with HEC-RAS, which allowed the identification of high flood risk areas. According to the INDECI manual, these areas were classified as High Risk Zones. The study concludes that river overflow is likely to occur for return periods of 50 years or more. Therefore, both structural and non-structural mitigation measures are proposed for both banks of the Chaupihuaranga River.

Keywords: Hydrological study, hydraulic simulation, hydrology, watershed, floods, flood risk, watershed delineation, mathematical modeling in hydrology and hydraulics.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, da sus inicios en la necesidad de identificar cada zona y área en peligro, analizando la vulnerabilidad ante estos peligros y estimando el riesgo ante inundaciones, utilizando softwares y modelos matemáticos de orden hidrológico e hidráulico, que nos permitirán predecir estos fenómenos, esto en el segmento por donde atraviesa esta corriente de agua en el tramo urbano de la ciudad de Yanahuanca, ubicado en el distrito de Yanahuanca, Provincia Daniel Alcides Carrión, departamento de Pasco; en épocas de estiaje se puede observar que la corriente viene ocasionando socavación y por tanto deslizamiento de los taludes alrededor de la rivera del rio Chaupihuaranga, recientemente en el año 2019, ocurrió un evento de máximas precipitaciones que desataron una crecida bastante importante en el caudal de este río, provocando derrumbes de viviendas y colapsos de vías de transitabilidad urbana y peatonal, además, de la perdida parcial del sistema de saneamiento básico y drenaje pluvial de la ciudad.

En este marco, se contempló esta investigación, teniendo como punto de partida la obtención de datos históricos de precipitaciones máximas, el mismo que fue solicitado y proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, la data remitida por la entidad fue en el periodo de 1996 hasta el 2022, el mismo que carecía de registro en algunas fechas, es decir no estaban completas, por ello, se trabajó en la completación y extensión de estos, para este fin se utilizó el software Easyfit, este software utiliza varias funciones de distribución que nos ayuda a determinar nuevos datos sintéticos; con estos datos generados y con el software Hydrognomon, generamos las precipitaciones máximas, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 500 y 1000 años, la distribución de mejor ajuste y con menor delta teórico, fue la distribución Person III; paralelamente con el software ArcGIS, se trabajó en la delimitación de la cuenca Chaupihuaranga y la obtención de sus parámetros hidrográficos y fisiográficos, donde se pudo conocer que la cuenca en estudio tiene un área de 807,34 km^2, por tanto, estaría clasificada como una cuenca

grande, así también, se calculó el tiempo de concentración con el método de Kirpich, este valor fue de 4,5 horas; así mismo, para tener una mejor precisión del detalle y la morfología de nuestro rio Chaupihuaranga, se realizó el levantamiento topográfico del tramo en estudio; posteriormente, con la ayuda del modelo IDF-Tormenta, se trabajó en la obtención de las curvas IDF y del hietograma o tormentas de diseño; con la ayuda del modelo matemático Hec-HMS, trabajamos en la obtención de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno, y para intervalos de 5 minutos; para la obtención del valor del número curva (CN), utilizamos el software ArcGIS, haciendo uso del Shapefile de la Autoridad Nacional del Agua – ANA; En la simulación hidráulica con el Hec-RAS, se puedo ver zonas altamente vulnerables ante inundaciones en el margen derecho e izquierdo del rio Chaupihuaranga, clasificándolo como una zona de Alto Riesgo, llegando a la conclusión que podría existir un desbordamiento del cauce, causando deslizamiento en ambos márgenes del rio, por tanto, se propone dar soluciones estructurales y no estructurales en la cuenca, específicamente en el tramo urbano de la ciudad de Yanahuanca.

En última instancia, este estudio aspira contribuir al conocimiento y la concientización sobre este fenómeno, promoviendo la toma de decisiones y la implementación de medidas efectivas para proteger vidas, propiedades y recursos naturales.

ÍNDICE

DEDICATORIA:

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema *1*

1.1.1. Identificación del Problema..... *1*

1.1.2. Planteamiento del Problema..... *2*

1.2. Delimitación de la investigación 3

1.3. Formulación del problema..... 6

1.3.1. Problema general *6*

1.3.2. Problemas específicos *6*

1.4. Formulación de objetivos 7

1.4.1. Objetivo general 7

1.4.2. Objetivos específicos..... 7

1.5. Justificación de la investigación 7

1.5.1. Justificación teórica 7

1.5.2. Justificación ambiental 8

1.5.3. Justificación Metodológica..... 9

1.5.4. Justificación económica..... 9

1.6. Limitaciones de la investigación..... 9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio 11

2.1.1. Antecedentes a nivel internacional 11
2.1.2. Antecedentes a nivel nacional 13
2.2. Bases teóricas y científicas 15
2.2.1. Normativa aplicable para la investigación 15
2.2.2. Fundamentos hidrológicos 18
2.2.3. Estadística aplicada a la hidrología 43
2.2.4. Fundamentos hidráulicos 69
2.2.5. Inundaciones 74
2.2.6. Identificación de peligro, análisis de vulnerabilidad y estimación de riesgos 80
2.2.7. Modelos matemáticos y softwares relacionados a la investigación 99
2.3. Definición de términos básicos 102
2.3.1. Amenaza 102
2.3.2. Estudio Hidrográfico 102
2.3.3. Estudio Hidrológico 103
2.3.4. Estudio Hidromorfológico 103
2.3.5. Hidráulica 103
2.3.6. Hidrología 104
2.3.7. Inundación 104
2.3.8. Máxima avenida 104
2.3.9. Modelamiento hidráulico 104
2.3.10. Periodo de retorno 104
2.3.11. Período de Retorno de 10 años 105
2.3.12. Período de Retorno de 100 años 105
2.3.13. Período de Retorno de 500 años 105
2.3.14. Precipitación 105
2.3.15. Riesgo potencial 105
2.3.16. Situación de riesgo 105

2.3.17. Tiempo de concentración 106

2.4. Formulación de hipótesis 106

2.4.1. Hipótesis general 106

2.4.2. Hipótesis Específicos 106

2.5. Identificación de variables 107

2.5.1. Variable independiente 107

2.5.2. Variable dependiente 107

2.5.3. Condición de espacio 107

2.5.4. Condición de tiempo 107

2.6. Definición operacional de variables e indicadores 107

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación 110

3.2. Nivel de Investigación 110

3.3. Métodos de investigación 111

3.4. Diseño de investigación 111

3.5. Población y muestra 112

3.5.1. Población 112

3.5.2. Muestra 112

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 112

3.6.1. Técnicas 112

3.6.2. Instrumentos 118

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación 119

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 119

3.9. Tratamiento estadístico 121

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica 122

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo 123

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados..... 127

4.2.1. Resultados de estudios y análisis hidrológicos 127

4.2.2. Resultado de estimación de riesgos ante inundaciones 167

4.2.3. Resultados de sistemas de protección 181

4.3. Prueba de hipótesis 182

4.4. Discusión de resultados 185

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vías de acceso a Yanahuanca 4

Tabla 2. Unidades hidrográficas y rangos 22

Tabla 3. Rango y forma según coeficiente de compacidad 23

Tabla 4. Rangos aproximados del factor de forma 23

Tabla 5. Tipo de pendiente 27

Tabla 6. Rangos de densidad de drenaje 30

Tabla 7. Valores de rugosidad de manning 32

Tabla 8. Valores críticos α para la prueba Kolmogorov - Smirnov 49

Tabla 9. Coeficientes de duración de lluvias entre 1 y 48 horas 53

Tabla 10. Periodo de retorno para estructuras 55

Tabla 11. Criterios para el diseño de estructuras hidráulicas 56

Tabla 12. Obra y periodo de retorno 57

Tabla 13. Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana 60

Tabla 14. Coeficientes de escorrentía Método Racional 63

Tabla 15. Constante de MAC MATH 65

Tabla 16. Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad 68

Tabla 17. Tipología de inundaciones 78

Tabla 18. Tipos de vulnerabilidad ante inundaciones fluviales 84

Tabla 19. Operacionalización de variables e indicadores 108

Tabla 20. Valores geométricos de la cuenca del rio Chaupihuaranga 133

Tabla 21. Cuadro de áreas entre curvas de nivel de la cuenca 133

Tabla 22. Parámetros hidrográficos de la cuenca 135

Tabla 23. Tabla de resumen de precipitaciones máximas en 24 horas por cada mes y año 136

Tabla 24. Datos meteorológicos completados y extendidos por Easyfit 137

Tabla 25. Registro y procesamiento de datos sintéticos (completados y extendidos) 138

Tabla 26. Tabla de parámetros estadísticos de estación Yanahuanca..... 140

Tabla 27. Prueba de datos dudosos y erróneos..... 141

Tabla 28. Resultado de prueba de bondad 144

Tabla 29. Precipitaciones máximas según distribución Person III 146

Tabla 30. Valores de precipitación máxima corregida 147

Tabla 31. Valores de coeficientes del MTC 148

Tabla 32. Precipitaciones determinadas mediante método de coeficientes..... 149

Tabla 33. Valores de intensidades máximas 149

Tabla 34. Valores de intensidades de diseño..... 149

Tabla 35. Cálculo de número curva (CN) de la cuenca 152

Tabla 36. Cálculo de retención potencial máxima y abstracción inicial..... 152

Tabla 37. Cálculo de tiempo de retardo y otros parámetros 153

Tabla 38. Caudales máximos obtenidos 159

Tabla 39. Caudal máximo de diseño para modelamiento hidráulico..... 160

Tabla 40. Tabla de valores promedios de profundidad y velocidad, según periodo de retorno 163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del proyectos 4

Figura 2. Diagrama de ruta 1, Yanahuanca – Lima 5

Figura 3. Diagrama de ruta 2 Yanahuanca - Lima 5

Figura 4. Diagrama de ruta 3 Yanahuanca – Lima 6

Figura 5. Esquema de ciclo hidrológico 18

Figura 6. Esquema de cuenca hidrográfica 20

Figura 7. Delimitación de cuenca hidrográfica 21

Figura 8. Curva hipsométrica 25

Figura 9. Gráfica de frecuencia de altitudes 25

Figura 10. Rectángulo equivalente 26

Figura 11. Orden de la corriente 29

Figura 12. Pluviómetro 37

Figura 13. Ubicación correcta de un pluviómetro 37

Figura 14. Pluviógrafo con flotador 38

Figura 15. Pluviograma 38

Figura 16. Método promedio aritmético 39

Figura 17. Método de polígono de thiessen 40

Figura 18. Método de las isoyetas 41

Figura 19. Comparación de distribuciones con mejor ajuste en easyfit 42

Figura 20. Hietograma en forma de histograma 50

Figura 21. Hietograma anual lineal 50

Figura 22. Curva intensidad – duración de datos registrados 51

Figura 23. Curva de intensidad duración de datos proyectados 51

Figura 24. Curva IDF 52

Figura 25. Índice de infiltración φ 58

Figura 26. Tipos de flujo de superficie libre 70

Figura 27. Notación de la ecuación de la continuidad 71

Figura 28. Zonificación de áreas potenciales inundables 77

Figura 29. Niveles de intensidad según profundidad de flujo 81

Figura 30. Niveles de intensidad según periodo de retorno 82

Figura 31. Matriz de nivel de peligrosidad 82

Figura 32. Matriz, vulnerabilidad total 85

Figura 33. Matriz 01, localización de viviendas 85

Figura 34. Matriz 02, material de construcción utilizadas en viviendas 86

Figura 35. Matriz 03, características geológicas, calidad y tipo de suelo 86

Figura 36. Matriz 04, cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedimientos constructivos 86

Figura 37. Matriz, grado de vulnerabilidad física 87

Figura 38. Matriz 01, explotación de los recursos naturales 88

Figura 39. Matriz 02, fuentes emisoras de sustancias peligrosas 88

Figura 40. Matriz, grado de vulnerabilidad ambiental ecológica 89

Figura 41. Matriz 01, actividad económica 90

Figura 42. Matriz 01, nivel de organización 91

Figura 43. Matriz 02, grado y tipo de relación e integración entre las instituciones y organizaciones locales 92

Figura 44. Grado de vulnerabilidad social 92

Figura 45. Matriz 01, existencia de capacitación en colegios en temas concernientes a Defensa Civil 93

Figura 46. Matriz 02, existencia de capacitación de la población civil en temas concernientes a Defensa Civil 93

Figura 47. Matriz 03, campañas de difusión 94

Figura 48. Matriz, grado de vulnerabilidad educativa 95

Figura 49. Cuadro matriz de riesgo 96

Figura 50. Zonificación territorial del riesgo ante inundaciones, criterios. 97

Figura 51. Recepción de solicitud de data a SENAMHI 113

Figura 52. Plataforma de descarga de imágenes satelitales (dem) 114

Figura 53. Plantilla de planos y mapas 115

Figura 54. Plantilla de parámetros fisiográficos de la cuenca 115

Figura 55. Plantilla de cuadro de áreas entre curvas de nivel 116

Figura 56. Plantilla de presentación de curva hipsométrica 116

Figura 57. Plantilla de polígono de frecuencia de altitudes 116

Figura 58. Plantilla de parámetros de red hidrográfica de una cuenca 117

Figura 59. Plantilla de base de datos de SENAMHI - estación Yanahuanca 117

Figura 60. Plantilla de datos procesados - completados y extendidos 118

Figura 61. Plantilla de cálculo de precipitaciones máximas y mínimas en 24 horas por mes y año 118

Figura 62. Foto panorámica del recorrido del río Chaupihuaranga a través de la cuenca 124

Figura 63. Foto de infraestructuras públicas en Yanahuanca en peligro aparente ... 124

Figura 64. Foto en el que el rio Chaupihuaranga pasa por la zona urbana de Yanahuanca..... 124

Figura 65. Plano topográfico del tramo I, progresiva: 0+000.00 - 0+650.00 125

Figura 66. Vista de i.e. De nivel inicial en trabajos topográficos al borde del rio Chaupihuaranga 126

Figura 67. Vista de trabajos topográficos en la cuenca con la supervisión del investigador 126

Figura 68. Vista panorámica de los trabajos topográficos en la rivera del rio Chaupihuaranga 126

Figura 69. Imagen satelital dem del área donde se encuentra la cuenca 127

Figura 70. Vista de imagen satelital superpuesta en el área en estudio 128

Figura 71. Imagen de procesamiento de datos - fijación de punto de control de cuenca 129

Figura 72. Imagen de procesamiento de datos - delimitación de cuenca 129

Figura 73. Imagen de procesamiento de datos - identificación de microcuencas y flujos del DEM 130

Figura 74. Imagen de procesamiento de datos - identificación de alturas y centroide de la cuenca 131

Figura 75. Imagen de procesamiento de datos - reclasificación de áreas en función a las alturas del a cuenca 131

Figura 76. Imagen de procesamiento de datos - obtención de parámetros de la cuenca (área, perímetro y otros) 132

Figura 77. Imagen de procesamiento de datos - características de la red de drenaje de la cuenca 132

Figura 78. Curva hipsométrica de la cuenca 134

Figura 79. Polígono de frecuencia de altitudes de la cuenca 134

Figura 80. Histograma de registro de precipitaciones de la estación Yhca..... 139

Figura 81. Creación de proyecto en Hydrognomon 141

Figura 82. Procesamiento de datos - comportamiento de datos en distribución normal 142

Figura 83. Comparación de distribuciones probabilísticas para la data de la estación Yanahuanca..... 143

Figura 84. Comparación de diagramas generados por las diferentes distribuciones probabilísticas..... 143

Figura 85. Distribución Person III 144

Figura 86. Histograma de distribución Person III..... 145

Figura 87. Precipitaciones máximas generadas por Hydrognomon..... 146

Figura 88. Precipitaciones máximas para diferentes T 148

Figura 89. Curva I-D-F (intensidad, duración y frecuencia) 150

Figura 90. Hietograma de diseño para T= 100 años 150

Figura 91. Procesamiento de datos, cálculo de CN..... 151

Figura 92. Procesamiento de datos de la cuenca en Hec-HMS 154

Figura 93. Ingreso de datos en Hec- HMS, método de Snyder. 155

Figura 94. Ingreso de datos, abstracción inicial, número curva e impermeabilidad. . 155

Figura 95. Ingreso de datos, tiempo de retardo y coeficiente pico, método de Snyder. 155

Figura 96. Ingreso de datos de intervalo de tiempo..... 156

Figura 97. Ingreso de periodos de tiempo de estudio..... 156

Figura 98. Ingreso de valores de precipitaciones 156

Figura 99. Especificamos el control de la cuenca..... 157

Figura 100. Muestra de corrida de datos y obtención de caudales 158

Figura 101. Comparación de caudales máximos, T=100 años..... 158

Figura 102. Resultado de caudal máximo, método Snyder, T=100 años..... 158

Figura 103. Gráfica del patrón de tormenta vs el caudal máximo de salida..... 159

Figura 104. Trabajo de acondicionamiento de datos para modelamiento hidráulico. 160

Figura 105. Modelamiento hidráulico con Hec-RAS 161

Figura 106. Ingreso de coeficientes de rugosidad para cada lado y eje 161

Figura 107. Ingreso de caudales para modelamiento hidráulico..... 162

Figura 108. Ingreso de pendientes de la cuenca..... 162

Figura 109. Imagen de profundidades máximas en el rio Chaupihuaranga, T=100 años. 162

Figura 110. Imagen de velocidades máximas en el rio Chaupihuaranga, T=100años. 163

Figura 111. Imagen de nivel de superficie de agua en el rio Chaupihuaranga, t=100 años..... 163

Figura 112. Secciones transversales prog. 0+000.00 al 0+460.00 164

Figura 113. Secciones transversales prog. 0+420.00 al 0+740.00 164

Figura 114. Secciones transversales prog. 0+680.00 al 1+140.00 165

Figura 115. Secciones transversales prog. 1+140.00 al 1+564.41 165

Figura 116. Sección transversal del rio Chaupihuaranga, T=100 años, prog. 0+180.00 166

Figura 117. Sección transversal del rio Chaupihuaranga, T=100 años, prog. 1+100.00 166

Figura 118. Determinación de nivel de intensidad 169

Figura 119. Evaluación de frecuencia de fenómenos 169

Figura 120. Determinación de nivel de peligrosidad 170

Figura 121. Evaluación variable: localización de variables 171

Figura 122. Evaluación variable: material de construcción utilizada en construcción de viviendas 171

Figura 123. Evaluación variable: características geológicas, calidad y tipo de suelos 171

Figura 124. Determinamos el grado de vulnerabilidad física total 172

Figura 125. Evaluación variable: explotación de los recursos naturales 172

Figura 126. Evaluación variable: fuentes emisoras de sustancias peligrosas o materiales peligrosos 173

Figura 127. Determinamos el grado de vulnerabilidad ambiental - ecológica total ... 173

Figura 128. Evaluación variable: actividad económica 174

Figura 129. Evaluación de variable: nivel de organización 175

Figura 130. Evaluación de variable: grado y tipo de relación e integración entre instituciones y organizaciones locales 175

Figura 131. Determinamos el grado de vulnerabilidad social total..... 176

Figura 132. Evaluación variable: existencia de capacitación en colegios en temas de Defensa Civil..... 176

Figura 133. Variable: existencia de capacitación de la población civil en temas de Defensa Civil..... 177

Figura 134. Evaluación variable: campañas de difusión..... 177

Figura 135. Determinación de grado de vulnerabilidad educativa total..... 177

Figura 136. Evaluación variable: conocimiento colectivo sobre ocurrencia pasada de peligros 178

Figura 137. Evaluación variable: percepción local del riesgo 178

Figura 138. Evaluación variable: actitud frente al riesgo 178

Figura 139. Determinación de grado de vulnerabilidad cultural e ideológica 179

Figura 140. Determinación de vulnerabilidad total de la zona en estudio 180

Figura 141. Matriz de riesgo, determinación del nivel de riesgo 180

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

1.1.1. Identificación del Problema

La cuenca del rio Chaupihuaranga, ubicada en los distritos de Yanahuanca, Tápuc, San Pedro de Pillao, Chacayan, Paucar y Santa Ana de Tusi de la Provincia Daniel Alcides Carrión, departamento de Pasco, enfrenta un riesgo significativo de inundaciones debido a eventos hidrometeorológicos extremos, como intensas precipitaciones y desbordes del río. Estas inundaciones han demostrado ser altamente destructivas, como ya se puedo evidenciar, causando daños a la infraestructura urbana, la pérdida de propiedades y, en casos extremos, amenazando la seguridad de la población local, y en específico a la ciudad más poblada de esta parte del país, Yanahuanca. En el año 2019, un evento de máximas precipitaciones provocó una crecida del río Chaupihuaranga que resultó en socavaciones, derrumbes de viviendas, colapsos de vías de comunicación y la afectación del sistema de saneamiento básico y drenaje pluvial de la ciudad.

El problema principal que esta tesis busca abordar es la falta de información actualizada y herramientas de análisis de vulnerabilidad ante inundaciones en la cuenca del rio Chaupihuaranga. A pesar de la evidencia de

eventos pasados y la creciente amenaza de inundaciones debido al cambio climático, y el mal manejo del crecimiento poblacional de esta localidad, no existen estudios hidrológicos y/o simulaciones hidráulicas exhaustivas que proporcionen una comprensión completa de los riesgos asociados a estas inundaciones y específicamente el área de la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca.

1.1.2. Planteamiento del Problema

El planteamiento del problema se centra en la necesidad estricta de realizar un análisis de vulnerabilidad ante inundaciones en un tramo del río de la cuenca del rio Chaupihuaranga, Yanahuanca, Pasco, en el año 2023. Este análisis debe utilizar herramientas avanzadas de estudio hidrológico y simulación hidráulica, aplicando diversos modelos matemáticos, con el objetivo de:

- Evaluar la probabilidad y severidad de inundaciones en la cuenca del rio Chaupihuaranga, considerando las condiciones hidrometeorológicas actuales y futuras.
- Identificar las zonas específicas de mayor vulnerabilidad a inundaciones en el tramo del río en estudio, esto en el área urbana de la ciudad, evitando el colapso de infraestructuras públicas como la planta de tratamiento de aguas residuales y estadio municipal.
- Analizar el impacto potencial de las inundaciones en términos de pérdida de vidas humanas, daños a la propiedad, interrupción de servicios básicos y consecuencias socioeconómicas.
- Desarrollar estrategias de mitigación y adaptación basadas en los resultados del análisis de vulnerabilidad, que puedan ayudar a reducir el riesgo de inundaciones y aumentar la resiliencia de la comunidad local.

En resumen, este proyecto busca aportar en alertar y abordar un problema crítico de seguridad y desarrollo en el manejo de la cuenca del rio Chaupihuaranga, en el tramo urbano de la ciudad de Yanahuanca, mediante un enfoque científico y técnico que permita comprender y mitigar eficazmente los riesgos de inundaciones en esta zona vulnerable.

1.2. Delimitación de la investigación

El departamento de Pasco se encuentra a una altitud de 4380 m.s.n.m., el cual está conformado por tres provincias, estos son: Pasco, Oxapampa y Daniel Alcides Carrión, es en este último donde se desarrollara nuestra investigación, específicamente en el distrito de Yanahuanca.

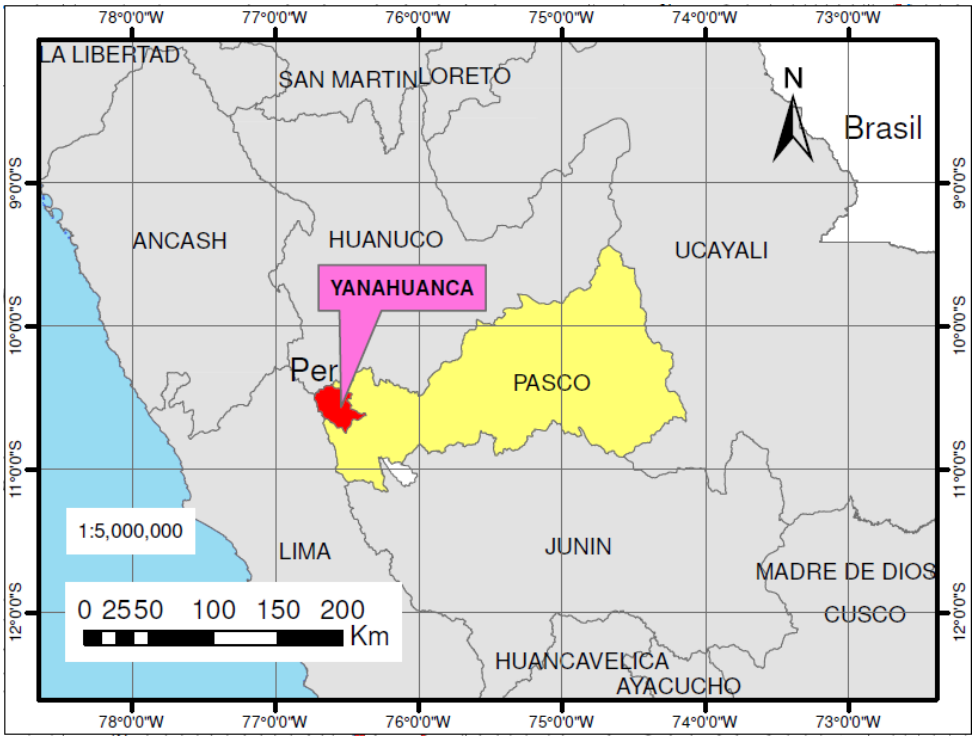
La cuenca del rio Chaupihuaranga abarca varios distrito de la provincia Daniel Alcides Carrión, sin embargo nos centraremos en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca, es ahí donde ubicaremos nuestro punto de control para motivos de delimitación hidrológica y de estudio en general, es así que este punto de control tendrá las siguientes coordenadas UTM: 335225,875 E; 8840157 N y Altitud: 3117 m.s.n.m.

Colindancias:

- Al norte con el distrito de San Pedro de Pillao y Lauricocha
- Al sur con la provincia de Pasco.
- Al este con el distrito de Tápuc, Vilcabamba y Chacayan, y
- Al oeste con la provincia de Pasco y la provincia de Oyón (Lima).

El distrito de Yanahuanca, tiene una superficie de 818,32 km^2, su población distrital, según el censo del 2017 de INEI, es de 11333 habitantes; y la localidad de Yanahuanca cuenta con una población de 5017 habitantes, lo que significaría una densidad poblacional de 13,85 hab./ km^2. Ver figura 1.

Figura 1. *Mapa de ubicación del proyecto*



Nota. Elaboración propia

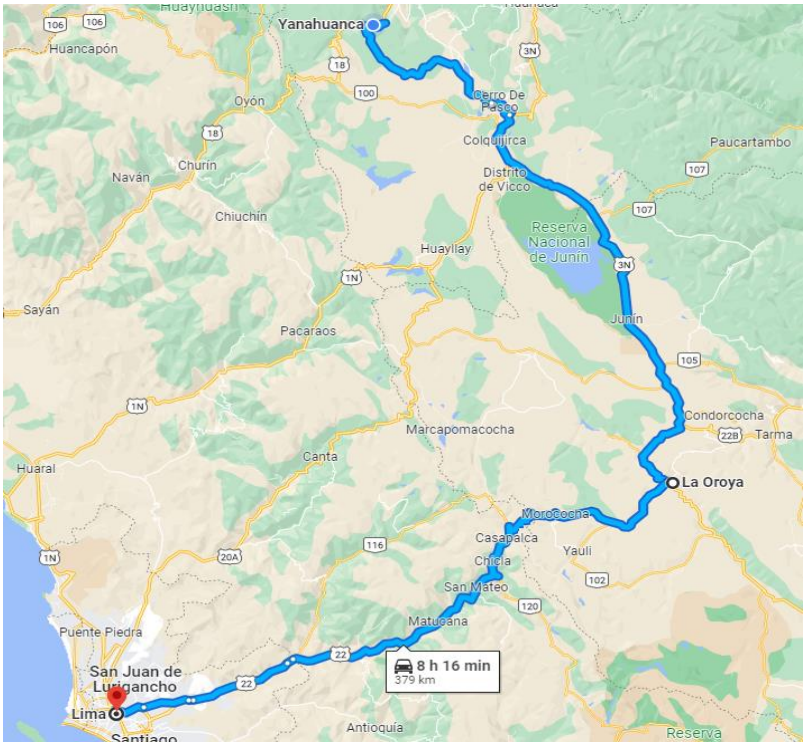
Yanahuanca, se encuentra ubicada hacia el noreste de la de la ciudad de Lima, por cuanto se puede acceder a través de la carretera central pasando por la Oroya, otra ruta vendría a ser por la carretera Canta – Huayllay, y una tercera vía por la nueva carretera interoceánica del centro, pasando por Oyón. Como se muestra en la tabla 1, figura 2, 3 y 4.

Tabla 1. *Vías de acceso a Yanahuanca*

Ruta	Desde	Pasando por	Hasta	Tipo de	Distancia	Tiempo
1	Yanahuanca	Cerro de Pasco – La Oroya – San	Lima	Asfaltada	379 km	8 h 16 min.
2	Yanahuanca	Cerro de Pasco – Huayllay - Canta	Lima	Asfaltada	314 km	6 h 25 min
3	Yanahuanca	Oyón – Sayán - Chancay	Lima	Afirmada/ asfaltada	314 km	6 h 37 min

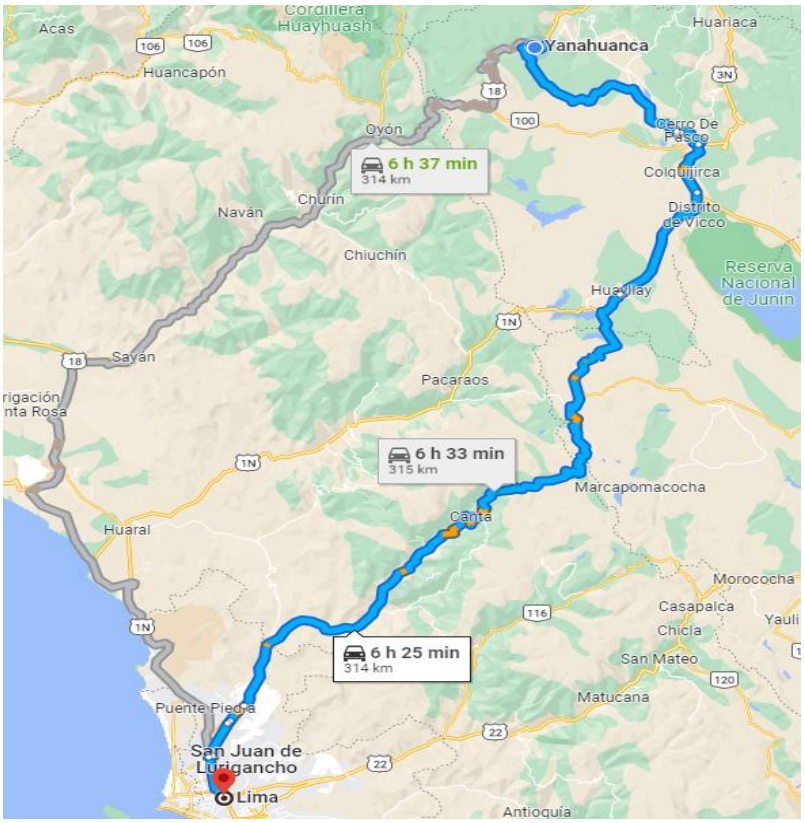
Nota. Elaboración propia

Figura 2. *Diagrama de ruta 1, Yanahuanca – Lima*



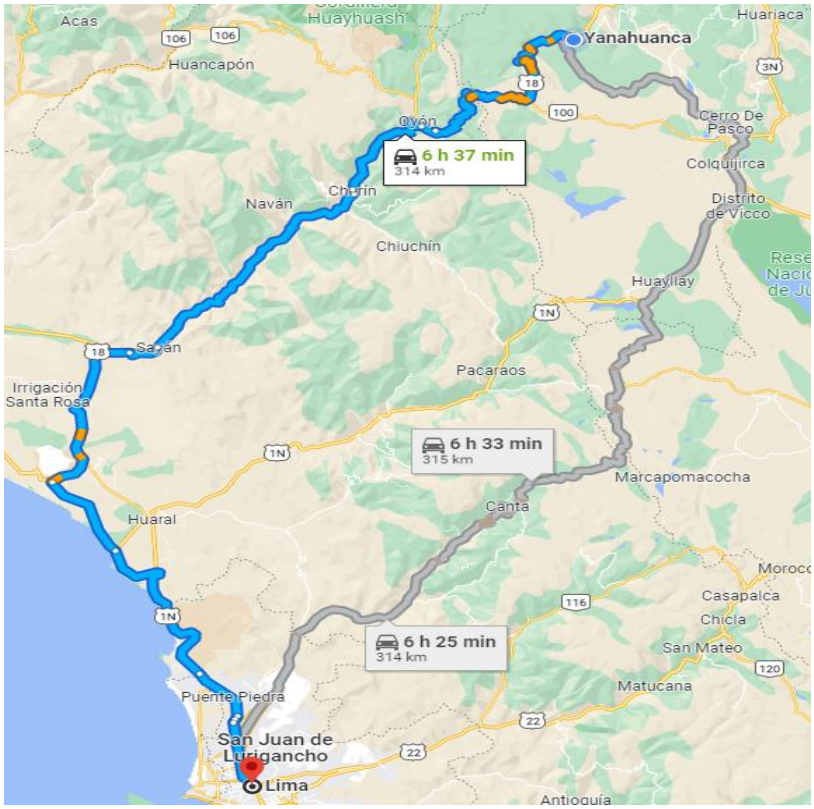
Nota. Adaptado de Google Earth

Figura 3. *Diagrama de ruta 2 Yanahuanca - Lima*



Nota. Adaptado de Google Earth

Figura 4. *Diagrama de ruta 3 Yanahuanca – Lima*



Nota. Adaptado de Google Earth

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo influye el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, en la estimación de riesgos ante inundaciones en un tramo de la cuenca del rio Chaupihuaranga en el distrito de Yanahuanca, Pasco, en el año 2023?

1.3.2. Problemas específicos

a. ¿Cuál es el patrón de tormenta y los caudales máximos en la cuenca del rio Chaupihuaranga en el distrito de Yanahuanca, Pasco?

b. ¿Cuál es el comportamiento hidráulico del río Chaupihuaranga, en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca, en condiciones normales y de inundación?

c. ¿Cuáles son los riesgos en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca, perteneciente a la cuenca del rio Chaupihuaranga, y qué medidas de protección o mitigación se podrían tomar en beneficio de la población?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar de qué manera influye el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, en la estimación de riesgos ante inundaciones en un tramo de la cuenca del rio Chaupihuaranga en el distrito de Yanahuanca, Pasco, en el año 2023

1.4.2. Objetivos específicos

a. Desarrollar el estudio hidrológico de la cuenca del rio Chaupihuaranga, aplicando modelos matemáticos, para comprender los patrones de tormenta y obtener los caudales máximos en el área de estudio, perteneciente a la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca.

b. Desarrollar el modelamiento hidráulico, aplicando un modelo matemático, para simular el comportamiento del río Chaupihuaranga en la zona urbana de Yanahuanca, en condiciones normales y de inundación.

c. Estimar los riesgos ante inundaciones en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca, y proponer medidas de protección o mitigación de daños en este segmento de la cuenca del rio Chaupihuaranga.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

La zona urbana del distrito de Yanahuanca, en la provincia Daniel Alcides Carrión en el departamento de Pasco, enfrenta amenazas de

inundaciones periódicas debido a eventos climáticos extremos; por lo que, este proyecto busca abordar esta problemática proporcionando información valiosa de datos que ayuden en la toma de decisiones para nuevos proyectos enmarcados en el estudio hidrológico, comportamiento hidráulico de ríos y manejo de cuencas; la teórica hidrológica y la simulación hidráulica son aspectos fundamentales para comprender este tipo de eventos, pero sobre todo, para saber cómo se comportan las variables que influyen en ellos; así mismo, los modelos matemáticos son herramientas de extensión lógica que nos permiten simular diferentes tipos de escenarios; en resumen, La falta de datos precisos y análisis previos ha limitado la capacidad de respuesta a estos desafío, y con este proyecto aplicamos modelos y simulaciones que ayuden anticipar y gestionar eficazmente los riesgos de inundaciones en el área de estudio, lo que subraya la importancia de este trabajo de investigación.

1.5.2. Justificación ambiental

Este proyecto es esencial debido a la necesidad de comprender y abordar la vulnerabilidad ante inundaciones en la zona urbana del distrito de Yanahuanca, las inundaciones representan una amenaza significativa para la integridad de la población y la sostenibilidad de esta misma, sin dejar de lado el gran ecosistema natural que alberga la cuenca del rio Chaupihuaranga; en el año 2019 ocurrió un fenómeno, el cual por supuesto no fue previsto, el mismo que causó daños económicos cuantiosos en la población afectada, pérdida de biodiversidad en el lecho del río y contaminación de recursos hídricos por erosión, felizmente no causó pérdidas de vidas humanas, pero sin duda dejó un precedente al que deberíamos prestar mucha atención para su mitigación o control.

Por ello, sin duda, el problema destaca la relevancia y la urgencia de abordar la vulnerabilidad ante inundaciones en la cuenca del rio

Chaupihuaranga, lo que proporciona una cimentación sólida para la planificación y ejecución del presente proyecto de investigación.

1.5.3. Justificación Metodológica

La metodología utilizada en este proyecto se adapta a las condiciones de la cuenca del rio Chaupihuaranga. Esto garantiza que las estrategias de mitigación y control sean adecuadas para las características de la zona urbana de la localidad de Yanahuanca, como la topografía, el uso del suelo y otras características específicas de ésta.

1.5.4. Justificación económica

La inversión en este proyecto para prevenir inundaciones se traduce en una significativa reducción de costos a largo plazo, estos costos serian reducidos de sobremanera en relación a operaciones de rescate, reparación de infraestructura púbicas, pérdidas de infraestructuras privadas y negocios locales.

Este proyecto podría garantizar un uso eficiente de los recursos financieros del estado y del sector privado. Al reducir los riesgos de inundación, se crea un entorno más seguro y atractivo para las inversiones públicas y privadas, lo que puede estimular el desarrollo económico sostenible en la ciudad de Yanahuanca y sus habitantes.

Este proyecto ayuda a optimizar el uso de recursos públicos al dirigirlos correctamente hacia medidas preventivas, de mitigación y control para anticiparnos al peligro, en lugar de respuestas sin planificación pero sobre todo de emergencia costosas.

1.6. Limitaciones de la investigación

En principio nos encontramos con la limitación de datos meteorológicos, si bien existe una estación pluviométrica en la ciudad, sin embargo, estos datos no son públicos como se puede apreciar en la plataforma de SENAMHI, por lo que, se tenía que hacer una solicitud especial con fines académicos para que la

entidad nos proporcione esta data; aun así, estos datos estuvieron incompletos, por tanto, se tuvo que recurrir a realizar una completación y extensión para generar datos sintéticos a partir de funciones de distribuciones que se ajustaban a cada periodo.

El otro factor limitante fue el cambio climático, puesto que, las proyecciones futuras pueden afectar la precisión de las predicciones incluso ser distinta a los datos históricos observados, las limitaciones en la capacidad de predecir estos cambios pueden llevar a resultados menos confiables.

La falta de planificación urbana o de crecimiento ordenado de la ciudad, pueden limitar la eficacia de las medidas propuestas de protección o de mitigación de daños; es que el crecimiento urbano desordenado no solo se ve en las grandes ciudades del país, sino también en ciudades pequeñas como es el caso de Yanahuanca, a esto hay que sumarle el desinterés de las autoridades de turno en la concientización hacia sus administrados, de los daños que causarían las inundaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Esta investigación está relacionada y sustentada científicamente con diversos repositorios encontrados desde fuentes confiables, los cuales respaldan la necesidad y la relevancia del proyectos, estos serán referidas a continuación:

2.1.1. Antecedentes a nivel internacional

Los Sistemas de Información Geográfica, hoy se hicieron una herramienta de análisis el cual nos permite su aplicación en diversos campos, y porsupuesto para nuestro caso en la gestión del riesgo de inundaciones, su importancia se da desde el inicio de procesamiento de datos, estudio de peligrosidad, regionalización de datos de precipitaciones, delimitaciones de cuencas hidrológicas, obtención de parametros morfológicos, cartografía, incluso la adopción de medidas de prevención y mitigación de riesgos. Su empleo hace que se reduzcan los tiempos de ejecución de un proyecto, haciéndolo incluso más económico, sin perder su calidad, precisión y garantía. Por otro lado, debemos mencionar que estos Sistemas de Información Geográfica – SIG, son muy versátiles, puesto que, su conexión con moedelos matemáticos de simulación hidráulica y el internet lo hacen transportables y

trabajable en todo momento y en todo lugar. (Llorente, Diez-Herrero y Laín, 2009, p.29)

En este trabajo de investigación, se pudo trabajar en las cuencas La Mona y El Cady, lugares donde no existen este tipo de estudios, llegando a simular el comportamento hidrológico del mismo, se utilizó las curvas IDF para encontrar la tormenta de diseño o hietograma, el cual fue llevando al Hec-HMS, para la obtención de cuadales; en el QGIS, se determinó las carácterísticas morfológicas de la cuenca, obteniendo caudales para diferentes periodos de retorno, además se debe saber, que este aporte será de gran inportancia para el Ecuador, puesto que, no se cuenta con mucha información de esta naturaleza. (Rodríguez y Alarcon, 2021, p.1)

La cuenca Cañita, en Ecuador, es el pricipal abastecedor hidráulico del complejo de la zona, por lo que se ha visto en inundaciones en mútiples ocaciones, por tanto, se tuvo que trabajar en el modelamiento hidrológico de esta manera determinar las causas de las inundaciones, prediciendo la forma de como se comporta la lluvia en su recorrido a travéz de la cuenca, por ello, se prentende plantear diferentes obras hidráulicas para controlar estas inundaciones. (Caicedo, Cabrera, Zambrano, Rodriguez e Intriago, 2021, p.1)

Se debe ser claro con algunas precisiones conceptuales que son parte de la gestión de acciones preventivas, planificación y ordenamiento territorial, para que a partir de ello se trabaje en que hacer en las inundaciones y anegamientos. Éste artículo se realliza con motivo de los eventos sucedidos recientemente en el pais; por ello, se puede definir a una inundación como, una masa de agua que sale de su cause natural o normal y se traslada fuera de ella temporalmente, debido a su incremento o crecida; por otro lado el enegamiento, se podría definir como la acumulación temporal de aguas de lluvias en un territorio tipo planicie; por tanto, viendo la diferencia de sus conceptos, esta más que claro que sus causas también lo son; es asi que, se tomarán diferentes

medidas de protección y de mitigación para ambos casos. (Ferrando, 2006, p. 25-26)

2.1.2. Antecedentes a nivel nacional

Este trabajo de investigación se desarrolla en Lambayeque, teniendo como antecedente el ser uno de los departamentos del Perú con mayor frecuencia de inundaciones, en tanto, este estudio se busca realizar el mapa de inundación del río La Leche, en el tramo desde el centro poblado Machuria y el centro polado Sandial, esto en el distrito de Pítipo. (Saenz, 2021, p.13)

Se determinó el área de inundación producto de una máxima avenida en la quebrada Pindo en la zona urbana del centro poblado de San Pedro de Perico, distrito de Chirinos en el departamento de Cajamarca, en principio se realizó el estudio hidrológico de la cuenca, así mismo, se solicitó datos de precipitaciones de SENAMHI, posteriormente se realizó la estimación de caudales, empleando el método racional modificado, así mismo, se realizó el levantamiento topográfico para luego ser llevado al Hec-RAS, ésto con la finalidad de realizar el modelamiento hidráulico en ese segmento de la población, para determinar las zonas inundables con periodos de retorno de 25, 50, 100, y 200 años sucesivamente, es asi que se determinó las zonas de latente peligro por inundación en avenidas maximas de la quebrda en estudio. (Peña y Núñez, 2020, p. 07)

En esta investigación se determinó las zonas de inundación desde un punto de vista numérico y gráfico, iniciando con la obtención de data de los servidores nacionales del Perú, investigación realizado en el departamento de Huánuco, en la provincia de Ambo, distrito de Huacar en la quebrada Atahuayón; esta zona del país es muy favorable a inundaciones, debido a su tupografia, condiciones climáticas y geomorfología, en épocas de lluvia los caudales aumentan activando quebradas los cuales estan cerca a zonas urbanas o comunidades, esto mismo sucede en la quebrada en estudio, Atahuayón; asi

que, aplicando la metodoligia cuantitativa con alcances descriptivos, se pudo trabajar a partir de información pluviométrica para simular mapas bidimensionales de desplazamiento de agua, es asi que se realizó la caracterizacción hidrológica de la cuenca, posteriormente, con la metología Mac Math y Dyck-Peschke, calculamos los caudales para los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años, teniendo como resultao 182 m^3/s, 311 m^3/s, 391,7 m^3/s y 669,34 m^3/s, sesusivamente, estos valores fueron determinantes para obtener nuestros modelos de inundaciones en 2D, asi pudimos encontrar que ambos márgenes estan comprometidos con posibles inundaciones. (Rodriguez, 2023, p. 12)

Tesis que tiene por objetivo plantear soluciones para mitigar daños provacados por crecidas de agua en las quebradas de Alto Perú y El Porvenir, estos ubicados en el distrito de La Oroya, Provincia de Yauli en Junín, es asi como se desarrolló el estudio hidrológico e hidráulico de estas quebradas; por tanto, se estimó las descargar máximas a partir de reportes de precipitaciones registradas en estaciones muy cercanas al lugar, para peridos de retorno de de 100, 200 y 500 años, empleando el software Hidroesta, del investigador Peruano, Máximo Villón, asi mismo se calculó los caudales máximo con Hec-HMS, por otro lado, se realizó el modelamiento hidráulico con Hec-RAS, para este úlitmo, se tuvo que realizar levantamiento topográfico de la quebrada para hacer un modelamiento mucho más real y confiable, para plantear soluciones se realizó un estudio de socavacion con la finalidad de ver la capacidad erosiva del rio; finalmente, se propueso las posibles soluciones para mitigar estos daños en la cuenca, asi prevenir pérdidas materiales y/o de vidas humanas. (Puelles, 2015, p. 6-7)

El tema de investigación se basó en el estudio hidrológico e hidráulico para el diseño de un puente, en Pucayacu, localizado en el tramo Mayocc y Huanta, en la progresiva 3+200, para ello se utilizó los modelos matemáticos

Hec-HMS e Iber, para el modelamiento hidrológico e hidráulico susesivamente, siguiendo un procedimiento lógico desarrollado en cinco capítulos, iniciando en la identificación de la zona, recopilación de datos y otros, y terminando por conclusiones y recomendaciones en el proyecto. (Castillo y Ramírez, 2023, p. 5)

2.2. Bases teóricas y científicas

2.2.1. Normativa aplicable para la investigación

A continuación, mostramos las normas que se consideraron para la elaboración de la presente tesis:

2.2.1.1. Ley N° 29338, Ley de los recursos hídricos

La Ley N°29338 enmarca tanto la utilización como la gestión del agua, lo que la convierte en un elemento esencial a considerar en proyectos de esta índole. Entre los distintos artículos de la ley, se prestará especial atención a los artículos que se centran en las zonas adyacentes a las aguas, específicamente los que se encuentran en el Título V y Capítulo III: Cauces, riberas y fajas marginales; ya que estos artículos ofrecen definiciones y directrices para la demarcación y conservación de estas áreas.

Algunos puntos destacados de los artículos relacionados a las fajas marginales a las aguas incluyen:

- Estas áreas son consideradas bienes de dominio público relacionados con el agua y están compuestas por las zonas inmediatamente contiguas a los cauces de agua, cuyas dimensiones son establecidas por la Autoridad Administrativa del Agua - ANA.
- Los criterios para determinar los límites de estas áreas incluyen la importancia de las estructuras hidráulicas, el espacio necesario para su construcción, mantenimiento y protección, las áreas requeridas

para el uso público y la máxima crecida o avenida del agua, sin tener en cuenta eventos extremos.

- Se prohíbe el uso de estas fajas marginales para fines agrícolas, asentamientos humanos u otras actividades que puedan afectarlas.
- La delimitación de los límites de estas áreas será marcada mediante la utilización de hitos u otras señales.
- Se fomentará la implementación de programas y proyectos de forestación en estas fajas marginales para protegerlas de la erosión causada por el agua.

2.2.1.2. Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales en Cursos Fluviales y Cuerpos Naturales y Artificiales

El reglamento en cuestión contiene las directrices y principios a encaminar en el proceso de delimitación de las áreas adyacentes a los cuerpos de aguas. Es fundamental indicar que se prestará especial atención al artículo 9, de este reglamento, que forma parte del Título III y Capítulo I, enfocado en los criterios para determinar el límite superior de la ribera de los cauces naturales.

Con respecto al Artículo 9, que se centra en el modelamiento hidráulico, y se resalta que este proceso se basa en datos de levantamientos topográficos y la estimación de caudales máximos, ya que estos datos son esenciales para establecer el límite superior de la zona adyacente al cauce. Además, el artículo proporciona pautas para calcular los caudales máximos, considerando un periodo de retorno de 50 años para áreas cercanas a terrenos de cultivos y de 100 años para aquellas áreas cercanas a zonas pobladas, como es el caso de esta investigación.

Es importante mencionar que la definición de los caudales máximos se apoyará en datos estadísticos de al menos en los últimos 20 años y, en caso de falta de información, se podrán generar datos utilizando modelos hidrológicos. Además, se resalta que los valores de caudales durante eventos excepcionales no se tendrán en cuenta.

En el Artículo 10, se presenta una metodología alternativa al modelamiento hidráulico, conocido como "huellas máximas". Sin embargo, se resalta que este método tiene limitaciones en su aplicación, ya que, solo es factible cuando las marcas dejadas por el agua son de fácil identificación. El procedimiento implica delimitar el cauce natural en tramos y secciones transversales, así como establecer el eje longitudinal de cada uno. Además, se debe identificar las marcas dejadas por el agua durante las crecidas máximas. En lagos y lagunas, el límite superior de la zona adyacente al cauce se determina considerando el nivel máximo alcanzado durante la crecida, y en el caso de humedales, la zona comienza en los límites del humedal.

2.2.1.3. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC

A través de este manual, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones ofrece una recopilación de información relacionada con hidrología, hidráulica y drenaje. Estos contenidos están destinados a proporcionar orientación en la planificación de diversos proyectos afines. Por lo tanto, es esencial destacar que esta tesis incorporará las metodologías presentadas en el manual en su proceso de desarrollo.

Dentro del alcance de este manual en lo que respecta a la hidrología, se incluye el análisis de datos hidrológicos y meteorológicos, así como los distintos criterios de diseño y sus limitaciones de aplicación para la estimación de caudales de diseño. En cuanto a la parte

relacionada con la hidráulica, el manual ofrece pautas y parámetros esenciales a considerar en el diseño hidráulico.

2.2.2. Fundamentos hidrológicos

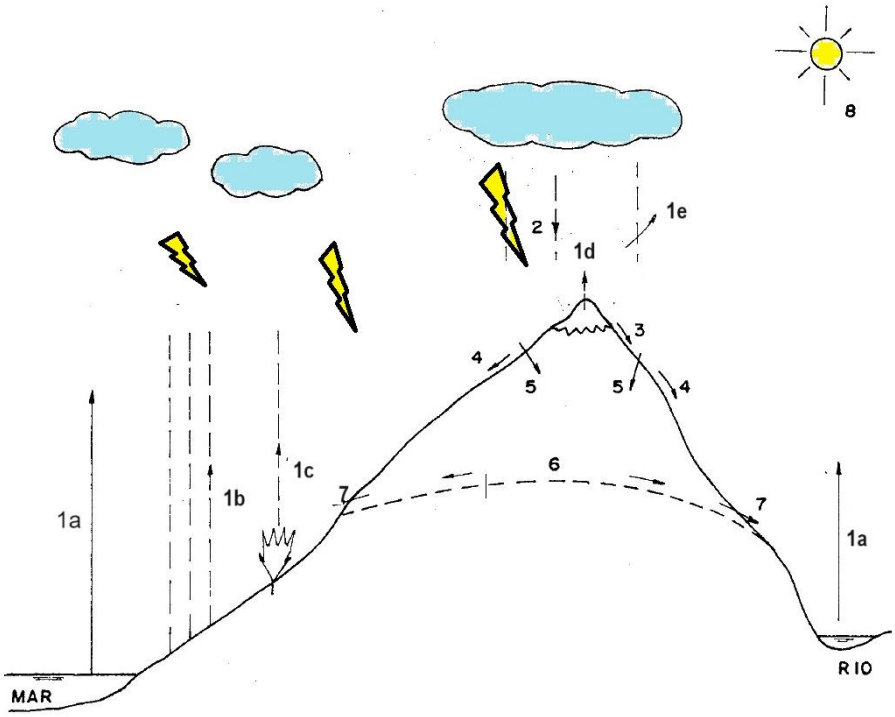
2.2.2.1. Hidrología

Ciencia natural que estudia el ciclo natural del agua, su ocurrencia, su circulación y la distribución en la superficie terrestre y subterráneo, además de sus propiedades físicas y químicas, esta misma la relación que guarda con el medio ambiente y los seres vivos que la habitan. (Villón, 2002, p. 15)

2.2.2.2. Ciclo hidrológico

Ciclo irregular de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, en su estado sólido, liquido o gaseoso, así también en la superficie terrestre o como agua subterránea, en periodo de sequias o de lluvias, su estudio es fundamental para la ingeniería. (Chereque, 1989, p. 01)

Figura 5. *Esquema de ciclo hidrológico*



Nota. El esquema muestra el ciclo hidrológico del agua en la naturaleza. 1a: evaporación desde superficie de agua (mares, ríos, lagos, etc.); 1b: evaporación desde superficies húmedas del suelos; 1c: evaporación desde las plantas; 1d: evaporación desde la nieve; 1e: evaporación desde la precipitación; 2: precipitación, en forma de lluvia, nevada o granizada; 3: fusión; 4: escorrentía; 5: infiltración; 6: capas de agua subterránea; 7: manantiales y 8: rayos solares. Adaptado de W. Chereque 1989.

2.2.2.3. Ecuación fundamental de la hidrología

Dentro de una hoya, existen precipitaciones, escorrentía superficial, aguas subterráneas, etc. que son considerados como entradas y escorrentía superficial hacia otras hoyas, evaporación, transpiración y otros, que serían considerados como salidas, entonces la ecuación seria las entradas menos las salidas en una cuenca hidrográfica igual a un cambio de almacenamiento para un determinado de tiempo. (Monsalve, 1999)

$$\mathbf{I - S = \Delta S / \Delta t}$$

Donde:

I : Entradas

S : Salidas

ΔS : Diferencial de almacenamiento

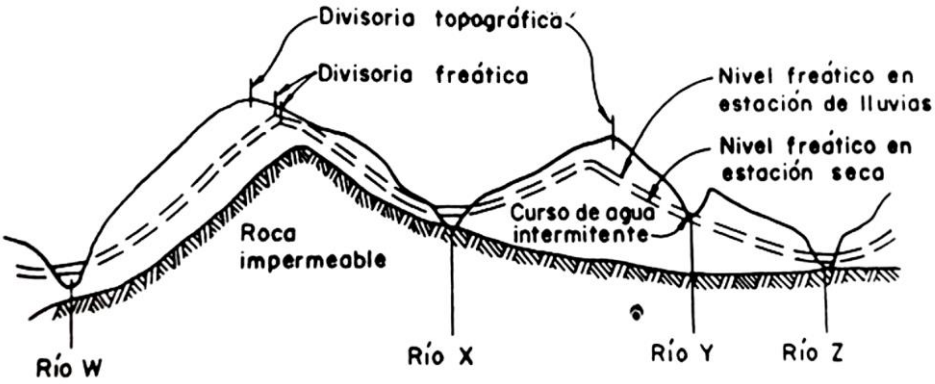
Δt : Diferencial de tiempo

2.2.2.4. Cuenca hidrográfica

Superficie de terreno natural en la que el agua producida por la precipitación cae sobre esta área, formando escorrentías y drenajes, los cuales tienen un punto de salida en común, llamado también punto de

aforo o punto de control, su límite divisoria sería una línea imaginaria situada en el parteaguas (zona más alta de la cuenca) desde o donde se originaria otras cuencas adyacentes.

Figura 6. *Esquema de cuenca hidrográfica*



Nota. Corte transversal de una cuenca hidrográfica. Adaptado de W. Chereque 1989.

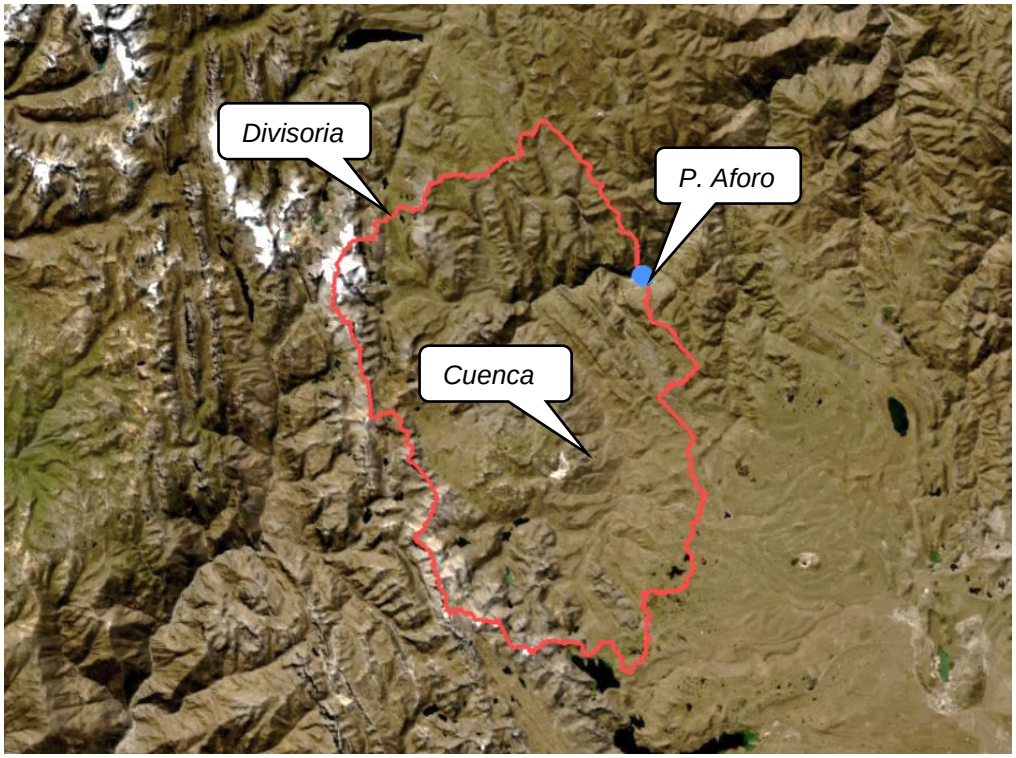
2.2.2.4.1. Divisorias

Son las líneas ubicadas en las cotas superiores de las cuencas, estas dividen las precipitaciones que caen en uno u otra cuenca. Ver figura 7.

2.2.2.4.2. Delimitación de la cuenca

Esta se realiza a partir de un mapa topográfico donde se pueda apreciar claramente las curvas de niveles y cotas de esta, se realiza trazando una línea perpendicular a la curva de nivel ubicada en la zona más alta de cuenca, considerando el aporte y salida de aguas.

Figura 7. *Delimitación de cuenca hidrográfica*



Nota. La imagen muestra la línea divisoria de la cuenca de nuestro proyecto, señalada claramente por la línea de color rojo, y el punto de control marcado con un punto de color azul. De elaboración propia.

2.2.2.4.3. Parámetros geomorfológicos de la cuenca

Con la finalidad de establecer características únicas de las cuencas hidrográficas, se estudian y agrupan a partir de sus condiciones físicas como son su tamaño, topografía, altitudes, geología, tipo de suelo, cobertura vegetal y otros.

- **Área de la cuenca (A)**

  Es la medida de la superficie de la cuenca, como proyección del plano horizontal en km^2.

- **Perímetro de la cuenca (P)**

  Medida del contorno de la cuenca, o medida de línea divisoria, proyectada en un plano horizontal en Km.

- **Forma de la cuenca (F)**

  Identifica las características de la cuenca, está en relación al área, perímetro o la longitud del cauce. En la tabla 2 mostramos las unidades hidrográficas, sus rangos respectivos y número de orden de ríos.

Tabla 2. *Unidades hidrográficas y rangos*

Unidad hidrográfica	Área (km^2)	N° de orden de ríos
Microcuenca (pequeña)	10 -100	1°, 2° o 3°
Subcuenca (mediana)	100 - 700	4° o 5°
Cuenca (grande)	700 - 6000	6° a mas

Nota. Adaptado de DSMC-DGASI/LIMA, 1983 – Metodololgía de priorización de cuencas.

- **Longitud del cauce principal (L)**

  Puede ser igual a longitud del cauce más largo, es un valor representativo de la longitud de una cuenca, se mide en Km.

- **Ancho promedio de la cuenca (Ap)**

  Relación entre e área y la longitud de del cauce principal de la cuenca, está en Km.

  Ap = A / L

- **Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (Kc)**

  Relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área equivalente a la superficie de la cuenca. (Cadenas y Aguirre, 1987)

$$K_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28\frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc : Coeficiente de compacidad

P : Perímetro de la cuenca en Km

A : Área de la cuenca en Km.

Tabla 3. *Rango y forma según coeficiente de compacidad*

Rango	Forma
1,00 – 1,25	Redonda a oval (compacta)
1,25 – 1,75	Oval redonda a oval oblonga
1,50 – 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga
>1,75	Casi rectangular (alargada)

Nota. Adaptado de L. Cadenas y M. Aguirre, 1987

- **Factor de forma (Ff)**

  Explica la elongación de la cuenca, relación entre en rea de la cuenca y la longitud del cauce principal.

$$F_f = \frac{\pi}{L^2}$$

Donde:

Ff : Factor de forma

A : Área de la cuenca en km2

L : Longitud del cauce principal en Km

Tabla 4. *Rangos aproximados del factor de forma*

Factor de forma (valores aproximados)	Forma de la cuenca
<0,22	Muy alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,30 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37 – 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,20	Muy ensanchada
>1,20	Rodeando el desagüe

Nota. Adaptado de Pérez, 1979

- **Radio de circularidad (Rc)**

  Relaciona el área de la cuenca y el circulo que posee una circunferencia de longitud igual al perímetro de la cuenca, si el valor es 1 la cuenca es circular y si el valor es 0,785 la cuenca es cuadrada y si el valor es <0,785 es rectangular.

$$\boldsymbol{R_C = \frac{4\pi A}{P^2}}$$

  Donde:

  P : Perímetro de la cuenca en km

  A : Área de la cuenca en Km2

  Rc : Radio de circularidad

- **Altitud media de la cuenca (Hmed)**

  Representa aspectos climáticos y naturales relacionados en la cuenca, a través de un patrón climático (ANA, 2010)

$$\boldsymbol{Hmed = \frac{\sum(h_i s_i)}{A}}$$

  Donde:

  hi : Altitud media de cada tramo de área contenido entre las curvas de nivel

  Si : Área contenida entre las curvas de nivel

  A : Área total de la cuenca en km2

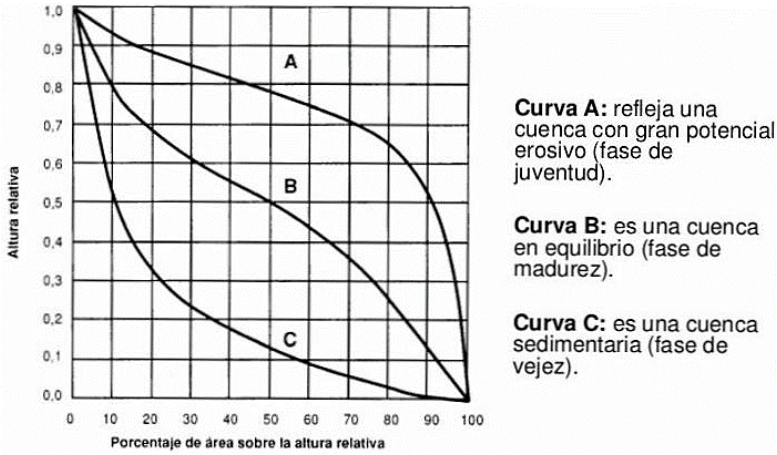
  Hmed : Altitud media de la cuenca

- **Curva hipsométrica**

  Representa en el eje de las ordenadas las elevaciones en msnm y en el eje de las abscisas el porcentaje de área de la cuenca que queda por encima de la elevación indicada, caracteriza el relieve de la cuenca. (Ministerio de agricultura y alimentación, 1978)

Además, entrando al 50% del área en el eje de las abscisas se obtiene la altitud media de la cuenca.

Figura 8. *Curva hipsométrica*

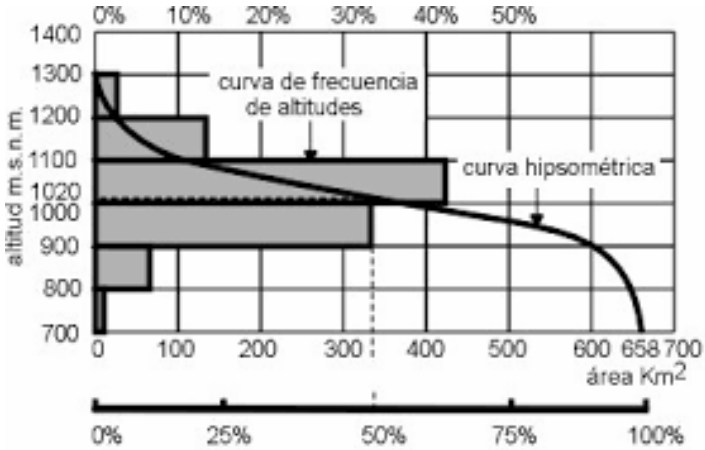


Nota. Adaptado de M. Villón 2008.

- **Polígono de frecuencia de altitudes**

  Representa en el eje de las ordenadas el porcentaje parcial del área de una cuenca, en el eje de las abscisas las altitudes en msnm comprendidas dentro de ese porcentaje. Determina las altitudes frecuentes en una cuenca a través del porcentaje más alto del diagrama.

Figura 9. *Gráfica de frecuencia de altitudes*



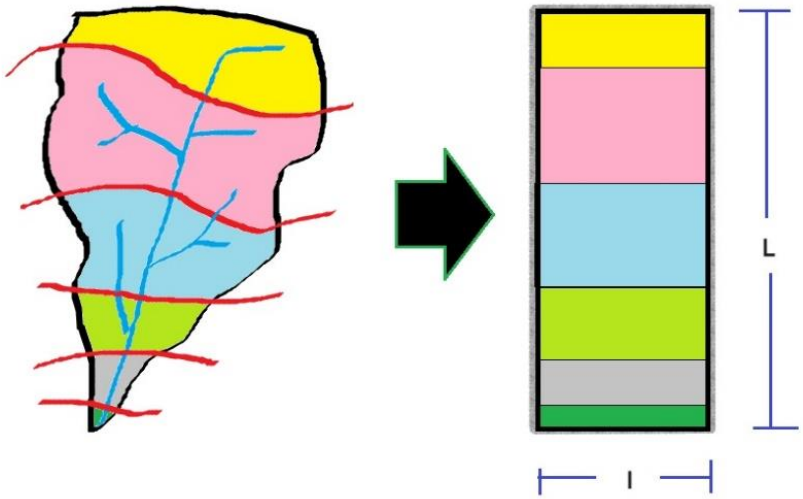
Nota. Adaptado de M. Villón 2008.

- **Pendiente media de la cuenca (S)**

  Es la forma de medir el grado de inclinación de área de la cuenca, se mide calculando la tangente de la superficie, la tangente se calcula dividiendo el cambio vertical en altitud entre la distancia horizontal. Además tiene una relación entre la infiltración, la escorrentía y la humedad del suelo. Controla el tiempo de escurrimiento de la aguas en los canales de drenaje, y es fundamental en la relación a la magnitud de las crecidas. (Villón, 2008, p. 51-52)

  Se podría determinar este por el método del rectángulo equivalente, ver figura 10.

Figura 10. *Rectángulo equivalente*



Nota. Se muestra el rectángulo equivalente, el cual tiene un reparto igual a la curva hipsométrica. De elaboración propia.

$$L = \frac{kc\sqrt{A}}{1,12}\left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{kc}\right)^2}\right)$$

$$l = \frac{kc\sqrt{A}}{1,12}\left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{kc}\right)^2}\right)$$

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde:

L : Lado mayor

I : Lado menor

A : Área de la cuenca en km2

Kc : índice de Gravelius o coeficiente de compacidad

H : Diferencia entre cota mayor y cota menor.

S : Pendiente media de la cuenca

Tabla 5. *Tipo de pendiente*

Tipo de terreno	Rango de pendiente (%)
Llano	0 – 2
Suave	2 – 5
Accidentado medio	5 – 10
Accidentando	10 – 15
Fuertemente accidentado	15 – 25
Escarpado	25 – 50
Muy escarpado	>50

Nota. Adaptado de Manuel de diseño geométrico de carreteras, 2018.

- **Altura máxima del cauce principal (Hmax)**

  Es la cota máxima del cauce principal, donde inicia el rio principal de la cuenca.

- **Altura mínima del cauce principal (Hmin)**

  Es la cota mínima del cauce principal, donde estaría situado el punto de aforo o punto de control de la cuenca.

- **Pendiente media del cauce principal (Sm)**

  Importante para determinar características de aprovechamiento hidroeléctrico, o en la búsqueda de

soluciones ante inundaciones. Resulta la dividir el desnivel de los extremos entre la longitud del cauce principal.

$$\boldsymbol{Sm = H_{\frac{max-Hmin}{L}}}$$

Donde:

Hmax : Cota máxima del cauce principal

Hmin : Cota mínima del cauce principal

L: Longitud de cauce principal Km

Sm : Pendiente media de cauce principal

- **Altura media del rio principal (H)**

  Se obtiene al sumar las cota máxima y la cota mínima del cauce principal y dividir entre 2.

$$\boldsymbol{H = H_{\frac{max+Hmin}{2}}}$$

Donde:

Hmax : Cota máxima del cauce principal

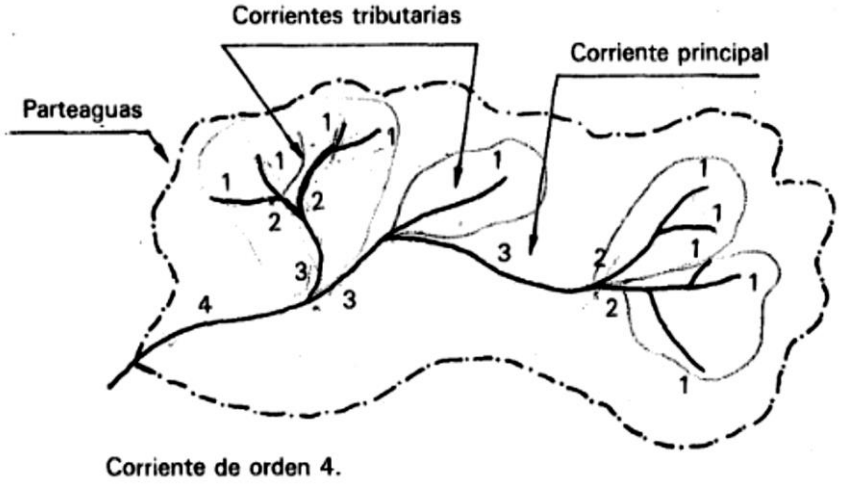
Hmin : Cota mínima del cauce principal

H : Altura media del cauce principal.

- **Orden de corriente y bifurcación**

  Clasificación del grado de bifurcación de una cuenca por lo que es necesario un mapa de la cuenca donde se muestre las corrientes intermitentes y perennes, finalmente el orden de la corriente principal indicará la amplitud de la red de drenaje de la cuenca.

Figura 11. *Orden de la corriente*



Nota. En la imagen se muestra las caracteristicas de una red de drenaje de una cuenca, adpatada de Fundamentos de Hidrología de Superficie, Aparicio, 1992.

- **Red de drenaje**

  Es la manifestación de la eficiencia del sistema de drenaje teniendo en cuenta la rapidez con la que se evacua el agua de la cuenca, pudiendo saber las condiciones del suelo.

- **Longitud total de los ríos (Lr)**

  Llamado también longitud de tributarios, indicador del grado de drenaje de la cuenca, las área escarpadas generalmente tiene muchas redes de drenaje pequeñas, mientras que en áreas planos existen pocas redes de drenaje pero son largas y profundas, las suma de estas redes de drenaje de forma lineal horizontal, vendría a ser la longitud total de los ríos.

- **Densidad de drenaje (Dd)**

  Es la obtención de la división de la suma total de los ríos entre el área de la cuenca, indicarán la naturaleza de los

suelos, y la cobertura que habita en ella, por tanto los valores altos indican poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables e impermeables, mientras que los valores bajos indicarían suelos duros, con cobertura vegetal densa y poco erosionables.

$$\boldsymbol{Dd = \frac{Lr}{A}}$$

Donde:

Lr : longitud total de los ríos en km

A : Área de la cuenca en km2

Dd : Densidad de drenaje de la cuenca en km/km2

Tabla 6. *Rangos de densidad de drenaje*

Rangos de Densidad de drenaje	Tipos de drenaje
0,1 – 1,8	Baja
1,9 – 3,6	Moderada
3,7 – 5,6	Alta

Nota. Adaptada de INECC – México

- **Densidad de los ríos o de corriente (Dr)**

  Relación que existe entre el número de ríos y el área de la cuenca, solo se considera las corrientes perennes e intermitentes, la corriente principal se cuenca como una desde su nacimiento hasta el punto de control.

$$\boldsymbol{Dr = \frac{N° \; Rios}{A}}$$

Donde:

N° Ríos : cantidad o número de ríos

A : Área de la cuenca en km2

Dr : Densidad de los ríos o de corriente

- **Extensión media de escurrimiento (E)**

  Es la relación inversa a la densidad de drenaje, es decir, el área entre la longitud total de ríos o de las corrientes.

$$\boldsymbol{E = \frac{A}{Lt}}$$

Donde:

E : Extensión media del escurrimiento superficial

A : Área de la cuenca en km2

Lt : Longitud total de los ríos.

- **Coeficiente de masividad o de Martonne (Cm)**

  Es la relación que existe entre la altura media de la cuenca y el área de la cuenca en estudio, su valor es alto para cuencas con picos altos y valores bajos para cuencas relativamente planas.

$$\boldsymbol{Cm = \frac{Hmed}{A}}$$

Donde:

Cm : Coeficiente de masividad o de Martonne

A : Área de la cuenca en km2

Hmed : Altura media de la cuenca.

- **Suelo**

  El suelo influye directamente en los parámetros de la escorrentía, puesto que es un factor clave para determinar valores de caudales, de igual manera podemos tener en consideración valores de rugosidad que tienen los canales naturales, así se puedo obtener los siguientes valores.

Tabla 7. *Valores de rugosidad de Manning*

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
D. Corrientes naturales			
D.1 Corrientes menores (ancho superior en Nivel de crecida < 100 pies <> 30,5m)			
a. Corrientes en planicie			
1. Limpio, recto, nivel lleno, sin montículos ni pozos profundos	0,025	0,03	0,033
2. Limpio, recto, nivel lleno, sin montículos ni pozos profundos, pero más piedras y pastos	0,03	0,035	0,04
3. Limpio, serpenteante o curvado, algunos pozos y bancos de arena	0,033	0,04	0,045
4. Limpio, serpenteante o curvado, algunos pozos y bancos de arena, pero algunos matorrales y piedras	0,035	0,045	0,05
5. Limpio, serpenteante, algunos pastos y piedras, niveles bajos, pendiente y sección inefectivas	0,04	0,048	0,055
6. Limpio, serpenteante, pozos, bancos de arena, matorrales, pero más piedras	0,045	0,05	0,06
7. Tramos lentos, con pastos y pozos profundos	0,05	0,07	0,08
8. Tramos con mucho pasto, pozos profundos o canales de la crecida con mucha madera y arbustos bajos o matorrales	0,075	0,1	0,15
b. Corrientes en montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendiente usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas sumergidos para niveles altos			
1. Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas	0,03	0,04	0,05
2. Fondo: cantos rodados y grandes rocas	0,04	0,05	0,07
D.2 Planicie de inundación			
a. Pastizales sin arbustos			
1. Pastos cortos	0,025	0,03	0,035
2. Pastos altos	0,03	0,035	0,05
b. Áreas cultivadas			

1. Sin cultivo	0,02	0,03	0,04
2. Cultivos maduros alineados	0,025	0,035	0,045
3. Campo de cultivos maduros	0,03	0,04	0,05
c. Arbustos o matorrales			
1. Arbustos escasos, mucha maleza	0,035	0,05	0,07
2. Pequeños matorrales y árboles, en invierno	0,035	0,05	0,06
3. Pequeños matorrales y árboles, en verano	0,04	0,06	0,08
4. Matorrales medianos a densos, en invierno	0,045	0,07	0,11
5. Matorrales medianos a densos, en verano	0,07	0,1	0,16
d. Árboles			
1. Sauces densos, rectos en verano	0,11	0,15	0,2
2. Terreno limpio, con troncos, sin brotes	0,03	0,04	0,05
3. Terreno limpio, con troncos y gran crecimiento de brotes	0,05	0,06	0,08
4. Gran cantidad de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento de arbustos y nivel de inundación por debajo de las ramas	0,08	0,1	0,12
5. Gran cantidad de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento de arbustos y nivel de inundación por encima de las ramas	0,1	0,12	0,16
D.3 Cursos de agua importantes (ancho superficial de inundación > 100 pies <> 30.5m). Los valores de n son menores que lo de cursos menores con descripción similar, debido a que los bancos ofrecen menor resistencia			
a. Sección regular sin cantos rodados ni arbustos	0,025		0,06
b. Sección irregular y áspera o rugosa	0,035		0,1

Nota. Adaptado de V. Chow, 1995

- **Tiempo de concentración**

  Se define como el valor temporal en el que la precipitación cae en el punto más alejado del rio de una cuenca y logra llegar a una sección del rio, se puede utilizar las siguientes formulas:

  Kirpich (1940)

$$\boldsymbol{Tc = 0,01947L^{0,77}Sm^{-0,385}}$$

  Donde:

  Tc : Tiempo de concentración (min)

  L: Longitud del cauce más largo (m)

  Sm : pendiente media del cauce principal

  California Culverts Practice (1942):

$$\boldsymbol{Tc = 0,0195\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}}$$

  Donde:

  Tc : Tiempo de concentración (min)

  L: Longitud del cauce más largo

  H : Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida.

  Giandiotti:

$$\boldsymbol{Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}}}$$

  Donde:

  Tc : Tiempo de concentración (hr)

  L: Longitud del cauce más largo en km

H : Diferencia de cota máxima de cauce principal menos cota mínima de cauce principal.

A : Área de la cuenca en km2

Monrgali y Linsley (1965) – Aron y Erborge (1973)

$$Tc = \frac{7L^{0,6}n^{0,6}}{I^{0,4}Sm^{0,3}}$$

Donde:

Tc : Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce más largo (m)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

I : Intensidad de lluvia (mm/h)

Sm : Pendiente media del cauce principal

Ecuación de retardo SCS (1973)

$$Tc = \frac{0,0136L^{0,8}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7}}{Sm^{0,5}}$$

Donde:

Tc : Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce más largo (m)

CN : Número curva SCS

Sm : Pendiente media del cauce principal

2.2.2.5. Precipitación

Es la humedad que se origina en las nueves y cae a la superficie terrestre, dando inicio a la fuente primaria del estudio del agua. (Villón, 2004, p. 69-70)

2.2.2.5.1. Forma de Precipitaciones

Llovizna: gotas de diámetro entre 0,1 y 0,5 mm, velocidades de caída muy bajas. Lluvia: gotas de agua de diámetro >0,5 mm. Escarcha: capa de hielo, transparente y suave contiene bolsas de aire. Nieve: cristales de hielo, forma compleja. Granizo: se precipitan en forma de bolsas irregulares de hielo, producto de nubes convectivas, esféricos, o cónicos, su tamaño varía entre 5 y 15 mm. (Villón, 2004, p. 70)

2.2.2.5.2. Clasificación de precipitaciones

- **Precipitación ciclónica**

  Están relacionadas a sistemas de baja presión, asociadas con frentes cálidos y fríos.

- **Precipitación convectiva**

  Asociadas con tormentas y nubes de desarrollo vertical, contiene ráfagas de viento y son intensas en su condensación.

- **Precipitación orográfica**

  Su ocurrencia se da cuando el aire húmedo es forzado a ascender por las montañas, las lluvias se producen al lado del viento de la montaña

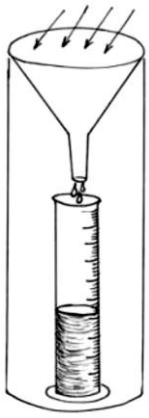
2.2.2.5.3. Medición de las precipitaciones

- **Pluviómetro**

  Recipiente cilíndrico de lámina, de 20 cm de diámetro y de 60 cm de alto, con tapa en forma de embudo, que comunica con una probeta hacia abajo, permitiendo medir la altura de la lluvia en la probeta, con aproximaciones muy pequeñas,

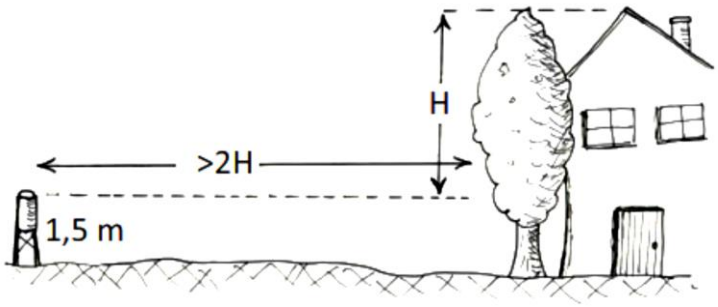
puesto que cada centímetro medido en la probeta representa a un milímetro de altura de lluvia, posteriormente se introduce una regla graduada y se toma lectura, esto cada 24 horas. (Villón, 2004, p. 74)

Figura 12. *Pluviómetro*



Nota. Adatado de Sánchez, 2020.

Figura 13. *Ubicación correcta de un pluviómetro*

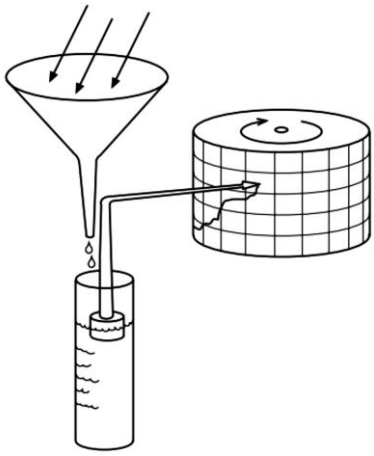


Nota. Adatado de Sánchez, 2020.

- **Pluviógrafo**

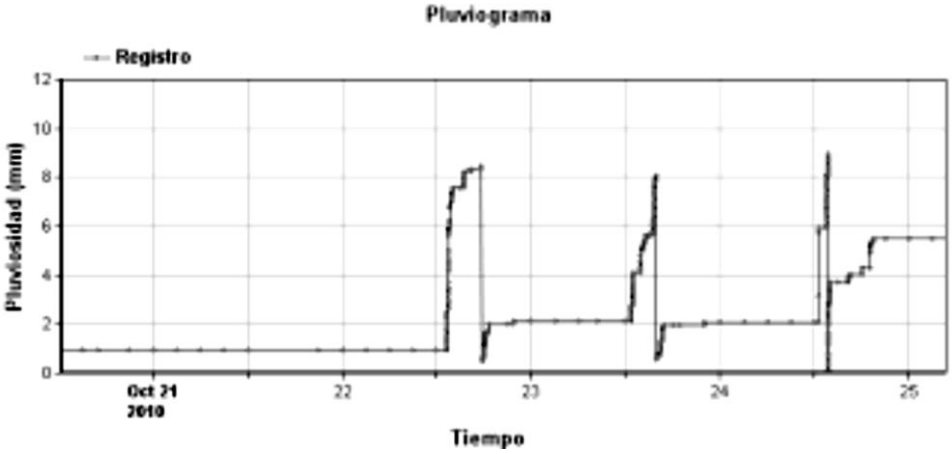
  Registra la altura de lluvia en función del tiempo, permitiendo determinar la intensidad de las precipitaciones, el grafico que resulta de este instrumento se denomina pluviograma. (Villón, 2004, p. 75)

Figura 14. *Pluviógrafo con flotador*



Nota. Adatado de Sánchez, 2020.

Figura 15. *Pluviograma*



Nota. Adatado de Sánchez, 2020.

2.2.2.5.4. Procesamiento y consistencia de datos

Uno de los factores que se debe abordar en el estudio hidrológico, son la inconsistencia de datos pluviométricos y la falta de estos datos. Por ello, en muchos problemas de esta naturaleza es importante hallar la precipitación promedio sobre un área especifico, esto para una tormenta de diseño para un periodo de tiempo específico. A continuación veremos cómo tratar estos casos. (Pehovaz, 2021, p. 36)

- **Método de promedio aritmético**

  Consiste en sumar los registros de las estaciones que se encuentran dentro de la zona de estudio para que después sea dividido entre en el número de estaciones. (Pehovaz, 2021, p. 33)

  Figura 16. *Método promedio aritmético*

Nota. Adaptado de Hidrología aplicada, Chow, 1994

$$\boldsymbol{Pmed = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} Pi}$$

Donde:

Pmed : Precipitación media

N : Cantidad de estaciones en la cuenca

Pi : Precipitación de la estación dentro de la cuenca

- **Polígono de Thiessen**

  Este método tiene en cuenta la no uniformidad de datos de las estaciones, se unes con líneas las estaciones, formando triángulos, luego se trazan las mediatrices los cuales formaran polígonos alrededor de la estación y son estas

que delimitan el área de influencia para cada estación. (Pehovaz, 2021, p. 34)

Figura 17. *Método de polígono de Thiessen*

Nota. Adaptado de Hidrología aplicada, Chow, 1994

$$\boldsymbol{Pmed = \frac{1}{At}\sum_{i=1}^{n} Ai * Pi}$$

Donde:

Pmed : Precipitación media

Pi : Registro de precipitación de la estación

At : Área absoluta de la cuenca

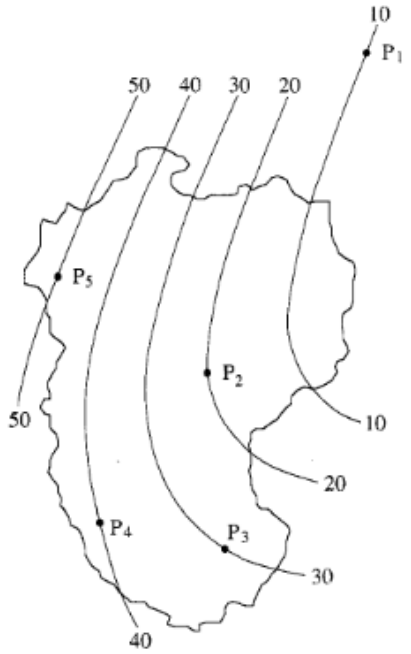
Ai : Área parcial de influencia de estación

- **Método de isoyetas**

  Consiste en utilizar láminas de agua que se puedan ver en los pluviómetros e interpolarlos entre pluviómetros adyacentes, así se van creando las curvas con los registros, para su correcto uso es la noción de patrones de tormenta,

además de tener varias estaciones para tener mejores resultados (Chow, 1994)

Figura 18. *Método de las Isoyetas*



Nota. Adaptado de Hidrología aplicada, Chow, 1994

$$\boldsymbol{Pmed = \frac{1}{At}\sum_{i=1}^{n} Ai * Pi}$$

Donde:

Pmed : Precipitación media

Pi : Precipitación promedio del área

At : Área total de la cuenca

Ai : Área parcial

- **Extensión y estimación de datos faltantes**

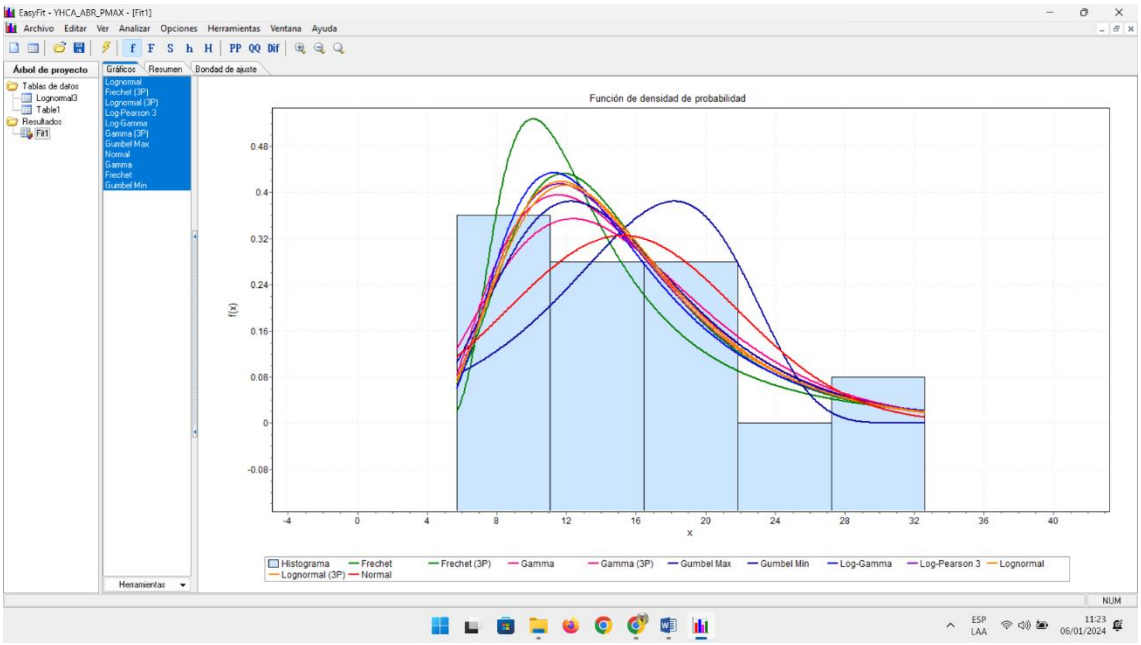
  Este problema podría darse por a falta de estaciones pluviométricas en la zona de estudio, o por la falta de operadores, la inoperatividad de los equipos, incluso las fallas instrumentales, es otro factor, ante esta situación se

debe realizar una correlación para completar y/o extender estos datos, por intermedio de estaciones índices, los cuales podrían tener datos completos, cercanía a la estación de problema, o una altura similar a la zona de estudio, características similares para una correcta aplicación.

- **Generación de datos sintéticos**

  Para la completación y/o extensión de datos se realizaran con modelos matemáticos o distribuciones probabilísticas, que están aplicados en softwares como Hec-4 o Easyfit, estos nos ayudaran a generar datos sintéticos, el Hec-4 utiliza solo la distribución Gumbel o Fretchet, mientras el Easyfit utiliza varias distribuciones, el cual nos ayuda a comparar el de mejor ajuste, verificando la prueba de bondad de ajuste con Smirnov Kolmogorov o Chi cuadrado, pero como es sabido para datos extremos como son precipitaciones máximas utilizaremos Smirnov Kolmogorov.

Figura 19. *Comparación de distribuciones con mejor ajuste en Easyfit*



Nota. En la imagen podemos apreciar el histograma generado con datos del mes de abril, el software ordena de arriba hacia abajo con la distribución de mejor ajuste, para este caso sería la distribución Log Normal, en seguida Fretchet 3P o también llamado Gumbel 3P, y así sucesivamente. De elaboración propia.

2.2.3. Estadística aplicada a la hidrología

La aplicación de la estadística en la hidrología, esta ligada a la estimación de caudales futuros, calcular la probabilidad de su ocurrencia, estos serán determinantes para el calculo y diseño de obras relacionadas a la hidráulica.

2.2.3.1. Modelos de distribución

Este análisis tiene como objetivo la estimación de precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea la necesidad, esto para diferentes periodos de retorno, a través de la aplicación de modelos matemáticos probabilísticos, estos puedes ser discretos o continuos, el Manual de Hidrología y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, recomiendan los siguientes. (MTC, 2011)

2.2.3.1.1. Distribución Normal

Es la función es el modelo matemático más usado, pero es limitado puesto que, las variables extremas, como son las precipitaciones máximas, raramente poseen este comportamiento.

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

Donde:

f(x) : Función densidad normal de la variable x

X : Variable independiente

u : Parámetro de localización, igual a la medida aritmética de x.

S : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x

2.2.3.1.2. Distribución Log Normal 2 parámetros

Presentan mejor bondad de ajuste a series de caudales mensuales y anules.

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

Donde $\bar{x}$ y S son los variables de la distribución.

Si la variable x de la ecuación de la distribución Normal se remplaza por una función y=f(x), tal que y=log(x), la función puede normalizarse, transformándose a una ley de probabilidades llamada log – normal, N(Y, Sy). Los valores originales de la variable aleatoria x, deben ser transformados a y=log(x) , de tal manera que $\bar{y}$ es la media de los datos muestrales, así:

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^{n} logx_i \,/\, n$$

Luego :

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(yi - \bar{y})^2}{n-1}}$$

Donde Sy es la desviación estándar de los datos de la muestra transformada. Así mismo; se tiene las siguientes relaciones, donde encontramos a Cs es el coeficiente de oblicuidad de los datos de la muestra transformada (Monsalve, 1999)

$$C = {}^{a}/_{S^3 y}$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^3$$

2.2.3.1.3. Distribución Log Normal 3 parámetros

Los parámetros log normal en general presentan mejor bondad de ajuste a series de caudales anuales, respecto lo demás funciones.

$$f_{(x)} = \frac{1}{(x - x_0)\left(\sqrt{((2\pi)Sy}\right)} e^{-1/2(Ln(x-x_0) - {}^{u_y}/_{Sy})}$$

Para X > X0

Donde:

X0: Parámetro de posición

Uy: Parámetro de escala o media

Sy^2: Parámetro de forma o varianza

2.2.3.1.4. Distribución Gamma 2 parámetros

Esta función de densidad se define así:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{x/\beta}}{\beta^{\gamma} r(\gamma)}$$

Válido para:

$0 \leq x < \infty$

$0 < \gamma < \infty$

$0 < \beta < \infty$

Donde:

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

2.2.3.1.5. Distribución Gamma 3 parámetros

Esta función de densidad se define así:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{(x-x_0)/\beta}}{\beta^{\gamma} r(\gamma)}$$

Válido para:

$X_0 \leq X < \infty$

$-\infty < X_0 < \infty$

$0 < \beta < \infty$

$0 < \gamma < \infty$

Donde:

X_0: Origen de la variable X, parámetro de posición

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

2.2.3.1.6. Distribución Log Pearson tipo III

Esta función de densidad se define así:

$$f(x) = \frac{(lnx - x_0)^{\gamma-1} e^{(lnx-x_0)/\beta}}{x\beta^{\gamma} r(\gamma)}$$

Válido para:

$X_0 \leq X < \infty$

$-\infty < X_0 < \infty$

$0 < \beta < \infty$

$0 < \gamma < \infty$

Donde:

X_0: Parámetro de posición

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

2.2.3.1.7. Distribución Gumbel o Fretchet

Es una de las más utilizadas por su sencillez, se define así:

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

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1{,}2825}{\sigma}$$

$$\beta = u - 0{,}45\sigma$$

Donde:

α : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x$$

Donde:

X : Valor con una probabilidad dada.

$\bar{x}$: Media de la serie.

K : Factor de frecuencia.

2.2.3.1.8. Distribución Log Gumbel

La variable aleatoria reducida log Gumbel, este se define así:

$$y = \frac{lnx - \mu}{\alpha}$$

La función acumulada reducida log Gumbel se define así:

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

2.2.3.2. Pruebas de bondad de ajuste

Son pruebas de hipótesis que se dan utilidad para evaluar si un grupo de datos es una muestra independiente de la distribución elegida. En estadística las pruebas de bondad de ajuste más utilizadas y conocidas son chi cuadrado y Kolmogorov – Smirnov. (MTC, 2011).

Esta prueba también podría realizarse visualmente, sin embargo, se necesita mucha precisión por tanto esto se descarta, así también, estas dos pruebas pueden ser realizadas con el programa Hydrognomon

2.2.3.2.1. Prueba de Chi Cuadrado (χ^2)

Propuesta por Karl Pearson en 1990, se aplica para verificar bondad de las distribuciones normales y log normales.

$$D = \sum_{i=1}^{k} (\theta_i - \varepsilon_i)^2 \ / \ \varepsilon_i$$

Donde:

θ_i : es el número observado de eventos en el intervalo i y εi es el número esperado de eventos en el mismo intervalo.

ε_i : se calcula como:

$$\varepsilon_i = n[F(S_i) - F(I_i)]$$

i = 1,2,…, k

2.2.3.2.2. Prueba de Kolmogorov – Smirnov

Permite también elegir la más representativa, o la que mejor se ajusta, compara el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución observada Fo(xm) y la estimada F(xm):

$$Fo(xm) = 1 - m/(n+1)$$

Donde

m : Número de orden de dato xm en una lista de mayor a menor

n : Número total de datos

Tabla 8. *Valores críticos α para la prueba Kolmogorov - Smirnov*

Tamaño de la muestra	α = 0,10	α = 0,05	α = 0,01
5	0,51	0,56	0,67
10	0,37	0,41	0,49
15	0,30	0,34	0,40
20	0,26	0,29	0,35
25	0,24	0,26	0,32
30	0,22	0,24	0,29
35	0,20	0,22	0,27
40	0,19	0,21	0,25

Nota. Adaptado de Aparicio, 1990

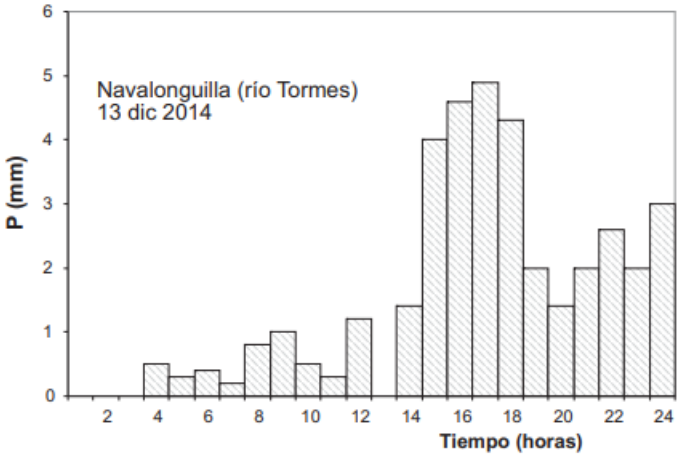
2.2.3.3. Estudio de tormentas

Importante para caracterizar la perturbación meteorológica de lluvias, depende fundamentalmente de su intensidad, duración y su frecuencia, su forma de medir podrían ser diarias, mensuales o anuales, con la finalidad de determinar valores en horas o minutos, dependiendo de tipo de estructura hidráulica que se pretende intervenir o investigar.

2.2.3.3.1. Hietogramas

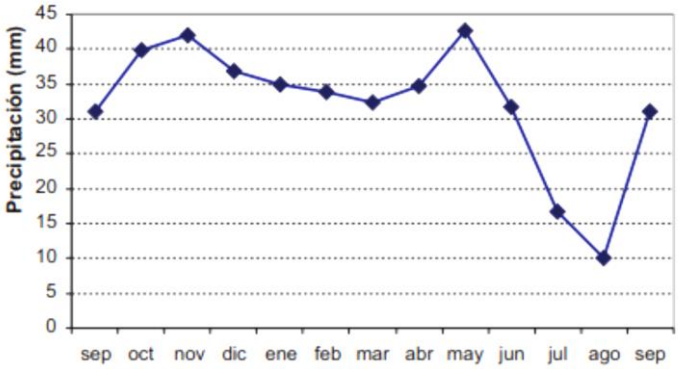
Tipo de representación gráfica de histogramas de barras o lineales, se requiere información con lecturas diarias e incluso minutos, depende de la necesidad.

Figura 20. *Hietograma en forma de histograma*



Nota. Adaptada de Sánchez, 2020.

Figura 21. *Hietograma anual lineal*

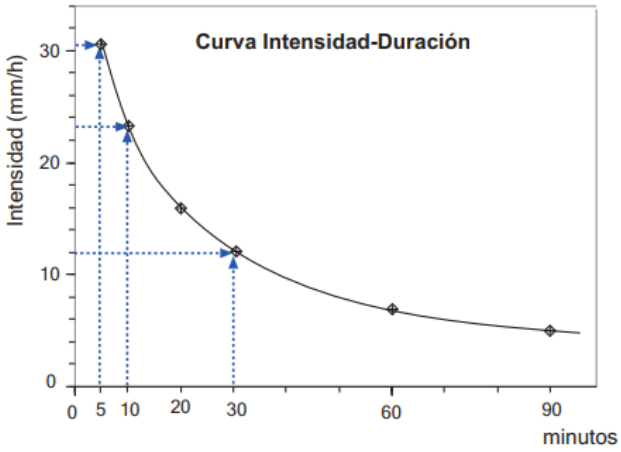


Nota. Adaptada de Sánchez, 2020.

2.2.3.3.2. Curva de intensidad – duración

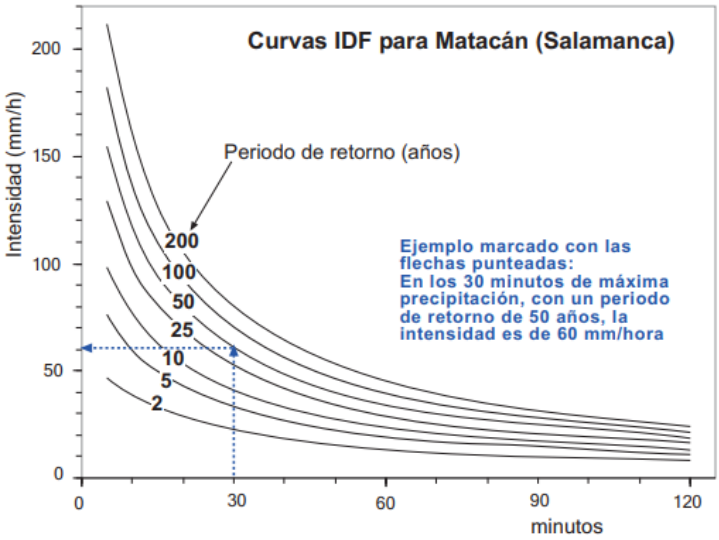
representación gráfica que muestra la relación entre la intensidad de la lluvia y su duración durante un evento de precipitación específico. En este gráfico, el eje horizontal indica la duración de la lluvia, mientras que el eje vertical representa la intensidad de la misma. Este concepto es crucial para comprender y modelar la respuesta de las cuencas hidrográficas ante la lluvia, esencial para el diseño de infraestructuras hidrológicas y la gestión del agua. Se utiliza también para estimar caudales de escorrentía, diseñar sistemas de drenaje y evaluar el riesgo de inundaciones en diferentes áreas.

Figura 22. *Curva Intensidad – Duración de datos registrados*



Nota. Adaptada de Sánchez, 2020.

Figura 23. *Curva de intensidad duración de datos proyectados*



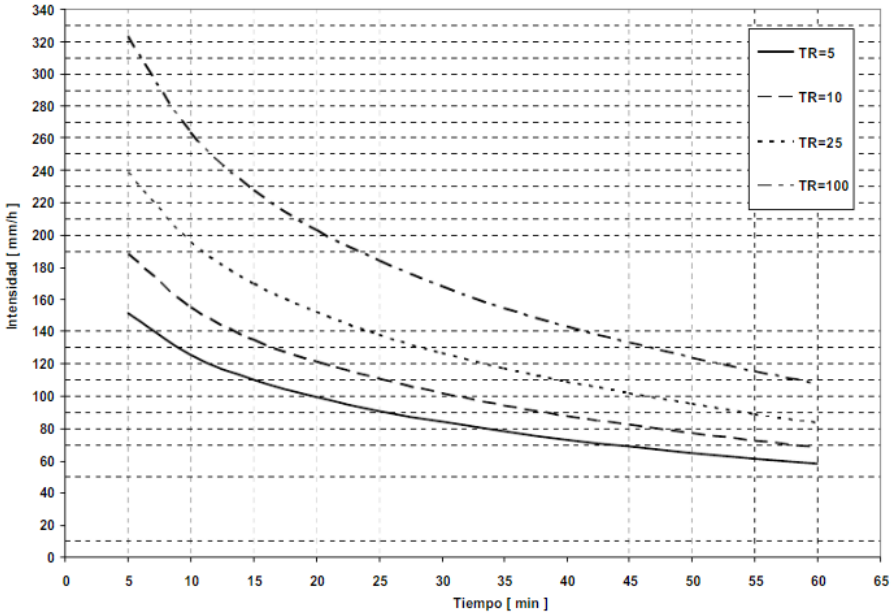
Nota. Adaptada de Sánchez, 2020.

2.2.3.3.3. Curva intensidad – Duración – Frecuencia

Gráfico utilizado para mostrar cómo la intensidad de la lluvia cambia en relación con su duración y la probabilidad de ocurrencia de esa intensidad durante un período específico. Este gráfico representa diferentes frecuencias de ocurrencia, como la probabilidad de una tormenta que sucede una vez cada cierto número de años. La IDF es esencial para la planificación hidrológica y el diseño de infraestructuras hídricas,

proporcionando información valiosa para la gestión del riesgo y control de inundaciones.

Figura 24. *Curva IDF*



Nota. Adaptado de Segerer & Villodas, 2006

La intensidad, es la medida de la lámina de lluvia, que cae por un determinado tiempo, se expresa en milímetro por hora, se be encontrar la intensidad máxima, con la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{Imax = \frac{P}{t}}$$

Donde:

Imax : Intensidad máxima (mm/h)

P : Lámina de agua (mm)

t : Tiempo (hr)

La duración, periodo de tiempo durante el cual cae la precipitación, se expresa en minutos, este es igual al tiempo de concentración, puesto que, la escorrentía alcanza su punto

máximo en ese tiempo, cuando toda el área de estudio está contribuyendo al caudal de la salida.

En el Perú, la escases de información pluviométrica hace difícil la elaboración de las curvas IDF, se cuenta solo con información de lluvias máxima en 24 horas, por lo que la intensidad de la precipitación se pluvial máxima se mide desde las precipitaciones máxima en 24 horas, multiplicado por un coeficiente de duración, mostrada en la siguiente tabla, esto entre 1 hora y 48 horas, así poder calcular la intensidad cuando no se cuente con información suficiente. (Manuel de hidrología, hidráulica y drenaje - MTC, 2011)

Tabla 9. *Coeficientes de duración de lluvias entre 1 y 48 horas*

DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN HORAS	COEFICIENTE
1	0,25
2	0,31
3	0,38
4	0,44
5	0,50
6	0,56
8	0,64
10	0,73
12	0,79
14	0,83
16	0,87
18	0,90
20	0,93
22	0,97
24	1,00
48	1,32

Nota. Adaptado de Manual para diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, MTC, 2008.

La frecuencia, veces en que una tormenta de características similares se repiten en un periodo determinado, se expresa en años.

La curva IDF, es el elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno (MTC, 2011, p.27).

Para cuando la duración de tormenta es menor a 1 hora, o no se cuenta con datos pluviométricos, donde no se pueda calcular intensidades máxima, podrán ser calculadas con el método de Dick Peschke, donde se relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. Con la siguiente ecuación:

$$P_d = P_{24h}\left(\frac{d}{1440}\right)^{0,25}$$

Donde:

P_d : Precipitación total (mm)

d : Duración en minutos

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

Las curvas IDF, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{KT^m}{t^n}$$

Donde:

I : Intensidad máxima (mm/h)

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

T : Periodo de retorno en años

t : Duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

2.2.3.4. Periodo de retorno

Probabilidad de ocurrencia de un evento de igual magnitud puede ser igualado o superado por lo menos una vez. (Monsalve, 1999, p. 226)

$$T = \frac{1}{f}$$

Donde:

T : Periodo de retorno

f : Frecuencia

Tabla 10. *Periodo de retorno para estructuras*

Estructura	Periodo de retorno
Puentes y Defensas Ribereñas	40 años
Alcantarillas de quebradas importantes	25 años
Alcantarillas de quebradas menores	15 años
Drenaje de plataforma y Sub - drenes	15 años

Nota. Adaptado de Ministerio de trasportes y comunicaciones – MTC, 2018.

Tabla 11. *Criterios para el diseño de estructuras hidráulicas*

Tipo de Estructura	Periodo de retorno (años)
Alcantarillas de carretera	
Volúmenes de tráfico bajo	5-10
Volúmenes de tráfico intermedio	10-25
Volúmenes de tráfico alto	50-100
Puentes de carreteras	
Sistema secundario	10-50
Sistema primario	50-100
Drenaje agrícola	
Culverts	5-50
Surcos	5-50
Drenaje urbano	
Alcantarillas en ciudades pequeñas	2-25
Alcantarillas en ciudades grandes	25-50
Aeropuertos	
Volúmenes bajos	5-10
Volúmenes intermedios	10-25
Volúmenes altos	50-100
Diques	
En fincas	2-50
Alrededor de ciudades	50-200
Presas con poca probabilidad de pérdidas de vida	
Presas pequeñas	50-100
Presas intermedias	100+
Presas grandes	-
Presas con probabilidad de pérdidas de vida	
Presas pequeñas	100+
Presas intermedias	-
Presas grandes	-
Presas con probabilidad de altas pérdidas de vida	
Presas pequeñas	100+

Presas intermedias	-
Presas grandes	-

Nota. Adaptado de Chow, Maidment & W, 19994

Tabla 12. *Obra y periodo de retorno*

Tipo de Estructuras	Periodo de retorno (años)
Puente sobre carretera importante	50 - 100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarilla sobre carretera importante	25
Alcantarillas cobre camino secundario	5 - 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de duración	1 – 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2 - 10
Drenaje agrícola	5 – 10
Muros de encauzamiento	2 – 50

Nota. Adaptado de M. Villón, 2004

2.2.3.5. Relación precipitación – escorrentía

La escorrentía es la suma de la escorrentía superficial originada de la lluvia y escorrentía subsuperficial, proveniente de la infiltración de la lluvia en el suelo, se usa para cálculo de caudales, para ello tenemos distintos métodos, como son:

2.2.3.5.1. índice de infiltración

El criterio mencionado implica que la capacidad de infiltración se mantiene constante durante una tormenta, y a esta capacidad se le llama índice de infiltración media, el cual se calcula. Cuando se dispone de un hietograma de intensidades, el cálculo del índice de infiltración se realiza mediante un proceso iterativo. Este proceso implica trazar una línea horizontal en el diagrama para separar la escorrentía (parte

superior del hietograma) de la parte que se infiltra (parte inferior del hietograma).

Utilizando la gráfica del hietograma de intensidades y el dato de escorrentía directa obtenido mediante la fórmula P_n= C*P, donde C es el coeficiente de escorrentía y P es la precipitación total, se asigna un valor tentativo al índice de infiltración. Luego, restando las intensidades del hietograma con el valor asumido del índice de infiltración, este resultado se multiplica por la duración, y se suman los valores, los cuales deben ser iguales a la escorrentía directa. En caso de que no converjan, se repite el proceso iterativo hasta obtener el mismo resultado. Por ello, se utiliza el siguiente balance hídrico:

$$P = P_n + I$$

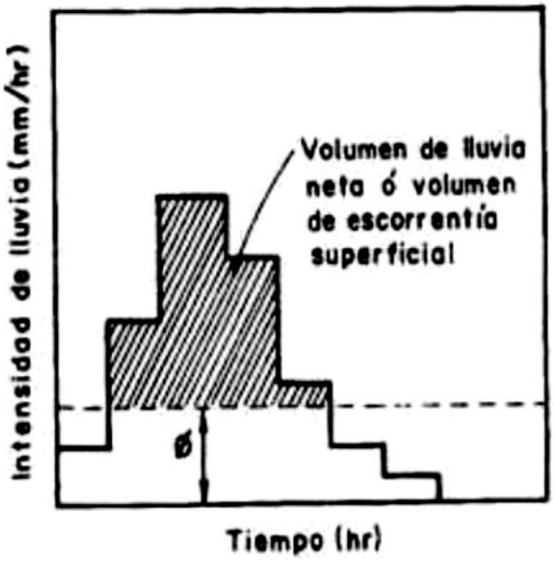
Donde:

P : Precipitación total (mm)

P_n : Escorrentía directa (mm)

I : Infiltración (mm)

Figura 25. *Índice de infiltración Φ*



Nota. Adaptado de hidrología en la ingeniería de Monsalve, Colombia, 1999

2.2.3.5.2. Método SCS – Número Curva (CN)

Según Monsalve, el método en cuestión se utiliza para obtener las abstracciones de una tormenta, que incluyen la detención superficial, la intercepción y la infiltración propiamente dicha. La lámina efectiva de precipitación resulta de la lámina total de precipitación y un parámetro de abstracción asociado al número de curva, con un rango de 0 a 100. Este parámetro es influenciado por las propiedades de la cuenca, como el tipo, uso y tratamiento del suelo, así como las condiciones de la superficie del terreno y la humedad previa del suelo.

La relación empírica, después de realizar algunas simplificaciones para obtener el exceso de precipitación o escorrentía directa mediante este método, es:

$$Pe = \frac{(P - 0{,}2 * S)^2}{P + 0{,}8 * S}$$

Donde:

Pe : Profundidad de exceso de precipitación o escorrentía

P : Precipitación total

S : Retención potencial máxima el suelo

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Donde:

S : Retención potencial máxima el suelo (pulg)

CN : Número de curva

Tabla 13. *Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana*

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA		GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
		A	B	C	D
Tierra cultivada[1]: sin tratamientos de conservación,		72	81	88	91
con tratamiento de conservación		62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres, condiciones óptimas		68	79	86	89
		39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,		45	66	77	83
cubierta buena[2]		25	55	70	77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.		39	61	74	80
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más		49	69	79	84
condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%					
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos Industriales /72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial[3]:					
Tamaño promedio del lote	- Porcentaje promedio impermeable[4]				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc.[5]		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados[5]		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Nota. Condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0,2s. 1) Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap.9. 2) Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo. 3) Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los sucesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde

puede ocurrir infiltración adicional. 4) Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva. 5) En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva. Adaptado de hidrologia aplicada, Ven Te Chow, 2004.

2.2.3.6. Cálculo de caudales de diseño

Este método se emplea en la planificación de diversas estructuras hidráulicas, las cuales se diseñan considerando un periodo de retorno específico, determinado según su relevancia.

En el contexto de esta tesis, el cálculo del caudal máximo se utilizará para identificar las áreas propensas a inundaciones en el lugar de investigación, permitiendo así la implementación de medidas preventivas o de mitigación adecuadas.

2.2.3.6.1. Estimación de caudales

Cuando existe información o registro de aforo se puede realizar análisis estadísticos con las distribuciones antes mencionadas para encontrar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno, sin embargo cuando no existen afros, se utilizan datos de precipitaciones como información de entrada y que finalmente producirán un caudal en la cuenca.(MTC, 2011)

2.2.3.6.2. Métodos para la estimación de caudales

Presentamos algunas metodologías para la estimación de caudales:

- **Método IILA**

  En el Perú se tiene escaza información registrada de datos pluviométricos, por el método IILA, se calcula de la siguiente manera considerado una duración (t) en horas y periodo de retorno (T) en años.

$$i_{t,T} = a(1 + KLogT)t^{n-1}$$

Y para la precipitación P(t,T) se tiene la siguiente ecuación:

$$P_{t,T} = a(1 + KLogT)t^{n}$$

Estas son empleadas para 3<= t <=24 horas, luego para t<= 3 hr., se usa la siguiente expresión:

$$i_{t,T} = a(1 + KLogT)(t + b)^{n-1}$$

Donde:

K : Parámetro de frecuencia

n : Parámetro de duración

a : Parámetro de intensidad

b : Parámetro de tiempo

t : Duración en horas

T : Periodo de retorno

Los valores de a, b y K, fueron determinadas la publicación Estudio de la Hidrología en el Perú realizado por el convenio entre IILLA-SENAMHI-UNI. También se utiliza la siguiente expresión:

$$i_{t,T} = \frac{\varepsilon_t}{t}(1 + KLogT)$$

Donde :

εt : Valores característicos de altitud de cada sub región hidrológica

- **Método racional**

Estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando las abstracciones en coeficientes c (coeficiente de escorrentía), usado para cuencas de área menores de

10 km^2, se considera la duración P igual al tiempo de concentración.

El caudal de diseño se obtiene de la siguiente expresión:

$$Q = 0{,}278CIA$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

C : Coeficiente de escorrentía (ver tabla 14)

I : Intensidad de precipitación (mm/h)

A : Área de la cuenca (Km^2)

Tabla 14. *Coeficientes de escorrentía método racional*

Cobertura vegetal	**Tipo de suelo**	**Pendiente del terreno**				
		Pronunciada >50%	**Alta >20%**	**Media >5%**	**Suave >1%**	**Despreciable <1%**
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Nota. El coeficiente de escorrentía se asignara de acuerdo a las características hidrológicas de las cuencas, según el área de estudio. Adaptado de Manual de Hidrología e Hidráulica del MTC, 2011.

- **Método racional modificado**

  Es el método racional adaptada para condiciones climáticas en España, permite calcular caudales en área de cuencas menores de 770 km^2, con tiempo de concentración entre 0,25 y 24 horas:

$$Q = 0{,}278CIAK$$

$$K = 1 + \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14}$$

  Donde:

  Q : Caudal de diseño (m^3/s)

  C : Coeficiente de escorrentía (ver tabla 14)

  I : Intensidad de precipitación (mm/h)

  A : Área de la cuenca (Km^2)

  K : Coeficiente de uniformidad

  Tc : Tiempo de concentración

- **Método Mac Math**

  Esta ecuación para determinar el caudal máximo en un periodo de retorno especifico, es el siguiente:

$$Q = 0{,}0091CIA^{4/5}S^{1/5}$$

  Donde:

  Q : Caudal de diseño (m^3/s)

  C : Coeficiente de escorrentía Mac Math

I : Intensidad de precipitación (mm/h)

A : Área de la cuenca (ha)

S : Pendiente promedio del cauce principal (%)

Tabla 15. *Constante de Mac Math*

Vegetación		Suelo		Topografía	
Cobertura (%)	**C_1**	**Textura**	**C_2**	**Pendiente (%)**	**C_3**
100	0,08	Arenoso	0,08	0,0 – 0,2	0,04
80 – 100	0,12	Ligera	0,12	0,2 – 0,5	0,06
50 – 80	0,16	Media	0,16	0,5 – 2,0	0,06
20 – 50	0,22	Fina	0,22	2,0 – 5,0	0,10
0 – 20	0,30	Rocosa	0,30	5,0 – 10,0	0,15

Nota. Adaptado de M. Villón, 2004

- **Método directo**

  Esta ecuación está definida de la siguiente forma:

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

  Donde:

  Q : Caudal máximo (m^3/s)

  n : Coeficiente de rugosidad

  A : Área hidráulica m^2

  R : Radio hidráulico m

  S : pendiente m/m

- **Método Gumbel**

  Esta ecuación está definida de la siguiente forma:

$$Q_{max} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N}(\bar{Y}_N - lnT)$$

$$\boldsymbol{\sigma_Q} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{Q_1^2} - \boldsymbol{N Q_m^2}}{\boldsymbol{N - 1}}}$$

Donde:

Q_{max} : Caudal máximo (m^3/s)

N : Número de años

Q_i : Caudal anual

Q_m : Caudal medio

T : Periodo de retorno

σ, ȳ : Constantes en función de N

σQ : Desviación estándar para caudales

- **Método Nash**

$$\boldsymbol{Q_{max} = a + b\ log\ log \frac{T}{T-1}}$$

Donde:

Q_{max} : Caudal critico (m^3/s)

T : Periodo de retorno

a, b : Constantes

- **Método modelamiento hidrológico con HEC – HMS**

Desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los estados unidos, con este método, se simula la respuesta que tendrá un rio en un escurrimiento superficial, producido por las precipitaciones en la cuenca teniendo en cuenta su hidrología e hidráulica.

Para su representación se requiere parámetros que especifiquen sus características y demás relaciones matemáticas que describan el proceso físico, como resultado se tiene el cálculo de los hidrógrafos del flujo en los puntos de control o de aforo de la cuenca del rio.

Estos datos son almacenados en una base de datos, de tal manera que, puedan ser usados en la misma familia de

modelamientos matemáticos como es el HEC-RAS, esto para determinar la disponibilidad de agua, drenaje urbano, perdición de flujo o reducción de daños de las avenidas.

Para su utilización es necesario disponer de la siguiente información:

Características de la precipitación, curva IDF, específicamente la intensidad, las precipitaciones deben introducirse en intervalos fijos.

Características geomorfológicas de la cuenca, tipos de precipitación, cobertura vegetal, tipos de prácticas de pastoreo, etc.

2.2.3.6.3. Coeficiente de rugosidad

Esto significa seleccionar un valor de n que estima la resistencia al flujo en un canal, esto no están fácil definirlo puesto que no existe un método exacto. Se propone cuatro enfoques con la finalidad de determinarlo correctamente, estos son: (Chow, 2004)

1. Entender los factores que intervienen en n con la finalidad de adquirir el conocimiento básico de la problemática de esta manera disminuir la incertidumbre en su elección.
2. Verificar los valores que toma n, en la tabla de valores, para los diferentes tipos de canales.
3. Relacionar las características de estos canales con otros que tengan coeficientes de rugosidad conocidos.
4. Determinar el valor de n por procedimientos basados en la medición de velocidad y rugosidad.

Se puede calcular n con la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{n} = (\boldsymbol{n_0} + \boldsymbol{n_1} + +\boldsymbol{n_2} + \boldsymbol{n_3} + \boldsymbol{n_4}) * \boldsymbol{m_s}$$

n_0 : Valor para un canal recto, uniforme y liso

n_1 : Valor para corregir el efecto de la rugosidad superficial

n_2 : Variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal

n_3 : Considera las obstrucciones

n_4 : Considera la vegetación y condiciones de flujo

m_s : Factor de corrección de los efectos por meandros en el canal.

Tabla 16. *Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad*

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n_0	0,020
	Corte en roca		0,025
	Grava fina		0,024
	Grava gruesa		0,028
Grado de irregularidad	Suave	n_1	0,000
	Menor		0,005
	Moderado		0,010
	Severo		0,020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n_2	0,000
	Ocasionalmente alternante		0,005
	Frecuentemente alternante		0,010 – 0,015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n_3	0,000
	Menor		0,010 – 0,015
	Apreciable		0,020 – 0,030
	Severo		0,040 – 0,060
Vegetación	Baja	n_4	0,005 – 0,010
	Media		0,010 – 0,025
	Alta		0,025 – 0,050
	Muy alta		0,050 – 0,100

Grado de los efectos por meandros	Menor	m_5	1,000
	Apreciable		1,150
	Severo		1,300

Nota. Adaptada de hidráulica de canales abiertos V. Chow, 2004.

2.2.4. Fundamentos hidráulicos

A continuación desarrollamos la teoría correspondiente a la hidráulica:

2.2.4.1. Conductos abiertos

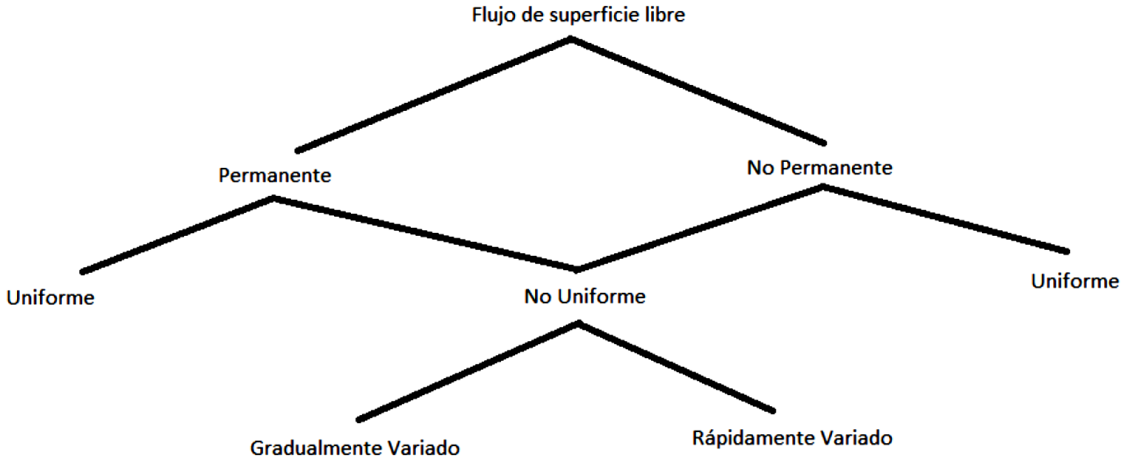
Son escorrentías que se caracterizan por tener una superficie libre, está en contacto directo con la atmosfera, y su flujo está en relación directa con el peso propio del fluido.

2.2.4.2. Clasificación de flujo

La primera diferenciación entre las modalidades de flujo reside en la categorización de permanente, donde la velocidad y la profundidad permanecen constantes a lo largo del tiempo; en contraste, se considera no permanente cuando dichas condiciones varían con el tiempo. La segunda categorización se refiere al flujo uniforme, caracterizado por condiciones de flujo idénticas en cualquier punto del trayecto, a diferencia del flujo no uniforme, donde estas condiciones pueden variar en distintos puntos del flujo.

Por último, la clasificación gradualmente variada indica cambios en las condiciones de flujo que se producen a distancias considerablemente largas, mientras que en el flujo rápidamente variado, tales cambios ocurren en distancias cortas. (James, 2020).

Figura 26. *Tipos de Flujo de superficie libre*



Nota. Adaptado de Hydraulic Structures, C. S. James, Sudafrica, 2020.

Otra clasificación es teniendo en cuenta su viscosidad, por lo cual podría ser laminar o turbulento.

El flujo laminar es cuando el fluido transcurre sin mezclado significativo de sus partículas circundantes. Por otro lado el turbulento es cuando el fluido varia irregularmente de tal manera que su velocidad y presión muestran variación en el tiempo y ubicación. Estos se pueden predecir como parámetro el número de Reynolds, así:

$$Re = \frac{V * L}{\upsilon}$$

Donde:

Re : Número de Reynolds

V : Velocidad característica

L : Longitud característica

υ : Viscosidad cinemática

teniendo en consideración la gravedad, el flujo podría ser subcrítico, supercrítico y crítico, este se denomina número de Froude, en tanto el flujo critico es cuando la relación entre las fuerzas inerciales y gravitaciones es igual a uno, cuando es menor a uno será un flujo subcrítico y si es superior a uno será un flujo supercrítico. (Chow, 1994)

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * L}}$$

Donde:

F : Número de Froude

V : Velocidad media del flujo

L : Longitud característica o profundidad hidráulica

g : Gravedad

2.2.4.3. Ecuaciones que gobiernan el flujo en canales abiertos

En la hidráulica se aplican tres leyes básicas de conservación de caudales, conservación de masa o ecuación de continuidad, conservación de energía y conservación de momento, estas son expresadas de la siguiente manera:

- **Ley de Conservación de la Masa:**

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2$$

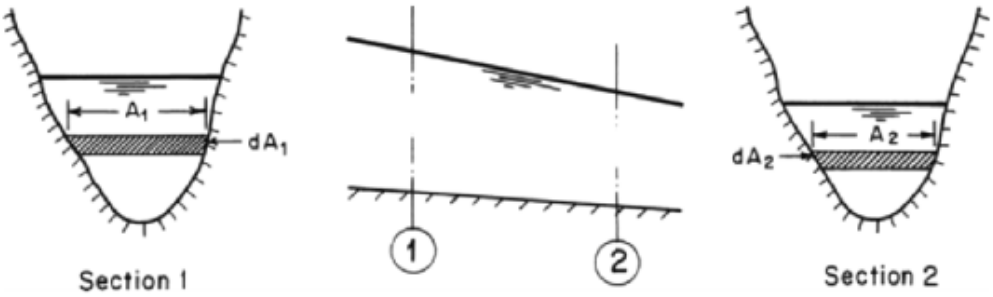
Donde:

Q : Caudal (m^3/s)

V : Velocidad de flujo (m/s)

A : Área de sección mojada (m^2)

Figura 27. *Notación de la ecuación de la continuidad*



Nota. Adaptado de Open-Channel Flow, C. Hanif, 2008.

- **Ley de conservación de energía**

$$H = \frac{p}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g}$$

Donde :

H : Energía total del flujo

p : Presión

ɣ : Peso específico del fluido

z : Cota de elevación

V : Velocidad local

g : Gravedad

- **Ley de la conservación de momento**

$$\sum Fs = \rho_2 * A_2 * V_2 * V_{S2} - \rho_1 * A_1 * V_1 * V_{S1}$$

$$\sum F_S = \rho * Q * (V_{S2} - V_{S1})$$

Donde:

ΣFs : Resultante de la fuerzas en la dirección S

ρ : Densidad de flujo

Q : Caudal

Vsi : Velocidad de la sección i

2.2.4.4. Propiedades geométricas de la sección transversal

Los componentes de una sección sen definidos por la geometría de su sección y la profundidad de esta, estas son relevantes en el cálculo del flujo.

- **Profundad de flujo (Y)**

Distancia vertical desde el punto mas bajo hasta la superficie libre del canal.

- **Ancho superficial (T)**

Ancho de la sección del canal en la superficie de esta.

- **Área mojada (A)**

  Área de la sección transversal del flujo, perpendicular a la dirección de la escorrentía

- **Perímetro mojado (P)**

  Longitud de la línea de intersección de la superficie de canal y de un plano transversal a la dirección de la escorrentía.

- **Radio hidráulico (R)**

  Relación que existe entre el área mojada y el perímetro mojado.

$$R = \frac{A}{P}$$

- **Profundidad hidráulica (D)**

  Relación entre el área mojada y el ancho de superficie.

2.2.4.5. Diseño hidráulico

Se emplea la fórmula de Manning en el diseño de la sección, tanto para tuberías como para canales abiertos. Esta fórmula posibilita la determinación de la velocidad de flujo y el caudal en situaciones de régimen uniforme a través de la siguiente relación:

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

$$Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Donde:

V : Velocidad de flujo (m/s)

Q : Caudal m^3/s

R : Radio hidráulico

S : Pendiente de fondo (m/m)

n : Coeficiente de Manning

Luego, la fórmula para calcular el coeficiente de rugosidad equivalente es como sigue:

$$n_e = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} P_i * n_i^{3/2}}{P}\right]^{2/3}$$

Donde:

n_e : Coeficiente equivalente de Manning

P : Perímetro mojado de la sección completa

N : Número de subsecciones

2.2.4.6. Modelamiento hidráulico con HEC – RAS

HEC-RAS es un modelo interactivo que posibilita la interacción con el usuario y con otros programas como ArcGIS y Civil 3D. Esto facilita la exportación e importación de la geometría necesaria para la representación del cauce. Su principal utilidad radica en representar los niveles de flujo y su variabilidad frente a distintos caudales. Su aplicación principal se encuentra en la determinación de las áreas afectadas por inundaciones, así como en la representación de niveles de agua. Además, proporciona información sobre velocidad, esfuerzo cortante y número de Froude, ofreciendo al modelador una comprensión detallada del comportamiento del cauce.

2.2.5. Inundaciones

Es el emplazamiento de grandes cantidades de aguas y/o de material sedimentario en una zona que en condiciones normales no se encuentra debajo del curso de agua, estos se pueden parametrizar a partir del tipo de inundación y las características del terreno de la zona.

2.2.5.1. Clasificación de inundaciones

2.2.5.1.1. Por desbordamiento

El desborde es un fenómeno que ocurre cuando la capacidad de conducción o almacenamiento de agua en una zona es superada por el volumen de agua presente. Se clasifican en desbordes torrenciales, causados por pendientes pronunciadas en llanuras, y desbordes lentos, que ocurren en zonas con pendientes bajas, como valles o altiplanos. Los desbordes torrenciales son impredecibles y de rápido desarrollo, causando daños significativos en poco tiempo, mientras que los desbordes lentos, que suelen ocurrir después de los torrenciales, permiten una respuesta más efectiva debido a su desarrollo más gradual, facilitado por acciones humanas o vegetación que controla la velocidad del desborde. (Flórez y Suavita, 2000)

2.2.5.1.2. Por encharcamiento

Este tipo de inundación puede originarse debido a lluvias inusuales, sistemas de drenaje insuficientes y la presencia de suelos con baja permeabilidad, que propician el estancamiento del agua en las depresiones de la zona. Estas áreas se distinguen por carecer de un desagüe natural eficiente. En estas circunstancias, el proceso de secado dependerá exclusivamente de la evapotranspiración local y/o de las propiedades de infiltración del suelo.

2.2.5.1.3. Por flujo y reflujo marino

Las inundaciones de esta naturaleza ocurren debido a la interacción entre las mareas y oleajes de alta intensidad,

que pueden ser provocados por tsunamis, ciclones, mareas de leva o mareas de fondo. En ocasiones, estas inundaciones también son causadas por precipitaciones inusuales, resultando en un aumento del volumen de agua en las áreas bajas de la costa.

2.2.5.1.4. Complejos

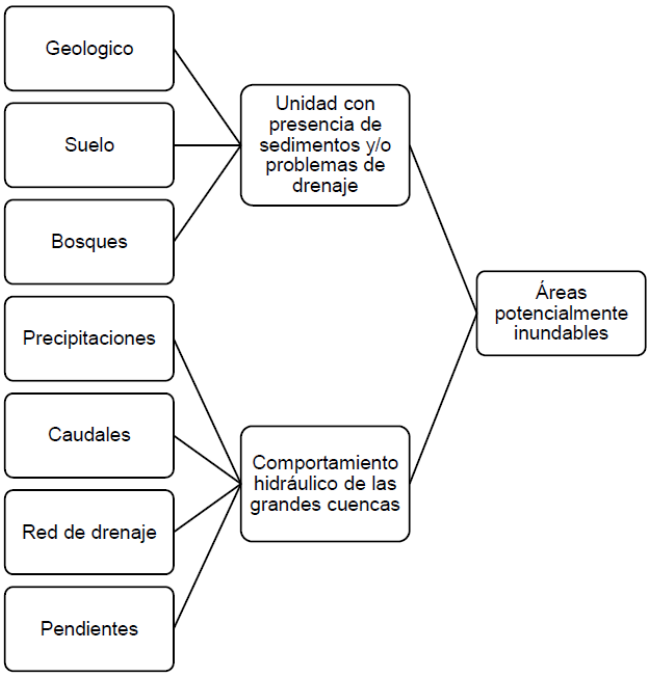
Este tipo de inundaciones resulta de la combinación de diversas categorías previamente mencionadas, según Flórez y Suavita (2000):

Encharcamiento por desborde: Se caracteriza por el desbordamiento de un río en llanuras cercanas. La presencia de diques naturales puede confinar el agua en la superficie, incluso después de que el nivel de inundación haya disminuido.

Desborde y encharcamiento en zonas urbanas: Ocurre debido al crecimiento demográfico en áreas urbanas, donde el aumento de construcciones en terrenos propensos a inundaciones, como llanuras o depresiones, puede causar encharcamientos y afectar económicamente a la población.

Desborde por acción antrópica: Este tipo de inundación se origina por la presencia de estructuras con grandes volúmenes de agua, como represas, que colapsan e inundan áreas circundantes. También se incluyen las inundaciones causadas por la degradación de la cobertura vegetal, que vuelve el suelo impermeable y genera impactos en la zona.

Figura 28. *Zonificación de áreas potenciales inundables*



Nota. Adaptado de Flórez & Suavita, 2000

2.2.5.2. Tipología de inundaciones

Tabla 17. *Tipología de inundaciones*

Tipología	Dinámica Geológica		Dinámica Geomorfológica	Dinámica de drenaje	Vegetación/ Dinámica Geomorfológica	Duración de Inundación
	Modelado	**Condiciones Hidrológicas**				
	Altiplanos	Altas precipitaciones ex situ	Formación de conos en los bordes y acumulación de sedimentos en altiplanos	Baja, ríos con pocos tributarios	Aumenta el flujo por deforestación	De horas a días
	Altiplanos	Altas precipitaciones in situ	Formación de conos en los bordes	Baja, ríos con pocos tributarios	No existe relación directa	De horas a días
	Pequeños valles inter montañosos	Altas precipitaciones ex situ	Áreas deposicionales, formación de bacines	Mediana, aporte significativo de partes más altas	Aumenta el flujo por deforestación	Horas
	Conos y abanicos	Cambio de estiaje alternados con altas precipitaciones	Deposición de material de granulometría heterogénea, proveniente de unidades anteriores	Bajo a medio	No existe relación directa	Horas
	Valles interandinos	Aguas pluviales más fluviales	Depende del tamaño, pueden formarse conos y abanicos de piedemonte o bacines	Medio a alto	No existe relación directa	Meses (1 a 2)
	Llanuras aluviales	Aguas pluviales más fluviales	Extensas zonas deposicionales	Medio	No existe relación directa	Meses a año

Lomeríos en llanuras aluviales	Aguas pluviales	Flujos que bajan de pequeñas lomas	Baja	Cualquier alteración del medio biótico aumenta el flujo	De horas a días
Depresiones en llanuras	Aguas pluviales más fluviales	Depende de las geoformas que lo rodean, pantanos	Medio a alta	No existe relación directa	Meses a año
Planicies litorales	Aguas fluviales	Formación de deltas, ciénagas	Alta	No existe relación directa	Semanas a meses
Planicies litorales	Aguas pluviales	Formación de pantanos	Baja	No existe relación directa	Meses (10 a 12)
Planicies litorales	Flujo y reflujo marino	Formación de pantanos y estuarios	Alta	Vegetación forma barrera natural	Diarias (1 o 2 veces)
Planicies litorales y llanuras aluviales	Flujo y reflujo marino por mar de leva	Formación de pantanos	Alta	Vegetación forma barrera natural	Horas, minutos
Planicies litorales	Flujo y reflujo marino por tsunamis	Depende de las características de la costa y de las	Alta	Vegetación forma barrera natural	Días
Planicies litorales	Flujo y reflujo marino por ciclones tropicales	Depende de las características de la costa y de las olas	Alta	Semanas	Planicies litorales
Altillanuras	Aguas pluviales	Esteros y bajos	Drenaje jerarquizado	No existe relación directa	Días
Llanuras aluviales con	Aguas pluviales	Esteros	Bajo	Protege de la evapotranspiración	De horas a días

Nota. Adaptado de Flórez & Suavita, 2000.

2.2.6. Identificación de peligro, análisis de vulnerabilidad y estimación de riesgos

2.2.6.1. Identificación y caracterización de Peligros ante inundaciones

2.2.6.1.1. Criterios para determinar el nivel de la intensidad o magnitud de la inundación

La intensidad y consecuencias potenciales de las inundaciones están condicionadas por diversos factores, no solo meteorológicos, sino también por las características del terreno, como tipos de suelo, vegetación, litología, red de drenaje, pendientes de la cuenca y obras en los cauces. Además, se destacan consideraciones importantes como la presencia de meandros y las áreas donde los ríos se estrechan o pierden profundidad debido a la falta de descolmatación o limpieza del cauce, especialmente en las desembocaduras, donde se acumulan sedimentos como limo y tierra arrastrada por la corriente.

Los criterios que se utilizan para evaluar la intensidad de las inundaciones son diversas, para inundaciones estáticas se considera la profundidad o altura de flujo, mientras que para las inundaciones dinámicas se utiliza el producto de la velocidad por la profundidad del flujo.

Los niveles de intensidad han sido definidos considerando la peligrosidad que una determinada columna de agua podría causar para la infraestructura y para la vida de los pobladores, estos niveles serán definidos en rangos según el siguiente gráfico. (INDECI, 2011)

Figura 29. *Niveles de intensidad según profundidad de flujo*

Niveles de intensidad	Profundidad del flujo (H) (m) (inundaciones estáticas)	Profundidad x velocidad. del flujo (m2/s) (inundaciones dinámicas)
Muy alta	H > 1.5 m	H*V > 1.5 m
Alta	0.5 m < H < 1.5 m	0.5 m < H*V < 1.5 m
Media	0.25 m < H < 0.5 m	0.25 m < H*V < 0.5 m
Baja	< 0.25 m	H*V < 0.25 m

Nivel de Intensidad		*Rangos*
Muy Alta		*0,75 < NI ≤ 1*
Alta		*0,50 < NI ≤ 0,75*
Media		*0,25 < NI ≤ 0,50*
Baja		*0 < NI ≤ 0,25*

Nota. H:altura en metros, PxV: profundidad por velocidad en m^2/s, NI: Nivel de intensidad. Adaptado de Manual de estimación de inundaciones, INDECI, 2011

La intensidad y los efectos potenciales de las inundaciones, depende de: factores meteorológicos como la precipitación y la temperatura; características del terreno como, el tipo y la distribución de la vegetación, magnitud de las pendientes de la cuenca, la litología, características de la red de drenaje, obras realizadas en los cauces, los tipos y usos del suelos y otros; también dependen de los meandros.

2.2.6.1.2. Criterios para la evaluación o periodo de retorno de la inundación

La frecuencia de inundaciones o cada cuanto tiempo se inunda una zona dependerá básicamente de la frecuencia de precipitaciones extremadamente fuertes, los periodos de retorno se establecieron de la siguiente manera:

Figura 30. *Niveles de intensidad según periodo de retorno*

Niveles de intensidad	Período de retorno en años (Tr)
Muy alta	1 < T < 5 años
Alta	5 < T < 15 años
Media	15 < T < 50 años
Baja	50 < T < 200 años ó más

Frecuencia		*Rangos*
Muy Alta		*0,75 < F ≤ 1*
Alta		*0,50 < F ≤ 0,75*
Media		*0,25 < F ≤ 0,50*
Baja		*0 < F ≤ 0,25*

Nota. T: Periodo de retorno, F: Frecuencia, adaptado de INDECI, 2011.

2.2.6.1.3. Determinación del nivel de peligrosidad

Los niveles de peligro por inundación de un área determinada, es el producto de la relación de la frecuencia de inundaciones y su intensidad, y se representa así:

Figura 31. *Matriz de nivel de peligrosidad*

Intensidad				
Muy Alta	Peligro Medio 0,25	Peligro Alto 0,5	Peligro Muy Alto 0,75	Peligro Muy Alto 1
Alta	Peligro Bajo 0,19	Peligro Medio 0,38	Peligro Alto 0,56	Peligro Muy Alto 0,75
Media	Peligro Bajo 0,13	Peligro Medio 0,25	Peligro Medio 0,38	Peligro Alto 0,5
Baja	Peligro Bajo 0,06	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,19	Peligro Medio 0,25
	Baja	Medio	Alta	Muy Alto
	Frecuencia (años)			

Nivel de Peligrosidad		*Rangos*
Peligro Muy Alto		0,75 < NP ≤ 1
Peligro Alto		0,50 < NP ≤ 0,75
Peligro Medio		0,25 < NP ≤ 0,50
Peligro Bajo		0 < NP ≤ 0,25

Nota. NP: nivel de peligrosidad, adaptado de INDECI, 2011.

2.2.6.2. Análisis de vulnerabilidad ante inundaciones ante peligros por inundaciones

Se propone considerar la metodología que a continuación se detalla, estos generalmente están relacionados con las condiciones en donde se presentan este tipo de eventos, por tanto, estos son referenciales y aleatorios, por lo que pueden ser mejorados según el área de cada estudio, así se define la vulnerabilidad total de la zona de estudio:

$$VT = \frac{VF + VAe + VE + VS + VEd + VPI + VCI + VCT}{8}$$

VT : Vulnerabilidad Total

VF : Vulnerabilidad Física

VAe : Vulnerabilidad Ambiental - Ecológica

VE : Vulnerabilidad Económica

VS : Vulnerabilidad Social

Ved : Vulnerabilidad Educativa

VPI : Vulnerabilidad Política - Institucional

VCI : Vulnerabilidad Cultural - Ideológica

VCT = Vulnerabilidad Científica – Tecnológica

Los desastres generan impactos socioeconómicos y ambiental, por ello, los ítems antes señalados son los involucrados ante ocurrencias de inundaciones, siempre y cuando el investigador tenga a bien señalar cada uno de estos parámetros.

Tabla 18. *Tipos de vulnerabilidad ante inundaciones fluviales*

Tipo de vulnerabilidad	variables
Vulnerabilidad física	Localización de viviendas (*)
	Material de construcción utilizada en viviendas
	Características geológicas, calidad y tipo de suelo
	Cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedimientos constructivos
Vulnerabilidad ambiental ecológica	Explotación de los recursos naturales
	Fuentes emisoras de sustancias o materiales peligrosos
Vulnerabilidad económica	Actividad Económica
	Grado de escasez (ingresos, servicios y competitividad)
Vulnerabilidad social	Nivel de organización
	Grado y tipo de Relación e Integración entre las Instituciones y Organizaciones Locales
Vulnerabilidad educativa	Existencia de Capacitación en colegios en temas concernientes a Defensa Civil
	Existencia de Capacitación de la población civil en temas concernientes a Defensa Civil
	Campañas de difusión (TV, radio y prensa)
Vulnerabilidad política institucional	Político y legal
	Organización y Capacidad Institucional
Vulnerabilidad cultural e ideológica	Conocimiento colectivo sobre ocurrencia pasada de peligros
	Percepción local del riesgo
	Actitud frente al riesgo
Vulnerabilidad científica y tecnológica	Información y soporte técnico
	Conocimiento y cumplimiento de recomendaciones

Nota. (*) Es necesario especificar la distancia, que existe de los elementos expuestos al peligro. Adaptado de INDECI, 2011.

Obtenido el resultado de cada una de las variables de vulnerabilidad, se aplica la ecuación de vulnerabilidad total y se determina su valor, según la siguiente escala:

Figura 32. *Matriz, Vulnerabilidad total*

VULNERABILIDAD TOTAL	GRADO
0,75 < V ≤ 1	Muy Alto
0,50 < V ≤ 0,75	Alto
0,25 < V ≤ 0,50	Media
0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

Para nuestra, investigación utilizaremos solo algunos tipos de para el análisis de vulnerabilidad, teniendo en consideración el nivel del alcance de los datos e información, estos serán:

2.2.6.2.1. Vulnerabilidad física

Las principales variables a evaluar son: localización de viviendas, materiales construcciones utilizada en las viviendas, características geológicas, calidad y tipo de suelo y cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedámoslos constructivos.

Figura 33. *Matriz 01, localización de viviendas*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Muy cercana 0.2 – 0 Km.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Cercana 0.2 – 1 Km.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Medianamente cerca 1 – 5 Km.	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Muy alejada > 5 Km.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

Figura 34. *Matriz 02, material de construcción utilizadas en viviendas*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Estructuras de adobe, caña y otros de menor resistencia, en estado precario	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Estructuras de adobe, piedra o madera, sin refuerzos estructurales	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Estructura de concreto, acero o madera, sin adecuada técnica constructiva	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Estructura sismorresistente con adecuada técnica constructiva (de concreto o acero)	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

Figura 35. *Matriz 03, características geológicas, calidad y tipo de suelo*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Zona muy fracturada, fallada, suelos colapsables (relleno, mapa freática alta con turba, material inorgánico, etc.)	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Zona medianamente fracturada, suelos con baja capacidad portante	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Zonas sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características geotécnicas	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

Figura 36. *Matriz 04, Cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedimientos constructivos*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Desconocimiento e incumplimiento de la normativa vigente	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Con normativa vigente sin cumplimiento	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Con normativa vigente medianamente cumplidas	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Con normativa vigente estrictamente cumplidas	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

Establecido los valores de cada variable, se determina el grado de vulnerabilidad física, promediando con el mismo peso para cada variable, con la siguiente ecuación:

$$VF = \frac{Lv + Cv + Cg + Cn}{4}$$

Donde:

VF : Vulnerabilidad Física

Lv : Localización de Viviendas

Cv : Construcción Utilizada en Viviendas

Cg : Características geológicas, calidad y tipo de suelo

Cn : Cumplimiento de la normativa técnica vigente de los procedimientos constructivos

Finalmente, se considera la siguiente matriz para determinar el grado de vulnerabilidad física:

Figura 37. *Matriz, grado de vulnerabilidad física*

RANGO DE LA VULNERABILIDAD FISICA	GRADO
0,75 < V ≤ 1	Muy Alto
0,50 < V ≤ 0,75	Alto
0,25 < V ≤ 0,50	Media
0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

2.2.6.2.2. Vulnerabilidad ambiental - ecológica

Las principales variables a evaluar son: explotación de los recursos naturales y fuentes emisoras de sustancias o materiales peligrosos:

Figura 38. *Matriz 01, explotación de los recursos naturales*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Practicas negligentes e intensas de degradación en el cauce y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/uso indiscriminado de los suelos, recursos forestales), entre otros considerados básicos propios del lugar en estudio)	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Practicas negligentes periódicas o estacionales de degradación de cause y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/uso indiscriminado de los suelos y recursos forestales)	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Practicas de degradación del cauce y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/uso indiscriminado de los suelos y recursos forestales) sin asesoramiento técnico capacitado. Pero las actividades son de baja intensidad.	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Practicas de consumo/uso del cause y márgenes del río u otro continente de agua (suelos y recursos forestales) con asesoramiento técnico capacitado bajo criterios de sostenibilidad.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

Figura 39. *Matriz 02, fuentes emisoras de sustancias o materiales peligrosos*

INDICADOR	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
El área de estudio presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, afectando a más del 50% de la población.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
El área de estudio presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, afectando a más de la quinta de la población (entre el 20% y 50% de la población).	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
El área de estudio presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicas, afectando a sectores focalizados de la población (< 20%).	0,25 < V ≤ 0,50	Media
El área de estudio no presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, por lo que la población no se ve afectada.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

Establecido los valores de cada variable, se determina el grado de vulnerabilidad ambiental ecológica, promediando con el mismo peso para cada variable, con la siguiente ecuación:

$$VAe = \frac{Er + Fe}{2}$$

Donde:

VAe : Vulnerabilidad Ambiental - Ecológica

Er : Explotación de recursos naturales

Fe : Fuentes emisoras de sustancias o materiales peligrosos

Finalmente, se considera la siguiente matriz para determinar el grado de vulnerabilidad ambiental ecológica:

Figura 40. *Matriz, grado de vulnerabilidad ambiental ecológica*

RANGO DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL - ECOLÓGICA	GRADO
0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
0,50 < V ≤ 0,75	Alta
0,25 < V ≤ 0,50	Media
0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

2.2.6.2.3. Vulnerabilidad económica (Ve)

La principal variable a evaluar es: la actividad económica:

Figura 41. *Matriz 01, Actividad económica*

INDICADOR	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
El sistema de producción se basa en una actividad primaria extractiva, sin tecnificación, sin ningún criterio de sostenibilidad. El sistema de producción, bajo las condiciones en que se encuentran, no tiene oportunidades de insertarse a un mercado competitivo. Las actividades económicas realizadas por la población son poco rentables. No existen importantes inversiones. Se presenta un gran nivel de informalidad en las actividades económicas. El área en estudio se encuentra a una distancia que hace que la fluidez entre las áreas de producción y los mercados de intercambio y consumo sea muy pesado (locales y nacionales).	$0,75 < V \leqslant 1$	Muy Alta
El sistema de producción, bajo las condiciones en que se encuentran, tiene muy poca posibilidad de insertarse a un mercado competitivo. Las actividades económicas realizadas por la población son poco rentables en su mayoría. Existen aisladas inversiones de rango medio, que tienen poco arrastre en la dinamización económica del lugar. Se presenta un importante nivel de informalidad en las actividades económicas El área en estudio se encuentra a una distancia que dificulta la fluidez entre las áreas de producción y los mercados de intercambio y consumo (locales y nacionales).	$0,50 < V \leqslant 0,75$	Alta
El sistema de producción cuenta con algunos puntos que presentan competitividad. Algunas actividades económicas realizadas por la población presentan cierto nivel de rentabilidad. Existen algunas inversiones que empiezan a dinamizar el área en estudio. Se presenta un importante nivel de informalidad en las actividades económicas. El área en estudio se encuentra a una distancia que proporciona cierta fluidez (diaria) en las áreas de producción y los mercados de intercambio y consumo (locales, nacionales y/o internacionales).	$0,25 < V \leqslant 0,50$	Media
El sistema de producción del área en estudio se encuentra o presenta un proceso importante de inserción a la competitividad. Las actividades económicas presentan un proceso de crecimiento y dinamismo presentando interesantes niveles de rentabilidad. Existen importantes inversiones productivas y económicas que dinamizan o empiezan a dinamizar el área en estudio. Se presenta un importante nivel de informalidad en las actividades económicas El área en estudio una dinámica fluida con sus mercados de intercambio y consumo. (Mercados locales, nacionales y/o internacionales).	$0 < V \leqslant 0,25$	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

2.2.6.2.4. Vulnerabilidad social

Las principales variables a evaluar son: nivel de organización, grado y tipo de relación e integración entre las instituciones y organizaciones locales:

Figura 42. *Matriz 01, Nivel de organización*

INDICADOR	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
La organización política o social de la población es nula o presenta altos niveles de corrupción en su clase dirigencia y desprestigio popular. Existen disputas internas. La participación de la población, en la generación de estrategias de desarrollo o gestión del territorio, es nula o muy aislada. Existe un nulo o efímero interés de la población por participar en algún tipo de organización social. No existen comités vecinales de organización social (de defensa civil, seguridad ciudadana, vaso de leche, entre otros).No existen gremios organizados.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
La organización política o social de la población es efímera o nunca funcionan. Existen disputas internas entre estas organizaciones. Presentan algunos casos de corrupción en su clase dirigencial y desprestigio popular. Existe un bajo interés de la población por participar en algún tipo de organización social. La participación de la población, en la generación de estrategias de desarrollo o gestión del territorio, debido a su nivel de desorganización tiene poca fuerza en la toma de decisiones. Existen comités vecinales de organización social (de defensa civil, seguridad ciudadana, vaso de leche, entre otros), pero son muy deficientes en su gestión. No existen gremios organizados.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Existe organización política o social de la población. No existen disputas internas entre estas organizaciones con normalidad. Presentan casos aislados de corrupción en su clase dirigencial. Las organizaciones tienen funcionamiento todo el año pero en condiciones de "sobre vivencia". La participación de la población, en la generación de estrategias de desarrollo o gestión del territorio, tienen cierta presencia. Sus propuestas son tomadas en cuenta. Existe un cierto interés de la población por participar en algún tipo de organización social. Existen comités vecinales de organización social, que cuentan con deficiencias, en proceso de formación, pero con un capital humano interesante de gestión.	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Existe organización activa política o social de la población. Existen clases dirigenciales comprometidas con la prevención de riesgos, el desarrollo y la gestión eficiente de su territorio. Las organizaciones tienen funcionamiento todo el año pero en condiciones de básicas o mejores. La participación de la población, en la generación de estrategias de desarrollo o gestión del territorio, tiene importante presencia. Sus propuestas son tomadas en cuenta. Existe interés de la población por participar en algún tipo de organización social. Existen comités vecinales de organización social (de defensa civil, seguridad ciudadana, vaso de leche, entre otros), en proceso de consolidación o con amplia trayectoria y gestión eficiente. Existen gremios organizados.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

Figura 43. *Matriz 02, Grado y tipo de Relación e Integración entre las Instituciones y Organizaciones Locales*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
No existe relación e integración entre las Instituciones y Organizaciones locales	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Débil relación e integración entre las Instituciones y Organizaciones <locales	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Existe una parcial relación e integración entre las Instituciones y Organizaciones locales	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Fuerte relación e integración entre las Instituciones y organizaciones locales	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

Establecido los valores de cada variable, se determina el grado de vulnerabilidad social, promediando con el mismo peso para cada variable, con la siguiente ecuación:

$$VS = \frac{Os + Gr}{2}$$

Donde:

VS : Vulnerabilidad Social

Os : Organización social

Gr : Grado y tipo de Relación e Integración entre las Instituciones y Organizaciones Locales

Finalmente, se considera la siguiente matriz para determinar el grado de vulnerabilidad social:

Figura 44. *Grado de vulnerabilidad social*

VULNERABILIDAD SOCIAL	GRADO
0,75 < V ≤ 1	Muy Alto
0,50 < V ≤ 0,75	Alto
0,25 < V ≤ 0,50	Media
0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

2.2.6.2.5. Vulnerabilidad educativa

Las principales variables a evaluar son: Existencia de Capacitación en colegios en temas concernientes a Defensa Civil, Existencia de Capacitación de la población civil en temas concernientes a Defensa Civil y Campañas de Difusión:

Figura 45. *Matriz 01, Existencia de Capacitación en colegios en temas concernientes a Defensa Civil*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
No cuentan ni desarrollan ningún tipo de programa de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Desarrollan insuficientes programas de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura escasa.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Desarrollan con regular frecuencia programas de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura mayoritaria.	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Desarrollan constantemente programas de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura total.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

Figura 46. *Matriz 02, Existencia de Capacitación de la población civil en temas concernientes a Defensa Civil*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
La totalidad de la población no cuenta ni desarrollan ningún tipo de programa de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
La población está escasamente capacitada en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura escasa.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
La población se capacita con regular frecuencia en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura mayoritaria.	0,25 < V ≤ 0,50	Media
La población se capacita constantemente en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura total.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

Figura 47. *Matriz 03, Campañas de difusión*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
No hay difusión en diversos medios de comunicación sobre temas de defensa civil para la población local.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Escasa difusión en diversos medios de comunicación sobre temas de defensa civil, existiendo el desconocimiento de la mayoría de la población.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Difusión masiva y poco frecuente en diversos medios de comunicación sobre temas de defensa civil, existiendo el conocimiento de un gran sector de la población.	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Difusión masiva y frecuente en diversos medios de comunicación sobre temas de defensa civil, existiendo el conocimiento total de la población.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

Establecido los valores de cada variable, se determina el grado de vulnerabilidad educativa, promediando con el mismo peso para cada variable, con la siguiente ecuación:

$$VEd = \frac{Ec + Ecp + Cd}{3}$$

Donde:

VEd : Vulnerabilidad Educativa

Ec : Existencia de Capacitación en colegios en temas concernientes a Defensa Civil

Ecp : Existencia de Capacitación de la población civil

Cd : Campañas de Difusión

Finalmente, se considera la siguiente matriz para determinar el grado de vulnerabilidad educativa:

Figura 48. *Matriz, grado de vulnerabilidad educativa*

VULNERABILIDAD EDUCATIVA	GRADO
0,75 < V ≤ 1	Muy Alto
0,50 < V ≤ 0,75	Alto
0,25 < V ≤ 0,50	Media
0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. V: vulnerabilidad. Adaptado de INDECI, 2011.

2.2.6.3. Estimación de riesgo por inundaciones fluviales

Una vez que se identificó los peligros a los que está expuesto la zona en estudio y también realizado el análisis de vulnerabilidad, se procede a calcular el nivel de riesgo, esto con la finalidad de estimar la probabilidad de perdida y daños esperados (personas, bienes materiales y recursos económicos) anta la ocurrencia de una inundación. (INDECI, 2011)

Se puede calcular el riesgo por el método analítico o matemático y también por el método descriptivo, se basa fundamentalmente en la aplicación de la siguiente ecuación probabilística:

$$R = f(P, V)$$

Donde:

R : Riesgo

f : En función

P : Peligro

V : Vulnerabilidad

Cada una de estas variables se expresan en términos de probabilidad, para determinar el nivel de riesgo se empleará la matriz de doble entrada, matriz del grado de peligro y matriz del grado de vulnerabilidad, por ello previamente deberíamos haber determinado los niveles de intensidad y frecuencia de peligro y del análisis de vulnerabilidad. (INDECI, 2011)

Los valores obtenidos del grado de peligrosidad y nivel de vulnerabilidad, se interrelaciona colocando estos criterios en ambos ejes, y la intersección de estos valores dará como resultado el nivel de riesgo del área en estudio.

2.2.6.3.1. Método simplificado para la determinación del nivel de riesgo – cuadro matriz del riesgo

A continuación, la matriz de doble entrad que nos permite calcular el nivel de riesgo en función al peligro y la vulnerabilidad.

Figura 49. *Cuadro matriz de riesgo*

Peligro Muy Alto 1	Riesgo Medio 0,25	Riesgo Alto 0,5	Riesgo Muy Alto 0,75	Riesgo Muy Alto 1
Peligro Alto 0,75	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Medio 0,38	Riesgo Alto 0,56	Riesgo Muy Alto 0,75
Peligro Medio 0,5	Riesgo Bajo 0,13	Riesgo Medio 0,25	Riesgo Medio 0,38	Riesgo Alto 0,5
Peligro Bajo 0,25	Riesgo Bajo 0,06	Riesgo Bajo 0,13	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Medio 0,25
	Vulnerabilidad Baja 0,25	Vulnerabilidad Media 0,5	Vulnerabilidad Alta 0,75	Vulnerabilidad Muy Alta 1

Nivel de Riesgo		*Rangos*
Riesgo Muy Alto		0,75 < R ≤ 1
Riesgo Alto		0,50 < R ≤ 0,75
Riesgo Medio		0,25 < R ≤ 0,50
Riesgo Bajo		0 < R ≤ 0,25

Nota. R: Riesgo. Adaptado de INDECI, 2011.

Figura 50. *Zonificación territorial del riesgo ante inundaciones, criterios.*

Leyenda	Pérdidas y Daños Previsibles en Caso de Uso para Asentamientos Humanos	Implicancias para el Ordenamiento Territorial
Riesgo muy Alto	Las personas están en peligro tanto adentro como fuera de sus casas. Existen grandes probabilidades de destrucción repentina de edificios y/o casas. Los eventos se manifiestan con una intensidad relativamente débil, pero con una frecuencia elevada o con intensidad fuerte. En este caso, las personas están en peligro afuera de los edificios.	Zona de prohibición, no apta para la instalación, expansión o densificación de asentamientos humanos. Áreas ya edificadas deben ser reubicadas, o protegidas con importantes obras de protección, sistemas de alerta temprana y evacuación temporal.
Riesgo Alto	Las personas están en peligro afuera de los edificios, pero no o casi no adentro. Se debe contar con daños en los edificios, pero no destrucción repentina de éstos, siempre y cuando su modo de construcción haya sido adaptado a las condiciones del lugar.	Zona de reglamentación, en la cual se puede permitir la de manera restringida, la expansión y densificación de asentamientos humanos, siempre y cuando existan y se respeten reglas de ocupación del suelo y normas de construcción apropiadas. Construcciones existentes que no cumplan con las reglas y normas deben ser reforzadas, protegidas o desalojadas y reubicadas.
Riesgo Medio	El peligro para las personas es Regular. Los edificios pueden sufrir daños moderados o leves, pero puede haber fuertes daños al interior de los mismos.	Zona de sensibilización, apta para asentamientos humanos, en la cual la población debe ser sensibilizada ante la ocurrencia de este tipo de peligro, a nivel moderado y poco probable, para el conocimiento y aplicación de reglas de comportamiento apropiadas ante el peligro.
Riesgo Bajo	El peligro para las personas y sus intereses económicos son de baja magnitud, con probabilidades de ocurrencia mínimas.	Zona de sensibilización, apta para asentamientos humanos, en la cual los usuarios del suelo deben ser sensibilizados ante la existencia de peligros muy poco probables, para que conozcan y apliquen reglas de comportamiento apropiadas ante la ocurrencia del.
Riesgo nulo	Los Indicadores del peligro son inexistentes.	Zonas de Asentamientos Humanos e inversiones sociales, económicas entre otros.
Zonas en donde los análisis realizados son muy indicativos, por lo que no se pueden realizar estimaciones de frecuencias o alturas de agua o estos son muy imprecisos. Generalmente las zonas corresponden a aquellas afectadas por eventos extremos.		

Nota. Adaptado de INDECI, 2011.

Esta importante determinar el nivel de riesgo de un área, más aun urbana, esta información podrá ser utilizada por la autoridad competente para determinar su uso.

2.2.6.3.2. Medidas de protección ante inundaciones

Estas medidas permiten a la población posiblemente afectada, a minimizar sus daños o pérdidas y mantener una convivencia en armonía con la corriente del rio, estas medidas pueden clasificarse de la siguiente manera:

- **Medidas estructurales**

  Estas medidas suelen ser más considerables y de mayor inversión económica, incluyen construcción de represas y/o reservorios, modificaciones de canales de ríos por otros de mayor área o ancho, defensas rivereñas, muros de encausamiento, gaviones, enrocados, causes de alivio, obras de drenaje, mantenimiento y limpieza de los cauces, u obras de regulación como la reforestación, terraceo, u otros, evitando su obstrucción o acumulación de material en el lecho del rio.

- **Medidas no estructurales**

  Estas medidas, son mucho más económicas y de planificación a largo plazo, incluyen el control de uso de terrenos, zonificación de predios útiles para urbanización, evitando o controlando que la población construya en el margen de los ríos, reglamentado su uso, a través de ordenanzas municipales y otros instrumentos de control. También incluyen charlas, conversatorios y capacitaciones de concientización, mostrando y evidenciando los verdaderos peligros a los que ese está expuesto si se construye en las riberas de los ríos.

2.2.7. Modelos matemáticos y softwares relacionados a la investigación

Un modelo matemático, es la representación de un sistema real, a través de un conjunto de variables y parámetros que se relación entre si por medio de una expresión matemática, esto permite simular un proceso del sistema.

La manipulación de estos modelos matemáticos es ayudar en el análisis de datos, probar hipótesis con estudios de campos, entender mejor los procesos e identificar las áreas donde no hay mucha claridad en su funcionamiento o descripción.

Por otro lado, el software, es un conjunto de programas, que llevan instrucciones y datos para su desarrollo, esto permite que cualquier dispositivo electrónico, realice tareas, que son manipulados por usuarios a atreves de computadoras o algún otro medio informático.

Por ello, a continuación detallamos cada modelo matemático y software utilizado en nuestra investigación.

2.2.7.1. ArcGIS

Es un software de sistema de información geográfica (SIG), desarrollado por Environmetal Systems Reseaech Institute (ESRI), se utiliza para crear, analizar, visualizar información geográfica, permitiéndonos entender el mundo a través de los mapas, incluye herramientas o extensiones que podrán profundizar mejor algunos datos.

2.2.7.2. Arc Hydro tools

Esta es una de las extensiones de ArcGIS, este proporciona herramientas y modelos de datos para el manejo y análisis de información de recursos hídricos, en entornos geoespaciales. Ayuda a gestionar eficientemente, datos para redes hidrográficas, modelización de cuencas, cartografía del agua, análisis de flujos, entre otros.

2.2.7.3. Hec-GeoRAS

También es una extensión de puede ser integrada en el ArcGIS, se utiliza para realizar análisis hidráulicos y geomorfológicos en ríos y canales, procesa datos, define secciones transversales, etc., facilita el flujo de trabajo entre la preparación de datos y la modelación o simulación hidráulica en HEC-RAS.

2.2.7.4. EasyFit 5.4

Software que ajusta automáticamente una serie de datos, este ajuste lo realiza con funciones de distribución (modelos numéricos) ideales para el tratamiento de datos hidrológicos, los análisis de datos se realizan de manera rápida, en la presente investigación lo utilizamos para producir datos sintéticos de completación y extensión, a partir de números semillas.

2.2.7.5. Hydrognomon

Es un software para la gestión y análisis de datos hidrológicos, tales como la agregación y regulación de intervalos de tiempo, interpolación, análisis de regresión, pruebas de bondad de ajuste, filtrado de datos, visualización de datos, entre otras funciones. Muestra las distribuciones que mejor se ajustan a una determinada serie de datos, donde elegiremos al que tiene mejor prueba de bondad y mejor ajuste.

2.2.7.6. IDF-Tormenta 4.0

Modelo matemático de autoría del ingeniero Guido Cañari Quispe, en principio nos permite obtener las curvas IDF, el mismo que fue implementado con cuatro métodos, método de los coeficientes, método Dick y Peschke, método Frederich C. Bell y método IILA SENAMHI - UNI, posteriormente nos ayudará a determinar el hietograma o patrón de tormenta para diferentes periodos de retorno, diferentes duraciones y diferentes intervalos de tiempo.

2.2.7.7. HEC – HMS

Modelo matemático, desarrollado por el cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), se utiliza para realizar modelos hidrológicos, y simulaciones de eventos hidrometeorológicos en cuencas hidrográficas, predice caudales, estima escorrentías y análisis de lluvias, según características de la cuenca.

2.2.7.8. HEC – RAS

Este también es un modelo matemático, creado por el cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), es utilizado para modelar el flujo de agua en ríos y canales, esto para realizar análisis hidráulicos para diferentes necesidades, diseño de puentes, evaluación de inundaciones y demás planificaciones de los recursos hídricos.

2.2.7.9. HCANALES

Es un software que permite realizar diseños de canales y estructuras hidráulicas de una manera muy fácil. También nos permite calcular las características hidráulicas y geométricas de canales con diferentes secciones, rectangular, triangular, trapezoidal, circular y parabólica. Estas son las características hidráulicas y geométricas que nos permite calcular este software:

- Cálculo del Tirante Normal.
- Cálculo del Tirante Crítico.
- Cálculo de la sección de Máxima eficiencia hidráulica.
- Cálculo de la sección de Mínima infiltración.
- Cálculo del Resalto Hidráulico.
- Cálculo de las Curvas de Remanso.
- Cálculo de Caudales.
- Cálculo de b, S o n.

- Cálculo de las características de compuertas y orificios.
- Cálculo de las características de vertederos.
- Cálculo de transición de entrada alabeada.
- Cálculo de transición de salida alabeada.
- Cálculo de las características de un vertedero lateral.
- Cálculos de las pérdidas de carga en canales.

2.2.7.10. Civil3D

Software de diseño, desarrollado por Autodesk, se utiliza fundamentalmente para proyectos de ingeniería civil, obras de infraestructura, como carreteras, puentes, redes, sistemas de aguas, entre otras, todo esto a partir del levantamiento topográfico, es decir es necesario contar con los puntos topográficos para poder modelar el terreno o área en estudio y crear superficies de ellos.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Amenaza

De peligro inminente

2.3.2. Estudio Hidrográfico

Objetivo: El estudio hidrográfico se enfoca en la recopilación y representación de datos sobre la profundidad, forma y características del lecho de un cuerpo de agua, como un lago, un puerto o un tramo de río.

Componentes principales: Incluye la medición de batimetría (profundidad), la cartografía de la forma del lecho y la ubicación de elementos como bancos de arena, obstáculos sumergidos y canales de navegación.

Utilidad: Los estudios hidrográficos son esenciales para la navegación segura y la gestión de vías navegables, la planificación de infraestructuras portuarias y la elaboración de mapas precisos de cuerpos de agua.

2.3.3. Estudio Hidrológico

Objetivo: El estudio hidrológico se centra en el ciclo del agua, la disponibilidad de recursos hídricos y el comportamiento de las fuentes de agua, como ríos, arroyos y acuíferos.

Componentes principales: Evalúa la precipitación, la escorrentía, la recarga de acuíferos, la evaporación, la infiltración y otros procesos relacionados con la hidrología de una región.

Utilidad: Ayuda a comprender la cantidad de agua disponible en una cuenca hidrográfica y su variabilidad temporal, lo que es esencial para la gestión del agua y la planificación de proyectos de abastecimiento de agua, riego y control de inundaciones.

2.3.4. Estudio Hidromorfológico

Objetivo: El estudio hidromorfológico se enfoca en la configuración física y las características de los cursos de agua, como ríos y arroyos, así como en la interacción entre el agua y el entorno natural circundante.

Componentes principales: Analiza la topografía del lecho del río, la morfología de las orillas, la erosión, la sedimentación y los cambios en la forma de los cuerpos de agua a lo largo del tiempo.

Utilidad: Proporciona información valiosa para la gestión de ríos y la planificación de proyectos de restauración de riberas, control de erosión, dragado y conservación de ecosistemas acuáticos.

2.3.5. Hidráulica

La hidráulica se centra en el estudio y manejo de los fluidos, particularmente el agua, y se dedica a comprender los principios que rigen su comportamiento, su transporte, y su aplicación en sistemas que involucran presión y movimiento, como tuberías, canales y maquinaria.

2.3.6. Hidrología

La hidrología se refiere al estudio y análisis de los procesos que involucran la distribución, movimiento y circulación del agua en la Tierra, incluyendo su presencia en ríos, lagos, océanos, glaciares, suelo y atmósfera, así como su relación con el ciclo hidrológico y su impacto en el medio ambiente.

2.3.7. Inundación

Una inundación es el resultado de un exceso de agua que cubre normalmente áreas secas o tierras bajas, causando la anegación temporal de terrenos debido a precipitaciones intensas, desbordamientos de ríos, crecidas del nivel del mar o eventos similares.

2.3.8. Máxima avenida

La máxima avenida se refiere al nivel más alto de caudal o flujo de agua que se registra en un río o cuerpo de agua durante un período de tiempo, generalmente asociado a eventos de inundaciones significativas y excepcionales.

2.3.9. Modelamiento hidráulico

El modelamiento hidráulico es el proceso de crear representaciones matemáticas o modelos que simulan y analizan el comportamiento de los sistemas relacionados con el flujo y la presión del agua, con el propósito de comprender y predecir cómo se comportarán en diferentes situaciones o escenarios.

2.3.10. Periodo de retorno

El período de retorno es un concepto que indica el intervalo de tiempo promedio entre eventos climáticos extremos, como inundaciones o sequías, de una magnitud particular. Es decir, es el tiempo estimado en el que se espera que ocurra un evento similar de igual o mayor intensidad.

2.3.11. Período de Retorno de 10 años

Esto significa que se está modelando una inundación que, en promedio, tiene una probabilidad del 10% de ocurrir en cualquier año dado. Es un estándar común para el diseño de infraestructuras como puentes y carreteras.

2.3.12. Período de Retorno de 100 años

Este período de retorno implica que la inundación tiene una probabilidad del 1% de ocurrir en cualquier año. A menudo se utiliza en la planificación y diseño de protección contra inundaciones importantes.

2.3.13. Período de Retorno de 500 años

Representa inundaciones extremadamente raras, con una probabilidad del 0,2% de ocurrir en un año cualquiera. Este período se utiliza en proyectos críticos de infraestructura y gestión de riesgos de inundaciones a gran escala.

2.3.14. Precipitación

La precipitación se refiere al proceso en el cual el vapor de agua en la atmósfera se condensa y cae a la superficie de la Tierra en forma de lluvia, nieve, granizo u otras formas de humedad, en respuesta a condiciones climáticas específicas.

2.3.15. Riesgo potencial

“Es la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente perjudicial, fenómeno o actividad que pueda causar la pérdida de vidas, daños a la propiedad, ruptura social y económica o degradación medioambiental”. (MTC, 2018)

2.3.16. Situación de riesgo

“Es la acción de poner en situación de riesgo a bienes o personas que son vulnerables a ese riesgo. Puede cuantificarse como las pérdidas esperadas debido a un tipo de riesgo potencial en un ámbito territorial dado y en un período de referencia (riesgo potencial * vulnerabilidad = situación de riesgo)”. (MTC, 2018)

2.3.17. Tiempo de concentración

"Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida". (MTC, 2018)

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Existe una relación directa y significativa entre el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, con la estimación de riesgos ante inundaciones en un tramo de la cuenca del rio Chaupihuaranga en el distrito de Yanahuanca, Pasco en el año 2023.

2.4.2. Hipótesis Específicos

a) Existe una relación directa y significativa entre el estudio hidrológico de la cuenca del rio Chaupihuaranga, aplicando modelos matemáticos, con la obtención y comprensión de patrones de tormenta y la obtención de caudales máximos en el área de estudio, perteneciente a la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca.

b) Existe una relación directa y significativa entre el modelamiento hidráulico, aplicando un modelo matemático, con la simulación del comportamiento del rio Chaupihuaranga en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca, en condiciones normales y de inundación.

c) Existe una relación directa y significativa entre la estimación de riesgos ante inundaciones en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca con las medidas de protección o mitigación de daños planteadas en un segmento de la cuenca del rio Chaupihuaranga.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

El estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos.

2.5.2. Variable dependiente

Estimación de riesgos ante inundaciones.

2.5.3. Condición de espacio

Un tramo de la cuenca del rio Chaupihuaranga (zona urbana de la ciudad de Yanahuanca), Yanahuanca, Pasco

2.5.4. Condición de tiempo

2023

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 19. *Operacionalización de variables e indicadores*

DEFINICIÓN DE VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Independiente: **El estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos.** **Aplicación. –** Implica el análisis y la representación del comportamiento del flujo de agua, la predicción de cómo se comportará este flujo en el área de estudio, es decir se recopila la información pluviométrica, las características de la cuenca y el tipo de suelo, luego utilizando modelos matemáticos, simulamos como se moverá este cuerpo dentro del área urbana de la ciudad de Yanahuanca.	Obtención de datos meteorológicos	• Descarga de datos de SENAMHI • Completación y extensión de datos con Easyfit 5.4
	Estudio hidrológico	• Delimitación y parámetros morfológicos de la cuenca con ArcGIS • Cálculo de precipitaciones máximas y ajustes de prueba de bondad con Hydrognomon • Obtención de curvas IDF y hietogramas para diferentes periodos de retorno con IDF-Tormenta 4.0. • Cálculo del número curva con ArcGIS. • Cálculo de caudales máximos con Hec-HMS 4.11
	Estudio topográfico del área en estudio	• Levantamiento topográfico • Informe topográfico
	Simulación hidráulica	• Modelamiento hidráulico del río Chaupihuaranga.

Dependiente: **Análisis de vulnerabilidad ante inundaciones.** Se refiere a la evaluación de probabilidad y magnitud del impacto de inundaciones del tramo urbano del rio Chaupihuaranga, incluye la identificación de peligros, el análisis de vulnerabilidad de las infraestructuras y de la población de la ciudad de Yanahuanca, y la estimación de las posibles consecuencias como daños y pérdidas, este proceso es fundamental para planificar la gestión de desastres y adoptar medidas de prevención y/o mitigación de daños.	Identificación de peligros ante inundaciones	• Espacial: Ubicación geográfica de las áreas propensas a inundaciones. • Temporal: Condiciones meteorológicas críticas que podrían causar peligro.
	Análisis de vulnerabilidad ante inundaciones	• Estructural: evaluar la susceptibilidad de las infraestructuras públicas y privadas a sufrir daño (incluir calidad de las infraestructuras) • Social: capacidad de respuestas de la población y otros factores socioeconómicos, ante inundaciones.
	Estimación cuantitativa de riesgos ante inundaciones	• Cuantitativa: Cuantificar los daños posibles de pérdidas de infraestructuras y vidas humanas
	Alternativas de protección y/o mitigación de daños ante inundaciones	• Medidas estructurales • Medidas no estructurales

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

Según el enfoque: la presente investigación es **"Cuantitativo"** puesto que, a partir de estudio hidrológico y el modelamiento hidráulico en un tramo de la cuenca del rio Chaupihuaranga, se arribará a un análisis de resultados de vulnerabilidad los cuales serán numéricos en relación a los datos producidos entre la variable independiente y variable dependiente respectivamente.

Según la orientación: la investigación es **"Aplicada"** puesto que, a partir de un procesamiento de datos pluviométricos, delimitación de cuenca y levantamiento topográfico, se busca resolver problemas relacionados a la inundación, y por tanto un análisis de vulnerabilidad en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca.

3.2. Nivel de Investigación

La investigación es del nivel de **"Predicción de fenómenos"**, puesto que, vamos a proveer un esquema de área inundables e implementar propuestas de solución o de mitigación de daños ante estos fenómenos, estos viene a darse a partir de conocimientos científicos bien definidos como son la hidrología y la hidráulica. Es decir estamos determinando la causas de las

inundaciones y estableciendo modelos teóricos que nos están permitiendo predecir su magnitud, simulados en softwares de gran confiabilidad y de uso universal, esta investigación dio su inicio en la exploración de datos y topografía, la descripción de la cuenca del rio Chaupihuaranga y la correlación hidrológica asociándolo con la simulación hidráulica de ríos.

3.3. Métodos de investigación

El método que se utilizó es el "**Método especifico: Matematización y modelación"**, y se realizó mediante el siguiente procedimiento:

En principio se trabajó en la corrección de datos pluviométricos, posteriormente se usó distribuciones de funciones probabilísticas para determinar el mejor ajuste y usarla para el cálculo de caudales.

Finalmente estos se modelaron para visualizar el comportamiento del rio Chaupihuaranga dentro del área urbana de Yanahuanca.

3.4. Diseño de investigación

Según el propósito del estudio : la presente investigación posee un diseño de investigación "No Experimental", puesto que las variables, como la hidrología y al hidráulica se estudian a partir de datos reales no manipulables solo se hacen tratamientos para su corrección mas no se alteran ni cambian.

Según el número de mediciones: la presente investigación posee un diseño "Transversal", puesto que estas variables como los datos pluviométricos, topografía y estudio hidrológico, serán visualizados o realizados una sola vez, y en un tiempo determinado que es el año 2023.

Según los tipos de variables: La investigación será "Correlacional", puesto que, se pretende determinar la relación que existe entre el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos y el Análisis de vulnerabilidad ante inundaciones.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población es el área total que contempla la cuenca del rio Chaupihuaranga, con punto de control en la ciudad de Yanahuanca, el cual tiene una longitud total de 54,99 km y el área total de la cuenca es de 807,34 km^2.

3.5.2. Muestra

La muestra del presente estudio abarca un segmento de la cuenca del rio Chaupihuaranga, ubicada en el distrito de Yanahuanca, el cual tiene una longitud de 1,55 km y el área sería toda la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca en riesgo de inundación por el río Chaupihuaranga.

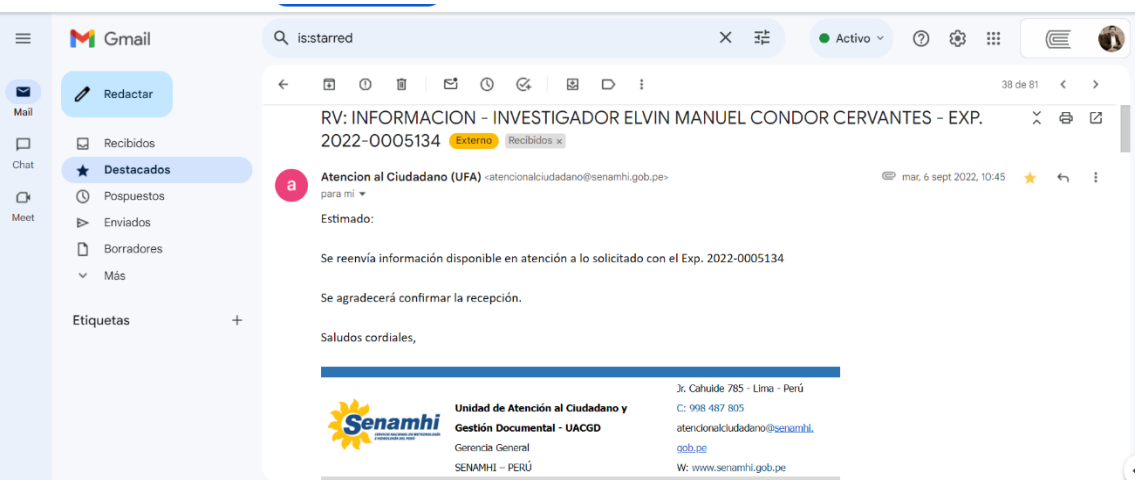
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

La técnica de recolección de datos utilizada en la presente investigación, se detallan a continuación:

Descarga de datos SENAMHI, esta data histórica fue solicitado a la entidad, puesto que este no existe información pluviométrica y/o hidrometeorológica en el sistema o plataforma que este maneja en internet, a comparación de otras estaciones, la estación Yanahuanca no tiene registro histórico registrado en esta web. SENAMHI nos hizo llegar los registros históricos desde el año 1996 Hasta el año 2022, estos datos en algunos casos están incompletos, sin embargo haciendo la utilización de la estadista pudimos completarlos y además extenderlos.

Figura 51. *Recepción de Solicitud de Data a SENAMHI*



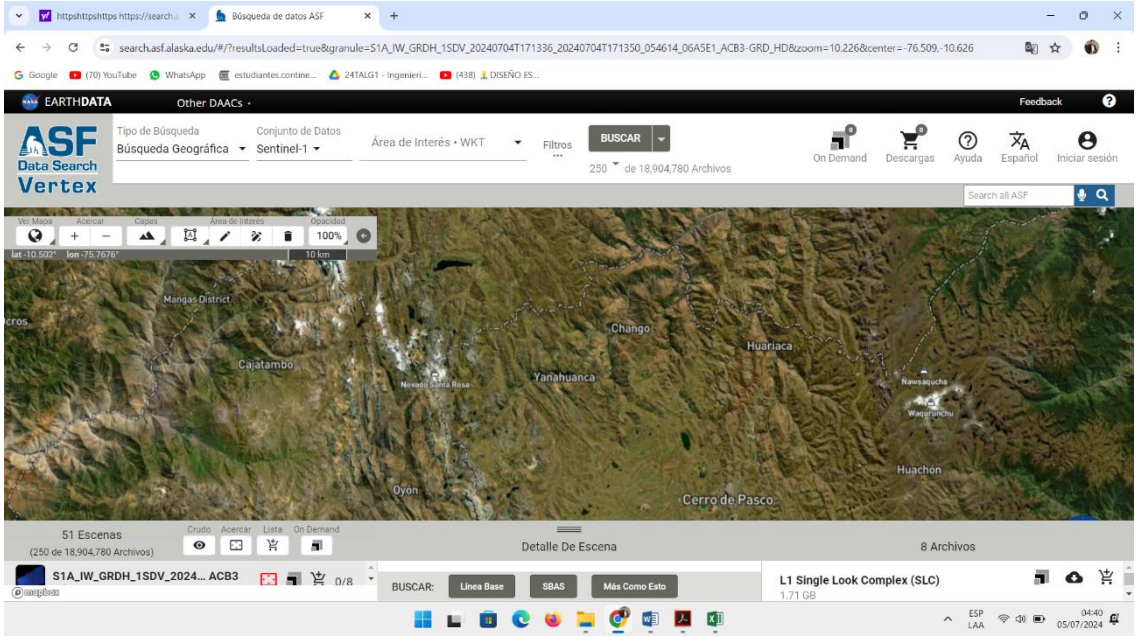
Nota. Adaptado de buzón de entrada de correo electrónico Gmail, mensaje de envió de data de precipitaciones de la estacion Yanahuanca, remitido por SENAMHI,

Observación y diagnóstico, se realiza la visualización de campo en la cuenca, desde las escorrentías donde inician o nacen estos afluentes hasta la posible zona inundable en estudio, esto con el motivo de corroborar las características hidrológicas y geomorfológicas y reconocer algunas huellas históricas de las máximas avenidas de la cuenca.

Topografía del área inundable, se realizó el levantamiento topográfico del segmento de la muestra en estudio, teniendo en consideración las pendientes de los taludes, huellas de máximas avenidas en el cauce, además de la forma y fondo del rio, el cual pertenece al área urbana de la ciudad de Yanahuanca.

Descarga de DEM satelitales, así mismo se descargó imágenes satelitales para poder trabajar en la delimitación de la cuenca hidrológica, de esta manera obtener los parámetros y características del mismo.

Figura 52. *Plataforma de descarga de imágenes satelitales en formato DEM*



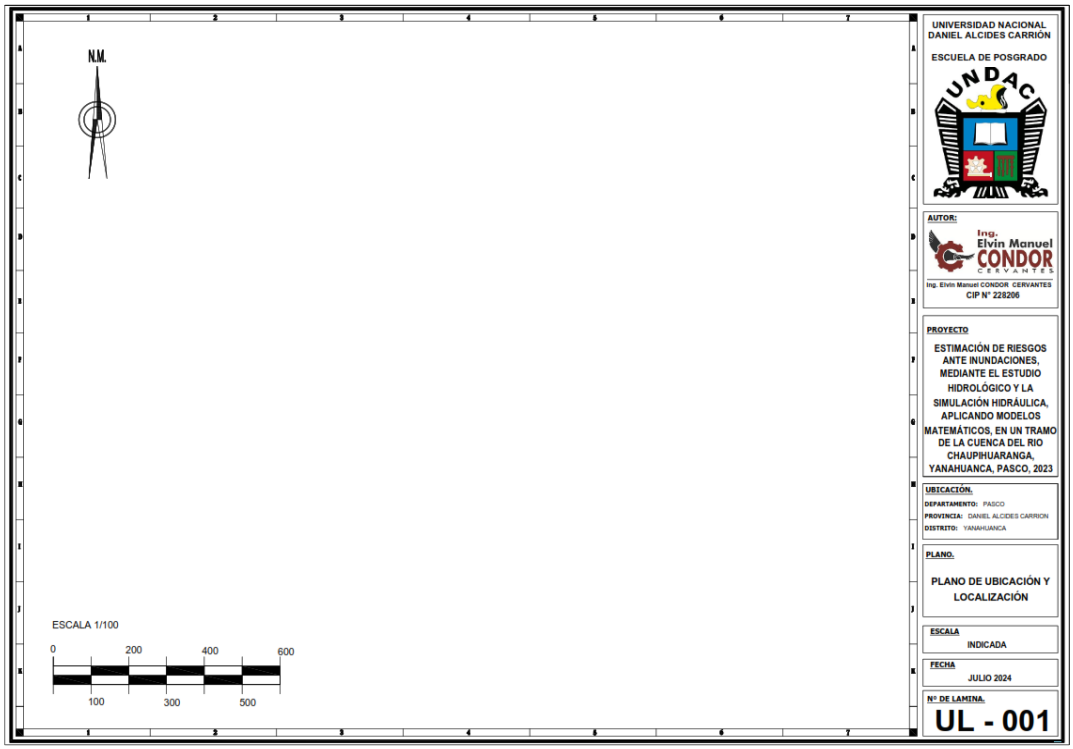
Nota. Adaptado de ASF Data Search Vertex.

Presentación de datos procesados, estos serán presentados como a continuación se detalla:

- **Topográficos e imágenes satelitales**

  Las imágenes DEM obtenidas en plataformas de imágenes satelitales, fue procesado en ArcGIS y será ajustado al formato que se presentara a continuación, así mismo los planos obtenidos de los levantamientos topográficos estarán dentro de este formato, como se muestra en la figura 53.

Figura 53. *Plantilla de Planos y Mapas*



Nota. Elaboracion propia.

Esta plantilla será de utilidad para la presentación e interpretación de datos procesados a partir de imágenes satelitales y recopilación de datos topográficos.

Por otro lado para la presentación de información de datos de la cuenca, como altitudes, áreas, pendientes, y demás parámetros geomorfológicos se realizó en formato de hojas Excel.

Figura 54. *Plantilla de parámetros fisiográficos de la cuenca*

PARÁMETROS FISIOGRÁFICOS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA				
PARÁMETROS			Und.	Cuenca Hidroráfica
Parámetros de forma de la cuenca	a) Área total de la cuenca		km2	
	b) Perímetro de la cuenca		km	
	c) Longitud de río principal		km	
	d) Pendiente media de la cuenca		%	
	Centroides	Este X	m	
		Norte Y	m	
	e) Ancho promedio de la cuenca		km	
	f) indice de compacidad		-	
	g) Factor de forma		-	
	h) Radio de Circularidad		km	

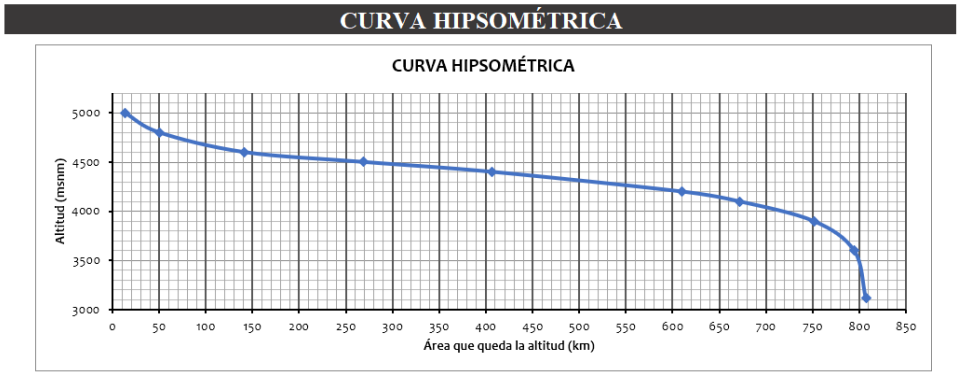
Nota. Elaboracion propia.

Figura 55. *Plantilla de cuadro de áreas entre curvas de nivel*

CUADRO DE ÁREAS ENTRE CURVAS DE NIVEL									
N°	COTA (msnm)			Área (km2)					Ci*Ai
	Mínima	Máxima	Promedio "Ci"	Área Parcial (km^2) "Ai"	Área Acumulada (km^2)	Área que queda sobre la superficie (km^2)	Porcentaje de area entre C.N.	Porcetaje de área sobre C.N.	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA (m.s.n.m.)									

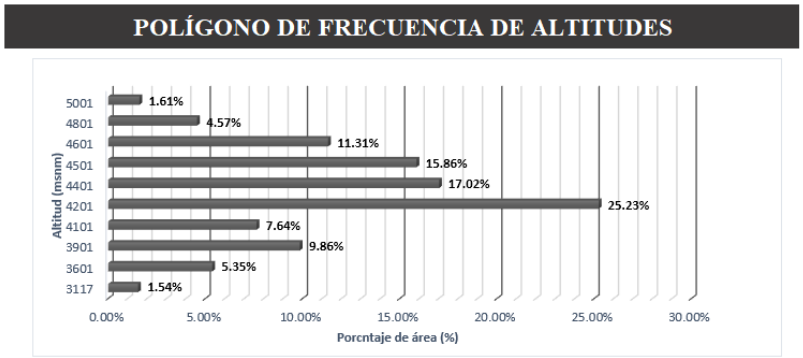
Nota. Elaboracion propia.

Figura 56. *Plantilla de presentación de curva hipsométrica*



Nota. Elaboracion propia.

Figura 57. *Plantilla de polígono de frecuencia de altitudes*



Nota. Elaboracion propia.

Figura 58. *Plantilla de parámetros de red hidrográfica de una cuenca*

PARÁMETROS RED HIDROGRÁFICA DE UNA CUENCA				
PARÁMETROS			UNIDAD DE MEDIDA	Cuenca Hidroráfica
Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca	Tipo de corriente		-	
	Número de orden de los ríos	Orden 1	-	
		Orden 2	-	
		Orden 3	-	
		Orden 4	-	
		Orden 5	-	
		Orden 6	-	
		N° Total de ríos	-	
		Grado de ramificación	-	
	Frecuencia de densidad de los ríos (Dr)		ríos/km2	
	Cotas del cauce principal	Altitud máxima (Hmax)	msnm	
		Altitud mínima (Hmin)	msnm	
	Pendiente media del río principal (Sm)		m/m	
	Altura media del río principal (H)		msnm	
	Tiempo de concentración (Tc) Kirpich		horas	
	Longitud total de rios de la cuenca		km	
	Densidad de la cuenca (Dd)		km/km2	
	Tipo de drenaje		-	
	Longitud del cause principal		km	
	Extensión media del escurriemiento superficial (E)		km2/km	

Nota. Elaboracion propia.

- **Presentación de data de SENAMHI**

Los datos obtenidos de la estación Yanahuanca, remitido de los servidores de SENAMHI a nuestra solicitud, son desde el año 1996 hasta el año 2022, datos que en algunos periodos carecen de registro, por ello, se realizó un procesamiento para su completación y extensión en el periodo de 1990 hasta el 2022, estos se plasmaron en los siguientes cuadros.

Figura 59. *Plantilla de base de datos de SENAMHI - estación Yanahuanca*

DATOS DE SENAMHI												
PARAMETRO: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS												
LATITUD:				LONGITUI					ALTITUD:			
DPTO:				PROV:					DIST:			
UNIDAD:				ESTACIÓN					CÓDIGO:			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996												
1997												
1998												
1999												
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
2011												
2012												
2013												
2014												
2015												
2016												
2017												
2018												
2019												
2020												
2021												
2022												

Nota. Elaboracion propia.

Figura 60. *Plantilla de datos procesados - completados y extendidos*

EXTENCIÓN Y COMPLETACION DE DATOS												
PARAMETRO: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS												
LATITUD:				LONGITUD:					ALTITUD:			
DPTO:				PROV:					DIST:			
UNIDAD:				ESTACIÓN:					CÓDIGO:			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1990												
1991												
1992												
1993												
1994												
1995												
1996												
1997												
1998												
1999												
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
2011												
2012												
2013												
2014												
2015												
2016												
2017												
2018												
2019												
2020												
2021												
2022												

Nota. Elaboracion propia.

Figura 61. *Plantilla de cálculo de precipitaciones máximas y mínimas en 24 horas por mes y año*

REGISTRO HISTÓRICO - DATOS SENAMHI (COMPLETADOS Y EXTENDIDO)													
ESTACIÓN YANAHUANCA													
Estación :						Longitud :						Dpto.	
Parámetro :						Latitud :						Prov.	
						Altitud :						Dist.	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMO (mm)
PROMEDIO													
DESV. EST.													
MÁXIMO													
MÍNIMO													
N° DATOS													

Nota. Elaboracion propia.

3.6.2. Instrumentos

Los instrumentos de recolección de datos utilizada en la presente investigación, se detallan a continuación:

Para obtención de datos topográficos, Laptop, Imágenes satelitales, GPS, Equipo topográfico (estación total y prismas), equipos digitales con cámaras fotográficas y flexómetros.

Para obtención de datos meteorológicos, Registro de precipitaciones máximas e históricas de SENAMHI.

Para procesamiento de datos, Microsoft Office (Word, Excel 2013), ArcGIS, Easyfit, Hydrognomon, Hec-HMS, IDF – Tormenta y Hec-RAS.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La selección de los instrumentos de recolección de datos, están a cargo del SENAMHI, estos equipos pluviométricos necesariamente requieren una calibración que está sujeto a los parámetros de esta entidad, de esta manera se garantiza la toma de datos hidrometeorológicos en sus diversas estaciones a nivel nacional.

Así también para la topografía se utilizó una estación total calibrada y por tanto confiable para su desempeño en el campo de investigación.

Los mapas de ANA son fiables puesto que están puestos a disposición por esta entidad desde su portal web, para el uso en investigaciones y estudios de esta naturaleza.

Los datos de precipitación fueron analizados, por cada día, mes y año, donde se pudo apreciar la falta de data en algunos periodos, por ello se completó y extendió para que finalmente se garantice su confiablidad en el modelamiento hidrológico e hidráulico.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Procesamiento de datos de precipitación de SENAMHI, para este procedimiento inicial, se solicitó al organismo encargado de recopilar y salvaguardar la data hidrometeorológica del Perú, para tener un amplio espectro de los datos, se solicitó el registro de tres estaciones, cercanas al área en estudio, la estación de Cerro de Pasco, San Rafael y Yanahuanca; posteriormente con la utilización del software Easyfit, desarrollamos la completación y extensión de los datos pluviométricos, generando así nuevos datos sintéticos, listos para el siguiente procedimiento.

Procesamiento de imágenes satelitales - DEM, estas imágenes satelitales o también llamado modelo de elevación digital – DEM, fueron descargadas desde el satélite Alos Palsar, para luego ser procesadas en el software ArcGIS, de esta manera se pudo delimitar nuestra cuenca, y obtener los parámetros y características hidrográficas de nuestra área en estudio. Para el estudio de este tipo de cuencas es usual el uso de esta fuente por su confiabilidad.

Estudio hidrológico, con el DEM descargado, llevamos el ráster al ArcGIS, aquí lo procesamos para delimitar la cuenca y obtener sus parámetros morfológicos y fisiográficos**,** está información es fundamental para poder calcular los caudales máximos; así también, con los datos de precipitación procesados inicialmente, obtuvimos el histograma a partir de nuestras curvas IDF para diferentes periodos de retorno, esto con la ayuda del aplicativo IDF - Tormenta; por otro lado también obtuvimos el factor Número Curva, para el tipo de suelo de la cuenca, esto con la ayuda del software ArcGIS; finalmente utilizamos todos estos datos para determinar el caudal máximo con la ayuda del software Hec - HMS.

Modelamiento hidráulico, los caudales máximos obtenidos en el Hec – HMS e ingresando la topografía de campo desde el AutoCAD CIVIL 3D, para diferentes periodos de retorno, modelamos el moviendo del cuerpo de agua en la el tramo en estudio, con la ayuda del modelo matemático Hec - RAS, obteniendo como resultado la modelación de las áreas inundables, niveles máximos de agua en cada sección y con riesgo propenso de inundación dentro de la zona urbana del rio Chaupihuaranga, como se muestra en los planos adjuntos al estudio.

Los resultados son expuestos con la confiabilidad de que estos modelos matemáticos utilizados para el procesamiento de datos tanto en el estudio hidrológico y en el modelamiento hidráulico, son de uso concurrente para estos

tipos de proyectos, por tanto tienen un garantía en su funcionamiento y procesamiento de información.

Análisis de vulnerabilidad, se utilizó el Manual de INDECI, donde se establece el cálculo de vulnerabilidad final, en función a la determinación de parámetros de vulnerabilidades como son físicas, sociales, económicas, entre otras, esquema donde se escala desde bajo, medio, alto y muy alto, el grado de vulnerabilidad y riesgo al que está expuesto estas áreas, donde bajo es el área de menor riesgo y muy alto es la escala de mayor riesgo, pertenecientes al margen derecho e izquierdo de rio Chaupihuaranga, en el tramo de la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca.

Propuestas de solución, se presentarán propuestas de solución de manera que ayuden a mitigar estos posibles daños, sin embargo estas propuestas deberán ser analizadas en otra etapa o estudio, similar a este, puesto que, esto conllevaría un estudio de detalle de ingeniería en la protección de riberas de ríos, además hay que resaltar que se tiene como objetivo inicial planteado la propuesta de posibles soluciones,

3.9. Tratamiento estadístico

Tratamiento de datos con función de distribución Person III, esta función es la que mejor se ajusta a nuestra data, por tanto, para el cálculo de las precipitaciones máximas usaremos dicha función, cabe recalcar, que para su mejor confiabilidad, nuestra data fue sometida hasta a tres softwares, como son Hydrognomon, Easy Fit y Tablas Excel; siendo los resultados del primero tomados en consideración para nuestra investigación.

Prueba de ajuste de bondad con Smirnov Kolmogorov, así mismo, nuestras funciones de destruiciones continuas, se sometieron al ajuste de bondad de Smirnov Kolmogorov, puesto que, estamos utilizando datos extremos, es decir precipitaciones máximas en 24 horas, por tanto, no sería

adecuado utilizar el ajuste de bondad Chi-cuadrado, al no ser datos promedios o ponderados.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Este trabajo de investigación busca preservar el medio ambiente, asegurar la seguridad y privacidad de la información, y comunicar los resultados de manera clara y accesible para promover la conciencia y la preparación de los habitantes de la ciudad de Yanahuanca. La tesis se compromete en brindar soluciones sostenibles, respetando la resiliencia del ecosistema del tramo urbano de la localidad en estudio, y fomentando la responsabilidad científica en la investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Diagnóstico y recorrido de la cuenca, La zona en estudio está situada en un área topográfica accidentada, pertenece a la cabecera de la cuenca del rio Chaupihuaranga, el cual es afluente del rio Huallaga, así lo mostramos en la fotos adjuntas, en el recorrido del rio se pueden encontrar varios Centros Poblados, poblaciones que en algunos casos son pequeños pero también se pudo apreciar poblaciones con gran cantidad de habitantes, así mismo tenemos a la capital de la Provincia Daniel Alcides Carrión, Yanahuanca, es esta la ciudad el cual está en riesgo de inundación aparente, y en donde concentramos el desarrollo de la investigación, en los márgenes derecha e izquierda del rio.

Por las características de la cuenca se tuvo en consideración en realizar un diagnóstico previo de la cuenca en estudio, para que a partir del uso de herramientas digitales se tenga aún más claro el tipo de proyecto al cual nos enfrentamos, por ello, se pudo apreciar que existe una extensa red de drenaje, los cuales son aportantes a para el rio Chaupihuaranga, donde además de posibles pérdidas materiales también se podría existir pérdidas de vidas humanas ante una posible inundación.

Figura 62. *Foto panorámica del recorrido del río Chaupihuaranga a través de la cuenca*

Nota. Foto tomada por el Autor.

Figura 63. *Foto de infraestructuras públicas en Yanahuanca en peligro inminente*

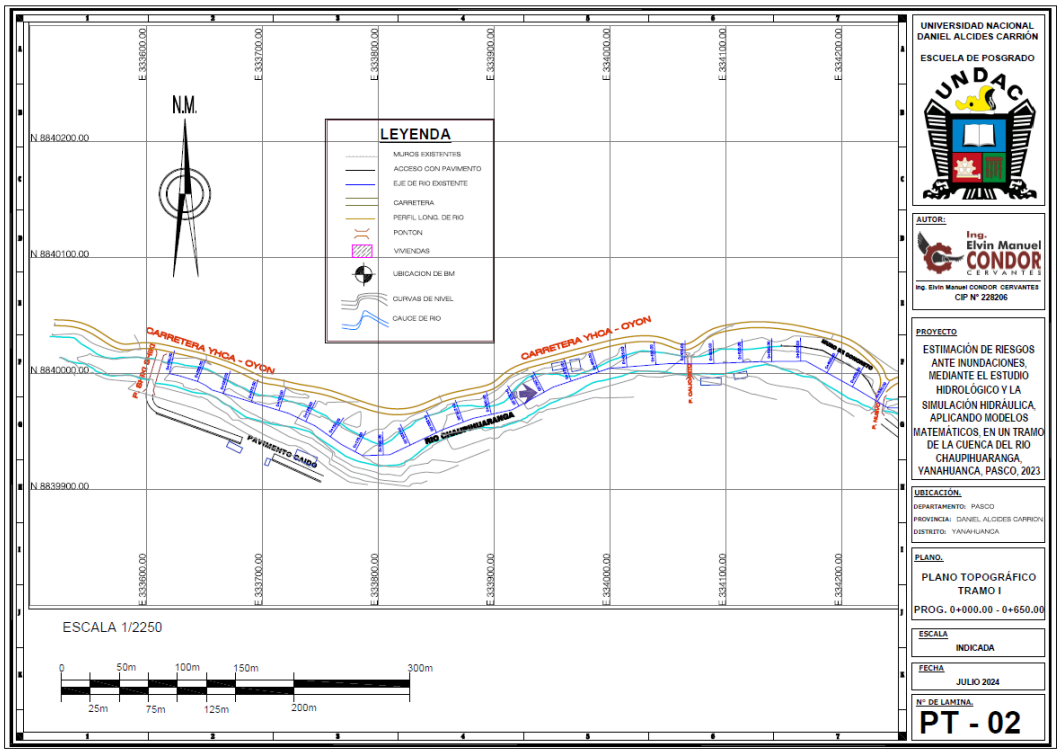
Nota. Foto tomada por el Autor.

Figura 64. *Foto en el que el rio Chaupihuaranga pasa por la zona Urbana de Yanahuanca*

Nota. Foto tomada por el Autor.

Estudio topográfico, se realizó el levantamiento topográfico del tramo en estudio, es decir en el área propensa a inundaciones, específicamente en la zona urbana por donde pasa el rio Chaupihuaranga, utilizando el equipamiento topográfico correcto logramos determinar las curvas de nivel, ancho de rio, avenidas máximas y fondo de ríos, en general la geometría del lecho, finalmente las características topográficas obtenidas en el estudio de campo, serán plasmados en los planos topográficos, perfiles longitudinales y transversales, adjuntos en la presente investigación, así como los datos que nos ayuden con el objetivo final del estudio topográfico realizado y evidenciado en las siguientes imágenes.

Figura 65. *Plano topográfico del Tramo I, Progresiva: 0+000.00 - 0+650.00*



Nota. Elaboración propia, imagen referencial, planos en tamaño real y a escala de la planimetría general y de los tres tramos subdivididos, estan adjuntos en la sección de anexos de la presente investigación

Figura 66. *Vista de I.E. de nivel inicial en trabajos topográficos al borde del rio Chaupihuaranga*

Nota. Foto tomada por el Autor.

Figura 67. *Vista de trabajos topográficos en la cuenca con la supervisión del investigador*

Nota. Foto tomada por el Autor.

Figura 68. *Vista panorámica de los trabajos topográficos en la rivera del rio Chaupihuaranga*

Nota. Foto tomada por el Autor.

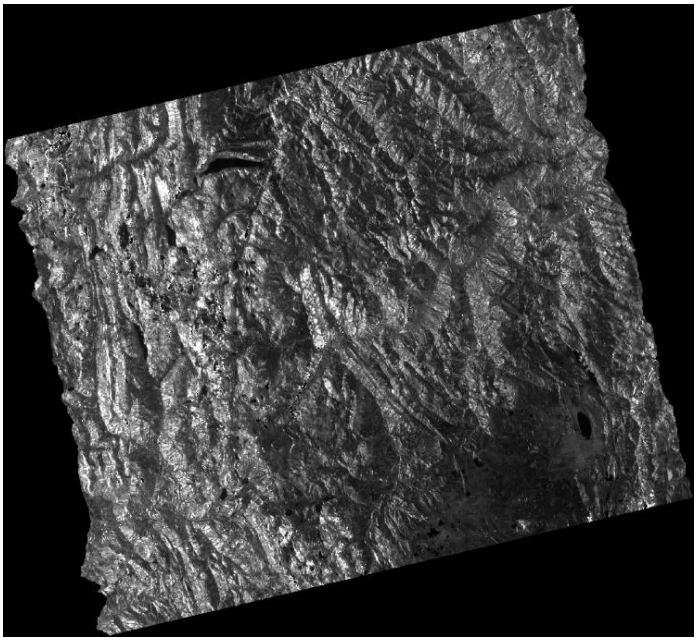
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Resultados de estudios y análisis hidrológicos

4.2.1.1. Delimitación de la cuenca del rio Chaupihuaranga

Para desarrollar este proceso, en principio obtuvimos la imagen satelital desde Alos Palsar, el DEM tiene una resolución de 12,5 metros y se procesó en el software ArcGIS.

Figura 69. *Imagen Satelital DEM del área donde se encuentra la cuenca*



Nota. Adaptada de ASF – Alaska, Satélite Alos Palsar, Resolución de 12,5 m

La imagen anterior, obtenida del satélite Alos Palsar, antes de su procesamiento, lo exportamos al Google Earth, para poder sesionarnos que efectivamente estuviese en la ubicación correcta dentro de nuestro mapa, y los resultados fueros positivos, como se muestra en la siguiente imagen, el DEM está superpuesta en la región de nuestro interés, en el distrito de Yanahuanca, Provincia Daniel Alcides Carrión, en el departamento de Pasco.

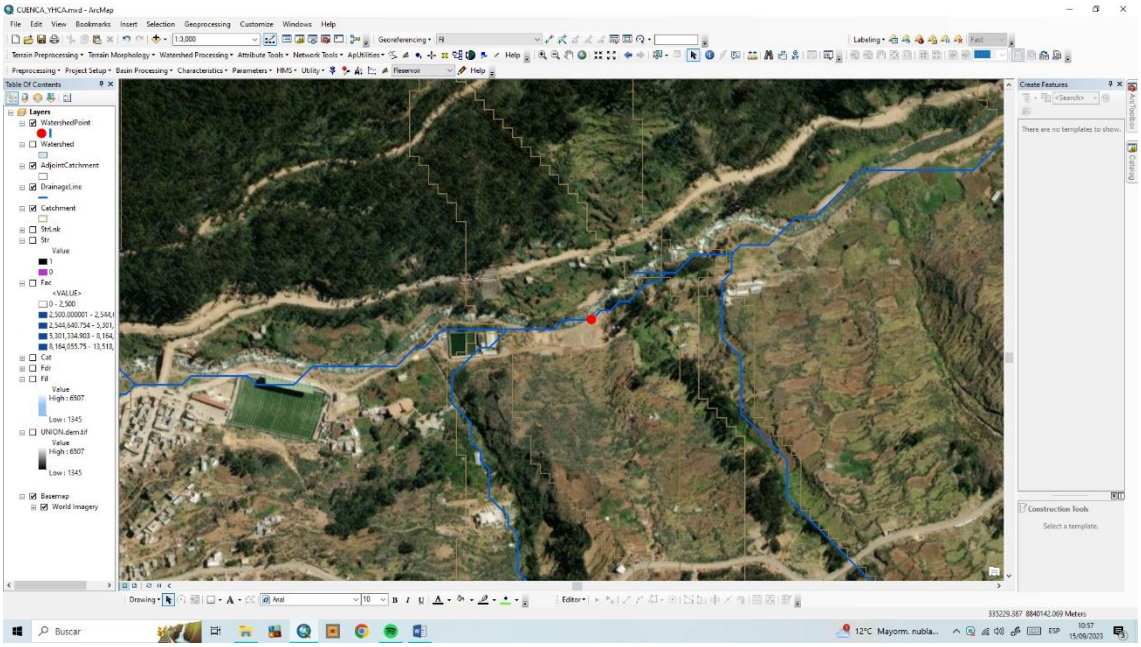
Figura 70. *Vista de Imagen Satelital superpuesta en el área en estudio*

Nota. Imagen de DEM de ASF – Alaska, Satélite Alos Palsar; Adaptado de Google Earth.

Con la ayuda de la extensión HEC – GeoHMS utilizada en el ArcGIS, el DEM obtenido del satélite se pasó a delimitar la cuenca del rio Chaupihuaranga, en donde se tomó como punto de control (aforo), las coordenadas 335225,875E y 8840157N, ubicada al Noreste de la ciudad de Yanahuanca, agua abajo del rio materia de la investigación, estas coordenadas están el sistema UTM WGS84, el proceso fue desarrollado cuidadosamente, para que, posteriormente ayuden en el estudio hidrológico y simula hidráulica.

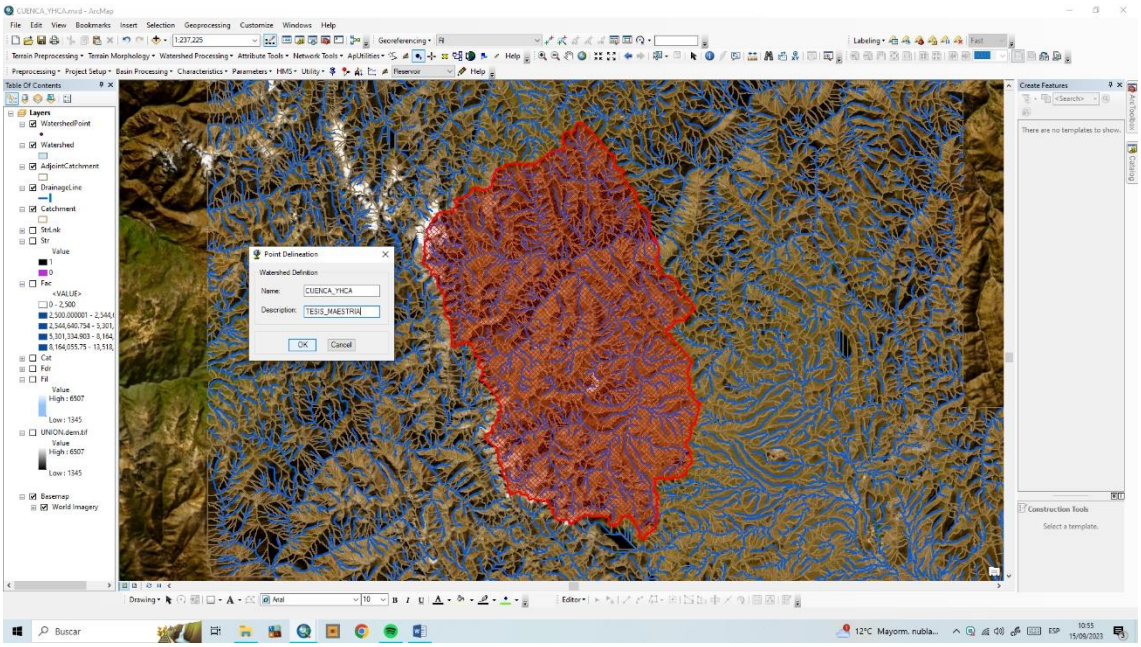
Asimismo, logramos el procesamiento de datos como la dirección del flujo de la red hídrica, obtención de microcuencas, la clasificación de las áreas respecto las alturas de la cuenca, pendientes, flujo más largo o también llamado el rio principal, y demás parámetros característicos de una cuenca hidrográfica.

Figura 71. *Imagen de procesamiento de datos - fijación de punto de control de*



Nota. Software ArcGIS, Elaboración propia.

Figura 72. *Imagen de procesamiento de datos - delimitación de cuenca*

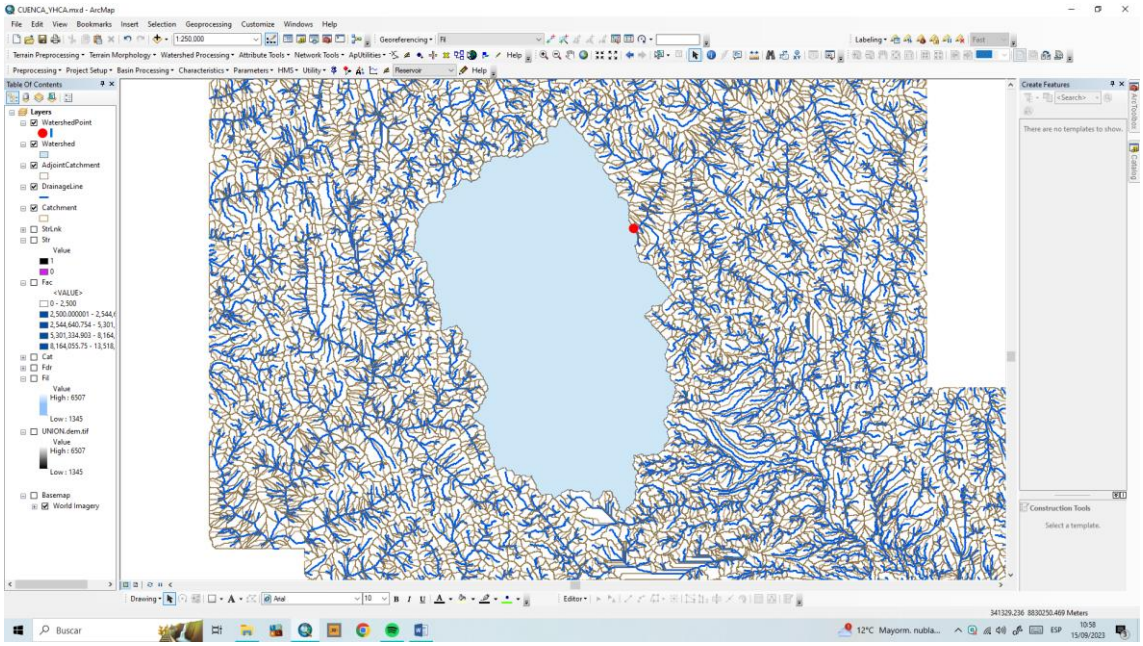


Nota. Software ArcGIS, Elaboración propia.

En la imagen anterior, se muestra la definición del área de la cuenca, este es el inicio del procesamiento de datos para la obtención de los parámetros de la cuenca

A continuación la definición de microcuencas y de las redes de flujo dentro de todo el área del DEM, esto posteriormente será procesado, de tal manera que quede solo la red de la cuenca en estudio, también se puede apreciar el punto de control y el área definida del proyecto dentro de todo el DEM

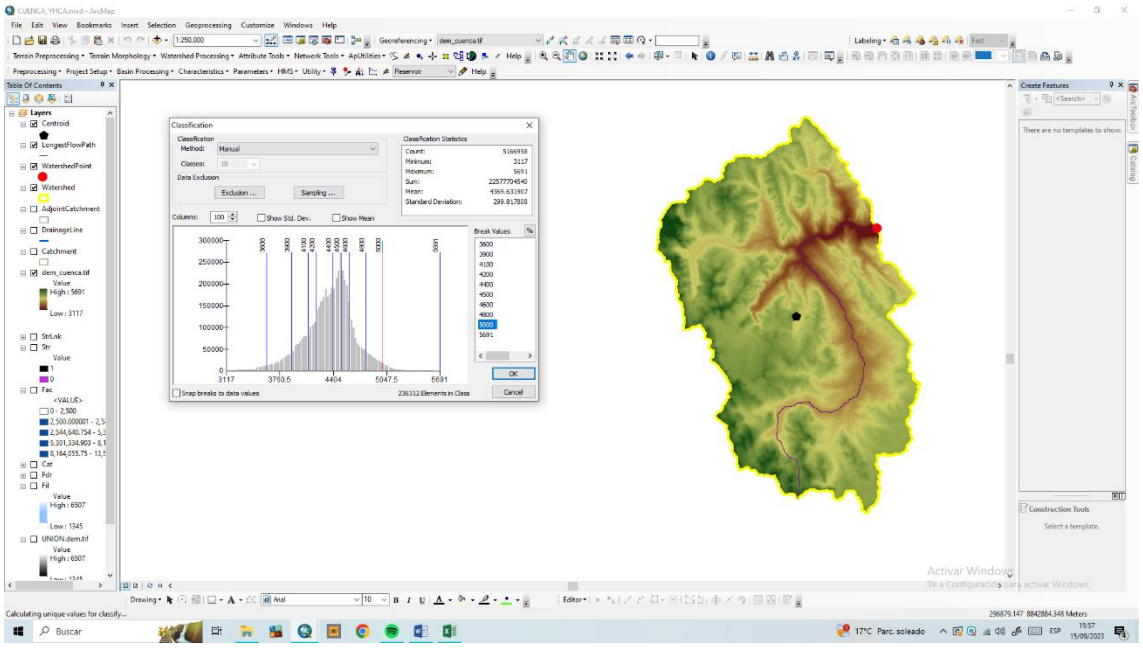
Figura 73. *Imagen de procesamiento de datos - identificación de microcuencas y flujos del DEM*



Nota. Software ArcGIS, Elaboración propia.

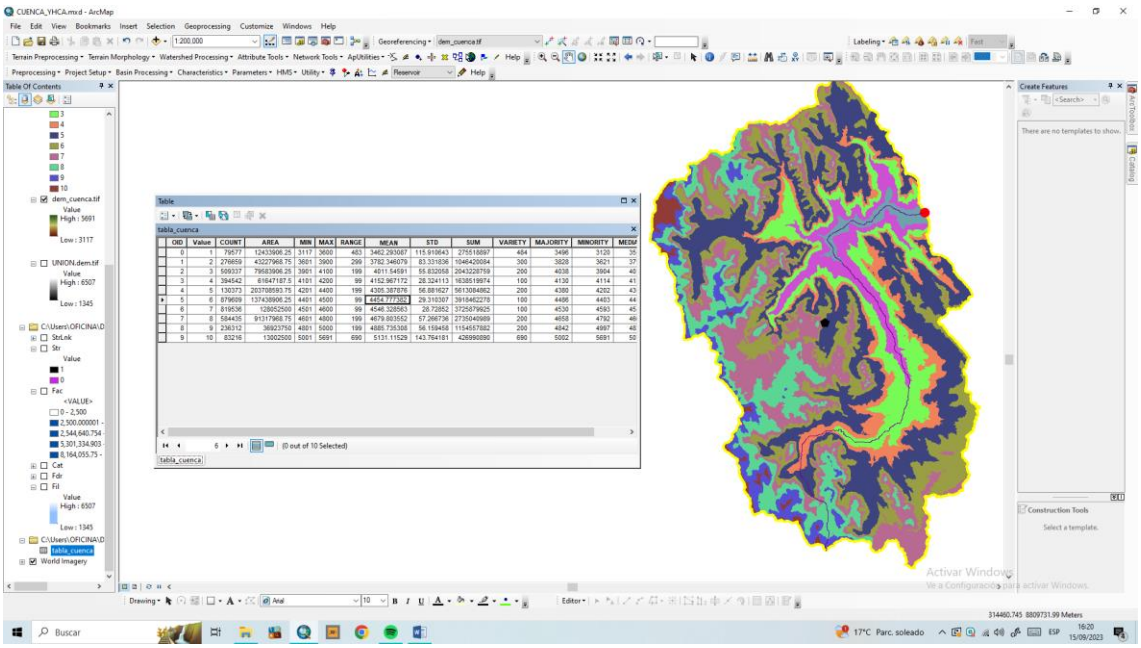
Como parte del procesamiento de nuestra imagen satelital, también obtuvimos las áreas de la cuenca clasificadas respecto a las alturas, estos resultados serán utilizados posteriormente para encontrar la curva hipsométrica, curvas de nivel, centroide, red hídrica de la cuenca en estudios y otros parámetros.

Figura 74. *Imagen de procesamiento de datos - Identificación de alturas y centroide de la cuenca*



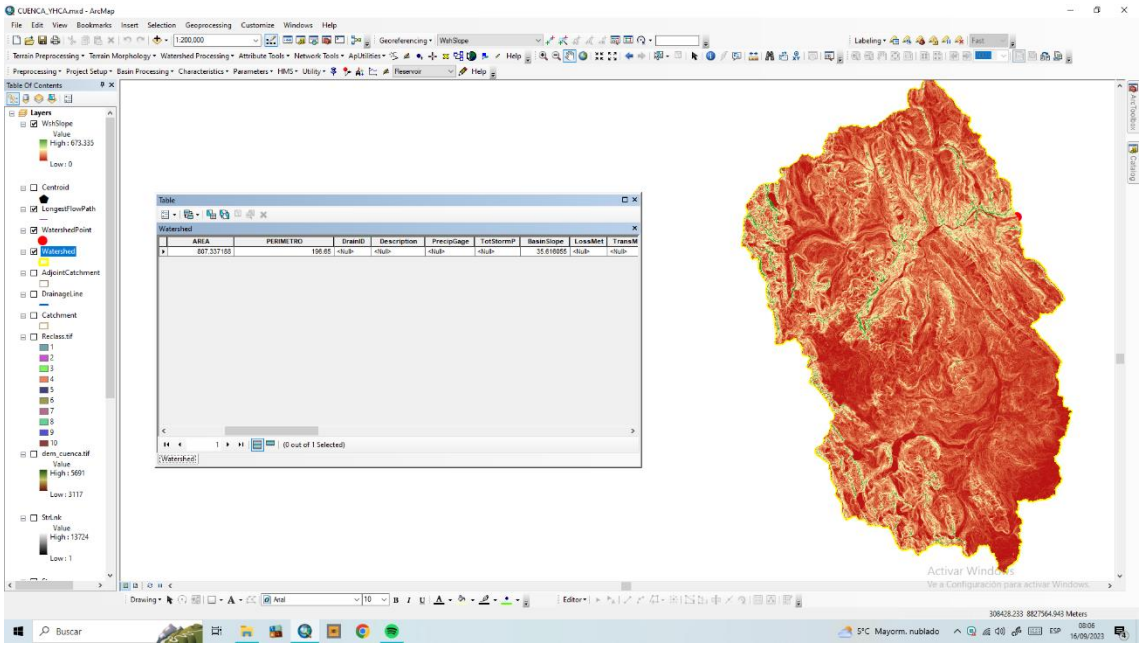
Nota. Software ArcGIS, Elaboración propia.

Figura 75. *Imagen de procesamiento de datos - Reclasificación de áreas en función a las alturas del a cuenca*



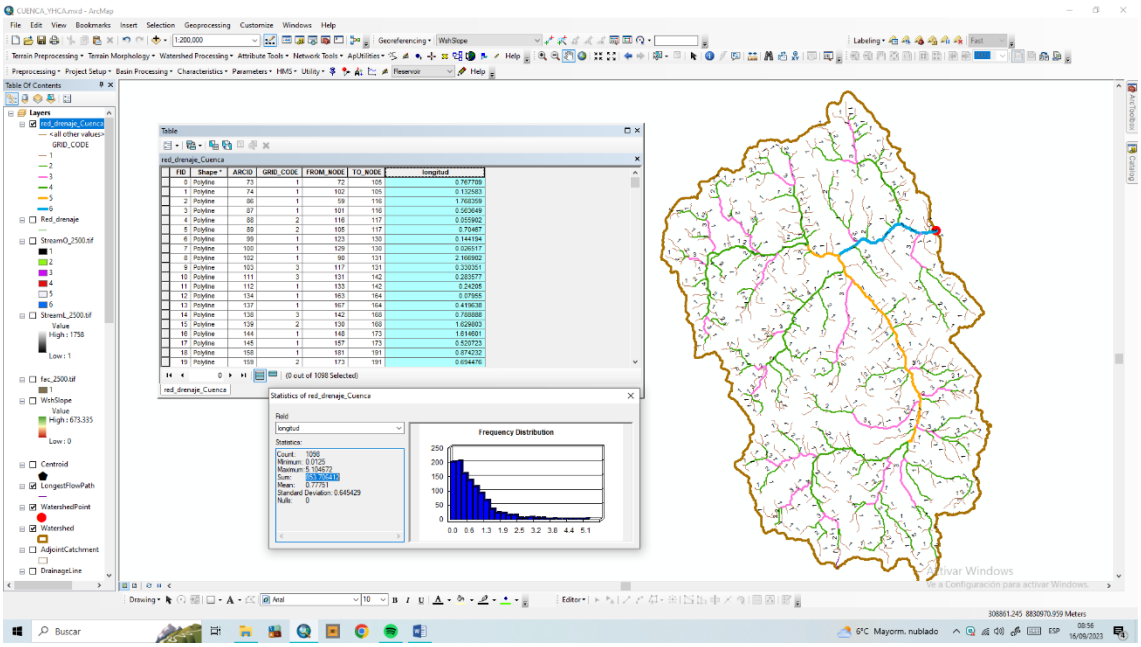
Nota. Software ArcGIS, Elaboración propia.

Figura 76. *Imagen de procesamiento de datos - Obtención de parámetros de la cuenca (área, perímetro y otros)*



Nota. Software ArcGIS, Elaboración propia.

Figura 77. *Imagen de procesamiento de datos - Características de la red de drenaje de la cuenca*



Nota. Software ArcGIS, Elaboración propia.

4.2.1.2. Parámetros geomorfológicos de la cuenca del rio Chaupihuaranga

A continuación las características geomorfológicas de la cuenca delimitada del rio Chaupihuaranga, teniendo como referencia toda la información consignada en la sección de bases teóricas de la presente investigación, parámetros como el área, perímetro, longitud del cauce principal, elevaciones, pendientes, coeficiente de compacidad, entre otros.

Tabla 20. *Valores geométricos de la cuenca del rio Chaupihuaranga*

PARÁMETROS FISIOGRÁFICOS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA				
PARÁMETROS			Und.	Cuenca Hidroráfica
Parámetros de forma de la cuenca	a) Área total de la cuenca		km2	807.3372
	b) Perímetro de la cuenca		km	196.65
	c) Longitud de río principal		km	54.99
	d) Pendiente media de la cuenca		%	35.62
	Centroides	Este X	m	326253.11
		Norte Y	m	8830375.96
	e) Ancho promedio de la cuenca		km	14.68
	f) indice de compacidad		-	1.95
	g) Factor de forma		-	0.2670
	h) Radio de Circularidad		km	0.2623

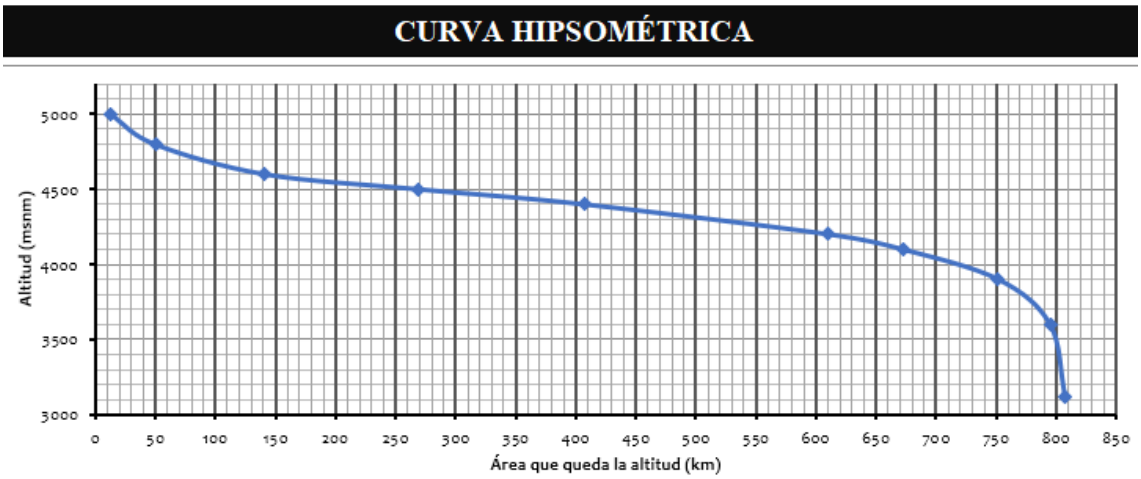
Nota. Elaboración propia.

Tabla 21. *Cuadro de áreas entre curvas de nivel de la cuenca*

CUADRO DE ÁREAS ENTRE CURVAS DE NIVEL									
N°	COTA (msnm)			Área (km2)					Ci*Ai
	Mínima	Máxima	Promedio "Ci"	Área Parcial (km^2) "Ai"	Área Acumulada (km^2)	Área que queda sobre la superficie (km^2)	Porcentaje de area entre C.N.	Porcetaje de área sobre C.N.	
1	3117	3600	3358.5	12.4339	12.43	807.34	1.54%	100.0	41759.27
2	3601	3900	3750.5	43.2280	55.66	794.90	5.35%	98.5	162126.50
3	3901	4100	4000.5	79.5839	135.25	751.68	9.86%	93.1	318375.42
4	4101	4200	4150.5	61.6472	196.89	672.09	7.64%	83.2	255866.65
5	4201	4400	4300.5	203.7086	400.60	610.44	25.23%	75.6	876048.81
6	4401	4500	4450.5	137.4389	538.04	406.74	17.02%	50.4	611671.85
7	4501	4600	4550.5	128.0525	666.09	269.30	15.86%	33.4	582702.90
8	4601	4800	4700.5	91.3180	757.41	141.24	11.31%	17.5	429240.11
9	4801	5000	4900.5	36.9238	794.33	49.93	4.57%	6.2	180944.84
10	5001	5691	5346.0	13.0025	807.34	13.00	1.61%	1.6	69511.37
				807.3372			**100%**		**3528247.71**
ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA (m.s.n.m.)									**4370.23**

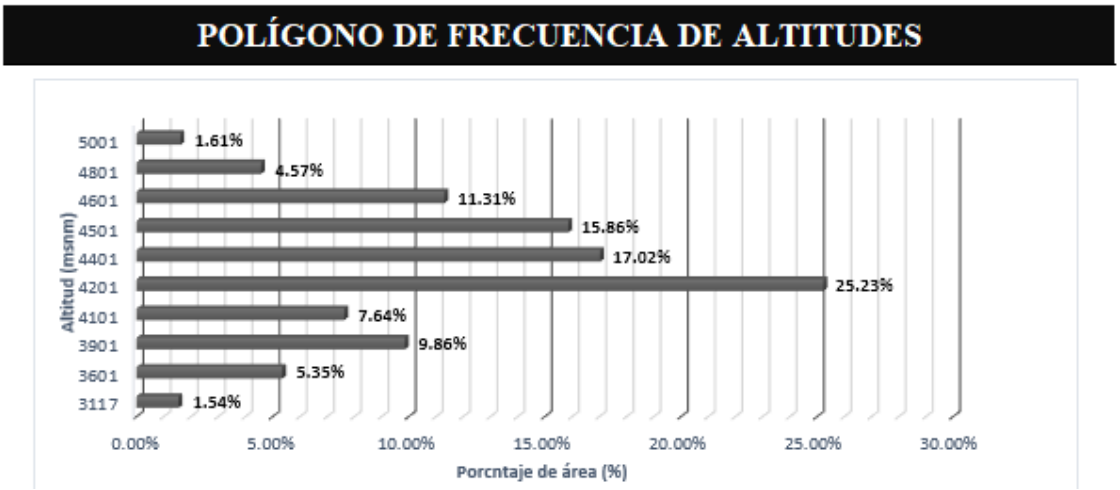
Nota. Elaboración propia.

Figura 78. *Curva hipsométrica de la cuenca*



Nota. Elaboración propia.

Figura 79. *Polígono de frecuencia de altitudes de la cuenca*



Nota. Elaboración propia.

De las figuras anteriores, de la curva hipsométrica y del polígono de frecuencia de altitudes, podemos inferir que la cuenca en estudio es una cuenca con gran potencial erosivo, está en la fase de juventud, ello explica la gran cantidad de arrastre de sedimentos y los peligros constantes en las riberas, esto debido a la forma que presenta.

Tabla 22. *Parámetros hidrográficos de la cuenca*

PARÁMETROS RED HIDROGRÁFICA DE UNA CUENCA				
PARÁMETROS			UNIDAD DE MEDIDA	Cuenca Hidroráfica
Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca	Tipo de corriente		-	Perennes
	Número de orden de los ríos	Orden 1	-	550
		Orden 2	-	267
		Orden 3	-	116
		Orden 4	-	101
		Orden 5	-	45
		Orden 6	-	19
		N° Total de ríos	-	1098
		Grado de ramificación	-	6
	Frecuencia de densidad de los ríos (Dr)		ríos/km2	1.36
	Cotas del cauce principal	Altitud máxima (Hmax)	msnm	5093.00
		Altitud mínima (Hmin)	msnm	3117.00
	Pendiente media del río principal (Sm)		m/m	0.055
	Altura media del río principal (H)		msnm	4105.00
	Tiempo de concentración (Tc) Kirpich		horas	4.4197
	Longitud total de rios de la cuenca		km	853.7064
	Densidad de la cuenca (Dd)		km/km2	1.0574
	Tipo de drenaje		-	Baja
	Longitud del cause principal		km	54.9878
	Extensión media del escurriemiento superficial (E)		km2/km	0.9457

Nota. Elaboración propia.

De la tablas presentadas hasta este punto, se puede resaltar que por el coeficiente de compacidad es superior a 1, lo cual nos indica que la cuenca tiene una torrencialidad alta; el factor de forma indica que la cuenca es susceptible a avenidas en cuanto a la densidad de drenaje indica que es baja, lo cual se traduce en un mayor tiempo de escorrentía y la pendiente que presenta el río principal es relativamente suave.

Para el cálculo del tiempo de concentración se utilizó la ecuación de Kirpich, con la ayuda del ArcGIS, se calculó la longitud del cauce principal, diferencia de cotas y demás características principales para el desarrollo de la presente investigación.

4.2.1.3. Análisis de valores pluviométricos

En principio se obtuvo la data de SENAMHI, correspondiente a las precipitaciones máximas en 24 horas de hasta tres estaciones

meteorológicas, San Rafael, Cerro de Pasco y Yanahuanca, puesto que estas son las más cercanas al área en estudio, con la finalidad de obtener mayor data referencial para la investigación, sin embrago, en la delimitación de la cuenca se puede apreciar que la única estación meteorológica con incidencia dentro de la cuenca es la que se encuentra en la misma ciudad de Yanahuanca por lo que trabajó con esta estación meteorológica.

Tabla 23. *Tabla de resumen de precipitaciones máximas en 24 horas por cada mes y año*

DATA DE SENAMHI												
PARAMETRO: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS												
LATITUD:	10° 29´ "S"			LONGITUD:	76° 30´ "W"				ALTITUD:	3137 msnm		
DPTO:	PASCO			PROV:	DANIEL ALCIDES CARRIÓN				DIST:	YANAHUANCA		
UNIDAD:	mm			ESTACIÓN:	YANAHUANCA				CÓDIGO:	000475 / DZ - 11		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	S/D	S/D	17.5	21	13	0	0	4.1	20.4	14.2	12.7	8.7
1997	22	21	13.4	12	10	0	1	3	8.8	7	15	18
1998	19.4	37.7	18.8	20	5.4	7.2	0	0.3	7	15	10.8	14.5
1999	14	23	32	13	5.7	4.2	4.5	11	14	15	15	30
2000	18	13.8	18.6	10	4.3	4	4.6	0	3	7	14	19.2
2001	15.7	11.2	16	18.2	10	6.6	13	12.5	5.7	9.4	20	28.3
2002	10.1	15.2	14.2	18.2	9.7	2.1	10.6	7.3	14.5	14.7	15.9	18
2003	17.3	23.2	19.2	14.6	18.8	4.4	0	7.5	7.5	16.3	45.24	22.9
2004	6.9	22.1	10.6	7.3	17	11.1	7.6	6.5	23.4	20.9	20	22.7
2005	15.4	15.7	12.7	10.3	24.8	0	7	5	15.1	22.5	30.7	12.4
2006	16.8	14	16.8	18.7	6.6	3.9	0.5	4.9	11.2	17.1	15.4	22.5
2007	17.8	10.2	19	12.5	9.3	0.7	23.3	8	5	35.3	21.5	15.6
2008	12	23.3	12.8	14.5	10	7.5	0	3.8	13.2	15.9	15.1	13.7
2009	20	17.6	27	31.5	13.4	2.3	15.7	8.3	6	15	30	18
2010	21	20	12.9	9.9	2.8	5.8	0	0	5.2	12	31.3	25.5
2011	21.2	21.8	25.5	21.5	3.2	0	5.1	2.2	4	11	17.1	28
2012	13.7	17.2	11.9	17.1	4.2	15.8	5.8	2.2	18.2	13	23.4	33
2013	17.8	19.2	19	10.3	4.7	4.1	4.1	7.1	4.1	13	15.2	12
2014	14.8	17.9	17.8	10.6	10.1	5.9	7.8	4.3	12	12	15.8	20.7
2015	23.6	S/D	S/D	S/D	19.6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	22.2	12	13.4	S/D	2.8	4.2	10.2	7.8	10.5	12.1	7.1	19.2
2017	23.3	17.2	30	16.1	10.8	S/D	6.1	5.6	22.7	11.8	15.4	20
2018	27.7	29	22.6	32.6	12.7	11.3	4.8	S/D	S/D	S/D	14.5	22.6
2019	25.7	S/D	16.5	10.6	7.5	2.5	1	2.8	6.3	11.2	8	18.7
2020	13.8	22.8	8	5.7	12.2	1.1	9	0	8.5	8.3	14.8	8.4
2021	21	9.3	11.8	10.4	4.3	18.6	1.5	3.7	5.2	3.7	22.3	7.6
2022	13	13.6	12.5	13.7	8.5	4.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D

Nota. Data proporcionada por SENAMHI.

Como se puede apreciar, se tiene la data de 26 años, sin embargo, estos no están completos, por lo que se llevó a cabo un procesamiento de completación y extensión, para un mejor análisis hidrológico, esta completación de datos se realizó con el software EasyFit, haciendo uso de distribuciones probabilísticas recurrentes en la hidrología, además, realizando la prueba de bondad de ajuste por Smirnov Kolmogorov, obtenido así los nuevos datos sintéticos en el periodo de 1990 hasta el 2022, por un total de 33 años.

Tabla 24. *Datos meteorológicos completados y extendidos por EasyFit*

EXTENCIÓN Y COMPLETACION DE DATOS												
PARAMETRO: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS												
LATITUD:	10° 29´ "S"			LONGITUD:	76° 30´ "W"				ALTITUD:	3137 msnm		
DPTO:	PASCO			PROV:	DANIEL ALCIDES CARRIÓN				DIST:	YANAHUANCA		
UNIDAD:	mm			ESTACIÓN:	YANAHUANCA				CÓDIGO:	000475 / DZ - 11		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1990	15.98	22.79	21.46	21.01	3.20	6.42	0.37	4.99	9.94	20.28	9.83	11.15
1991	19.48	13.73	27.21	22.26	17.89	6.07	6.62	3.59	5.43	13.94	11.80	15.40
1992	24.43	21.72	14.87	17.56	3.35	5.77	5.80	4.48	18.79	26.21	8.07	16.10
1993	13.55	27.56	14.49	9.39	4.37	8.49	10.19	7.50	15.91	20.17	20.93	13.52
1994	17.62	17.84	13.31	6.94	6.24	2.89	3.34	1.38	3.11	18.30	13.70	20.78
1995	21.75	19.96	12.16	12.37	8.20	10.34	2.93	3.26	9.15	15.01	13.59	18.62
1996	20.41	20.22	17.50	21.00	13.00	0.00	0.00	4.10	20.40	14.20	12.70	8.70
1997	22.00	21.00	13.40	12.00	10.00	0.00	1.00	3.00	8.80	7.00	15.00	18.00
1998	19.40	37.70	18.80	20.00	5.40	7.20	0.00	0.30	7.00	15.00	10.80	14.50
1999	14.00	23.00	32.00	13.00	5.70	4.20	4.50	11.00	14.00	15.00	15.00	30.00
2000	18.00	13.80	18.60	10.00	4.30	4.00	4.60	0.00	3.00	7.00	14.00	19.20
2001	15.70	11.20	16.00	18.20	10.00	6.60	13.00	12.50	5.70	9.40	20.00	28.30
2002	10.10	15.20	14.20	18.20	9.70	2.10	10.60	7.30	14.50	14.70	15.90	18.00
2003	17.30	23.20	19.20	14.60	18.80	4.40	0.00	7.50	7.50	16.30	45.24	22.90
2004	6.90	22.10	10.60	7.30	17.00	11.10	7.60	6.50	23.40	20.90	20.00	22.70
2005	15.40	15.70	12.70	10.30	24.80	0.00	7.00	5.00	15.10	22.50	30.70	12.40
2006	16.80	14.00	16.80	18.70	6.60	3.90	0.50	4.90	11.20	17.10	15.40	22.50
2007	17.80	10.20	19.00	12.50	9.30	0.70	23.30	8.00	5.00	35.30	21.50	15.60
2008	12.00	23.30	12.80	14.50	10.00	7.50	0.00	3.80	13.20	15.90	15.10	13.70
2009	20.00	17.60	27.00	31.50	13.40	2.30	15.70	8.30	6.00	15.00	30.00	18.00
2010	21.00	20.00	12.90	9.90	2.80	5.80	0.00	0.00	5.20	12.00	31.30	25.50
2011	21.20	21.80	25.50	21.50	3.20	0.00	5.10	2.20	4.00	11.00	17.10	28.00
2012	13.70	17.20	11.90	17.10	4.20	15.80	5.80	2.20	18.20	13.00	23.40	33.00
2013	17.80	19.20	19.00	10.30	4.70	4.10	4.10	7.10	4.10	13.00	15.20	12.00
2014	14.80	17.90	17.80	10.60	10.10	5.90	7.80	4.30	12.00	12.00	15.80	20.70
2015	23.60	13.82	22.67	11.53	19.60	2.67	2.04	1.28	22.00	12.94	11.86	22.46
2016	22.20	12.00	13.40	20.90	2.80	4.20	10.20	7.80	10.50	12.10	7.10	19.20
2017	23.30	17.20	30.00	16.10	10.80	5.81	6.10	5.60	22.70	11.80	15.40	20.00
2018	27.70	29.00	22.60	32.60	12.70	11.30	4.80	5.68	15.87	17.46	14.50	22.60
2019	25.70	18.53	16.50	10.60	7.50	2.50	1.00	2.80	6.30	11.20	8.00	18.70
2020	13.80	22.80	8.00	5.70	12.20	1.10	9.00	0.00	8.50	8.30	14.80	8.40
2021	21.00	9.30	11.80	10.40	4.30	18.60	1.50	3.70	5.20	3.70	22.30	7.60
2022	13.00	13.60	12.50	13.70	8.50	4.70	20.67	8.49	7.63	16.36	17.54	23.13

Nota. Datos sintétivos de 1990 hasta el 2022, elaboración propia.

Por encontrase solo la estación meteorológica Yanahuanca dentro del área de influencia del proyecto, se trabajará para el análisis estadístico con esta data, por ello, en el siguiente cuadro se presentan los valores corregidos, con el cual se pudo identificar los valores de precipitaciones máximos, mínimos, promedio y su desviación estándar para ese conjunto de datos, esta tabla muestra los datos ingresados para su procesamiento probabilístico.

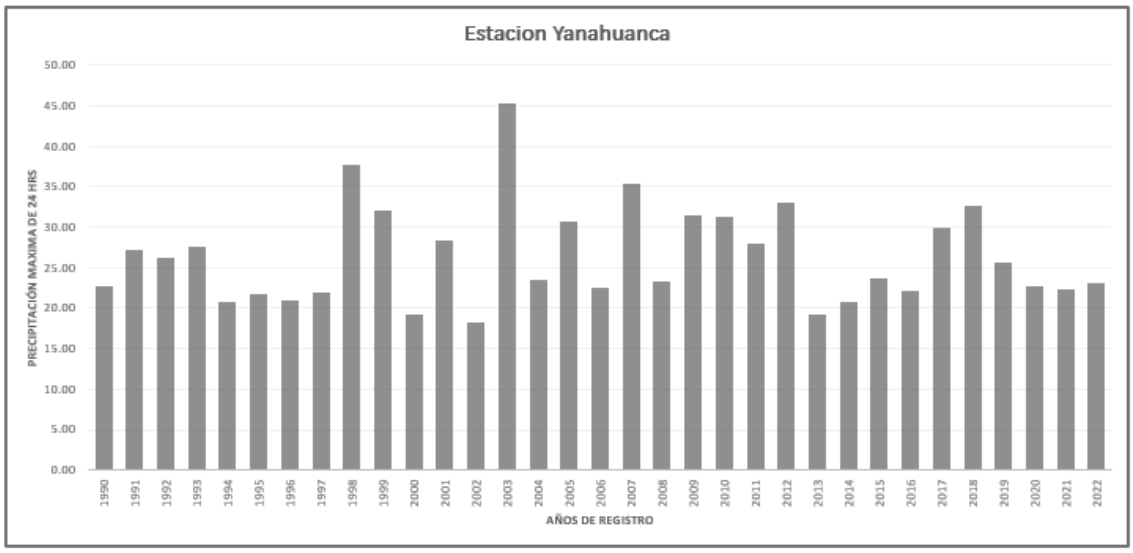
Tabla 25. *Registro y procesamiento de datos sintéticos (Completados y extendidos)*

REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE DATOS SINTÉTICOS (COMPLETADOS Y EXTENDIDO)													
ESTACIÓN YANAHUANCA													
Estación :	YANAHUANCA / 000475 / DZ-11					Longitud :	76° 30´ "W"				Dpto.	PASCO	
Parámetro :	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)					Latitud :	10° 29´ "S"				Prov.	DANIEL A. CARRIÓN	
						Altitud :	3137 msnm				Dist.	YANAHUANCA	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMO (mm)
1990	15.98	22.79	21.46	21.01	3.20	6.42	0.37	4.99	9.94	20.28	9.83	11.15	22.79
1991	19.48	13.73	27.21	22.26	17.89	6.07	6.62	3.59	5.43	13.94	11.80	15.40	27.21
1992	24.43	21.72	14.87	17.56	3.35	5.77	5.80	4.48	18.79	26.21	8.07	16.10	26.21
1993	13.55	27.56	14.49	9.39	4.37	8.49	10.19	7.50	15.91	20.17	20.93	13.52	27.56
1994	17.62	17.84	13.31	6.94	6.24	2.89	3.34	1.38	3.11	18.30	13.70	20.78	20.78
1995	21.75	19.96	12.16	12.37	8.20	10.34	2.93	3.26	9.15	15.01	13.59	18.62	21.75
1996	20.41	20.22	17.50	21.00	13.00	0.00	0.00	4.10	20.40	14.20	12.70	8.70	21.00
1997	22.00	21.00	13.40	12.00	10.00	0.00	1.00	3.00	8.80	7.00	15.00	18.00	22.00
1998	19.40	37.70	18.80	20.00	5.40	7.20	0.00	0.30	7.00	15.00	10.80	14.50	37.70
1999	14.00	23.00	32.00	13.00	5.70	4.20	4.50	11.00	14.00	15.00	15.00	30.00	32.00
2000	18.00	13.80	18.60	10.00	4.30	4.00	4.60	0.00	3.00	7.00	14.00	19.20	19.20
2001	15.70	11.20	16.00	18.20	10.00	6.60	13.00	12.50	5.70	9.40	20.00	28.30	28.30
2002	10.10	15.20	14.20	18.20	9.70	2.10	10.60	7.30	14.50	14.70	15.90	18.00	18.20
2003	17.30	23.20	19.20	14.60	18.80	4.40	0.00	7.50	7.50	16.30	45.24	22.90	45.24
2004	6.90	22.10	10.60	7.30	17.00	11.10	7.60	6.50	23.40	20.90	20.00	22.70	23.40
2005	15.40	15.70	12.70	10.30	24.80	0.00	7.00	5.00	15.10	22.50	30.70	12.40	30.70
2006	16.80	14.00	16.80	18.70	6.60	3.90	0.50	4.90	11.20	17.10	15.40	22.50	22.50
2007	17.80	10.20	19.00	12.50	9.30	0.70	23.30	8.00	5.00	35.30	21.50	15.60	35.30
2008	12.00	23.30	12.80	14.50	10.00	7.50	0.00	3.80	13.20	15.90	15.10	13.70	23.30
2009	20.00	17.60	27.00	31.50	13.40	2.30	15.70	8.30	6.00	15.00	30.00	18.00	31.50
2010	21.00	20.00	12.90	9.90	2.80	5.80	0.00	0.00	5.20	12.00	31.30	25.50	31.30
2011	21.20	21.80	25.50	21.50	3.20	0.00	5.10	2.20	4.00	11.00	17.10	28.00	28.00
2012	13.70	17.20	11.90	17.10	4.20	15.80	5.80	2.20	18.20	13.00	23.40	33.00	33.00
2013	17.80	19.20	19.00	10.30	4.70	4.10	4.10	7.10	4.10	13.00	15.20	12.00	19.20
2014	14.80	17.90	17.80	10.60	10.10	5.90	7.80	4.30	12.00	12.00	15.80	20.70	20.70
2015	23.60	13.82	22.67	11.53	19.60	2.67	2.04	1.28	22.00	12.94	11.86	22.46	23.60
2016	22.20	12.00	13.40	20.90	2.80	4.20	10.20	7.80	10.50	12.10	7.10	19.20	22.20
2017	23.30	17.20	30.00	16.10	10.80	5.81	6.10	5.60	22.70	11.80	15.40	20.00	30.00
2018	27.70	29.00	22.60	32.60	12.70	11.30	4.80	5.68	15.87	17.46	14.50	22.60	32.60
2019	25.70	18.53	16.50	10.60	7.50	2.50	1.00	2.80	6.30	11.20	8.00	18.70	25.70
2020	13.80	22.80	8.00	5.70	12.20	1.10	9.00	0.00	8.50	8.30	14.80	8.40	22.80
2021	21.00	9.30	11.80	10.40	4.30	18.60	1.50	3.70	5.20	3.70	22.30	7.60	22.30
2022	13.00	13.60	12.50	13.70	8.50	4.70	20.67	8.49	7.63	16.36	17.54	23.13	23.13
PROMEDIO	18.10	18.91	17.48	15.22	9.23	5.35	5.91	4.80	10.89	14.97	17.38	18.83	26.40
DESV. EST.	4.65	5.84	5.86	6.35	5.56	4.35	5.82	3.13	6.10	5.92	7.83	6.21	6.08
MÁXIMO	27.70	37.70	32.00	32.60	24.80	18.60	23.30	12.50	23.40	35.30	45.24	33.00	45.24
MÍNIMO	6.90	9.30	8.00	5.70	2.80	0.00	0.00	0.00	3.00	3.70	7.10	7.60	18.20
N° DATOS	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33

Nota. Elaboración propia.

Así mismo, a continuación se muestra el pluviograma generado a partir de los valores asignados en la tabla anterior, con la finalidad de hacer el análisis los picos y realizar la comparación y verificar la confiabilidad de estos datos, que recordemos fueron generados completados y extendidos de manera sintética por el software EasyFit.

Figura 80. *Histograma de registro de precipitaciones de la Estación Yanahuanca*



Nota. Elaboración propia.

Así también, en las tablas que se presentan a continuación se muestra los resultados del análisis estadístico realizado, de tal manera que se pueda determinar la confiabilidad de los datos, es así que, en la prueba de datos dudosos, por el método de Water Resources Council, estos resultados arrojaron que, el valor mínimo, de las precipitaciones máximas en 24 horas, debería estar por encima de 14,69 mm, mientras que en la data de nuestros registros tenemos como valor mínimo 18,20 mm, para el año 2002, lo que significa que está dentro del margen de confiabilidad; por otro lado las precipitaciones máximas en 24 horas, debería estar por debajo de los 45,26 mm, mientras que en el registro de nuestra data, tenemos como valor máximo los 45,24 mm para el año 2003, ratificando que los datos que tenemos como base para el estudio hidrológico está dentro del rango de confiabilidad de datos, descartando la existencia de datos dudosos o erróneos.

Tabla 26. *Tabla de parámetros estadísticos de estación Yanahuanca*

ESTACIÓN YANAHUANCA			
N°	Año	P24 (mm)	Log(P24)
1	1990	22.79	3.1261
2	1991	27.21	3.3037
3	1992	26.21	3.2661
4	1993	27.56	3.3164
5	1994	20.78	3.0338
6	1995	21.75	3.0796
7	1996	21.00	3.0445
8	1997	22.00	3.0910
9	1998	37.70	3.6297
10	1999	32.00	3.4657
11	2000	19.20	2.9549
12	2001	28.30	3.3429
13	2002	18.20	2.9014
14	2003	45.24	3.8120
15	2004	23.40	3.1527
16	2005	30.70	3.4243
17	2006	22.50	3.1135
18	2007	35.30	3.5639
19	2008	23.30	3.1485
20	2009	31.50	3.4500
21	2010	31.30	3.4436
22	2011	28.00	3.3322
23	2012	33.00	3.4965
24	2013	19.20	2.9549
25	2014	20.70	3.0301
26	2015	23.60	3.1612
27	2016	22.20	3.1001
28	2017	30.00	3.4012
29	2018	32.60	3.4843
30	2019	25.70	3.2465
31	2020	22.80	3.1268
32	2021	22.30	3.1046
33	2022	23.13	3.1413
Cantidad de datos n		33	33
Suma ∑		871.17	107.244
Máximo		45.24	3.8120
Mínimo		18.20	2.9014
Promedio x̄		26.40	3.2498
Desviación Estandar S		6.08	0.2161
Coeficiente de Asimetria Cs		1.11	0.5897
Cs/6 k		0.1853	0.0983

Nota. Elaboración propia.

A continuación, la tabla de la prueba de datos dudosos, por el método de Water Resources Council, determinación del umbral superior y umbral inferior, valores máximos y mínimos aceptables.

Tabla 27. *Prueba de datos dudosos y erróneos*

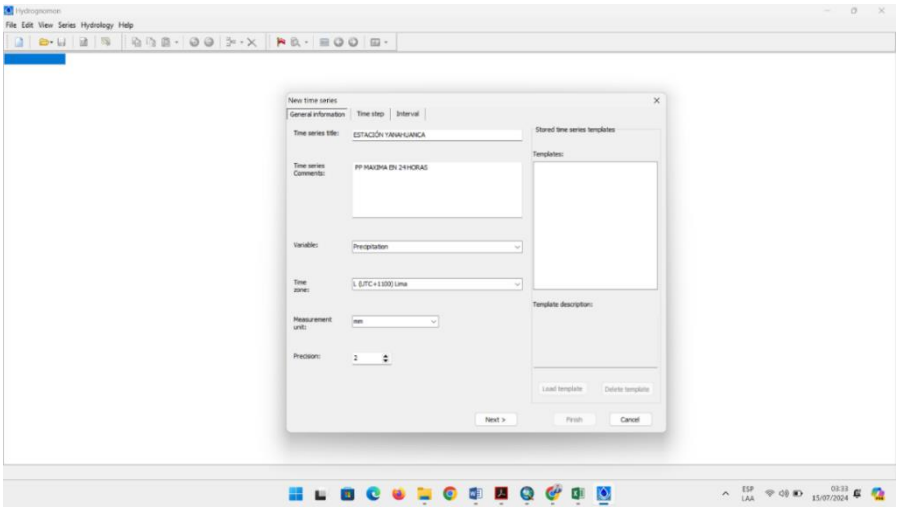
PRUEBA DE DATOS DUDOSOS		
Método de Water Resources Council		
n =	33	
K_n =	2.6037	
Umbral superior, unidades logaritmicas Precipitación máxima aceptable:		$x_H = \bar{x} + K_n \cdot S$
x_H =	3.8124	
PH =	45.26	mm
Umbral inferior, unidades logaritmicas Precipitación mínima aceptable:		$x_L = \bar{x} - K_n \cdot S$
x_L =	2.6873	
PL =	14.69	mm

Nota. Elaboración propia.

4.2.1.4. Análisis probabilístico de datos y prueba de bondad

Se aplicaron los modelos estadísticos probabilísticos, donde se utilizaron los datos procesados anteriormente, para este procedimiento utilizamos el software Hydrognomon, el mismo que nos permite realizar la prueba de bondad de ajuste por Smirnov Kolmogorov, esto con la finalidad de analizar los datos pluviométricos, estos resultados se mostraran a continuación:

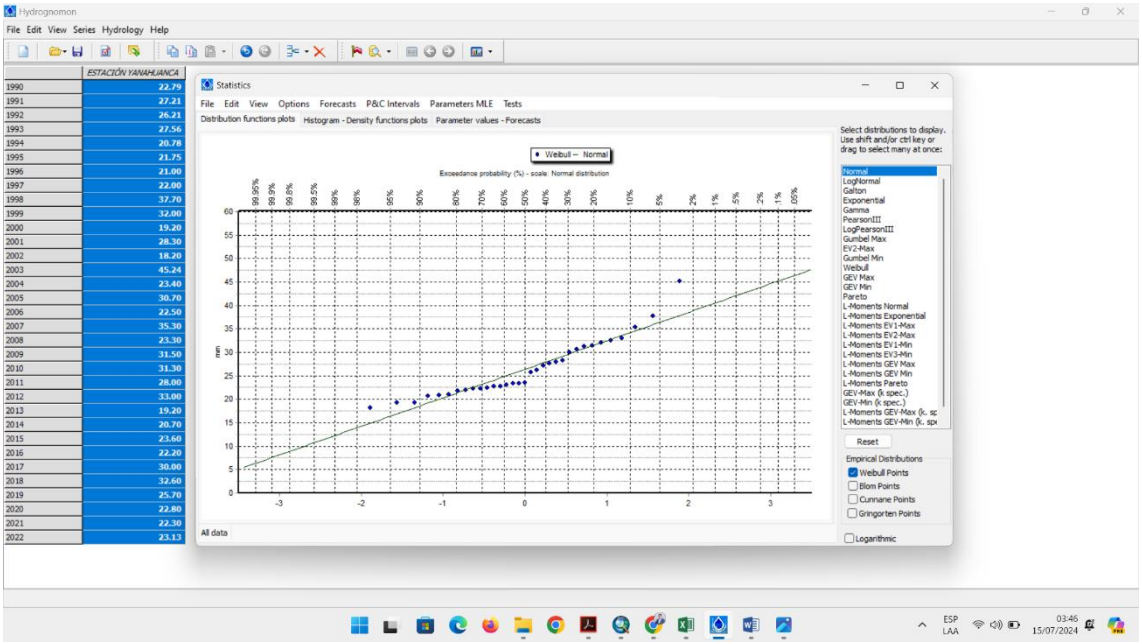
Figura 81. *Creación de proyecto en Hydrognomon*



Nota. Elaboración propia.

Los registros pluviométricos ingresados en Hydrognomon, nos ayudó a realizar el análisis mediante diferentes distribuciones probabilísticas de tal manera que se elija el de mejor ajuste, por ello, tuvimos los resultados de manera gráfica y tabulados, estos sirvieron para la toma de decisiones.

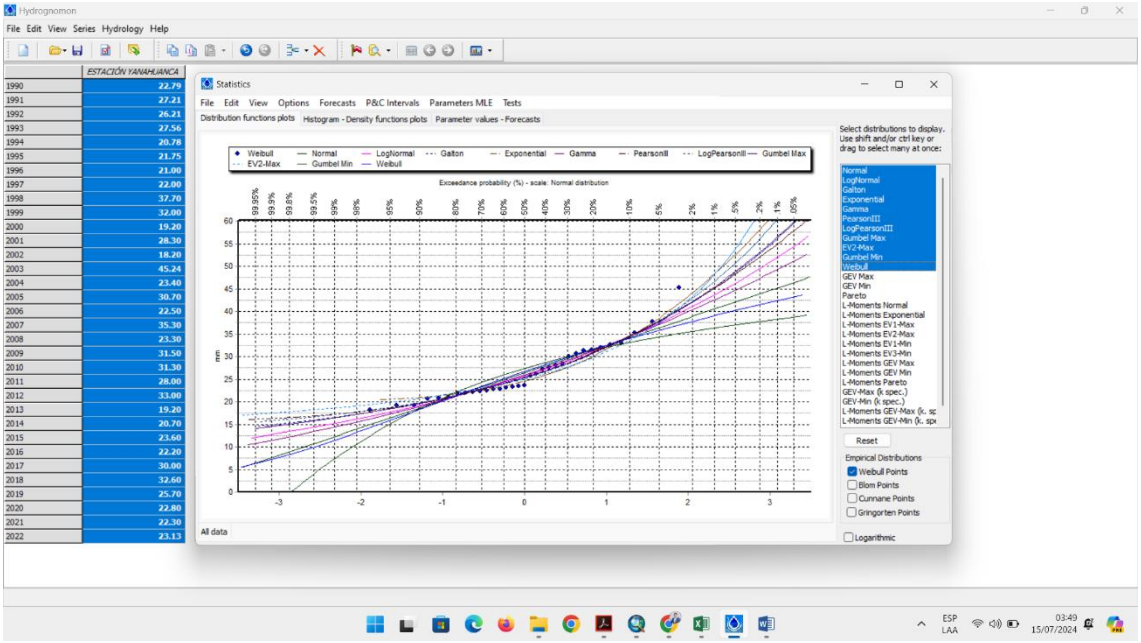
Figura 82. *Procesamiento de datos - comportamiento de datos en Distribución*



Nota. Elaboración propia.

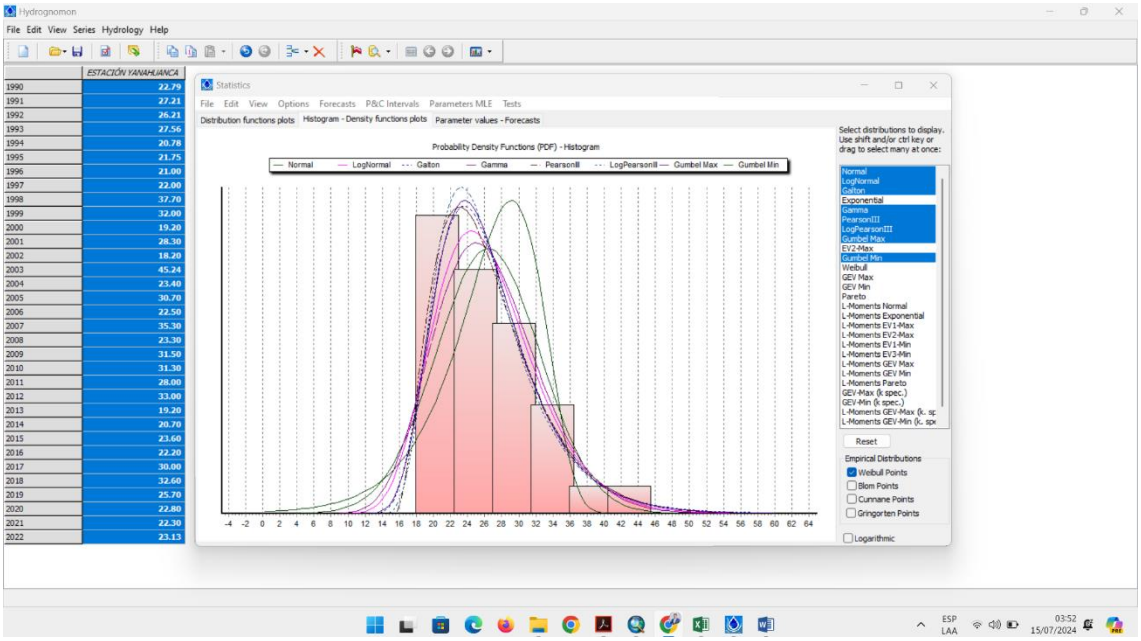
Como se conoce, no se recomienda utilizar la distribución normal, cuando se tratan de datos máximos o mínimos, lo ideal es trabajar con esta distribución cuando se trata de datos medios o promedios, es en están condiciones donde se tienen un mejor comportamiento y por supuesto se ajustan mejor a este tipo de datos; por ello, en el siguiente grafico se muestra una comparación del diagrama de dispersión, respecto a varias distribuciones probabilísticas, utilizadas para este tipo de data.

Figura 83. *Comparación de distribuciones probabilísticas para la data de la estación Yanahuanca*



Nota. Elaboración propia, comparacion de distribuiones en diagrama de dispersión.

Figura 84. *Comparación de diagramas generados por las diferentes distribuciones probabilísticas*



Nota. Elaboración propia, comparacion de campana de Gauss de las distribuiones generadas.

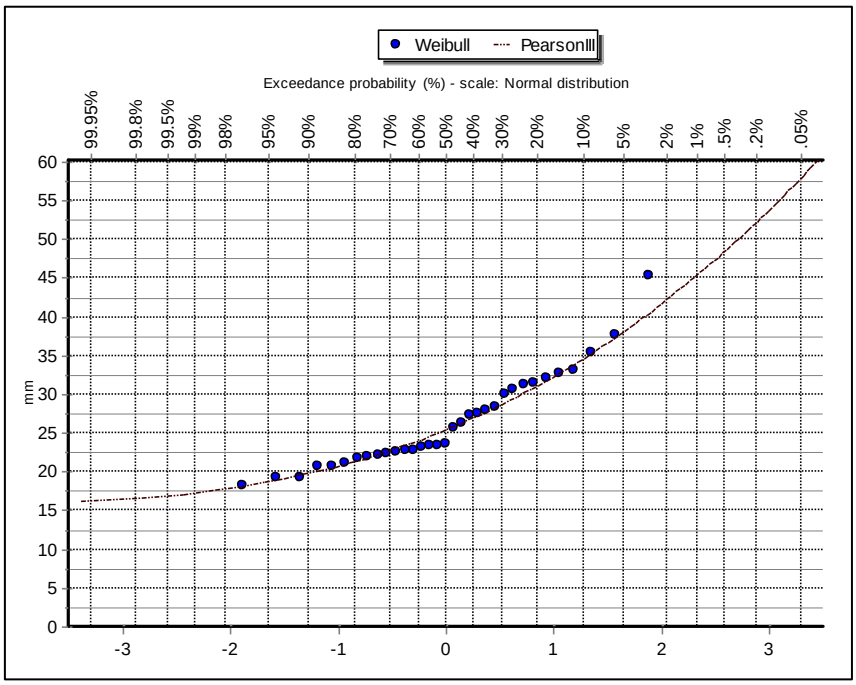
Finalmente, se tuvo como resultado que la distribución probabilística Person III, tiene un mejor ajuste a los datos de los registros pluviométricos de la estación Yanahuanca, logrando un 63,29% de ajuste, y el menor delta teórico, equivalente a 0,12405; realizada para la prueba de bondad por Kolmogorov – Smirnov, por tanto, esta función regirá para el análisis de nuestros datos.

Tabla 28. *Resultado de prueba de bondad*

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SEGÚN DISTRIBUCIÓN PROBABILISTICA					
Kolmogorov-Smirnov					
Prueba para:	**a=1%**	**a=5%**	**a=10%**	**Ajuste al**	**Delta Teórico**
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	21.76%	0.17735
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	41.70%	0.14775
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	35.65%	0.15545
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	63.29%	0.12405
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	58.87%	0.12864
Gumbel (EV1-Max)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	51.15%	0.13688

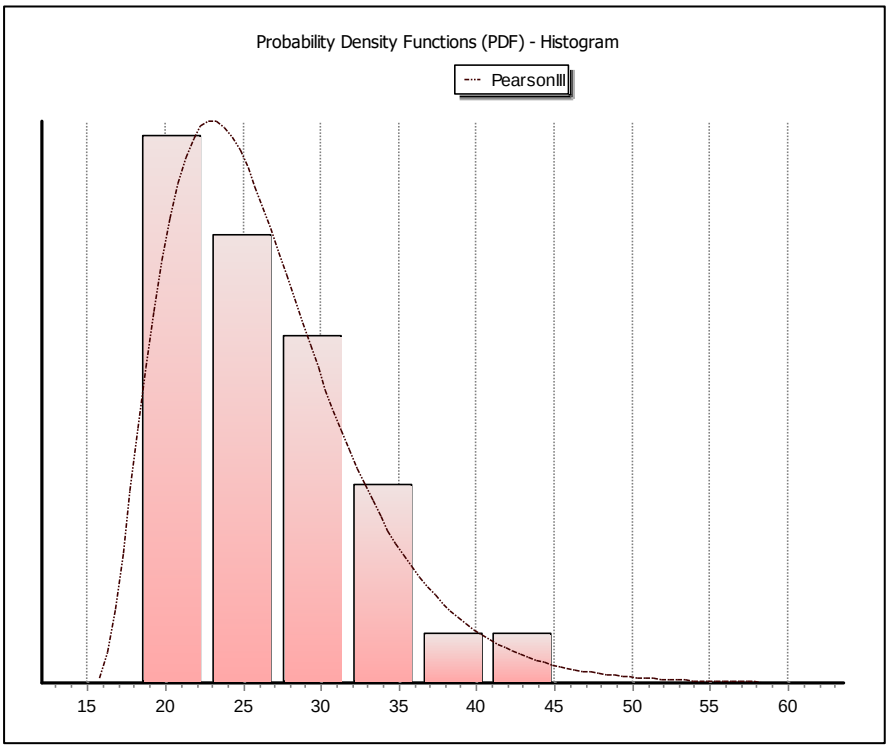
Nota. Elaboración propia, resultados de ajuste y delta teorico de cada distribución probabilistica.

Figura 85. *Distribución Person III*



Nota. Elaboración propia, representación en diagrama de dispersión de distribución Person III.

Figura 86. *Histograma de distribución Person III*

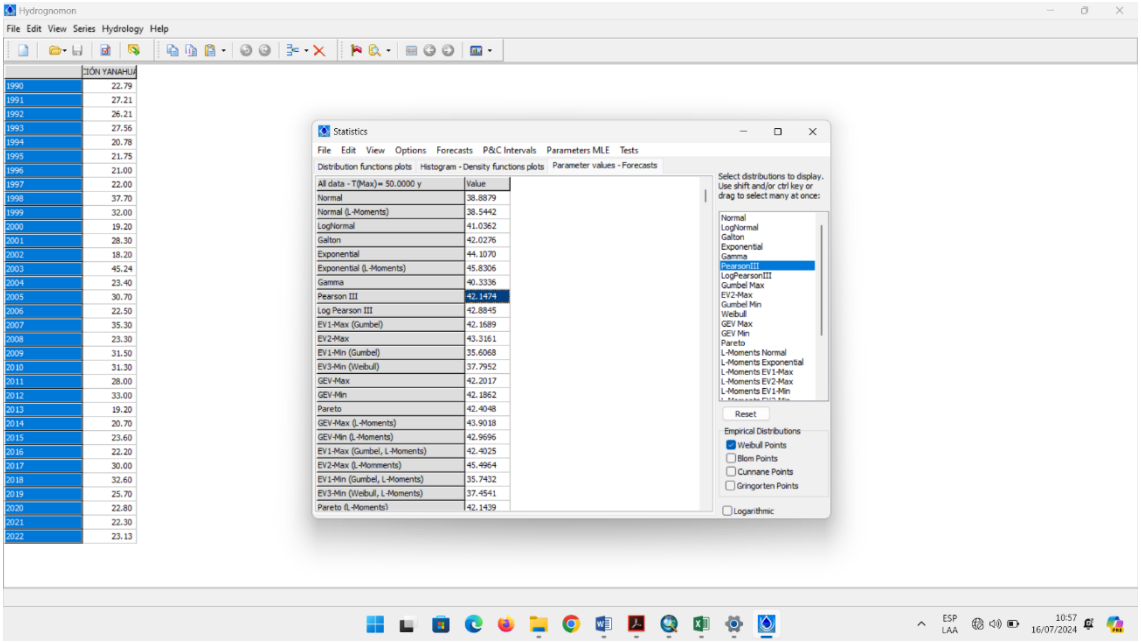


Nota. Elaboración propia, modelado de campana de Gauss sesgado hacia la izquierda.

4.2.1.5. Cálculo de precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno (T)

Determinado la distribución probabilística a utilizar, el cual será Person III, pasamos a calcular las precipitaciones máximas, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 30, 50, 100, 500 y 1000 años, sucesivamente, utilizando, como en el proceso anterior, el software Hydrognomon, a continuación se muestra el procesamiento de este procedimiento y los resultados de esta corrida de datos; así también, se considerará la precipitación máxima para el periodo de retorno de 100 años, puesto que, se trata del estudio de una faja marginal donde existe presencia de una ciudad en riesgo por el paso del rio Chaupihuaranga.

Figura 87. *Precipitaciones máximas generadas por software Hydrognomon.*



Nota. Elaboración propia.

Tabla 29. *Precipitaciones máximas según Distribución Person III*

DISTRIBUCIÓN PERSON III	
Estación Yanahuanca	
T	PPmax
2	25.30
5	30.92
10	34.55
20	37.93
25	38.98
30	39.82
50	42.15
100	45.21
500	52.06
1000	54.92

Nota. Elaboración propia.

Como se aprecia de la tabla anterior, ya están los datos de precipitaciones máximas según periodo de retorno, para procesar y obtener las curvas IDF y el hietograma.

4.2.1.6. Obtención de curvas IDF e Hietograma de tormenta de diseño

Las precipitaciones obtenidas en el procedimiento anterior, serán sometidas a una corrección sugerida por la Organización Meteorológica Mundial, el cual consiste en multiplicar estos valores de la precipitación máxima por 1,13 para obtener valores con mayor aproximación a los máximos reales.

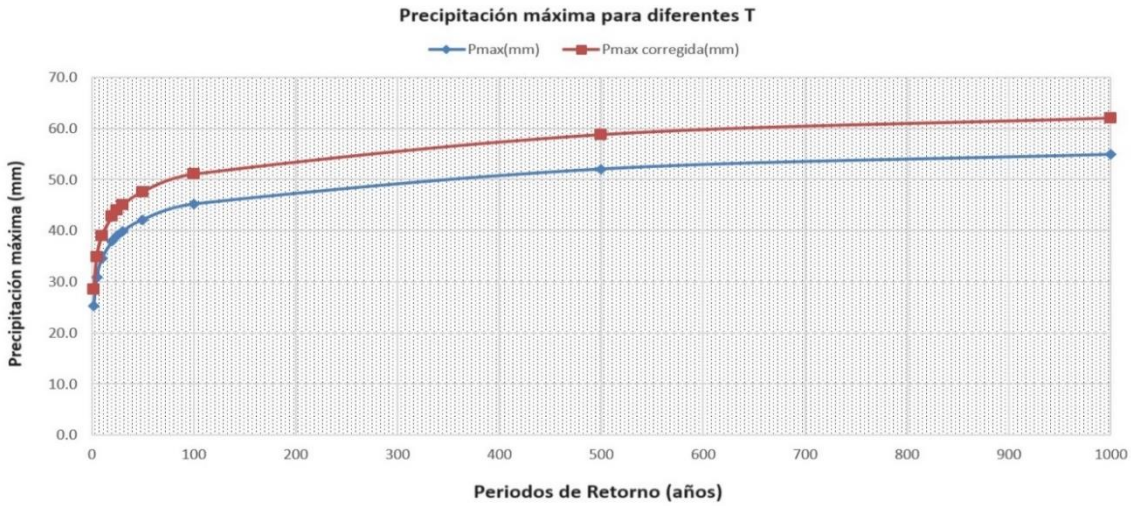
Tabla 30. *Valores de precipitación máxima corregida*

DATOS DE ENTRADA CURVAS IDF - PATRON DE TORMENTA DE DISEÑO		
Precipitaciones Máximas Probables para T		
Factor de ajuste:		1.13
Numero de observaciones por dia:		1
Periodo de Retorno T (años)	Precipitaciones	
	Pmax (mm) - Hydrognomon	Pmax corregida (mm)
2	25.2953	**28.5837**
5	30.9227	**34.9427**
10	34.5532	**39.0451**
20	37.928	**42.8586**
25	38.9768	**44.0438**
30	39.8228	**44.9998**
50	42.1474	**47.6266**
100	45.2142	**51.092**
500	52.0588	**58.8264**
1000	54.9201	**62.0597**

Nota. Elaboración propia.

Así también, para el cálculo de las intensidades de lluvia para diferentes tiempos de duración, utilizamos el método de coeficientes, sugerido en el Manual de Hidrología y Drenaje MTC, puesto que se ajusta al tipo de cuenca que tenemos, ya que el método y Dick Peschke y Frederich Bell, son utilizados en cuencas con tiempo de concertación menor a las dos horas, y en nuestro caso la cuenca tiene un Tc igual a 4,5 horas.

Figura 88. *Precipitaciones máximas para diferentes T*



Nota. Elaboración propia.

Tabla 31. ***Valores de coeficientes del MTC***

COEFICIENTES MTC	
Duración en (Horas)	Valores de Coeficientes
1	0.25
3	0.38
4	0.44
5	0.5
6	0.55
8	0.65
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.9
20	0.93
22	0.97
24	1

Nota. Elaboración propia.

En la siguientes tablas se mostrarán las precipitaciones a partir de las intensidades en diferentes periodos de retorno, con el tiempo de duración en horas; las intensidades máximas de lluvia en mm/hr según periodo de retorno y las intensidades máximas de diseño respecto a periodo de retorno y el tiempo en minutos.

Tabla 32. *Precipitaciones determinadas mediante método de coeficientes*

PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES TIEMPOS DE DURACIÓN											
Tiempo de duración	Cociente/ Duracion	Precipitación máxima Pmax (mm) por tiempos de duración									
		2 años	5 años	10 años	20 años	25 años	30 años	50 años	100 años	500 años	1000 años
24.00 hr	1.00	28.59	34.95	39.05	42.87	44.05	45.01	47.64	51.10	58.84	62.07
22.00 hr	0.97	27.69	33.85	37.82	41.52	42.67	43.59	46.14	49.49	56.99	60.12
20.00 hr	0.93	26.66	32.59	36.41	39.97	41.07	41.96	44.41	47.65	54.86	57.87
18.00 hr	0.90	25.69	31.40	35.09	38.51	39.58	40.44	42.80	45.91	52.86	55.77
16.00 hr	0.87	24.80	30.31	33.87	37.18	38.21	39.04	41.32	44.32	51.03	53.84
14.00 hr	0.83	23.84	29.14	32.57	35.75	36.74	37.53	39.72	42.61	49.06	51.76
12.00 hr	0.79	22.57	27.58	30.82	33.83	34.77	35.52	37.60	40.33	46.44	48.99
10.00 hr	0.73	20.76	25.37	28.35	31.12	31.98	32.68	34.59	37.10	42.72	45.07
8.00 hr	0.65	18.44	22.54	25.18	27.64	28.41	29.03	30.72	32.95	37.94	40.03
6.00 hr	0.55	15.86	19.39	21.67	23.78	24.44	24.97	26.43	28.35	32.64	34.44
5.00 hr	0.50	14.40	17.60	19.67	21.59	22.18	22.67	23.99	25.73	29.63	31.26
4.00 hr	0.44	12.55	15.34	17.14	18.81	19.33	19.75	20.91	22.43	25.82	27.24
3.00 hr	0.38	10.87	13.28	14.84	16.29	16.74	17.11	18.10	19.42	22.36	23.59
2.00 hr	0.31	8.86	10.83	12.10	13.29	13.65	13.95	14.76	15.84	18.24	19.24
1.00 hr	0.25	7.15	8.74	9.76	10.71	11.01	11.25	11.91	12.77	14.71	15.51

Nota. Elaboración propia.

Tabla 33. *Valores de intensidades máximas*

INTENSIDADES DE LLUVIA A PARTIR DE Pmax, SEGÚN DURACIÓN DE PRECIPITACIÓN Y FRECUENCIA DE LA MISMA											
Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno									
Hr	min	2 años	5 años	10 años	20 años	25 años	30 años	50 años	100 años	500 años	1000 años
24.00 hr	1440	1.19	1.46	1.63	1.79	1.84	1.88	1.98	2.13	2.45	2.59
22.00 hr	1320	1.26	1.54	1.72	1.89	1.94	1.98	2.10	2.25	2.59	2.73
20.00 hr	1200	1.33	1.63	1.82	2.00	2.05	2.10	2.22	2.38	2.74	2.89
18.00 hr	1080	1.43	1.74	1.95	2.14	2.20	2.25	2.38	2.55	2.94	3.10
16.00 hr	960	1.55	1.89	2.12	2.32	2.39	2.44	2.58	2.77	3.19	3.36
14.00 hr	840	1.70	2.08	2.33	2.55	2.62	2.68	2.84	3.04	3.50	3.70
12.00 hr	720	1.88	2.30	2.57	2.82	2.90	2.96	3.13	3.36	3.87	4.08
10.00 hr	600	2.08	2.54	2.84	3.11	3.20	3.27	3.46	3.71	4.27	4.51
8.00 hr	480	2.30	2.82	3.15	3.46	3.55	3.63	3.84	4.12	4.74	5.00
6.00 hr	360	2.64	3.23	3.61	3.96	4.07	4.16	4.40	4.73	5.44	5.74
5.00 hr	300	2.88	3.52	3.93	4.32	4.44	4.53	4.80	5.15	5.93	6.25
4.00 hr	240	3.14	3.83	4.28	4.70	4.83	4.94	5.23	5.61	6.46	6.81
3.00 hr	180	3.62	4.43	4.95	5.43	5.58	5.70	6.03	6.47	7.45	7.86
2.00 hr	120	4.43	5.42	6.05	6.64	6.83	6.97	7.38	7.92	9.12	9.62
1.00 hr	60	7.15	8.74	9.76	10.71	11.01	11.25	11.91	12.77	14.71	15.51

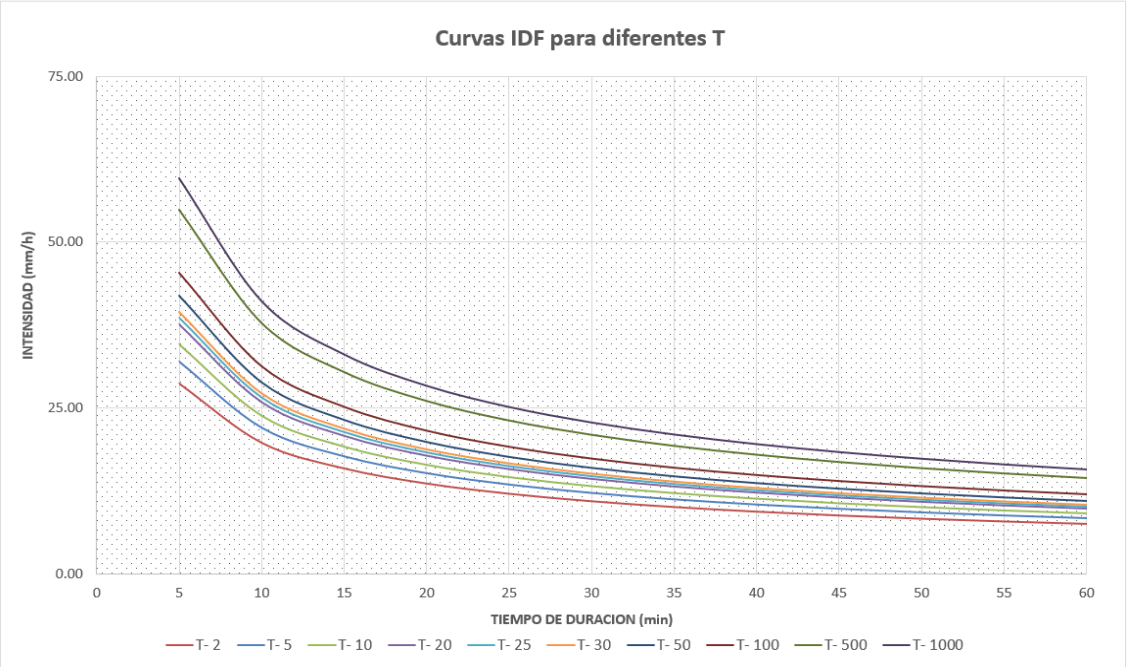
Nota. Elaboración propia.

Tabla 34. *Valores de intensidades de diseño*

Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración												
años	Duración en minutos											
T	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
T- 2	28.64	19.73	15.87	13.59	12.05	10.93	10.06	9.36	8.79	8.30	7.89	7.53
T- 5	31.91	21.98	17.68	15.14	13.43	12.18	11.21	10.43	9.79	9.25	8.79	8.39
T- 10	34.63	23.85	19.18	16.43	14.57	13.21	12.16	11.32	10.62	10.04	9.54	9.10
T- 20	37.57	25.88	20.81	17.83	15.81	14.34	13.20	12.28	11.53	10.89	10.35	9.88
T- 25	38.57	26.57	21.37	18.30	16.23	14.72	13.55	12.61	11.84	11.18	10.62	10.14
T- 30	39.41	27.15	21.83	18.70	16.59	15.04	13.84	12.88	12.09	11.43	10.86	10.36
T- 50	41.86	28.83	23.19	19.86	17.62	15.97	14.70	13.68	12.84	12.14	11.53	11.00
T- 100	45.42	31.29	25.16	21.55	19.12	17.33	15.95	14.85	13.94	13.17	12.51	11.94
T- 500	54.91	37.82	30.41	26.06	23.11	20.95	19.28	17.95	16.85	15.92	15.12	14.43
T- 1000	59.58	41.04	33.00	28.27	25.08	22.73	20.93	19.48	18.28	17.27	16.41	15.66

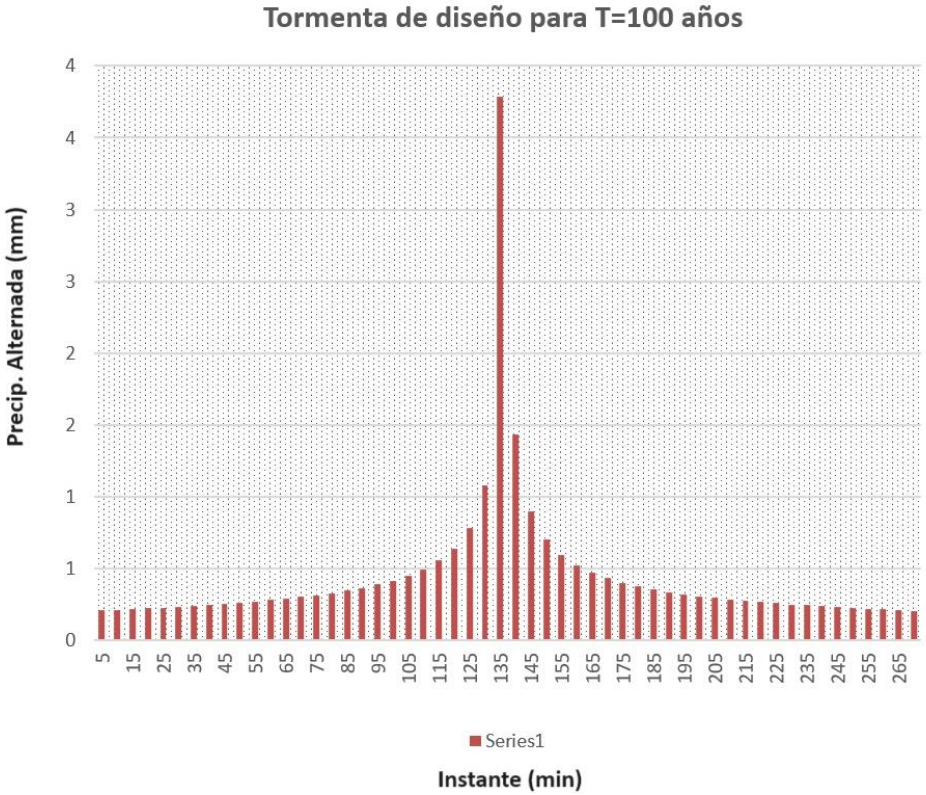
Nota. Elaboración propia.

Figura 89. *Curva I-D-F (intensidad, Duración y Frecuencia)*



Nota. Elaboración propia.

Figura 90. *Hietograma de diseño para T = 100 años*



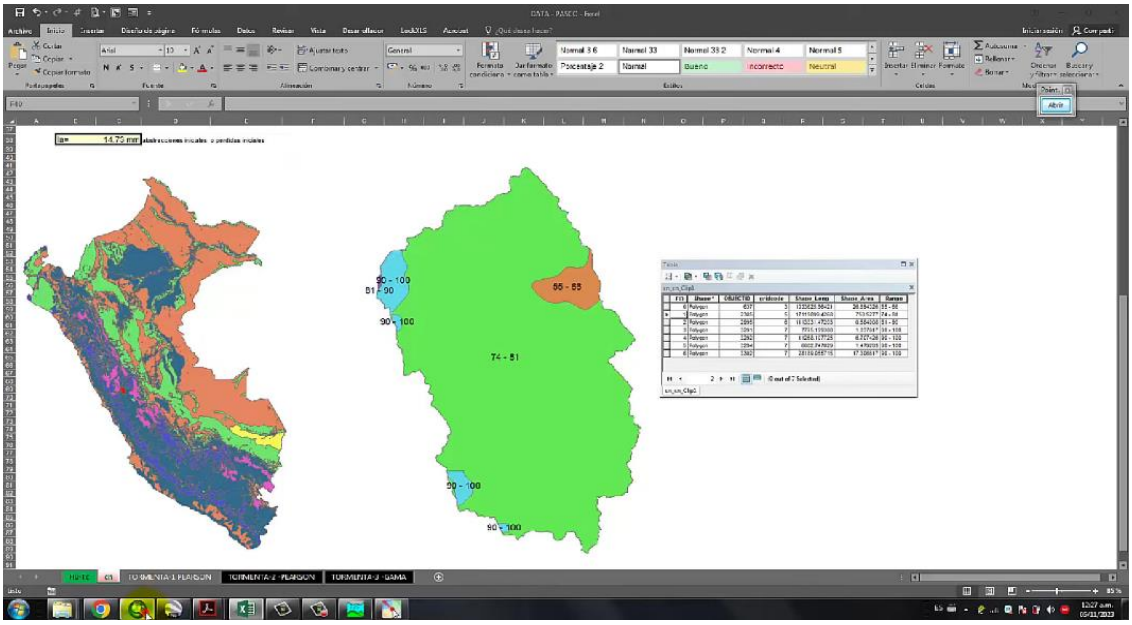
Nota. Elaboración propia.

De la figura anterior, con los valores para la curva IDF pasamos a construir el hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años, así también para los diferentes periodos de retorno, además del patrón de tormenta y la curva IDF para cada periodo de retorno, estos estarán adjuntos en la sección de anexos de la presente investigación. Con estos valores ya podemos calcular los caudales de diseño.

4.2.1.7. Valores de Número curva (CN), Retención potencial máxima (S), Abstracción Inicial (Ia) y tiempo de retardo (tp)

A continuación, el cálculo del número curva y demás valores, utilizando el shapefile de la Autoridad Nacional de Agua, recortamos el área de la cuenca respecto a las zonas determinadas y definidas con CN reconocido por ANA, se procede a ponderar estas áreas para encontrar el CN de la cuenca. Así mismo, se halla, la retención potencial máxima (S) y la abstracción inicial (Ia).

Figura 91. *Procesamiento de datos, cálculo de CN*



Nota. Elaboración propia.

Tabla 35. *Cálculo de Número Curva (CN) de la cuenca*

CURVA NÚMERO (CN)				
ITEM	AREA (km2)	RANGO INFERIOR	RANGO SUPERIOR	CN PROMEDIO
1	26.69	55.00	66.00	60.50
2	753.53	74.00	81.00	77.50
3	0.58	81.00	90.00	85.50
4	1.04	90.00	100.00	95.00
5	6.71	90.00	100.00	95.00
6	1.48	90.00	100.00	95.00
7	17.31	90.00	100.00	95.00
TOTAL	**807.34**	570.00	637.00	**603.50**
CN PONDERADO		**73.90**	**81.13**	**77.52**
CN PROMEDIO		81.43	91.00	86.21

Nota. Elaboración propia.

Tabla 36. *Cálculo de Retención potencial máxima y Abstracción inicial*

RETENCIÓN POTENCIAL MÁXIMA (S)					
S=	(1000/CN)-10				
S=	2.90	Pulg	=	**73.66**	mm
ABSTRACCIÓN INICIAL (Ia)					
Ia=	0.2*S				
Ia=	**14.73**	mm			

Nota. Elaboración propia.

Como se aprecia de las tablas anteriores, podemos encontrar los valores CN pondera igual a 77,52, la retención potencial máxima igual a 73,66 mm y la abstracción inicial igual a 14,73 mm, el cual es el 20% de la retención potencial máxima. Estos valores son necesarios para el cálculo de los caudales con el modelo matemático Hec-HMS.

El tiempo de retardo, es el tiempo entre el centro de masa de la precipitación de exceso y el caudal pico, se puede determinar por observaciones rurales de cuencas pequeñas. Se puede calcular, según el método SCS el tiempo de retardo o también llamado Lag time es cuál es el 60% del tiempo de concentración; pero este método, según MTC, se usará solo en cuencas de hasta 30 km^2; luego está el método de Chow, interviene la longitud del cauce principal y la pendiente del cauce; también está el método de Snyder, esta metodología se puede dar para cuencas de 30 km^2 y 30000 km^2, está en función al cauce principal, el

centroide, coeficiente de tiempo de retraso; está el método de Felman, que en base a varios estudios determinó que el tiempo de retardo (tp) está entre el 50% y 75% del tiempo de concentración (tc); existe el método unitario de Clark, se considera dos procesos, de translación y laminación. Donde R es el storage coeficiente (HR) o coeficiente de tanque y es el 50% del tp de Felman.

Finalmente tenemos el coeficiente pico o Peaking Coefficient (cp), esta constante varía de 0,4 a 0,8, toma valores 0,8 para zonas montañosas y el menor para llanuras.

Estos serán datos de ingreso para el cálculo de caudales máximos con el Hec-HMS, para las diferentes metodologías que aplicaremos en el siguiente paso de este procesamiento de datos.

Tabla 37. *Cálculo de tiempo de retardo y otros parámetros*

CÁLCULO DE TIEMPO DE RETARDO Y OTROS PARÁMETROS						
MÉTODO	Tiempo de concentración (Tc)	Longitud del cause principal (m)	Pendiente de cause (%)	tp		Valor
				Hr	min	
MÉTODO SCS	4.50	-	-	2.70	**162.00**	-
MÉTODO DE CHOW	-	54987.78	5.55	3.12	**187.20**	-
MÉTODO DE SNYDER	4.50	54987.78	5.55	1.38	**82.80**	-
MÉTODO DE CLARK	4.50	-	-	-	**84.38**	-
MÉTODO FELMAN	4.50	-	-	2.81	**168.60**	-
STANDART LAG Ó RETARDO ESTANDAR						**2.81**
PEAKING COEFFICIENT Ó COEFICIENTE PICO (ZONA MONTAÑOZA)						**0.80**
STORAGE COEFFICIENT Ó COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO						**1.41**

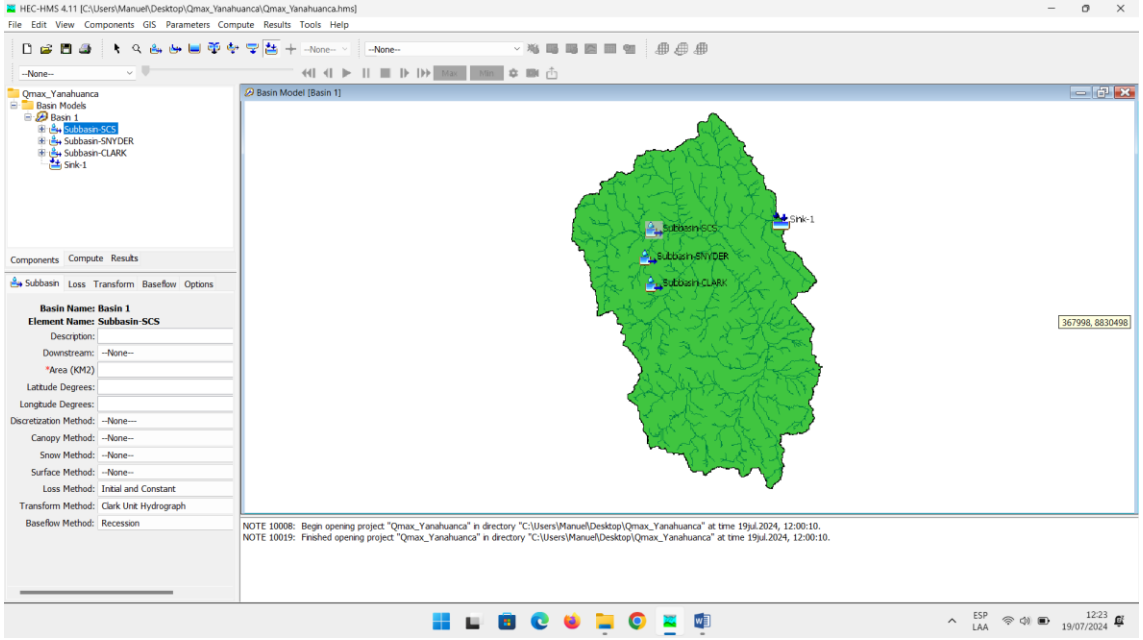
Nota. Elaboración propia.

4.2.1.8. Estimación de caudales

Para el método de cálculo de caudales máximos para diferentes periodos de retorno utilizamos el modelo matemático Hec-HMS, en su versión 4.11, la metodología es el hidrograma unitario sintético del servicio de conservación de suelos - SCS, método adimensional de Snyder, y método de Clark original de 1945, en principio, realizamos una modelación de manera semi distribuida en Hec-HMS, los datos pluviométricos a utilizar será de la estación Yanahuanca, porque es la

única estación con incidencia dentro del área de la cuenca delimitada, se hizo la verificación con técnicas de interpolación tipo polígono de Thiessen, y se concluyó que la estación Yanahuanca abarca todo el área en estudio.

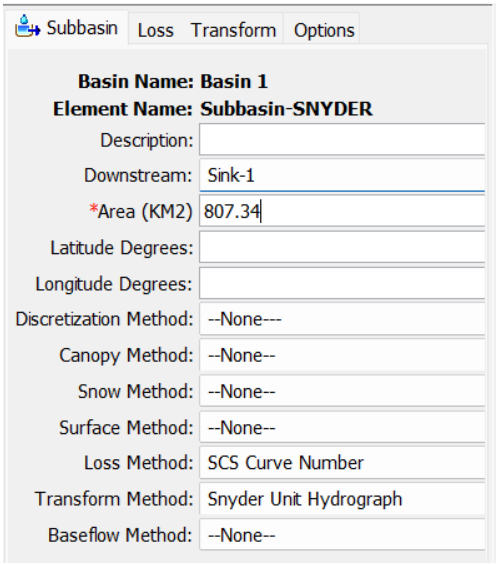
Figura 92. *Procesamiento de datos de la cuenca en Hec-HMS*



Nota. Elaboración propia.

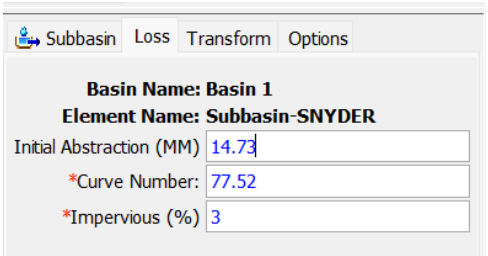
En el siguiente cuadro ingresamos los datos solicitados, en este punto podemos decir que las áreas impermeables serán todas las superficies de áreas techadas, carreteras pavimentas, ríos, lagunas, incluso rocas impermeables, es el porcentaje de áreas impermeables en la cuenca, para nuestro caso consideramos el 3%, también puede estar en función a la densidad poblacional presente en la cuenca que abarca la zona en estudio.

Figura 93. *Ingreso de datos en Hec- HMS, Método de Snyder.*



Nota. Adaptado de Hec-HMS, Elaboración propia.

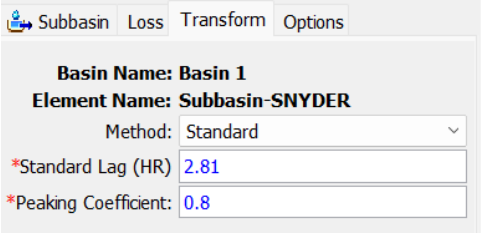
Figura 94. *Ingreso de datos, Abstracción inicial, número curva e*



Nota. Adaptado de Hec-HMS, Elaboración propia.

Así mismo, para el Lag time o tiempo de retardo y coeficiente pico, utilizamos Snyder, esto hallado inicialmente y guardamos.

Figura 95. *Ingreso de datos, tiempo de retardo y coeficiente pico, método de*

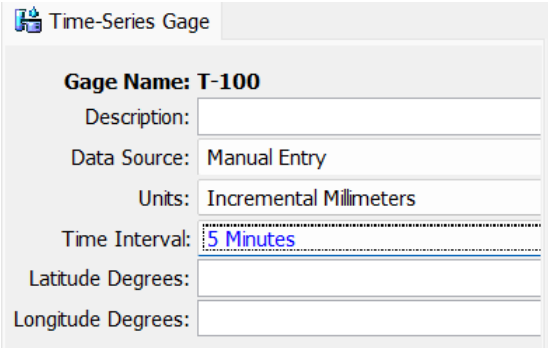


Nota. Adaptado de Hec-HMS, Elaboración propia.

Ahora, ingresamos los intervalos de tiempo y trabajamos para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años, sin embargo, hacemos mención que, los resultados presentados serán para T igual a 100 años,

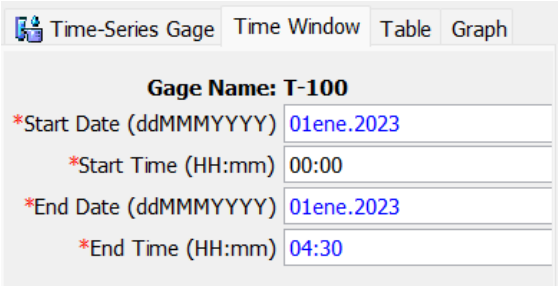
puesto que este fue el parámetro utilizado para el desarrollo de nuestros caudales máximos.

Figura 96. *Ingreso de datos de intervalo de tiempo.*



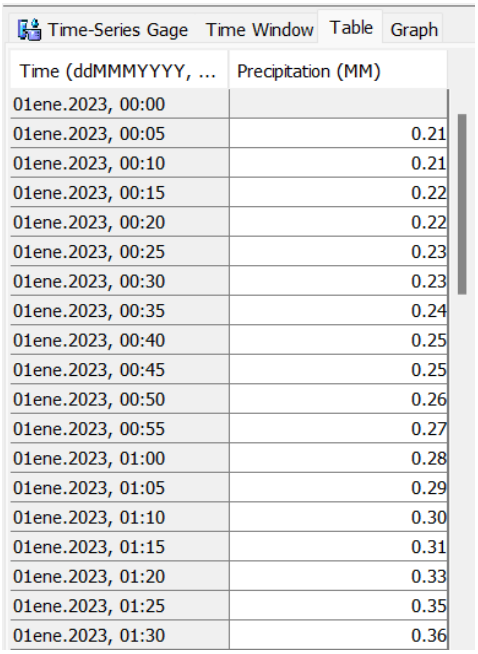
Nota. Adaptado de Hec-HMS, Elaboración propia.

Figura 97. *Ingreso de periodos de tiempo de estudio.*



Nota. Adaptado de Hec-HMS, Elaboración propia.

Figura 98. *Ingreso de valores de precipitaciones en los intervalos de tiempo*

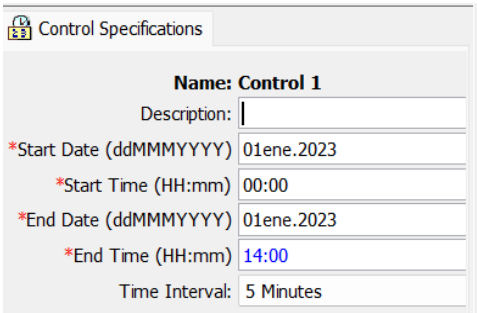


Time (ddMMMYYYY, ...	Precipitation (MM)
01ene.2023, 00:00	
01ene.2023, 00:05	0.21
01ene.2023, 00:10	0.21
01ene.2023, 00:15	0.22
01ene.2023, 00:20	0.22
01ene.2023, 00:25	0.23
01ene.2023, 00:30	0.23
01ene.2023, 00:35	0.24
01ene.2023, 00:40	0.25
01ene.2023, 00:45	0.25
01ene.2023, 00:50	0.26
01ene.2023, 00:55	0.27
01ene.2023, 01:00	0.28
01ene.2023, 01:05	0.29
01ene.2023, 01:10	0.30
01ene.2023, 01:15	0.31
01ene.2023, 01:20	0.33
01ene.2023, 01:25	0.35
01ene.2023, 01:30	0.36

Nota. Adaptado de Hec-HMS, Elaboración propia.

Añadimos el componente de control, colocamos hasta las 14 horas para ver cómo se procesan estos datos y cómo se comportan las curvas de los caudales.

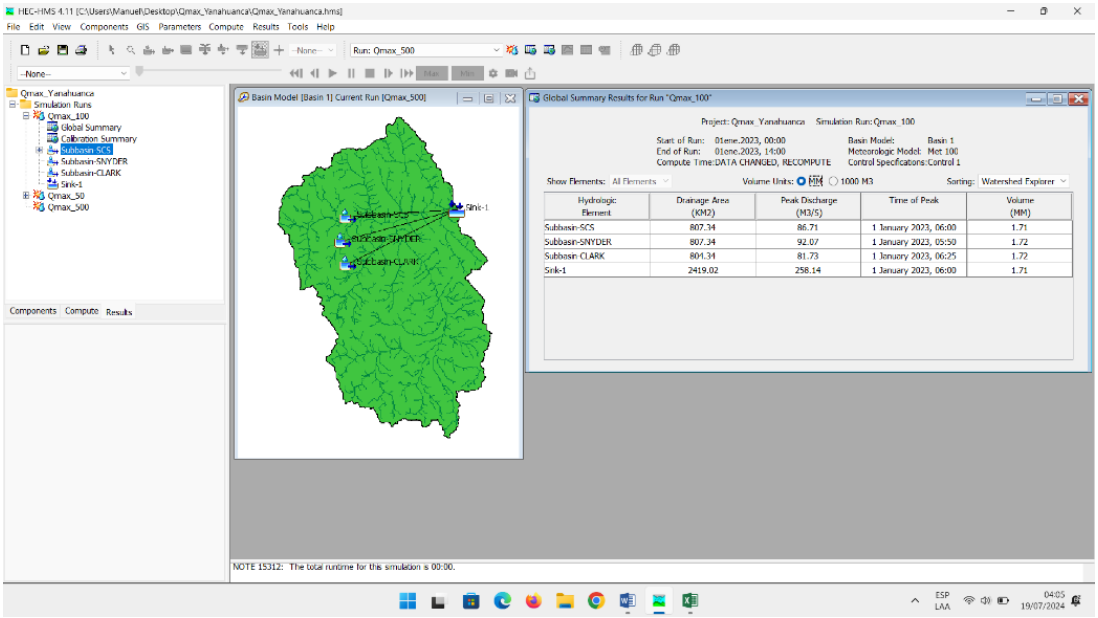
Figura 99. *Especificamos el control de la cuenca*



Nota. Adaptado de Hec-HMS, Elaboración propia

Ahora, empezamos computar y crear las simulaciones, esto es el caudal para un periodo de retorno de 100 años, no nos olvidemos que, trabajamos con tres métodos solo para comparar datos, el método SCS, Snyder y Clark, no se usará los datos del método SCS porque el rango de cuenca que nos permite analizar es de hasta 30 km^2, tampoco se trabajó con el método de Clark porque necesita datos más preciso, por ejemplo del área de laminación del tanque, son datos más sensibles, al final nos quedamos con los resultados arrojados por el método de Snyder, el cual es válido para cuencas de 30 km^2 a 30 000 km^2, por tanto, está dentro del rango del área de nuestra cuenca, el cual tes de 807,34 km^2. A continuación los resultados obtenidos:

Figura 100. *Muestra de corrida de datos y obtención de caudales de la cuenca*



Nota. Adaptado de Hec-HMS, Elaboración propia

Figura 101. *Comparación de caudales máximos, según método, T=100 años*

Project: Qmax_Yanahuanca Simulation Run: Qmax_100

Start of Run: 01ene.2023, 00:00
End of Run: 01ene.2023, 14:00
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE

Basin Model: Basin 1
Meteorologic Model: Met 100
Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subbasin-SCS	807.34	86.71	1 January 2023, 06:00	1.71
Subbasin-SNYDER	807.34	92.07	1 January 2023, 05:50	1.72
Subbasin-CLARK	804.34	81.73	1 January 2023, 06:25	1.72

Nota. Adaptado de Hec-HMS, Elaboración propia

Figura 102. *Resultado de caudal máximo, método Snyder, T=100 años*

Project: Qmax_Yanahuanca Simulation Run: Qmax_100

Subbasin: Subbasin-SNYDER

Start of Run: 01ene.2023, 00:00
End of Run: 01ene.2023, 14:00
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE

Basin Model: Basin 1
Meteorologic Model: Met 100
Control Specifications: Control 1

Volume Units: MM 1000 M3

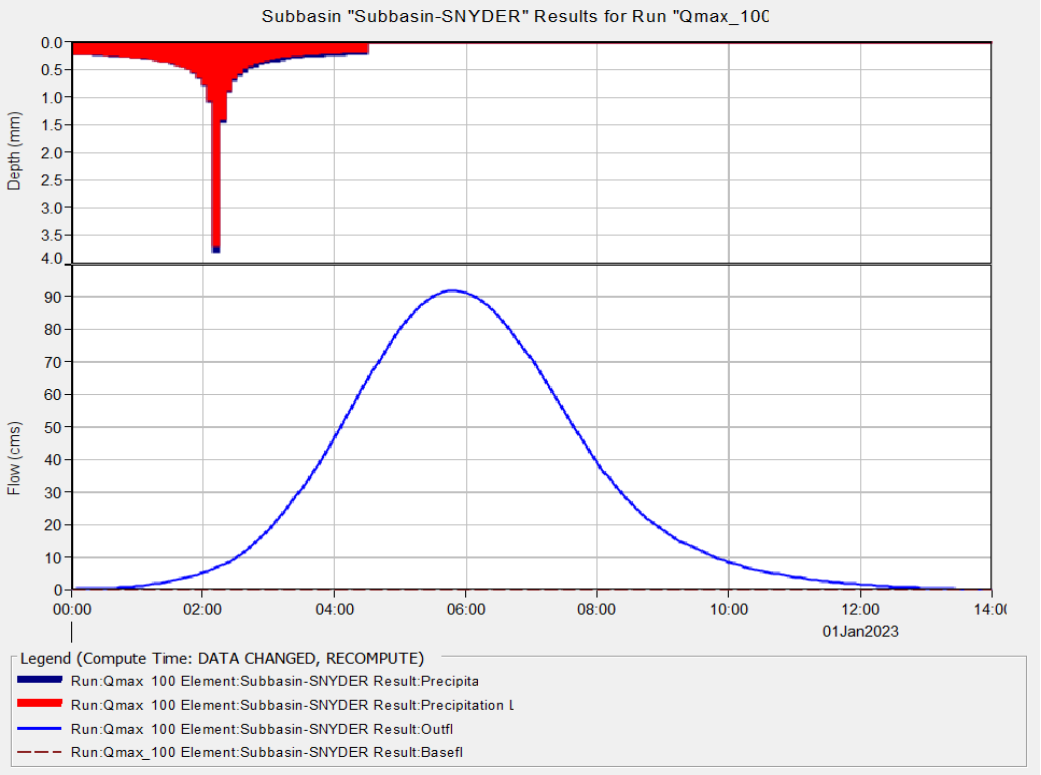
Computed Results

Peak Discharge: 92.07 (M3/S)
Precipitation Volume: 23.96 (MM)
Loss Volume: 22.24 (MM)
Excess Volume: 1.72 (MM)

Date/Time of Peak Discharge: 01ene.2023, 05:50
Direct Runoff Volume: 1.72 (MM)
Baseflow Volume: 0.00 (MM)
Discharge Volume: 1.72 (MM)

Nota. Adaptado de Hec-HMS, Elaboración propia

Figura 103. *Gráfica del patrón de tormenta vs el caudal máximo de salida.*



Nota. Adaptado de Hec-HMS, Elaboración propia

Finalmente, pudimos encontrar el caudal máximo, igual a 92,07 m^3/s, obtenido por el método de Snyder, con la ayuda del modelo matemático Hec-HMS, para un periodo de retorno de 100 años, esto porque en la franja marginal del rio, existe una ciudad con peligro aparente de inundación, la cuenca según el punto de control asignado, tiene un tiempo de concentración de 4,5 horas; además debemos mencionar que, de los resultados obtenidos, se muestran que el caudal máximo se alcanzará a las 5:50 horas de haber inicia la precipitación, es en este punto donde alcanza su mayor caudal.

Tabla 38. *Caudales máximos obtenidos*

CAUDALES MÁXIMOS	
T (años)	Snyder (m3/s)
50	68.84
100	92.07
500	172.02

Nota. Elaboración propia

Para la determinación final de los valores de caudal máximo de diseño se procedió a adicionar un factor de seguridad de 1,3 para poder tener y corregir cualquier error dentro de los cálculos y resultados obtenidos.

Tabla 39. *Caudal máximo de diseño para modelamiento hidráulico*

CAUDALES MÁXIMOS DE DISEÑO	
T (años)	Snyder (m3/s)
50	89.492
100	119.691
500	223.626

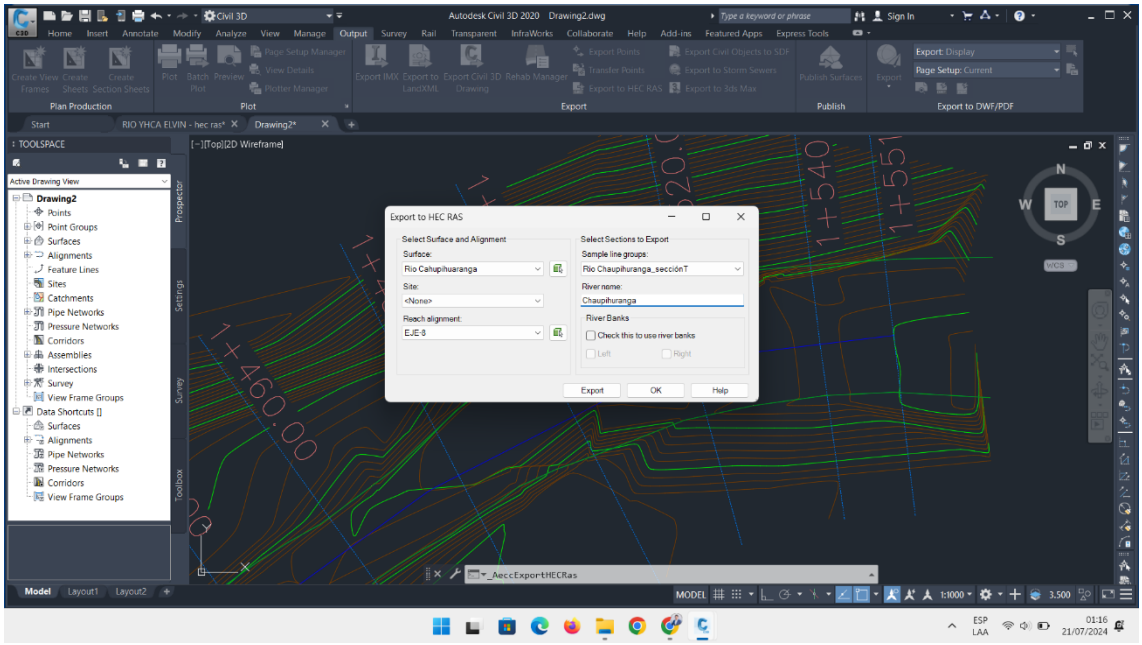
Nota. Elaboración propia

4.2.2. Resultados de simulación hidráulica

4.2.2.1. Simulación hidráulica de inundación

En principio trabajamos el levantadito topográfico en Civil 3D para que esta sea exportada a Hec-RAS.

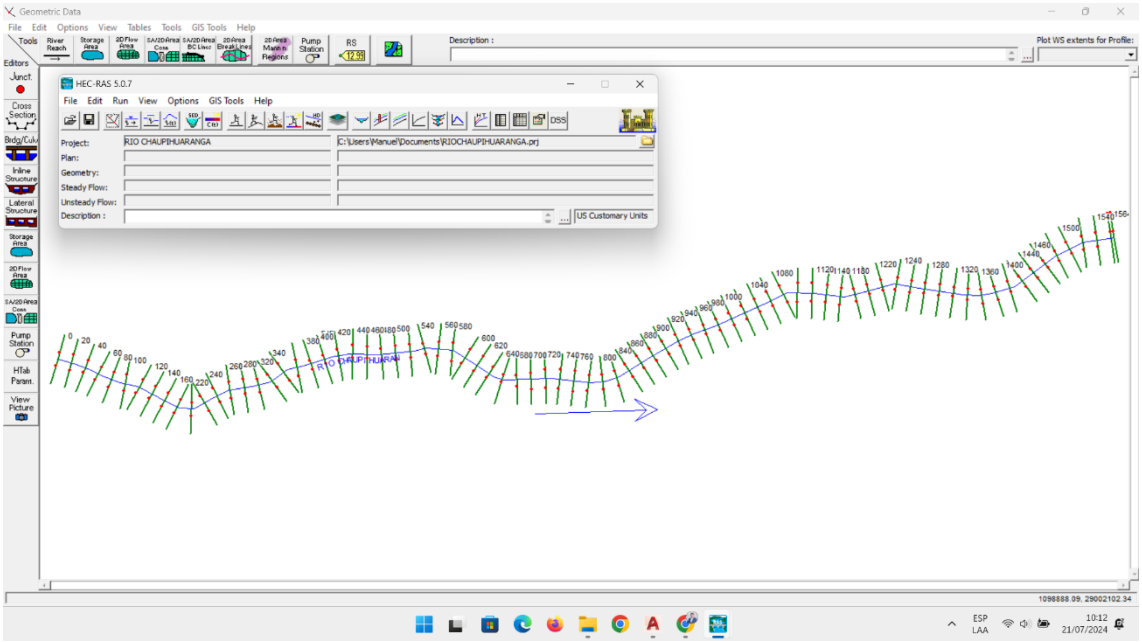
Figura 104. *Trabajo de acondicionamiento de datos para modelamiento hidráulico.*



Nota. Elaboración propia

A continuación el procesamiento de datos en Hec-RAS, y el modelamiento hidráulico.

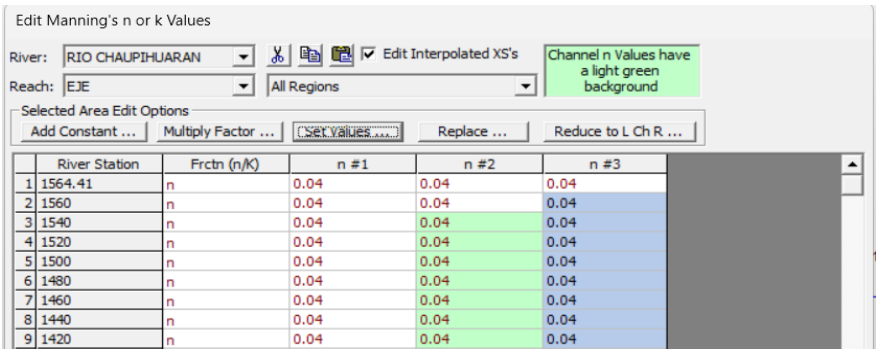
Figura 105. *Modelamiento hidráulico con Hec RAS*



Nota. Elaboración propia

Ingresamos los parámetros de contorno de del rio Chaupihuaranga, los coeficientes de rugosidad, caudales máximos y pendientes.

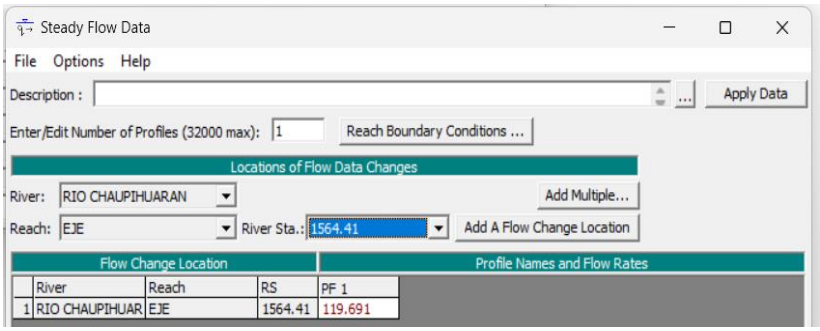
Figura 106. *Ingreso de coeficientes de rugosidad para cada lado y eje del rio*



	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	1564.41	n	0.04	0.04	0.04
2	1560	n	0.04	0.04	0.04
3	1540	n	0.04	0.04	0.04
4	1520	n	0.04	0.04	0.04
5	1500	n	0.04	0.04	0.04
6	1480	n	0.04	0.04	0.04
7	1460	n	0.04	0.04	0.04
8	1440	n	0.04	0.04	0.04
9	1420	n	0.04	0.04	0.04

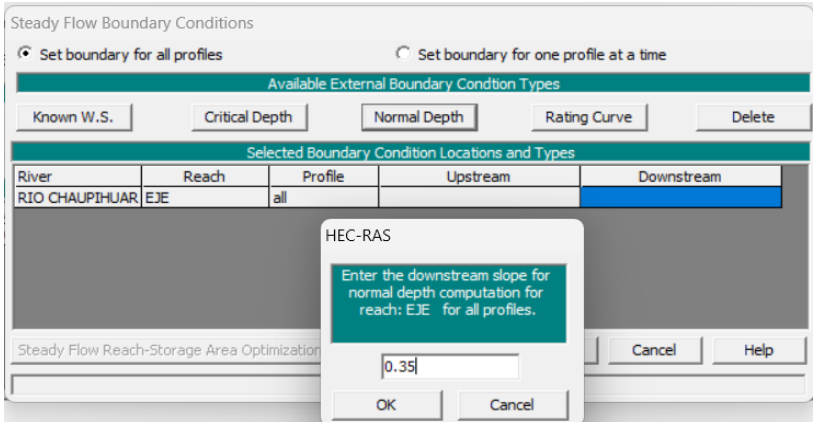
Nota. Elaboración propia

Figura 107. *Ingreso de caudales para modelamiento hidráulico*



Nota. Elaboración propia

Figura 108. *Ingreso de pendientes de la cuenca*



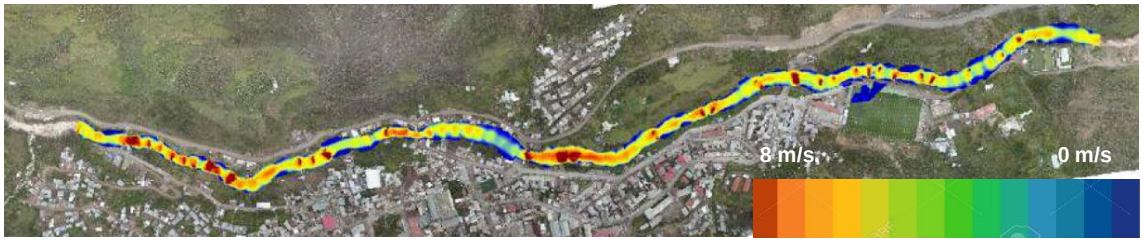
Nota. Elaboración propia

A continuación, los resultados del modelamiento hidráulico, en sus tres parámetros más importantes, estos nos ayudaran a determinar la vulnerabilidad de nuestra zona de estudio y proponer las soluciones a estos peligros.

Figura 109. *Imagen de profundidades máximas en el rio Chaupihuaranga, T=100 años.*

Nota. Elaboración propia

Figura 110. *Imagen de velocidades máximas en el rio Chaupihuaranga, T=100 años.*



Nota. Elaboración propia

Figura 111. *Imagen de nivel de superficie de agua en el rio Chaupihuaranga, T=100 años.*

Nota. Elaboración propia

Tabla del resumen de los valores promedios de tirantes y velocidades obtenidos en el modelamiento hidráulico del cauce a los largo del rio Chaupihuaranga, para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años.

Tabla 40. *Tabla de valores promedios de profundidad y velocidad, según periodo de retorno*

Rio Chaupihuaranga		
Periodo de Retorno (años)	Profundidad (m)	Velocidad (m/S9
TR_50	2.33	4.19
TR_100	2.53	4.41
TR_500	2.79	4.73

Nota. Elaboración propia

Ahora mostramos el cálculo de las alturas de encausamiento para cada sección transversal y cada progresiva desde nuestro modelamiento hidráulico.

Figura 112. *Secciones transversales Prog. 0+000.00 al 0+460.00*

Nota. Elaboración propia

Figura 113. *Secciones transversales Prog. 0+420.00 al 0+740.00*

Nota. Elaboración propia

Figura 114. *Secciones transversales Prog. 0+680.00 al 1+140.00*

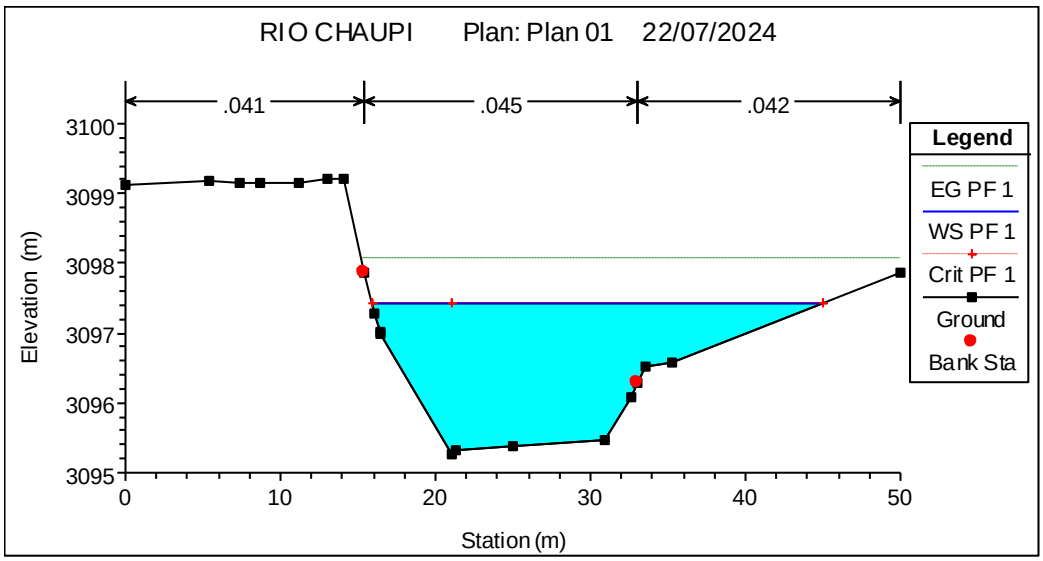
Nota. Elaboración propia

Figura 115. *Secciones transversales Prog. 1+140.00 al 1+564.41*

Nota. Elaboración propia

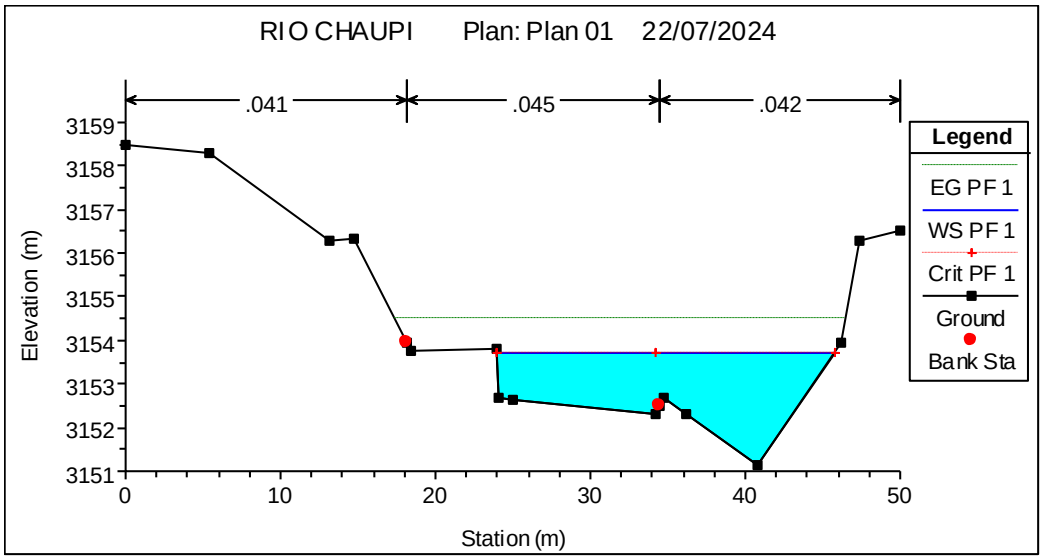
En los anexos se adjuntan los resultados tabulados de alturas, velocidades, pendientes y números de froud para cada sección trasversal, esto para un periodo de retorno de 100 años. A continuación algunas secciones extraídas del Hec RAS.

Figura 116. *Sección transversal del rio Chaupihuaranga, T=100 años, Prog. 0+180.00*



Nota. Elaboración propia

Figura 117. *Sección transversal del rio Chaupihuaranga, T=100 años, Prog. 1+100.00*



Nota. Elaboración propia

Se ha realizado la modelación hidráulica bidimensional del rio Chaupihuaranga para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años. Donde se obtuvo resultados de tirante y velocidad de flujo para cada simulación.

La simulación hidráulica del rio Chaupihuaranga, estima que se producirán inundaciones, este evento se daría entre la progresiva

1+420.00 hasta 1+520.00, aproximadamente, al lado del estadio municipal de la localidad de Yanahuanca, por tanto, es fundamental ejecutar obras de protección como medidas contra futuras inundaciones.

No obstante, por las velocidades resultantes del modelamiento, la socavación evidente y los antecedentes de erosión de los márgenes del rio Chaupihuaranga, es necesario la construcción de protecciones estructurales y no estructurales, como medias de defensa rivereña, a lo largo del rio Chaupihuaranga, esta protección debe estar enfocado en el tramo urbano donde se ubica la ciudad de Yanahuanca, es decir, en los márgenes donde actualmente existe población vulnerable, que prácticamente es alrededor de 1,5 km de largo a cada lado del rio Chaupihuaranga.

4.2.2. Resultado de estimación de riesgos ante inundaciones

4.2.2.1. Identificación y caracterización de peligros ante inundaciones

- **Ubicación geográfica**

  Punto de inicio KM 0+000 (Altura del puente Shiqui Shiqui):

  333603,980 E

  8840001,362 N

  Altitud: 3215 msnm.

  Punto de control KM 1+520,00 (Altura de la PTAR):

  335102,532 E

  8840161,354 N

  Altitud: 3116 msnm.

- **Tipo: Fenómenos de origen natural - socavación fluvial**

  Según su duración : Inundación dinámica o rápida (rio de alto pendiente)

Según su origen : Inundación Fluvial (desbordamiento de rio)

Origen : hidrológicos y geológicos

- **Caracterización del peligro**

Estimamos la frecuencia de los fenómenos y describimos sus efectos en función a la simulación hidráulica, en el tiempo y el área que se vaya ver afectado, por ello, es urgente identificar las zonas o áreas en peligro con tal detalle que nos ayude a tomar decisiones correctas de prevención.

La socavación que se produce a lo largo del área de la investigación ha sido motivo análisis para el presente proyecto, puesto que, en un enveto reciente de máxima avenida registrado en el 2019, se pudo observar que, éste causó daños materiales en zonas donde habitaban pobladores de la ciudad de Yanahuanca, la socavación lateral fue tan fuerte que hubo deslizamientos geológicos, colapso de viviendas y un peligro latente de desborde del cauce del rio Chaupihuaranga.

Por ello, en los anexos de esta investigación, presentaremos los mapas que nos ayudarán a identificar cada zona según sus propias características, donde además utilizamos el parámetro de evaluación de longitud de socavación para ponderar estos peligros.

A continuación, determinamos el nivel de intensidad, la frecuencia de ocurrencia de las inundaciones y finalmente identificamos en función a los dos parámetros anteriores el

nivel de peligrosidad del área situada en la ribera del rio Chaupihuaranga.

Figura 118. *Determinación de nivel de intensidad*

Niveles de intensidad	Profundidad x velocidad. del flujo (m2/s) (inundaciones dinámicas)
Muy alta	H*V > 1.5 m
Alta	0.5 m < H*V < 1.5 m
Media	0.25 m < H*V < 0.5 m
Baja	H*V < 0.25 m

Nivel de Intensidad		Rangos
Muy Alta		0,75 < NI ≤ 1
Alta		0,50 < NI ≤ 0,75
Media		0,25 < NI ≤ 0,50
Baja		0 < NI ≤ 0,25

Nota. De la simulación hidráulica podemos apreciar que se tiene profundidades mayores a los 2 metros y velocidades superiores a los 4 m/s, por tanto corresponde un nivel de intensidad Muy Alto con valores de 0,75 a 1,00. Elaboración propia.

Figura 119. *Evaluación de frecuencia de fenómenos*

Niveles de intensidad	Período de retorno en años (Tr)
Muy alta	1 < T < 5 años
Alta	5 < T < 15 años
Media	15 < T < 50 años
Baja	50 < T < 200 años ó más

Frecuencia		Rangos
Muy Alta		0,75 < F ≤ 1
Alta		0,50 < F ≤ 0,75
Media		0,25 < F ≤ 0,50
Baja		0 < F ≤ 0,25

Nota. Para la evaluación de frecuencia tomaremos en consideración que existen eventos fuertes de lluvias a cada año, sin embargo evaluaremos para periodos de retorno de 15 a 50 años, por tanto, corresponde un nivel de intensidad de frecuencia Media con valores de 0,25 a 0,50. Elaboración propia.

Figura 120. *Determinación de nivel de peligrosidad*

Intensidad				
Muy Alta	Peligro Medio 0,25	Peligro Alto 0,5	Peligro Muy Alto 0,75	Peligro Muy Alto 1
Alta	Peligro Bajo 0,19	Peligro Medio 0,38	Peligro Alto 0,56	Peligro Muy Alto 0,75
Media	Peligro Bajo 0,13	Peligro Medio 0,25	Peligro Medio 0,38	Peligro Alto 0,5
Baja	Peligro Bajo 0,06	Peligro Bajo 0,13	Peligro Bajo 0,19	Peligro Medio 0,25
	Baja	Medio	Alta	Muy Alto
	Frecuencia (años)			

Nivel de Peligrosidad	*Rangos*
Peligro Muy Alto	0,75 < NP ≤ 1
Peligro Alto	0,50 < NP ≤ 0,75
Peligro Medio	0,25 < NP ≤ 0,50
Peligro Bajo	0 < NP ≤ 0,25

Nota. En función a la intensidad calculada y la frecuencia obtenida, finalmente, calculamos el nivel de peligrosidad de inundación del rio Chaupihuaranga, obteniendo que este será de Peligro Alto, con valores de 0,50 a 0,75. Elaboración propia.

4.2.2.2. Análisis de vulnerabilidad ante peligros por inundaciones

Para la presente investigación tomaremos en consideración las vulnerabilidades consideradas en el manual de estimaciones de inundaciones, estos al final serán ponderados para obtener la vulnerabilidad total, a continuación el resultados de evaluación de vulnerabilidades y su ponderación total:

- **Vulnerabilidad Física**

Figura 121. *Evaluación Variable: Localización de variables*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Muy cercana 0.2 – 0 Km.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Cercana 0.2 – 1 Km.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Medianamente cerca 1 – 5 Km.	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Muy alejada > 5 Km.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Se cuanta con viviendas al lado de la rivera del rio, en distancias menores a los 20 metros, por tanto hay un riesgo Muy Alto, con valores de 0,75 a 1,00. Elaboración propia.

Figura 122. *Evaluación Variable: Material de construcción utilizada en viviendas*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Estructuras de adobe, caña y otros de menor resistencia, en estado precario	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Estructuras de adobe, piedra o madera, sin refuerzos estructurales	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Estructura de concreto, acero o madera, sin adecuada técnica constructiva	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Estructura sismorresistente con adecuada técnica constructiva (de concreto o acero)	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Se cuanta con viviendas construidas artesanalmente, por tanto hay un riesgo Muy Alto.

Figura 123. *Evaluación Variable: Características geológicas, calidad y tipo de suelos*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Zona muy fracturada, fallada, suelos colapsables (relleno, mapa freática alta con turba, material inorgánico, etc.)	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Zona medianamente fracturada, suelos con baja capacidad portante	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Zonas sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características geotécnicas	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. En la rivera del rio, en el tramo inicial hasta la progresiva 0+500 aproximadamente, se cuenta con relleno arrojado por pobladores, por tanto hay un riesgo Muy Alto.

Figura 124. *Determinamos el grado de vulnerabilidad física total*

RANGO DE LA VULNERABILIDAD FISICA	GRADO
0,75 < V ≤ 1	Muy Alto
0,50 < V ≤ 0,75	Alto
0,25 < V ≤ 0,50	Media
0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Para la obtención del grado de vulnerabilidad física total, se promedia las tres variables antes evaluadas, por tanto tenemos como resultado que la VF = Muy Alto (0,75-1,00).

- **Vulnerabilidad ambiental – ecológica**

Figura 125. *Evaluación Variable: Explotación de los recursos naturales*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Practicas negligentes e intensas de degradación en el cauce y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/uso indiscriminado de los suelos, recursos forestales), entre otros considerados básicos propios del lugar en estudio)	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Practicas negligentes periódicas o estacionales de degradación de cause y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/uso indiscriminado de los suelos y recursos forestales)	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Practicas de degradación del cauce y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/uso indiscriminado de los suelos y recursos forestales) sin asesoramiento técnico capacitado. Pero las actividades son de baja intensidad.	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Practicas de consumo/uso del cause y márgenes del río u otro continente de agua (suelos y recursos forestales) con asesoramiento técnico capacitado bajo criterios de sostenibilidad.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Para la evaluación de esta variable, recurrimos a la observación y diagnóstico de esta práctica en la rivera y se encontró un grado Ato de vulnerabilidad.

Figura 126. *Evaluación Variable: Fuentes emisoras de sustancias o materiales peligrosos*

INDICADOR	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
El área de estudio presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, afectando a más del 50% de la población.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
El área de estudio presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, afectando a más de la quinta de la población (entre el 20% y 50% de la población).	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
El área de estudio presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicas, afectando a sectores focalizados de la población (< 20%).	0,25 < V ≤ 0,50	Media
El área de estudio no presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, por lo que la población no se ve afectada.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Para la evaluación de esta variable, recurrimos a la observación y diagnóstico de esta práctica en la rivera y se encontró un grado Ato de vulnerabilidad, por el arrojo de basura, desperdicios de hogares, y en algunos casos aguas servidas.

Figura 127. *Determinamos el grado de vulnerabilidad ambiental - ecológica*

RANGO DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL - ECOLÓGICA	GRADO
0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
0,50 < V ≤ 0,75	Alta
0,25 < V ≤ 0,50	Media
0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Para la obtención del grado de vulnerabilidad ambiental – ecológica total, se promedia las dos variables antes evaluadas, por tanto, tenemos como resultado que la VAE = Alto (0,50- 0,75).

- **Vulnerabilidad económica**

Figura 128. *Evaluación variable: Actividad económica*

INDICADOR	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
El sistema de producción se basa en una actividad primaria extractiva, sin tecnificación, sin ningún criterio de sostenibilidad. El sistema de producción, bajo las condiciones en que se encuentran, no tiene oportunidades de insertarse a un mercado competitivo. Las actividades económicas realizadas por la población son poco rentables. No existen importantes inversiones. Se presenta un gran nivel de informalidad en las actividades económicas. El área en estudio se encuentra a una distancia que hace que la fluidez entre las áreas de producción y los mercados de intercambio y consumo sea muy pesado (locales y nacionales).	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
El sistema de producción, bajo las condiciones en que se encuentran, tiene muy poca posibilidad de insertarse a un mercado competitivo. Las actividades económicas realizadas por la población son poco rentables en su mayoría. Existen aisladas inversiones de rango medio, que tienen poco arrastre en la dinamización económica del lugar. Se presenta un importante nivel de informalidad en las actividades económicas El área en estudio se encuentra a una distancia que dificulta la fluidez entre las áreas de producción y los mercados de intercambio y consumo (locales y nacionales).	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
El sistema de producción cuenta con algunos puntos que presentan competitividad. Algunas actividades económicas realizadas por la población presentan cierto nivel de rentabilidad. Existen algunas inversiones que empiezan a dinamizar el área en estudio. Se presenta un importante nivel de informalidad en las actividades económicas. El área en estudio se encuentra a una distancia que proporciona cierta fluidez (diaria) en las áreas de producción y los mercados de intercambio y consumo (locales, nacionales y/o internacionales).	0,25 < V ≤ 0,50	Media

Nota. Para la evaluación de esta variable, recurrimos a la observación y diagnóstico de las actividades económicas de la zona, y se observó que se tiene como actividad económica principal la agricultura, en otros sectores la ganadería y el comercio, a menor escala, no existe la aplicación de tecnologías en ninguna de estas actividades, por tanto se concluyó que, se tiene un grado de vulnerabilidad Económico Muy Ato; VE = Muy Alto (0,75- 1,00).

- **Vulnerabilidad social**

Figura 129. *Evaluación de variable: nivel de organización*

INDICADOR	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
La organización política o social de la población es nula o presenta altos niveles de corrupción en su clase dirigencia y desprestigio popular. Existen disputas internas. La participación de la población, en la generación de estrategias de desarrollo o gestión del territorio, es nula o muy aislada. Existe un nulo o efímero interés de la población por participar en algún tipo de organización social. No existen comités vecinales de organización social (de defensa civil, seguridad ciudadana, vaso de leche, entre otros).No existen gremios organizados.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
La organización política o social de la población es efímera o nunca funcionan. Existen disputas internas entre estas organizaciones. Presentan algunos casos de corrupción en su clase dirigencial y desprestigio popular. Existe un bajo interés de la población por participar en algún tipo de organización social. La participación de la población, en la generación de estrategias de desarrollo o gestión del territorio, debido a su nivel de desorganización tiene poca fuerza en la toma de decisiones. Existen comités vecinales de organización social (de defensa civil, seguridad ciudadana, vaso de leche, entre otros), pero son muy deficientes en su gestión. No existen gremios organizados.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Existe organización política o social de la población. No existen disputas internas entre estas organizaciones con normalidad. Presentan casos aislados de corrupción en su clase dirigencial. Las organizaciones tienen funcionamiento todo el año pero en condiciones de "sobre vivencia".	0,25 < V ≤ 0,50	Media

Nota. Para la evaluación de esta variable, recurrimos a la entrevistas, y se encontró un grado Ato de vulnerabilidad.

Figura 130. *Evaluación de variable: Grado y tipo de Relación e Integración entre Instituciones y Organizaciones locales*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
No existe relación e integración entre las Instituciones y Organizaciones locales	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Débil relación e integración entre las Instituciones y Organizaciones <locales	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Existe una parcial relación e integración entre las Instituciones y Organizaciones locales	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Fuerte relación e integración entre las Instituciones y organizaciones locales	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Para la evaluación de esta variable, recurrimos a la entrevistas, y se encontró un grado Ato de vulnerabilidad.

Figura 131. *Determinamos el grado de vulnerabilidad social total*

VULNERABILIDAD SOCIAL	GRADO
0,75 < V ≤ 1	Muy Alto
0,50 < V ≤ 0,75	Alto
0,25 < V ≤ 0,50	Media
0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Para la obtención del grado de vulnerabilidad social total, se promedia las dos variables antes evaluadas, por tanto, tenemos como resultado que la VS = Alto (0,50- 0,75).

- **Vulnerabilidad educativa**

Figura 132. *Evaluación variable: Existencia de Capacitación en colegios en temas de Defensa Civil*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
No cuentan ni desarrollan ningún tipo de programa de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Desarrollan insuficientes programas de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura escasa.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Desarrollan con regular frecuencia programas de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura mayoritaria.	0,25 < V ≤ 0,50	Media

Nota. Para la evaluación de esta variable, recurrimos a las entrevistas, y se encontró un grado Ato de vulnerabilidad.

Figura 133. *Variable: Existencia de Capacitación de la población civil en temas de Defensa Civil*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
La totalidad de la población no cuenta ni desarrollan ningún tipo de programa de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
La población está escasamente capacitada en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura escasa.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
La población se capacita con regular frecuencia en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura mayoritaria.	0,25 < V ≤ 0,50	Media

Nota. Para la evaluación de esta variable, recurrimos a las entrevistas, y se encontró un grado Ato de vulnerabilidad.

Figura 134. *Evaluación Variable: Campañas de Difusión*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
No hay difusión en diversos medios de comunicación sobre temas de defensa civil para la población local.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Escasa difusión en diversos medios de comunicación sobre temas de defensa civil, existiendo el desconocimiento de la mayoría de la población.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Difusión masiva y poco frecuente en diversos medios de comunicación sobre temas de defensa civil, existiendo el conocimiento de un gran sector de la población.	0,25 < V ≤ 0,50	Media

Nota. Para la evaluación de esta variable, recurrimos a las entrevistas, y se encontró un grado Ato de vulnerabilidad.

Figura 135. *Determinación de grado de vulnerabilidad Educativa total*

VULNERABILIDAD EDUCATIVA	GRADO
0,75 < V ≤ 1	Muy Alto
0,50 < V ≤ 0,75	Alto
0,25 < V ≤ 0,50	Media
0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Para la obtención del grado de vulnerabilidad educativa total, se promedia las tres variables antes evaluadas, por tanto, tenemos como resultado que la VEd = Alto (0,50- 0,75).

- **Vulnerabilidad cultural e ideológica**

Figura 136. *Evaluación variable: Conocimiento colectivo sobre ocurrencia pasada de peligros*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Existe desconocimiento de toda la población sobre las causas y consecuencias de los desastres.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Existe un escaso conocimiento de la población sobre las causas y consecuencias de los desastres.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
La mayoría de la población tiene conocimientos sobre las causas y consecuencias de los desastres.	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Toda la población tiene conocimiento sobre las causas y consecuencias de los desastres.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Se encontró un grado Ato de vulnerabilidad.

Figura 137. *Evaluación variable: Percepción local del riesgo*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
La mayoría de la población tiene una percepción irreal, místico – religioso sobre la ocurrencia y consecuencia de desastres.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
La minoría de la población tiene una percepción realista y más místico – religiosa sobre la ocurrencia y consecuencia de desastres.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
La mayoría de la población tiene una percepción real sobre la ocurrencia y consecuencia de desastres.	0,25 < V ≤ 0,50	Media
La población total tiene una percepción real sobre la ocurrencia y consecuencia de desastres.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Se encontró un grado Ato de vulnerabilidad.

Figura 138. *Evaluación Variable: Actitud frente al riesgo*

INDICADORES	RANGO	GRADO DE VULNERABILIDAD
Actitud fatalista, conformista y con desidia de la mayoría de la población.	0,75 < V ≤ 1	Muy Alta
Actitud escasamente previsora de la mayoría de la población.	0,50 < V ≤ 0,75	Alta
Actitud parcialmente previsora de la mayoría de la población, asumiendo el riesgo y afrontarlo para prevenirlo.	0,25 < V ≤ 0,50	Media
Actitud previsora de toda la población, implementando diversas medidas para prevenir el riesgo.	0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Se encontró un grado Ato de vulnerabilidad.

Figura 139. *Determinación de grado de vulnerabilidad cultural e ideológica*

VULNERABILIDAD CULTURAL - IDEOLÓGICA	GRADO
0,75 < V ≤ 1	Muy Alto
0,50 < V ≤ 0,75	Alto
0,25 < V ≤ 0,50	Media
0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Para la obtención del grado de vulnerabilidad cultural e ideológica total, se promedia las tres variables antes evaluadas, por tanto, tenemos como resultado que la VCI = Alto (0,50- 0,75).

- **Ponderación y estratificación de la vulnerabilidad total**

  Definimos los valores evaluados anteriormente para calcular la vulnerabilidad total:

  ✓ (VF) Vulnerabilidad Física = 1,00

  ✓ (VAE) Vulnerabilidad Ambiental – Ecológica = 0,65

  ✓ (VE) Vulnerabilidad Económica = 1,00

  ✓ (VS) Vulnerabilidad Social = 0,65

  ✓ (Ved) Vulnerabilidad Educativa = 0,65

  ✓ (VCI) Vulnerabilidad Cultural – Ideológica = 0,65

$$VT = \frac{VF + VAe + VE + VS + VEd + VCI}{6}$$

$$\boldsymbol{VT = \frac{1,00 + 0,65 + 1,00 + 0,65 + 0,65 + 0,65}{6}}$$

$$\boldsymbol{VT = 0,76}$$

Figura 140. *Determinación de vulnerabilidad total de la zona en estudio*

VULNERABILIDAD TOTAL	GRADO
0,75 < V ≤ 1	Muy Alto
0,50 < V ≤ 0,75	Alto
0,25 < V ≤ 0,50	Media
0 < V ≤ 0,25	Baja

Nota. Calculamos a través de un promedio las seis vulnerabilidades evaluadas en el estudio, para que hallemos la vulnerabilidad total, el cual nos dio como resultado 0,76, esto quiere decir que está en el grado de vulnerabilidad Muy Alto.

4.2.2.3. Estimación de riesgo por inundaciones.

Finalmente calculamos el riesgos, el cual está en función al peligro y la vulnerabilidad de la zona ene estudio, esto a partir de la matriz que a continuación se presenta:

Figura 141. *Matriz de riesgo, determinación del nivel de riesgo*

Peligro Muy Alto 1	Riesgo Medio 0,25	Riesgo Alto 0,5	Riesgo Muy Alto 0,75	Riesgo Muy Alto 1
Peligro Alto 0,75	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Medio 0,38	Riesgo Alto 0,56	Riesgo Muy Alto 0,75
Peligro Medio 0,5	Riesgo Bajo 0,13	Riesgo Medio 0,25	Riesgo Medio 0,38	Riesgo Alto 0,5
Peligro Bajo 0,25	Riesgo Bajo 0,06	Riesgo Bajo 0,13	Riesgo Bajo 0,19	Riesgo Medio 0,25
	Vulnerabilidad Baja 0,25	Vulnerabilidad Media 0,5	Vulnerabilidad Alta 0,75	Vulnerabilidad Muy Alta 1

Nivel de Riesgo		*Rangos*
Riesgo Muy Alto		0,75 < R ≤ 1
Riesgo Alto		0,50 < R ≤ 0,75
Riesgo Medio		0,25 < R ≤ 0,50
Riesgo Bajo		0 < R ≤ 0,25

Nota. Finalmente, calculamos a través de la matriz de riesgo, el nivel de riesgo el cual está expuesta la zona en estudio, y este nos da un nivel de Riesgo Muy Alto, con un valor de 0,75, y que según la zonificación territorial del riesgo ante inundaciones fluviales, las personas que habitan en este lugar están en peligro tanto adentro como afuera de su casa, Existen grandes probabilidades de destrucción repentina de edificios y/o casas. Los eventos se manifiestan con una intensidad relativamente débil, pero con una frecuencia elevada o con intensidad fuerte. Zonas no aptas para instalación, expansión de asentamientos humanos, las áreas construidas deben ser reubicadas o protegidas con obras de protección y sistemas de alerta temprana.

4.2.3. Resultados de sistemas de protección

4.2.4.1. Propuesta de intervención para protección ante inundaciones

Ahora plantearemos propuesta de solución, respecto a los efectos probables que se refiere en la identificación y estimación de daños y pérdidas que podrían originarse a consecuencia del impacto del peligro en las zonas de riesgo medio, riesgo alto y riesgo muy alto.

Propuesta de orden estructural

- Construcción de defensa ribereña de 1,5 km aproximadamente, tanto en el margen izquierdo y derecho del rio Chaupihuaranga, con un total de 3,0 km de protección o defensa ribereña.
- Las defensas ribereñas, podrían ser de muros de concreto armado, muros de gaviones e incluso enrocado, estos deberán ser analizados en la etapa de diseño de ingeniería, el cual no es objetivo de la presente investigación, teniendo en consideración factores como la socavación, velocidades del flujo, profundidades del rio, tipo de suelo, entre otros factores de diseño estructural.

- Limpieza y descolmatación mecanizada en las riberas del río Chaupihuaranga, sin afectar el flujo natural de la vertiente, y conservando sus características iniciales del cauce.

Propuesta de orden no estructural

- Capacitación, sensibilización y educación de seguridad e identificación de peligros a la población de la ciudad de Yanahuanca, poniendo énfasis en la zonificación para la construcción de sus viviendas fuera de la faja marginal del rio Chaupihuaranga.
- Campañas de educación de identificación de peligros en centros educativos de la ciudad de Yanahuanca, de esta manera concientizar desde una edad temprana a los pobladores de esta localidad en el cuidado de su propia integridad y el manejo adecuado de la inversión de sus recursos económicos.
- Establecer y definir zonas seguras en una posible inundación, dándole al poblador recursos para su evacuación.
- Ejecución de simulacros de evacuación por fenómenos naturales, en particular por inundaciones, simulacros para ubicar a las personas a las zonas seguras prestablecidas.

4.3. Prueba de hipótesis

De la hipótesis general:

H1: Existe una relación directa y significativa entre el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, con la estimación de riesgos ante inundaciones en un tramo de la cuenca del rio Chaupihuaranga en el distrito de Yanahuanca, Pasco en el año 2023.

H0: No existe una relación directa y significativa entre el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, con la

estimación de riesgos ante inundaciones en un tramo de la cuenca del rio Chaupihuaranga en el distrito de Yanahuanca, Pasco en el año 2023.

Nota: Los modelos matemáticos utilizados como herramientas para el cálculo de caudales y la simulación hidráulica nos ayudaron a estimar los riesgos, hallando un nivel de riesgo muy alto; esto demuestra que con el uso de estos modelos matemáticos, podemos predecir la inundación y socavación lateral causada por el rio Chaupihuaranga, por tanto, queda demostrada y aceptada la hipótesis alternativa, que existe relación directa y significativa entre el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, con la estimación de riesgos ante inundaciones, hipótesis verdadera, el cual se confirma de acuerdo a los resultados obtenidos.

De las hipótesis específicas:

Hipótesis específica a)

H1: Existe una relación directa y significativa entre el estudio hidrológico de la cuenca del rio Chaupihuaranga, aplicando modelos matemáticos, con la obtención y comprensión de patrones de tormenta y la obtención de caudales máximos en el área de estudio, perteneciente a la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca.

H0: No existe una relación directa y significativa entre el estudio hidrológico de la cuenca del rio Chaupihuaranga, aplicando modelos matemáticos, con la obtención y comprensión de patrones de tormenta y la obtención de caudales máximos en el área de estudio, perteneciente a la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca.

Nota: A partir de los valores de precipitación de la estación Yanahuanca, definir las características y los parámetros geomorfológicas de la cuenca del rio Chaupihuaranga, se determinaron los valores de caudales máximos para diferentes periodos de retorno, el modelamiento hidrológico realizado prueba claramente la hipótesis alternativa planteada, el uso del modelo matemático

Hec-HMS ayudó a obtener los patrones de tormenta y caudales máximos para nuestra zona en estudio, aceptando la hipótesis verdadera.

Hipótesis específica b)

H1: Existe una relación directa y significativa entre el modelamiento hidráulico, aplicando un modelo matemático, con la simulación del comportamiento del rio Chaupihuaranga en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca, en condiciones normales y de inundación.

H0: No existe una relación directa y significativa entre el modelamiento hidráulico, aplicando un modelo matemático, con la simulación del comportamiento del rio Chaupihuaranga en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca, en condiciones normales y de inundación.

Nota: Con los valores de caudales, obtenidos previamente en el estudio hidrológico, modelamos y simulamos el flujo hidráulico del rio, para diferentes periodos de retorno, estos caudales demostraron que hay un desborde de agua en el margen derecho del rio Chaupihuaranga, a la altura del estadio municipal de Yanahuanca, desde periodos de retorno de 50 años hacia delante, afectando directamente a la infraestructura deportiva de la ciudad, además de causar socavaciones laterales en ambos márgenes y a lo largo del rio Chaupihuaranga, inundaciones que ocasionarían deslizamiento de terrenos y colapsos de viviendas por tener población habitando en estos márgenes, por tanto, aceptamos la hipótesis alternativa, puesto que se demuestra que la simulación hidráulica muestra el comportamiento del flujo del rio Chaupihuaranga.

Hipótesis específica c)

H1: Existe una relación directa y significativa entre la estimación de riesgos ante inundaciones en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca con las medidas de protección o mitigación de daños planteadas en un segmento de la cuenca del rio Chaupihuaranga.

H0: No existe una relación directa y significativa entre la estimación de riesgos ante inundaciones en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca con las medidas de protección o mitigación de daños planteadas en un segmento de la cuenca del rio Chaupihuaranga.

Nota: Los modelos matemáticos nos dieron claramente las áreas vulnerables, además pudimos estimar un riesgo por inundación muy alto con valor de 0.76; clasificado según el Manuel de INDECI, esta estimación finalmente nos permite prevenir, mitigar y promover medidas de protección, por tanto la hipótesis alternativa queda aceptada, ya que el modelo es capaz de reproducir de manera adecuada el comportamiento del río.

4.4. Discusión de resultados

Para investigadora, la cuenca se tiene que definir subcuencas, en el cual debe estar contemplado el casco urbano del municipio de Útica, en total la investigadora encontró 29 subcuencas con 12 ríos, todos ellos comprenden el municipio completo, así pudo ser identificar que la red hídrica comprende un orden 3, una red principal con 7 redes tributarias. (Rojas, 2021).

Para el caso de nuestra cuenca del rio Chaupihuaranga, utilizamos solo una delimitación total de la cuenca, es decir no lo hemos sub dividido en subcuentas, puesto que, la estación de precipitación que tenemos en el área de estudio es significativamente preponderante en la toma de datos meteorológicos.

El investigador plantea que para la quebrada Pindo esta presenta un área de 21,38 km2, según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018) es una cuenca grande, pero en comparación con los valores planteados por especialistas internacionales consideran a una cuenca pequeña, esto para cuencas menores a los 250 km2, esto sin duda afecta directamente a la metodología con la cual se realizará la estimación de caudales de diseño (Peña, 2020).

Para el caso de la cuenca del rio Chaupihuaranga se determinó un área de 807,34 km2, que a partir de una clasificación internacional se considera como grande, siendo este el punto de partida para la determinación de la metodología adecuada para la obtención de caudales de diseño.

El investigador presenta como resultado, que para la zona de la quebrada Pindo no se generan desbordes de en el rio, a partir de la modelación hidráulica que se realizó, esto porque la zona Pindo no es una planicie sino más bien tiene una topografía accidentada en la quebrada. (Peña, 2020).

Para nuestro caso en estudio de la cuenca del rio Chaupihuaranga, se puede apreciar que nuestra topografía es totalmente accidentada, pero como es una quebrada joven en formación, aún existe socavaciones laterales y la inestabilidad geológica hace que los desbordes de ríos sean latentes, a esto se suma que no hubo planificación urbana y los pobladores construyeron en las riberas, haciendo más peligroso aun el paso de la corriente del rio a través de la franja marginal.

En el análisis de las precipitaciones, Smirnov plantea que para la proyección de valores determinados, se realicen pruebas de ajuste con las cuales se puedan sustentar proyecciones futuras, por ello, a partir de esto se realiza la comparativa del delta teórico, para una serie de datos analizados, tomándose en consideración el menor, para el análisis estadístico realizado en la nuestra investigación, se realizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, los cuales nos dieron como resultado que la función de distribución probabilística con mejor ajuste es Person III, con el 63,29% y con un delta teórico menor de 0,12405, de aquí partió todo el estudio hidrológico realizado en la presente investigación.

CONCLUSIONES

Finalizo la presente investigación con las siguientes conclusiones:

- La cuenca del rio Chaupihuaranga, con punto de control o de aforo en la misma ciudad de Yanahuanca, tiene 807,34 km^2, por tanto está clasificada como una cuenca grande, también podemos resaltar el factor de forma el cual tiene un valor de 0,267, por ello clasifica como una cuenca alargada; además logramos determinar que es una cuenca aun en formación, ello explica la constante erosión de sus riberas.
- La cuenca es una de orden 6, el cual tiene 1098 ríos, y la longitud del cauce principal es de 54,99 km, la altitud máxima de la cuenca es de 5093 msnm y la mínima es de 3117 msnm. El tiempo de concentración hallado con Kirpich es de 4,4197 horas.
- La única estación con incidencia y cercana a la zona en estudio es la estación meteorológica Yanahuanca, ubicada en la misma ciudad de Yanahuanca, de aquí pudimos obtener la data para nuestro estudio, sin embargo esta data tuvo que ser procesado para extender y completar algunos datos faltantes, de esta manera hallar los valores sintéticos que nos sirvieron para el procesamiento hidrológico.
- Para el procesamiento de los datos de precipitación y determinar los hietogramas de tormentas, trabajamos con la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, este nos arrojó que la distribución Pearson III, tiene un mejor ajuste 63,29 % y el menor delta teórico de 0,12405
- El modelamiento hidrológico nos arrojó caudales máximos para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años, obteniendo 68.84 m^3/s, 92.07 m^3/s y 172.02 m^3/s, respectivamente. Sin embargo estos valores fueron corregidos, según la Organización Mundial Meteorológica, para el posterior modelamiento hidráulico, quedando con valores de 89,492 m^3/s, 119,691 m^3/s y 223,626 m^3/s para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente.

- En el modelamiento y simulación hidráulica 2D, se puedo apreciar que para un periodo de retorno de 100 años, podría existir inundación al lado derecho del rio, exactamente a la altura del estadio municipal, pero que a la vez por la velocidad de la corriente, existe una socavación constante en ambos márgenes del rio. Por tanto si existiría un fenómeno de inundación y socavación lateral, esto ocasionaría pérdidas materiales y quizá hasta pérdidas de vidas humanas.
- Así también podemos concluir que la zona en estudio está en un Nivel de Riesgo Muy Alto, con un valor de 0,76; según la tabla de valores de INDECI, esto nos da pie a seguir trabajando en la investigación de las cuencas y poblaciones cercanas.
- Finalmente se propone como solución estructural, la construcción de defensa ribereña en ambos márgenes del rio, el cual podrá ser de acuerdo al análisis estructural del profesional a cargo, pudiendo ser de muro de concreto armado, muro de gaviones, enrocado u otros, este último estudio no contempla los objetivos de la presente investigación, sin embargo, damos algunos alcances en el desarrollo del estudio para su continuidad, así mismo, se tendrá que contemplar soluciones no estructurales como son capacitaciones, campañas de sensibilización entre otros argumentos de enseñanza y educación a la población, en prevención de riesgos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de más estaciones hidrometeorológicas, para medición de precipitaciones, temperaturas y caudales, esto haría que la investigación sea aún más exacta en el cálculo de precipitaciones y por su puesto de cálculo de caudales máximos, mínimo y medios.
- Se recomienda poner a disposición el formato libre de descargar, la información pluviométrica que recopila SENAMHI, puesto que la información pluviométrica que presento en la investigación tuvo que ser gestionada por más de 3 meses para su obtención.
- Recomiendo la utilización de modelos matemáticos como el Hec-HMS y el Hec-RAS, herramientas muy útiles que ayudan en la toma de decisiones en problemáticas de esta naturaleza.
- Implementar sistemas de alerta temprana, para predecir este tipo de fenómenos, puesto que en la presenta investigación, se evidenció población que habita en el mismo margen del rio Chaupihuaranga.
- Se recomienda empezar una campaña de sensibilización y concientización sobre seguridad y prevención de riesgos ante inundaciones, en los pobladores de la ciudad de Yanahuanca.
- Se recomienda plantear cronogramas de descolmatación de ríos, y gestionar defensas ribereñas sostenibles en el tiempo, para que en el futuro no se lamente perdidas que podrían ser considerables.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Béjar, M. V. (2004). Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Béjar, M. V. (2006). Hidrología estadística. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Caicedo Toro, M. D., Cabrera Estupiñán, E., Zambrano Navarrete, X. A., Rodríguez Bravo, M. E., & Intriago Zambrano, P. E. (2021). Estudio de características morfológicas de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo de inundaciones repentinas. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores, 8(SPE2).

Castillo Luicho, G. R., & Ramírez Cornejo, S. O. (2014). Estudio hidrológico e hidráulico para el diseño del puente Pucayacu, localizado en el tramo: Mayocc–Huanta en la progresiva 3+ 200, aplicando los softwares HEC-HMS e Iber V2. 0.

Cely, S., & Penagos, D. (2020). Zonificación de amenazas por inundaciones en la quebrada Floresta del municipio de Floresta - Bocayá. Universidad Católica de Colombia.

Chereque Morán, W. (1989). Hidrología: para estudiantes de ingeniería civil.

Chow, V. T. (1995). Hidráulica de canales abiertos. McGRAW-HILL.

Chow, V., Maidment, D. R., & W., M. L. (1994). Hidraulica Aplicada. Colombia: Mc GRAW HILL.

Ferrando, F. J. (2006). Sobre inundaciones y anegamientos. Revista de urbanismo, (15), ág-25.

INDECI. (2011). Manual de estimació del riesgo ante inundaciones fluviales. INDECI.

Isidro, M. L., Herrero, A. D., & Huerta, L. L. (2009). Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones: avances recientes. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, (29), 29-37.

Ministerio de Transportes, (2011). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje de Perú.

Peña Villegas, J. C., & Núñez Guevara, D. (2020). Áreas de Inundación de la Quebrada Pindo, al Centro Poblado Perico, Distrito Chirinos, Provincia San Ignacio-Cajamarca.

Puelles Maza, J. C. (2015). Estudio hidráulico e hidrológico de la Cuenca Alto Perú y el

Porvenir en el asentamiento humano Las Mercedes Alto Perú, distrito de la Oroya, provincia de Yauli–Junín para la construcción futura de obras de arte ante amenazas de derrumbes provocado por la crecida del río, mediante el uso de los modelos matemáticos Hec-Hms y Hec-Georas.

Rodriguez Japa, L. (2023). Análisis hidrometeorológico para la identificación y mitigación de áreas de inundación y nivel de riesgo en la quebrada Atahuayón, Huácar, Huanuco-2022.

Rodríguez Palacios, Carlos, & Alarcón, José Ramón. (2021). Estudio hidromorfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores, 8(spe2), 00015. Epub 21 de abril de 2021.https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2598

Rojas, H., & Jiménez, K. (2021). Pronóstico de las áreas de inundación en el caso urbano del municipio de Útica (Cundinamarca) para diferentes periodos de retorno en la cuenca Quebrada Negra y Río Negro. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.

Saenz Solis, F. O. (2021). Estudio de inundación en el tramo del centro poblado Manchuria al centro poblado Sandial en el distrito de Pítipo, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque, mediante el uso de los software HEC-HMS E IBER.

Sánchez, J. (2020). Hidrología superficial y subterránea. USAL.

Segerer, C., & Villodas, R. (2006). Hidrología I. Universidad Nacional de Cuyo.

Soria-Díaz, H., Camarasa-Belmonte, A., & Carmona-González, P. (2015). Riesgo de inundación de la ciudad de Iquitos, Perú. Ciencia Amazónica (Iquitos), 5(1), 11-24. https://doi.org/10.22386/ca.v5i1.86

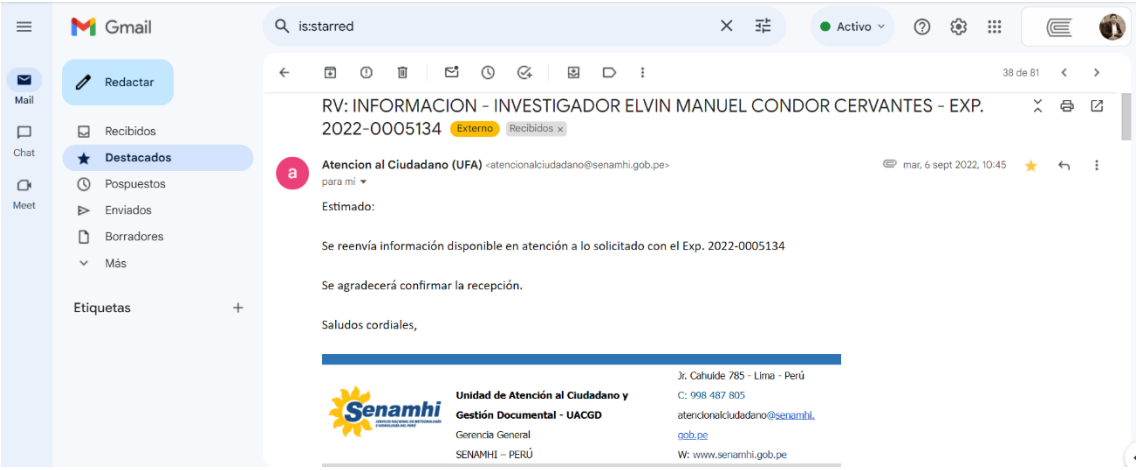
Villón, M. (2004). Hidrología. MaxSoft.

Villón, M. (2008). Hidrología estadística. Instituto tecnológico de Costa Rica.

ANEXOS

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Figura. *Evidencia de envío de data pluviométrica de SENAMHI*



Nota. Elaboración propia.

Tabla. *Datos remitidos por SENAMHI - Precipitación total mensual*

USUARIO: ELVIN MANUEL CONDOR CERVANTES

ESTACION: YANAHUANCA / 000475 / DZ-11 **LAT:** 10° 29' "S" **LON:** 76° 30' "W" **ALT:** 3137 msnm

DPTO: PASCO **PROV:** DANIEL ALCIDES CARRION **DIST:** YANAHUANCA

PARAMETRO: PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

UNIDAD: (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	S/D	S/D	55.9	91.6	24.8	0.0	0.0	6.1	49.2	42.6	50.1	30.1
1997	63.2	177.8	45.3	58.6	27.6	0.0	2.5	8.8	21.4	33.1	68.7	140.9
1998	138.2	168.7	139.2	70.5	11.9	15.4	0.0	0.3	14.4	81.5	70.9	48.6
1999	107.8	192.0	128.3	79.2	21.4	12.8	8.4	11.5	38.3	33.6	73.5	98.6
2000	137.5	84.6	167.8	43.4	15.5	9.2	11.6	0.0	11.4	42.9	60.6	78.2
2001	127.7	65.3	169.9	79.8	27.4	20.6	30.1	22.1	15.1	66.0	97.9	145.4
2002	43.3	79.7	106.3	65.2	26.3	2.6	70.9	18.3	69.2	108.0	93.7	114.4
2003	116.0	111.4	144.2	102.8	74.6	12.4	0.0	17.9	24.9	58.2	128.9	153.1
2004	29.9	84.9	86.5	29.4	39.0	35.9	20.8	16.1	48.0	121.6	94.7	150.7
2005	50.0	123.9	123.9	43.3	32.7	0.0	21.8	12.1	34.0	89.7	92.0	93.9
2006	114.3	101.2	148.6	60.3	12.2	22.3	0.5	12.3	51.2	98.0	98.9	138.0
2007	102.1	55.6	196.5	74.9	40.8	0.7	54.9	11.9	9.4	123.6	93.7	82.2
2008	104.8	122.0	81.1	34.9	30.4	13.7	0.0	11.4	39.4	78.4	71.8	53.0
2009	150.3	165.2	201.6	122.0	60.0	2.3	31.6	27.7	16.8	36.0	128.7	110.3
2010	108.2	101.4	123.6	50.1	5.4	5.8	0.0	0.0	12.1	74.1	110.2	148.7
2011	243.2	101.6	206.5	100.8	4.1	0.0	16.9	4.0	15.6	80.0	87.5	214.7
2012	82.2	178.4	91.3	137.8	8.5	30.4	16.3	2.2	51.1	59.1	130.7	187.4
2013	160.6	125.1	170.2	35.2	25.2	15.4	9.3	13.9	19.1	90.9	80.7	102.1
2014	195.4	158.5	146.4	78.6	56.0	16.7	19.7	8.0	33.8	49.7	109.5	190.2
2015	206.7	S/D	S/D	S/D	44.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	94.5	108.8	85.3	S/D	6.3	6.3	16.3	26.0	38.4	66.9	30.2	148.4
2017	232.4	128.8	283.0	114.0	70.9	S/D	6.1	22.3	119.2	74.8	115.0	128.8
2018	171.5	235.8	158.8	123.7	37.1	30.5	19.4	S/D	S/D	S/D	91.5	153.9
2019	166.7	S/D	144.7	40.3	19.8	6.0	3.1	4.2	20.7	34.0	55.6	161.0
2020	69.3	88.3	78.8	22.0	68.2	3.2	13.6	0.0	27.7	35.2	51.0	84.8
2021	155.5	51.0	109.9	75.1	16.1	35.7	3.5	7.8	34.6	7.8	93.3	75.5
2022	82.1	114.4	104.5	54.5	26.8	14.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D

S/D= SIN DATOS

Nota. Data remitido por SENAMHI.

Tabla. *Datos remitidos por SENAMHI - Precipitación máxima en 24 horas*

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS
UNIDAD: (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	S/D	S/D	17.5	21.0	13.0	0.0	0.0	4.1	20.4	14.2	12.7	8.7
1997	22.0	21.0	13.4	12.0	10.0	0.0	1.0	3.0	8.8	7.0	15.0	18.0
1998	19.4	37.7	18.8	20.0	5.4	7.2	0.0	0.3	7.0	15.0	10.8	14.5
1999	14.0	23.0	32.0	13.0	5.7	4.2	4.5	11.0	14.0	15.0	15.0	30.0
2000	18.0	13.8	18.6	10.0	4.3	4.0	4.6	0.0	3.0	7.0	14.0	19.2
2001	15.7	11.2	16.0	18.2	10.0	6.6	13.0	12.5	5.7	9.4	20.0	28.3
2002	10.1	15.2	14.2	18.2	9.7	2.1	10.6	7.3	14.5	14.7	15.9	18.0
2003	17.3	23.2	19.2	14.6	18.8	4.4	0.0	7.5	7.5	16.3	45.2	22.9
2004	6.9	22.1	10.6	7.3	17.0	11.1	7.6	6.5	23.4	20.9	20.0	22.7
2005	15.4	15.7	12.7	10.3	24.8	0.0	7.0	5.0	15.1	22.5	30.7	12.4
2006	16.8	14.0	16.8	18.7	6.6	3.9	0.5	4.9	11.2	17.1	15.4	22.5
2007	17.8	10.2	19.0	12.5	9.3	0.7	23.3	8.0	5.0	35.3	21.5	15.6
2008	12.0	23.3	12.8	14.5	10.0	7.5	0.0	3.8	13.2	15.9	15.1	13.7
2009	20.0	17.6	27.0	31.5	13.4	2.3	15.7	8.3	6.0	15.0	30.0	18.0
2010	21.0	20.0	12.9	9.9	2.8	5.8	0.0	0.0	5.2	12.0	31.3	25.5
2011	21.2	21.8	25.5	21.5	3.2	0.0	5.1	2.2	4.0	11.0	17.1	28.0
2012	13.7	17.2	11.9	17.1	4.2	15.8	5.8	2.2	18.2	13.0	23.4	33.0
2013	17.8	19.2	19.0	10.3	4.7	4.1	4.1	7.1	4.1	13.0	15.2	12.0
2014	14.8	17.9	17.8	10.6	10.1	5.9	7.8	4.3	12.0	12.0	15.8	20.7
2015	23.6	S/D	S/D	S/D	19.6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	22.2	12.0	13.4	S/D	2.8	4.2	10.2	7.8	10.5	12.1	7.1	19.2
2017	23.3	17.2	30.0	16.1	10.8	S/D	6.1	5.6	22.7	11.8	15.4	20.0
2018	27.7	29.0	22.6	32.6	12.7	11.3	4.8	S/D	S/D	S/D	14.5	22.6
2019	25.7	S/D	16.5	10.6	7.5	2.5	1.0	2.8	6.3	11.2	8.0	18.7
2020	13.8	22.8	8.0	5.7	12.2	1.1	9.0	0.0	8.5	8.3	14.8	8.4
2021	21.0	9.3	11.8	10.4	4.3	18.6	1.5	3.7	5.2	3.7	22.3	7.6
2022	13.0	13.6	12.5	13.7	8.5	4.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D

S/D= SIN DATOS

Nota. Data remitido por SENAMHI.

Tabla. *Data procesada - Precipitación máxima en 24 horas, completados y extendidos*

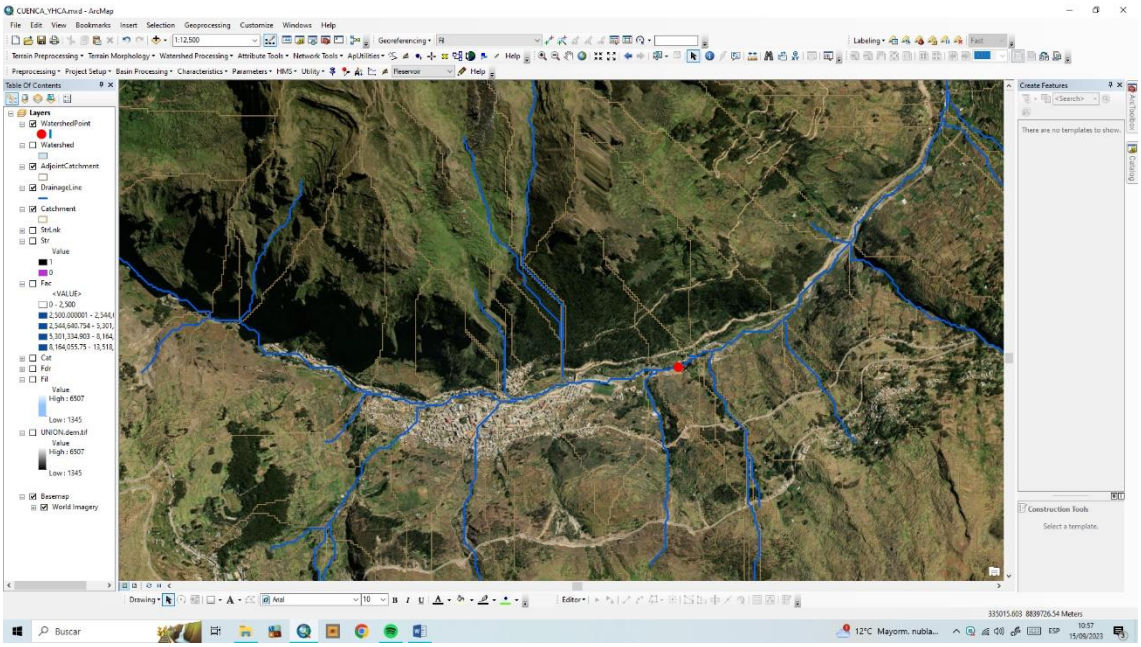
EXTENCIÓN Y COMPLETACION DE DATOS

PARAMETRO: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS

LATITUD:	10° 29´ "S"			**LONGITUD:**	76° 30´ "W"				**ALTITUD:**	3137 msnm		
DPTO:	PASCO			**PROV:**	DANIEL ALCIDES CARRIÓN				**DIST:**	YANAHUANCA		
UNIDAD:	mm			**ESTACIÓN:**	YANAHUANCA				**CÓDIGO:**	000475 / DZ - 11		
AÑO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
1990	15.98	22.79	21.46	21.01	3.20	6.42	0.37	4.99	9.94	20.28	9.83	11.15
1991	19.48	13.73	27.21	22.26	17.89	6.07	6.62	3.59	5.43	13.94	11.80	15.40
1992	24.43	21.72	14.87	17.56	3.35	5.77	5.80	4.48	18.79	26.21	8.07	16.10
1993	13.55	27.56	14.49	9.39	4.37	8.49	10.19	7.50	15.91	20.17	20.93	13.52
1994	17.62	17.84	13.31	6.94	6.24	2.89	3.34	1.38	3.11	18.30	13.70	20.78
1995	21.75	19.96	12.16	12.37	8.20	10.34	2.93	3.26	9.15	15.01	13.59	18.62
1996	20.41	20.22	17.50	21.00	13.00	0.00	0.00	4.10	20.40	14.20	12.70	8.70
1997	22.00	21.00	13.40	12.00	10.00	0.00	1.00	3.00	8.80	7.00	15.00	18.00
1998	19.40	37.70	18.80	20.00	5.40	7.20	0.00	0.30	7.00	15.00	10.80	14.50
1999	14.00	23.00	32.00	13.00	5.70	4.20	4.50	11.00	14.00	15.00	15.00	30.00
2000	18.00	13.80	18.60	10.00	4.30	4.00	4.60	0.00	3.00	7.00	14.00	19.20
2001	15.70	11.20	16.00	18.20	10.00	6.60	13.00	12.50	5.70	9.40	20.00	28.30
2002	10.10	15.20	14.20	18.20	9.70	2.10	10.60	7.30	14.50	14.70	15.90	18.00
2003	17.30	23.20	19.20	14.60	18.80	4.40	0.00	7.50	7.50	16.30	45.24	22.90
2004	6.90	22.10	10.60	7.30	17.00	11.10	7.60	6.50	23.40	20.90	20.00	22.70
2005	15.40	15.70	12.70	10.30	24.80	0.00	7.00	5.00	15.10	22.50	30.70	12.40
2006	16.80	14.00	16.80	18.70	6.60	3.90	0.50	4.90	11.20	17.10	15.40	22.50
2007	17.80	10.20	19.00	12.50	9.30	0.70	23.30	8.00	5.00	35.30	21.50	15.60
2008	12.00	23.30	12.80	14.50	10.00	7.50	0.00	3.80	13.20	15.90	15.10	13.70
2009	20.00	17.60	27.00	31.50	13.40	2.30	15.70	8.30	6.00	15.00	30.00	18.00
2010	21.00	20.00	12.90	9.90	2.80	5.80	0.00	0.00	5.20	12.00	31.30	25.50
2011	21.20	21.80	25.50	21.50	3.20	0.00	5.10	2.20	4.00	11.00	17.10	28.00
2012	13.70	17.20	11.90	17.10	4.20	15.80	5.80	2.20	18.20	13.00	23.40	33.00
2013	17.80	19.20	19.00	10.30	4.70	4.10	4.10	7.10	4.10	13.00	15.20	12.00
2014	14.80	17.90	17.80	10.60	10.10	5.90	7.80	4.30	12.00	12.00	15.80	20.70
2015	23.60	13.82	22.67	11.53	19.60	2.67	2.04	1.28	22.00	12.94	11.86	22.46
2016	22.20	12.00	13.40	20.90	2.80	4.20	10.20	7.80	10.50	12.10	7.10	19.20
2017	23.30	17.20	30.00	16.10	10.80	5.81	6.10	5.60	22.70	11.80	15.40	20.00
2018	27.70	29.00	22.60	32.60	12.70	11.30	4.80	5.68	15.87	17.46	14.50	22.60
2019	25.70	18.53	16.50	10.60	7.50	2.50	1.00	2.80	6.30	11.20	8.00	18.70
2020	13.80	22.80	8.00	5.70	12.20	1.10	9.00	0.00	8.50	8.30	14.80	8.40
2021	21.00	9.30	11.80	10.40	4.30	18.60	1.50	3.70	5.20	3.70	22.30	7.60
2022	13.00	13.60	12.50	13.70	8.50	4.70	20.67	8.49	7.63	16.36	17.54	23.13

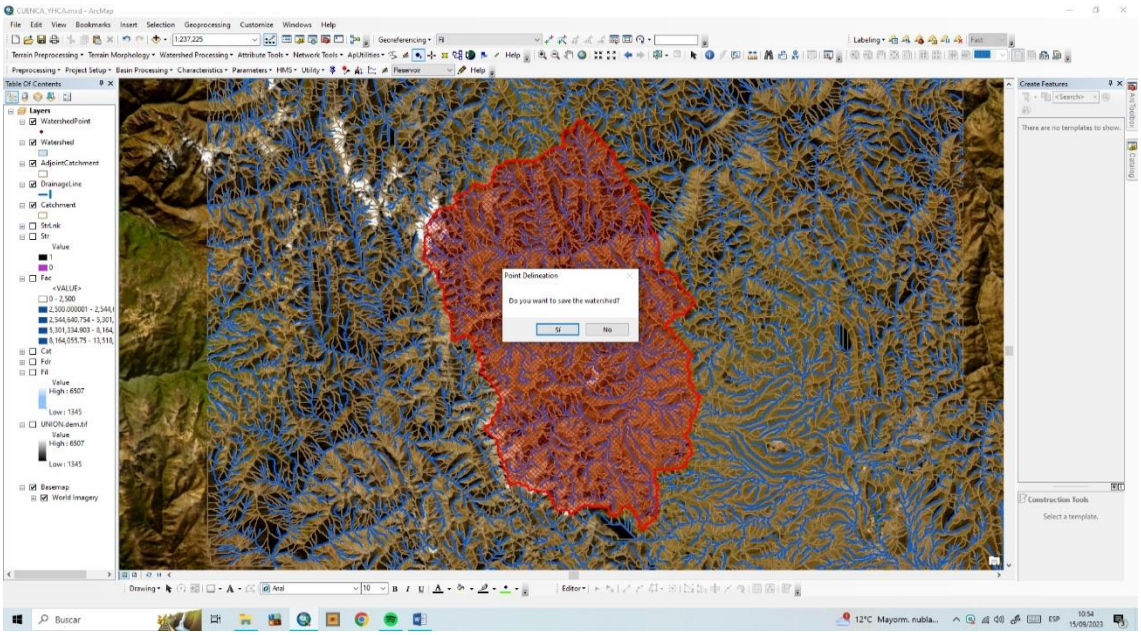
Nota. Data remitido por SENAMHI.

Figura. *Definición de punto de control o punto de aforo de cuenca*



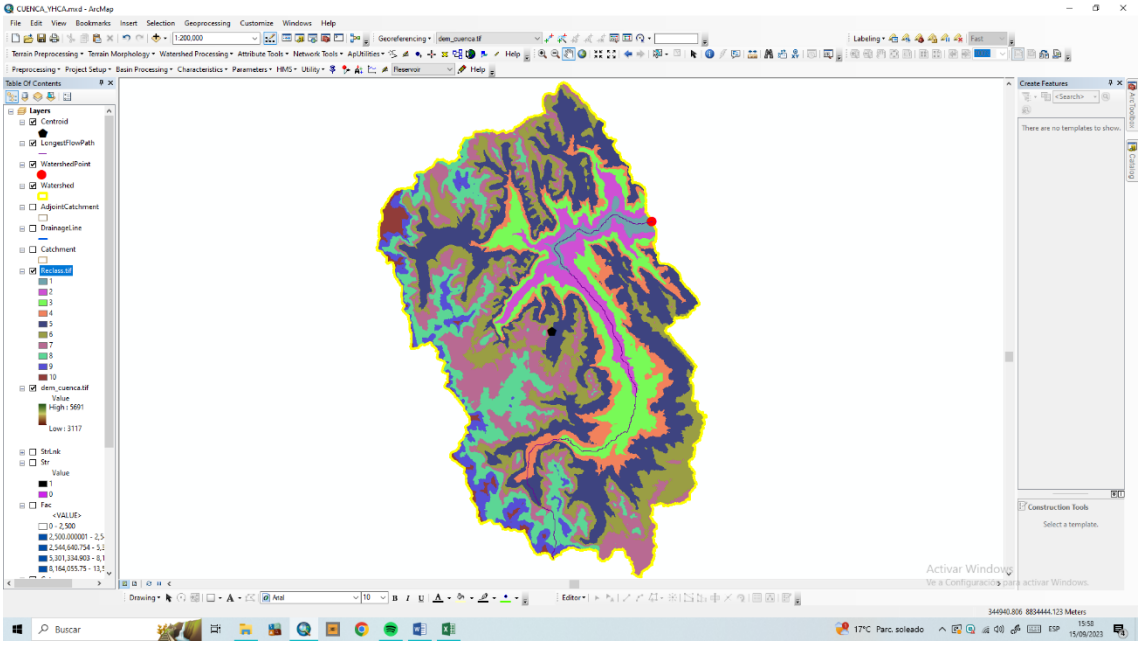
Nota. Delimitación de cuenca hidrológica, utilizando el software ArcGIS, en la imagen podemos apreciar la colocación y definición del punto de control de la cuenca, punto que está ubicado aguas abajo del segmento del rio Chaupihuaranga. Elaboración propia.

Figura. *Cuenca delimitada*



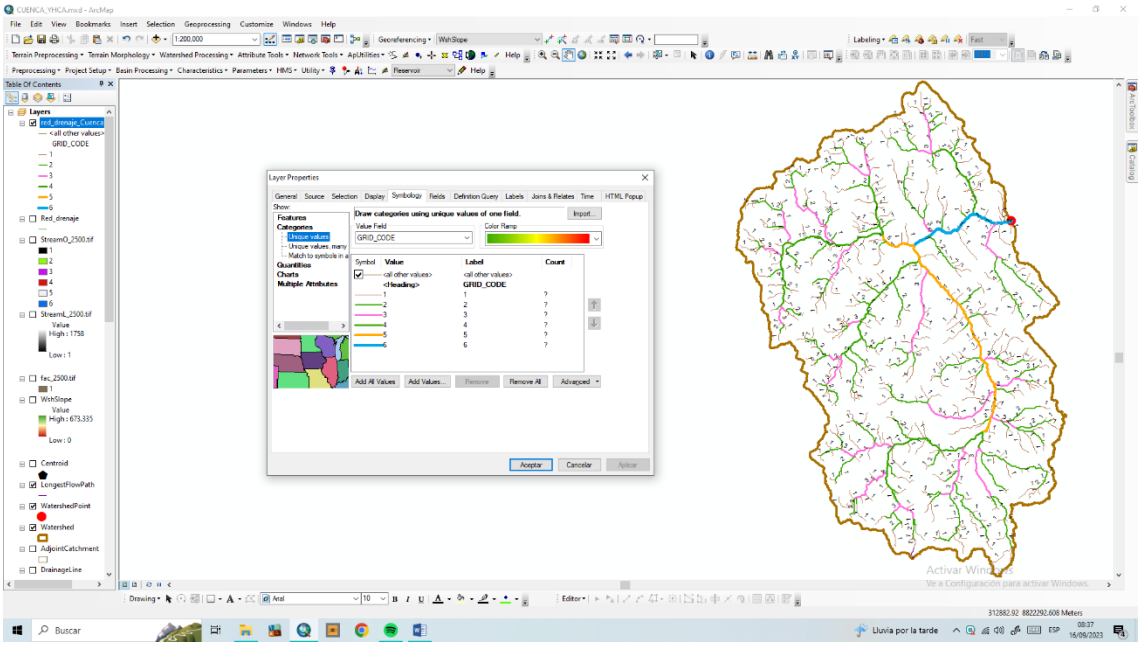
Nota. Cuenca delimitada, el software nos consulta si esta es la cuenca que queremos añadir al nuestras capas. Elaboración propia.

Figura. *Imagen de clasificación de áreas en función a su altitud*



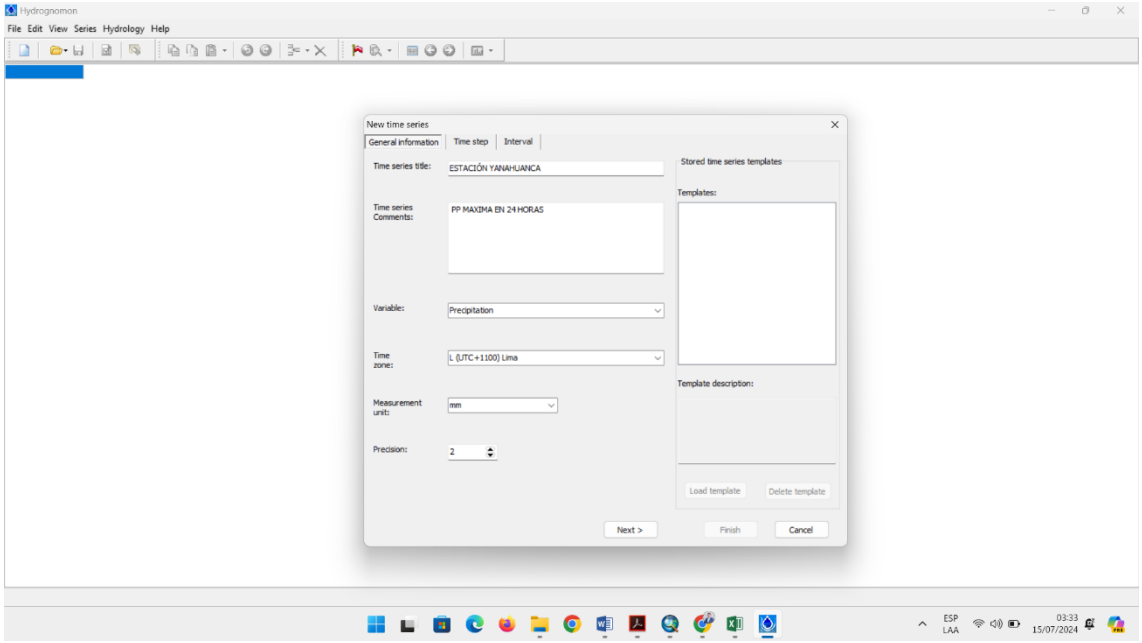
Nota. Generada la superficie de la cuenca, le pedíamos al software que haga una reclasificación de esta superficie, en función a las alturas y área, esto nos serve para encontrar la curva hipsométrica. Elaboración propia.

Figura. *Definición de red hídrica de la cuenca*



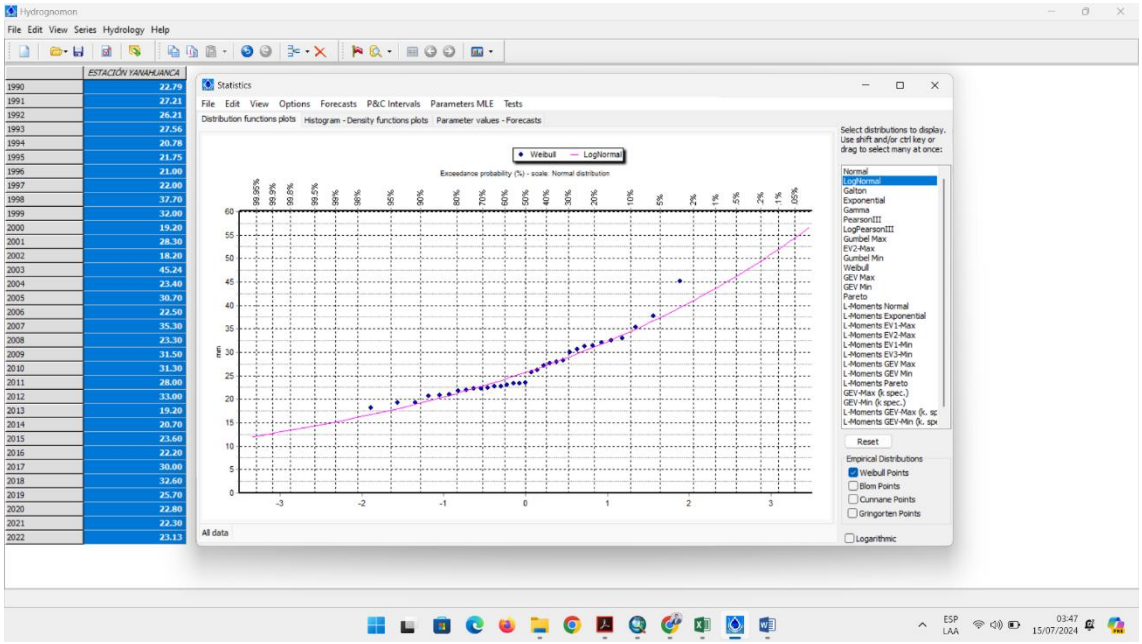
Nota. Así también, generamos la red hídrica de la cuenca Chaupihuaranga, también podemos apreciar el rio más largo o la corriente más larga. Elaboración propia.

Figura. *Creación de proyecto en Hydrognomon*



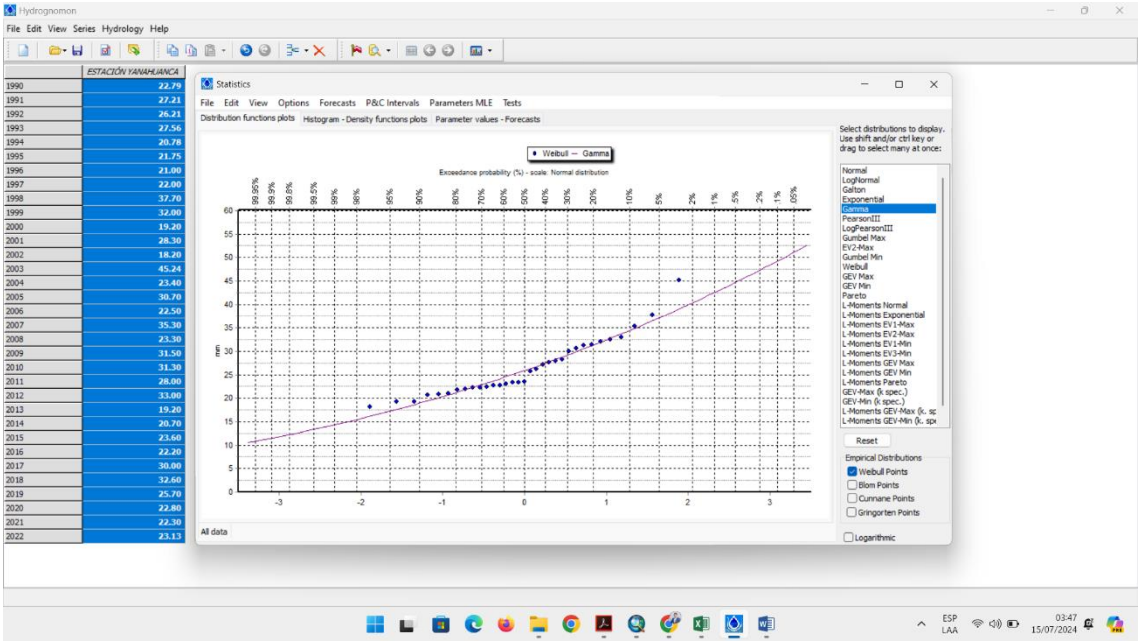
Nota. Ingresamos nuestra información pluviométrica para realizar nuestra prueba de bondad de ajuste con el software Hydrognomon. Elaboración propia.

Figura. *Comportamiento de datos en distribución LogNormal*



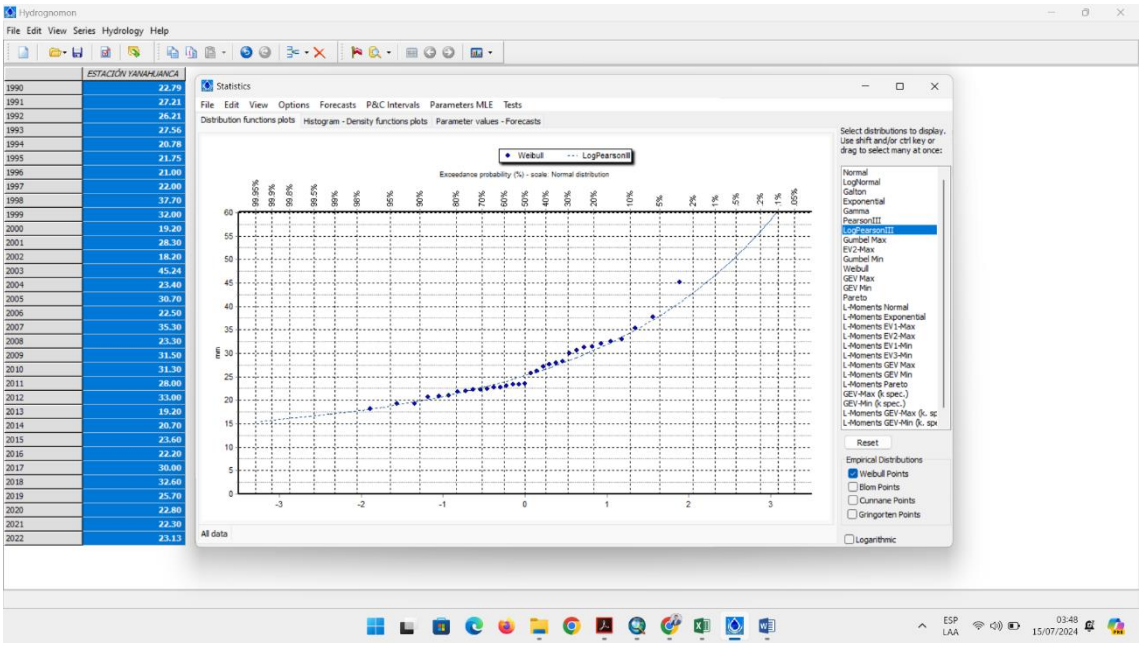
Nota. Elaboración propia.

Figura. *Comportamiento de datos en distribución Gamma*



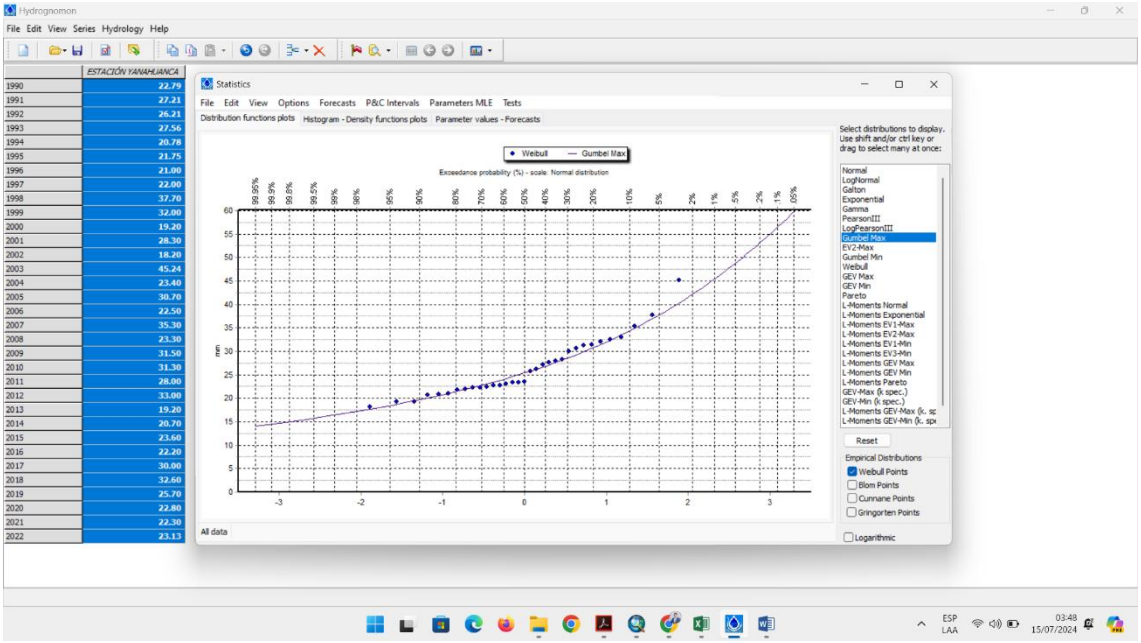
Nota. Elaboración propia.

Figura. *Comportamiento de datos en distribución LogPearsonIII*



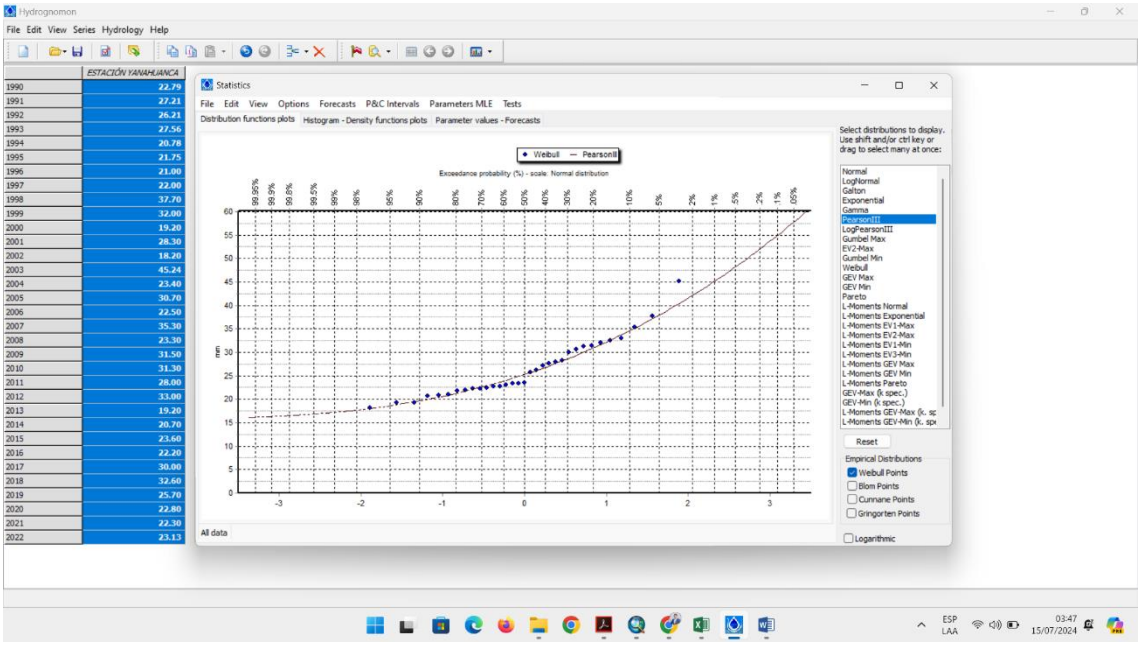
Nota. Elaboración propia.

Figura. *Comportamiento de datos en distribución Gumbel Max*



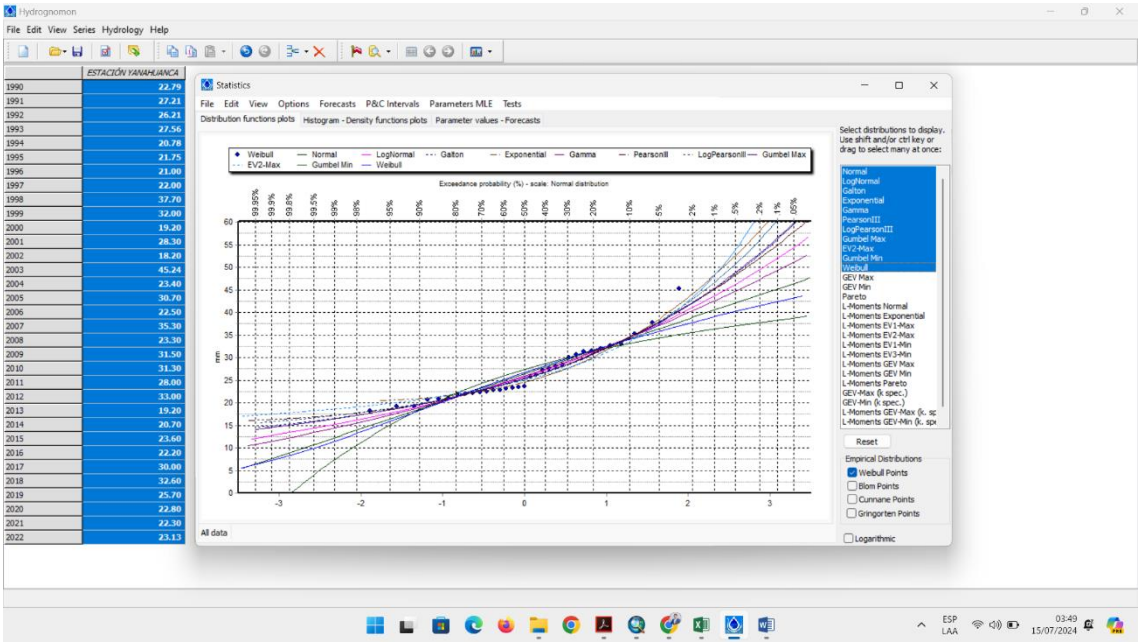
Nota. Elaboración propia.

Figura. *Comportamiento de datos en distribución Person III*



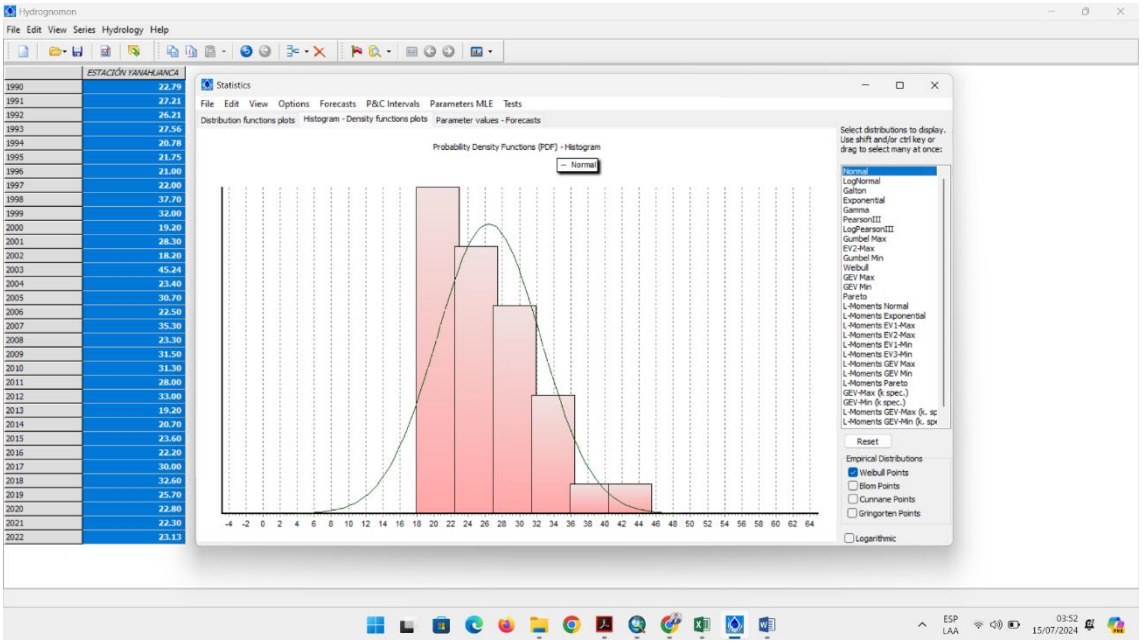
Nota. Elaboración propia.

Figura. *Comparación de comportamiento de datos en diferentes distribuciones*



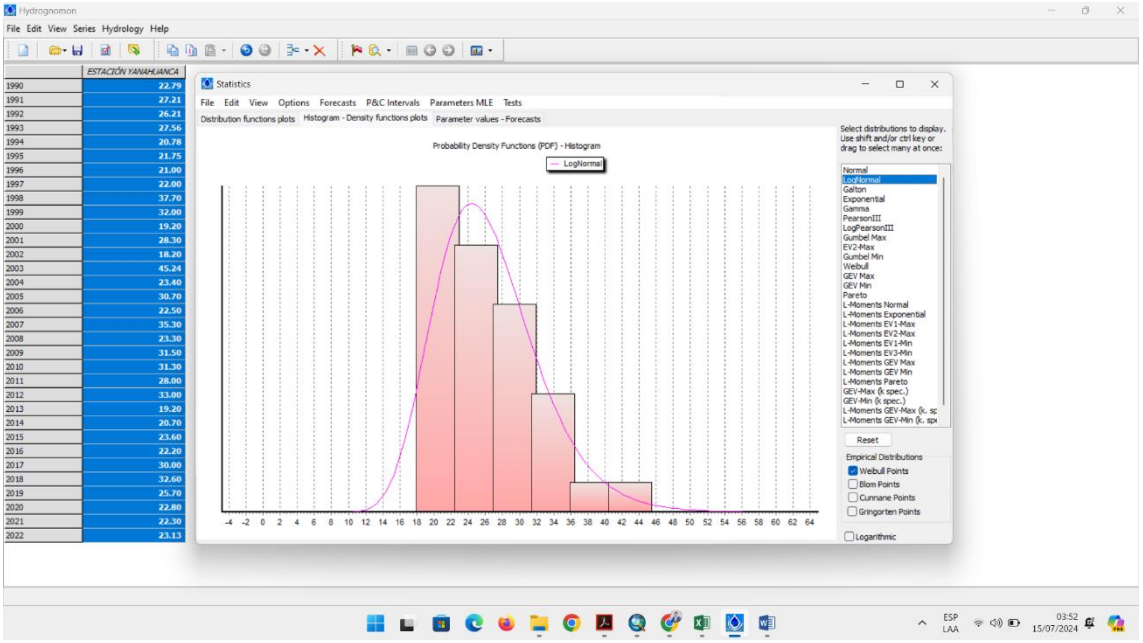
Nota. Diagrama de dispersión de distribuciones probabilísticas. Elaboración propia.

Figura. *Histograma de distribución Normal*



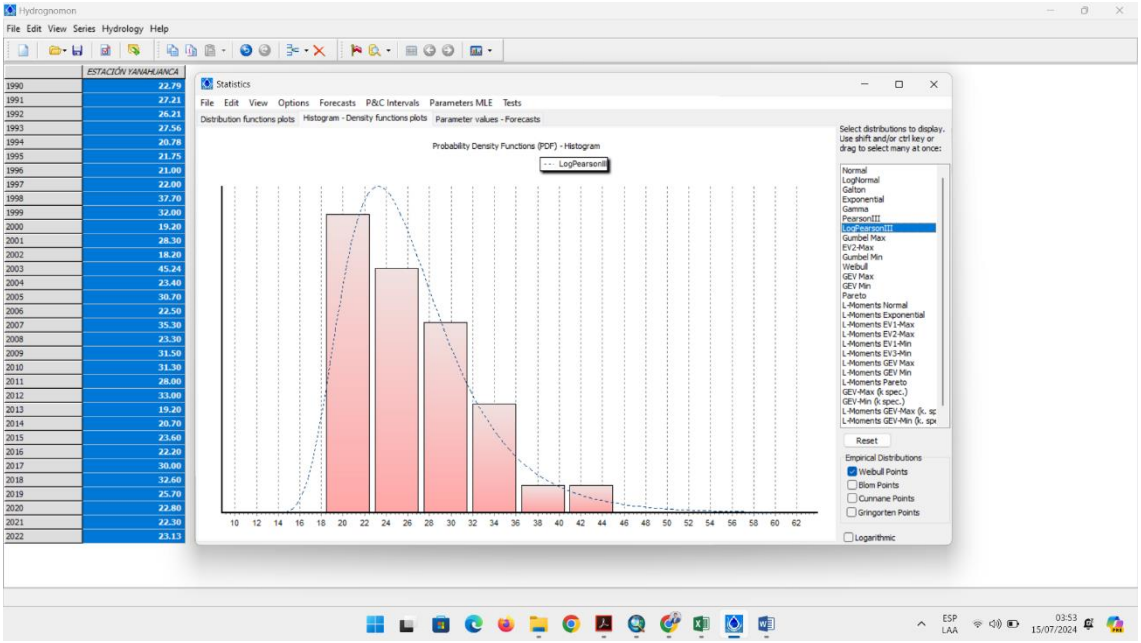
Nota. Elaboración propia, modelado de campana de Gauss.

Figura. *Histograma de distribución LogNormal*



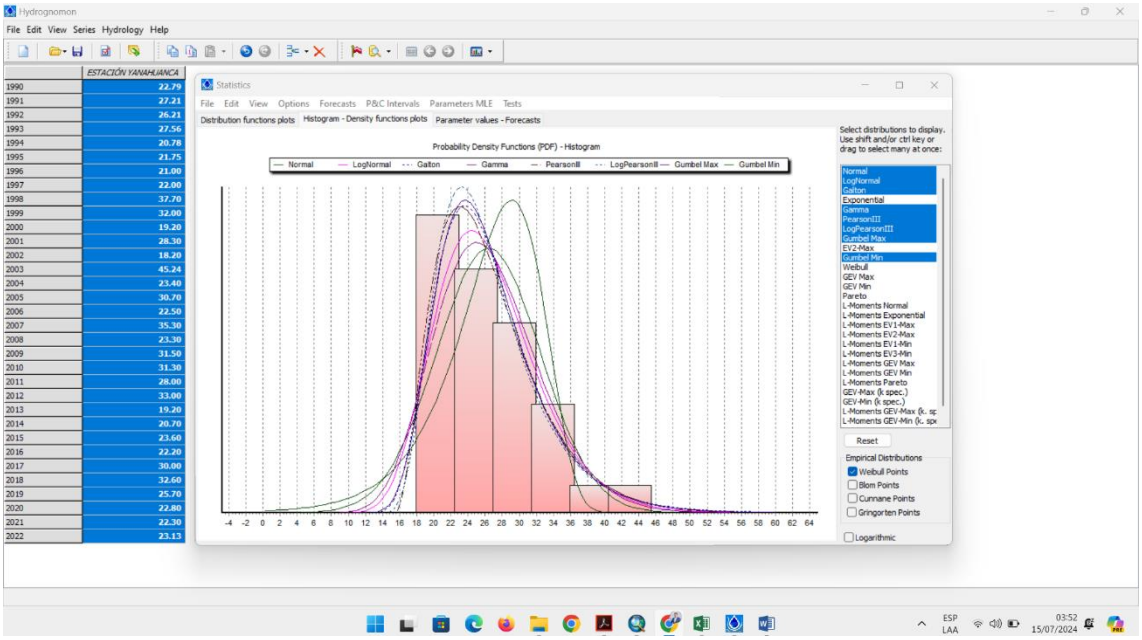
Nota. Elaboración propia, modelado de campana de Gauss.

Figura. *Histograma de distribución LogPersonIII*



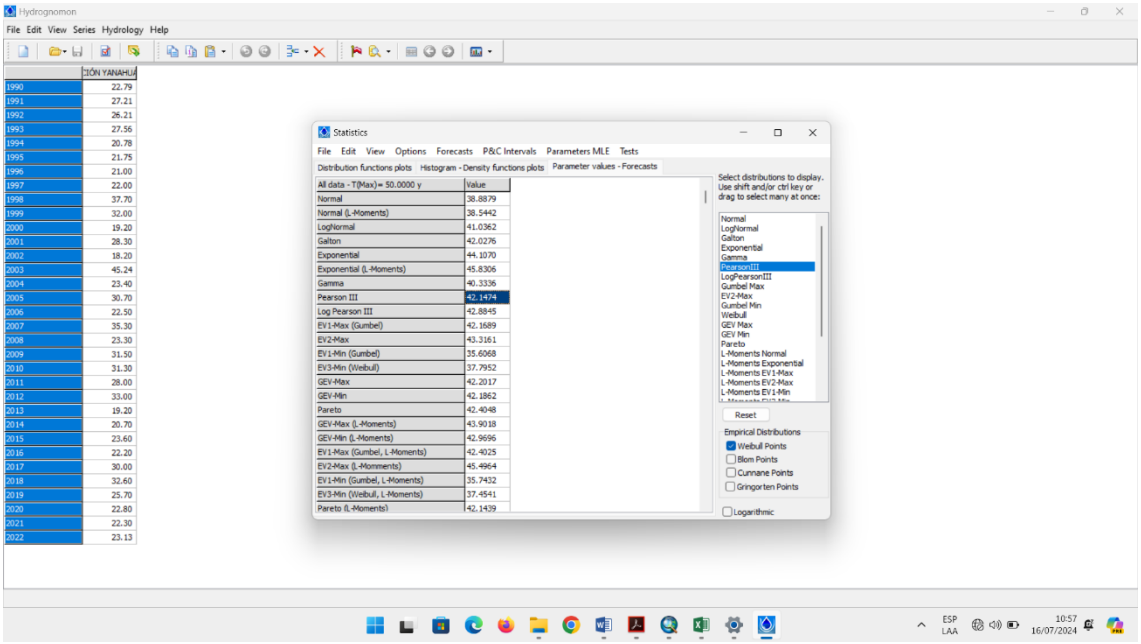
Nota. Elaboración propia, modelado de campana de Gauss.

Figura. *Comparación de comportamiento de campana de Gauss para cada distribución*



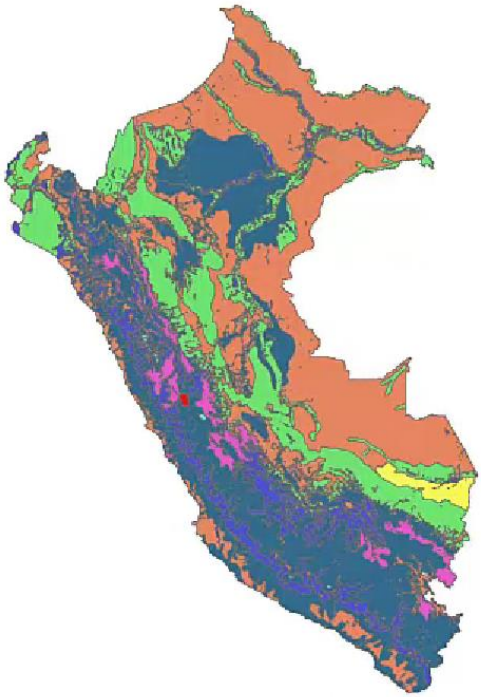
Nota. Elaboración propia, modelado de campana de Gauss.

Figura. *Cálculo de precipitaciones máximas para cada periodo de retorno*



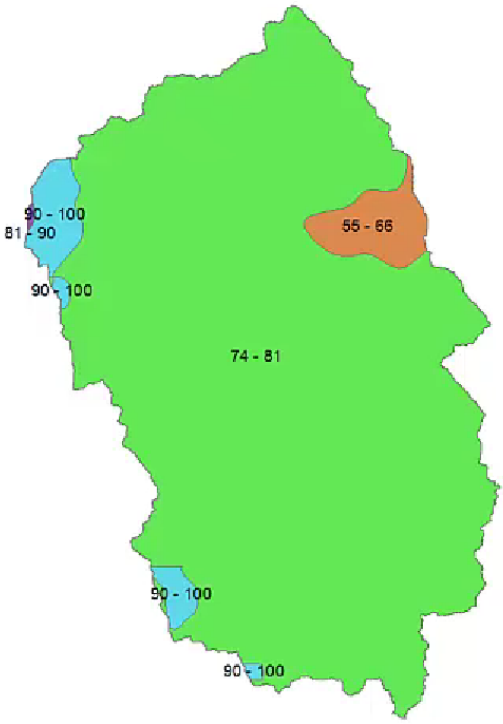
Nota. Elaboración propia, modelado de campana de Gauss.

Figura. *Shapefile a nivel nacional del Número Curva del ANA*



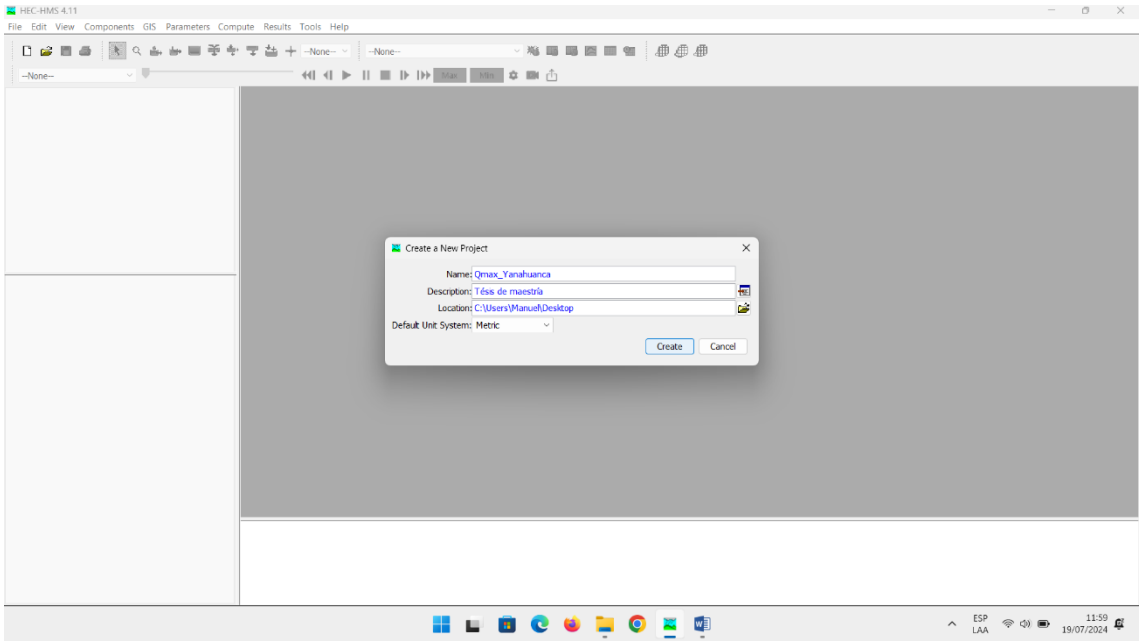
Nota. Adaptado de la Autoridad Nacional del Agua.

Figura. *Clip o corte del CN de la cuenca respecto al Shapefile del ANA*



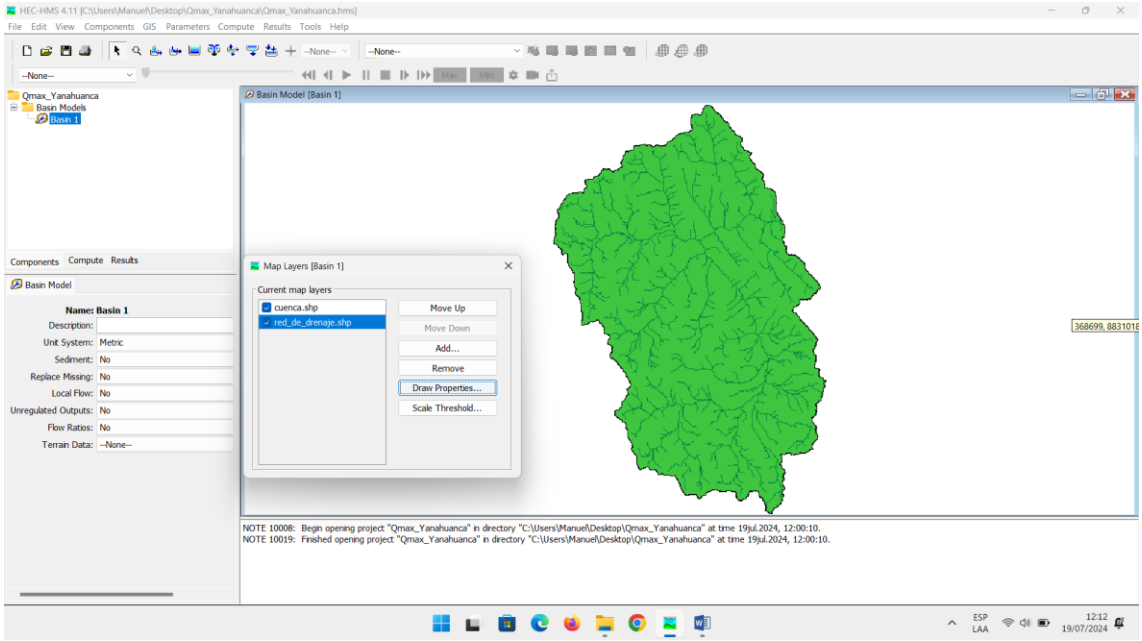
Nota. Adaptado de la Autoridad Nacional del Agua.

Figura. *Creación de modelamiento hidrológico en Hec-HMS*



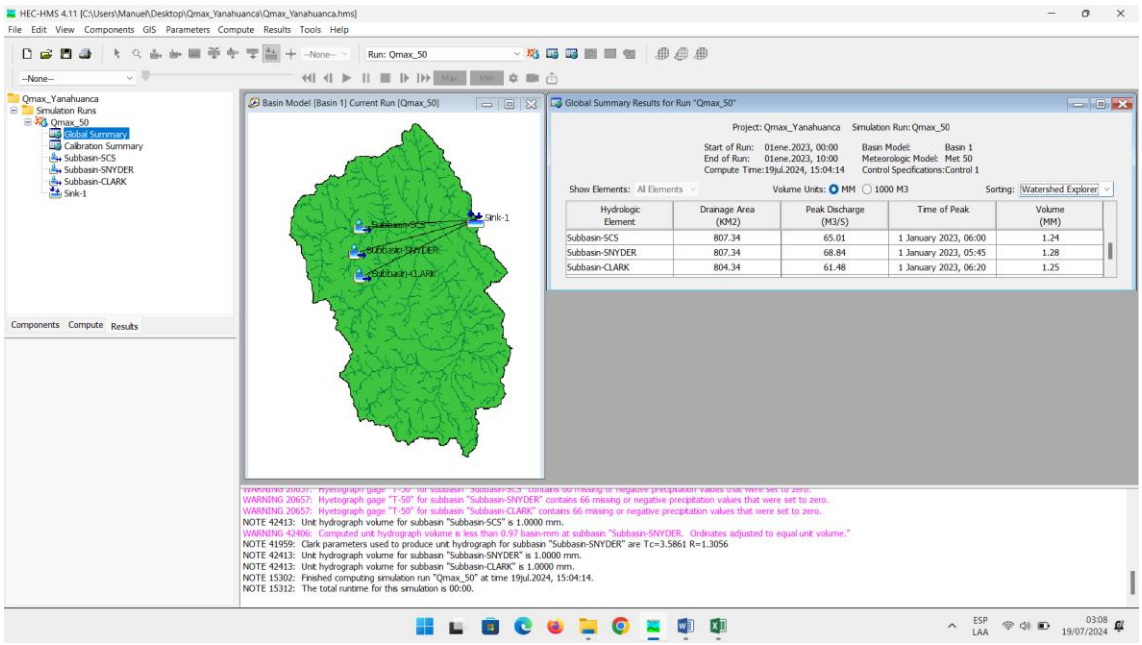
Nota. Elaboración propia.

Figura. *Ingreso de datos al modelo*



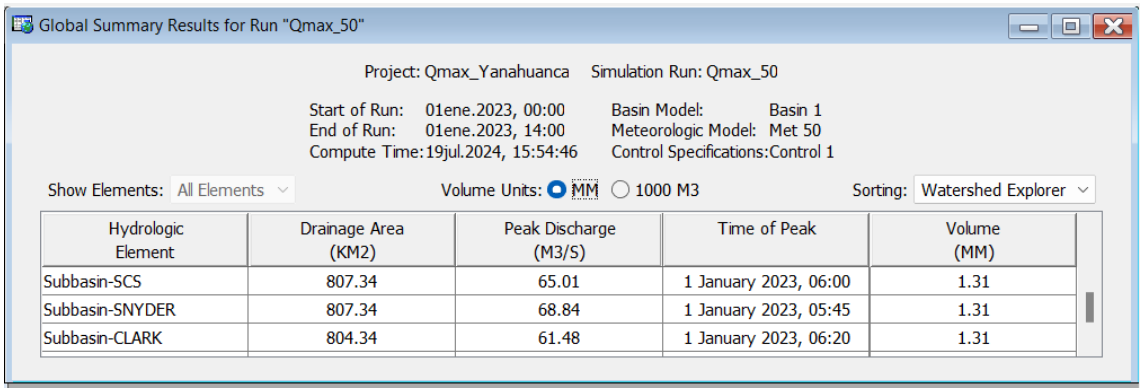
Nota. Elaboración propia.

Figura. *Corrida de datos del modelamiento hidrológico*



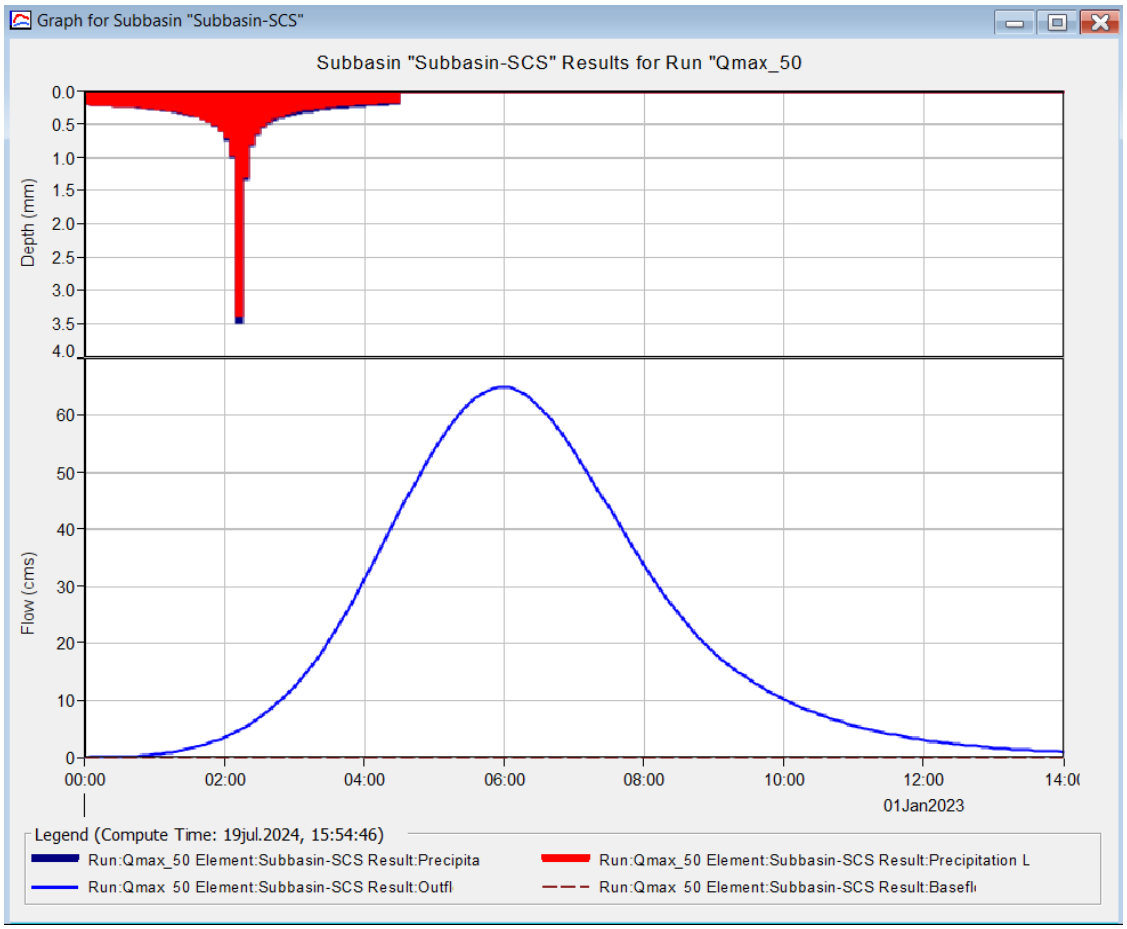
Nota. Elaboración propia.

Figura. *Corrida de datos para Qmax para T=50 años*



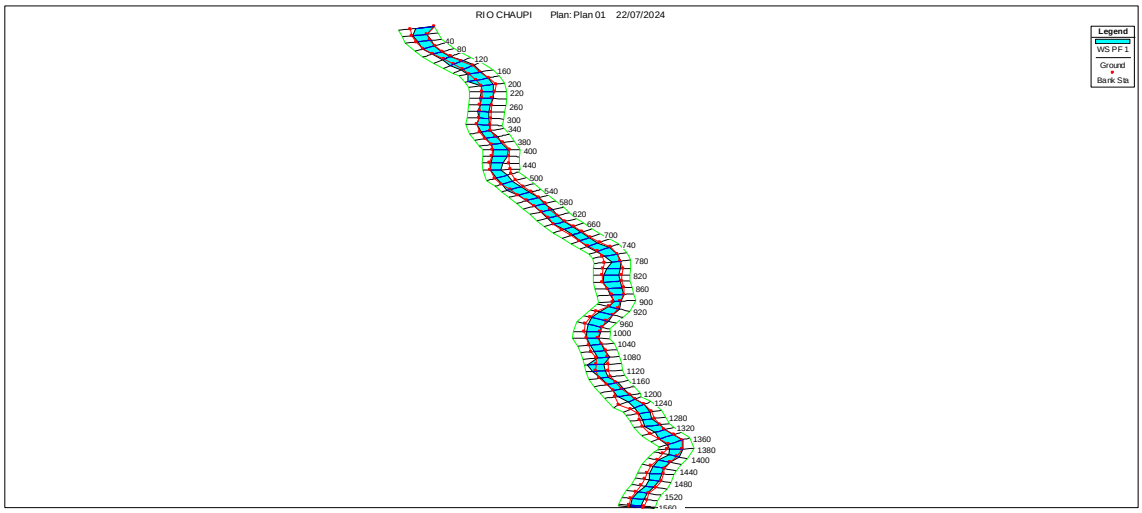
Nota. Elaboración propia.

Figura. *Patrón de tormenta vs. caudal de máximo de salida para T=50 años*



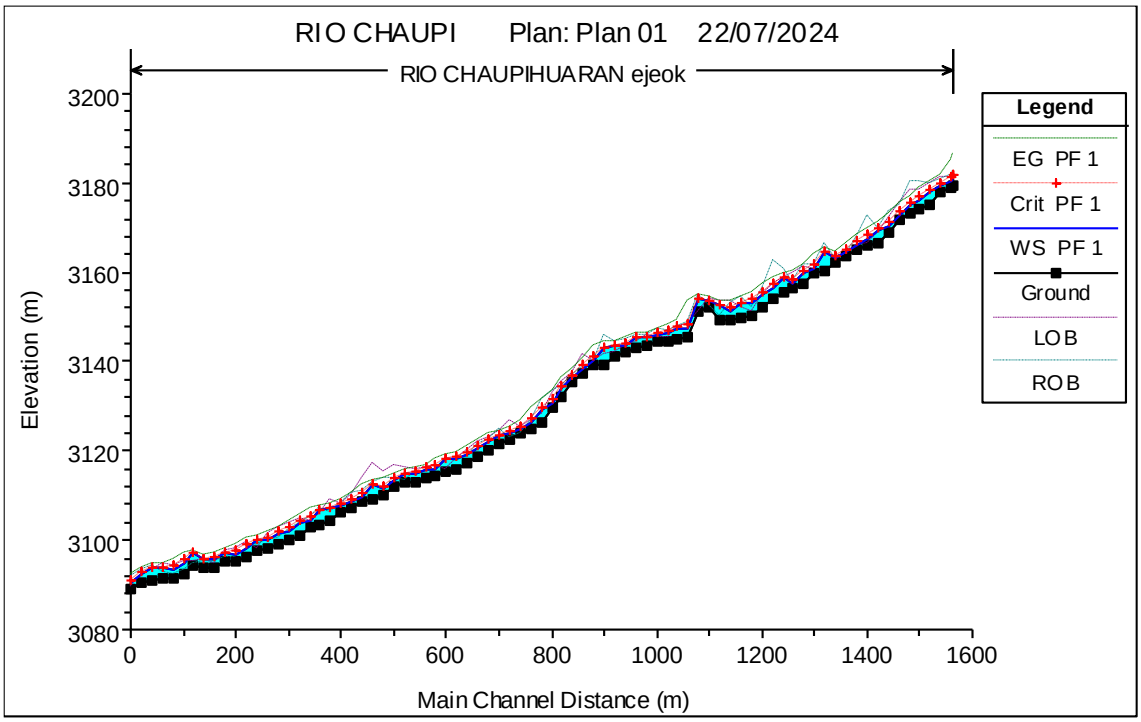
Nota. Adaptado de Hec-HMS, Elaboración propia

Figura. *Resultados de modelamiento hidráulico en Hec-RAS, para T=50 años*



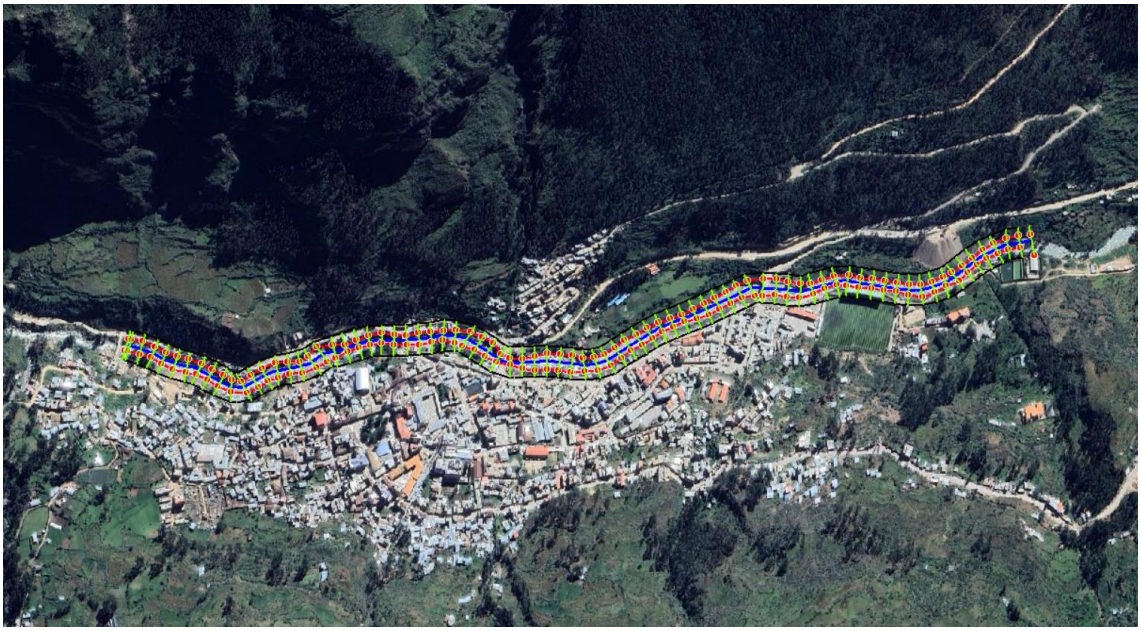
Nota. Adaptado de Hec-RAS, Elaboración propia

Figura. *Modelamiento hidráulico del rio Chaupihuaranga, elevación vs distancia*



Nota. Adaptado de Hec-RAS, Elaboración propia

Figura. *Vista satelital del modelamiento hidráulico segmentado*



Nota. Adaptado de Hec-RAS, Elaboración propia.

PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

FICHA DE VALIDACIÓN

OPINIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

1. DATOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

Título de la tesis	Estimación de riesgos ante inundaciones, mediante el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, en un tramo de la cuenca del Rio Chaupihuaranga, Yanahuanca, Pasco, 2023
Investigador	Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES
Asesor	Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA
Grado a optar	Maestro en Gestión del Sistema Ambiental
Fecha de validación	06 de setiembre de 2024

2. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y apellidos	ANGEL ANIBAL ARAGON CASTAÑEDA
Profesión	INGENIERO ZOOTECNISTA
Grado académico	MAESTRO EN GESTIÓN PÚBLICA
Cargo u ocupación	GERENTE DE OPERACIONES

3. CRITERIOS DE VALIDACIÓN (Marque con una "X" la valoración que crea conveniente a su juicio, por cada indicador, finalmente sume esta valoración para obtener el puntaje total)

	Indicadores	Criterios	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
			1	2	3	4	5
1	Claridad	El contenido está redactado de manera comprensible y sin ambigüedades				X	
2	Coherencia	Existe una conexión lógica entre los objetivos, la metodología, los resultados y las conclusiones				X	
3	Relevancia	El tema de investigación es pertinente y responde a una necesidad actual en el campo de estudio.					X
4	Pertinencia	La metodología utilizada es adecuada para abordar las preguntas de investigación planteadas.				X	
5	Suficiencia	La tesis cubre todos los aspectos clave del tema de investigación sin dejar vacíos importantes			X		
6	Originalidad / Innovación	La investigación aporta nuevos enfoques o soluciones que enriquecen el área de estudio.					X
7	Viabilidad	La propuesta es práctica y puede implementarse con el impulso de sus autoridades y su gente				X	
8	Consistencia teórica y metodológica	La investigación está sólidamente fundamentada en teorías y enfoques metodológicos pertinentes.				X	

9	Objetividad	La tesis presenta los resultados y conclusiones de manera imparcial, basado en los datos obtenidos.				X	
10	Contribución al conocimiento	La tesis genera un aporte significativo y relevante que puede abrir nuevas líneas de investigación					X
PUNTAJE TOTAL			**42**				

Leyenda de valoración total de tesis:

Puntaje = 1 – 10 (Muy malo)

Puntaje = 11 – 20 (Malo)

Puntaje = 21 – 30 (Regular)

Puntaje = 31 – 40 (Bueno)

Puntaje = 41 – 50 (Muy bueno)

4. VALORACIÓN FINAL DE TESIS EMITIDO POR EL EXPERTO:

Puntaje total	Valoración
42	**Muy bueno**

(Nombres y Apellidos del experto)

DNI N° 04072842.

ANGEL ANIBAL ARAGON CASTAÑEDA

C.c.a.

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

FICHA DE VALIDACIÓN

OPINIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

1. DATOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

Título de la tesis	Estimación de riesgos ante inundaciones, mediante el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, en un tramo de la cuenca del Rio Chaupihuaranga, Yanahuanca, Pasco, 2023
Investigador	Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES
Asesor	Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA
Grado a optar	Maestro en Gestión del Sistema Ambiental
Fecha de validación	06 de setiembre de 2024

2. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y apellidos	TEOFANES SALAS ORIHUELA
Profesión	INGENIERO METALURGISTA
Grado académico	MAGISTER EN SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL
Cargo u ocupación	DOCENTE UNIVERSITARIO

3. CRITERIOS DE VALIDACIÓN (Marque con una "X" la valoración que crea conveniente a su juicio, por cada indicador, finalmente sume esta valoración para obtener el puntaje total)

	Indicadores	Criterios	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
			1	2	3	4	5
1	Claridad	El contenido está redactado de manera comprensible y sin ambigüedades				X	
2	Coherencia	Existe una conexión lógica entre los objetivos, la metodología, los resultados y las conclusiones				X	
3	Relevancia	El tema de investigación es pertinente y responde a una necesidad actual en el campo de estudio.				X	
4	Pertinencia	La metodología utilizada es adecuada para abordar las preguntas de investigación planteadas.					X
5	Suficiencia	La tesis cubre todos los aspectos clave del tema de investigación sin dejar vacíos importantes				X	
6	Originalidad / Innovación	La investigación aporta nuevos enfoques o soluciones que enriquecen el área de estudio.					X
7	Viabilidad	La propuesta es práctica y puede implementarse con el impulso de sus autoridades y su gente		X			
8	Consistencia teórica y metodológica	La investigación está sólidamente fundamentada en teorías y enfoques metodológicos pertinentes.					X

9	Objetividad	La tesis presenta los resultados y conclusiones de manera imparcial, basado en los datos obtenidos.				X	
10	Contribución al conocimiento	La tesis genera un aporte significativo y relevante que puede abrir nuevas líneas de investigación				X	
PUNTAJE TOTAL			**41**				

Leyenda de valoración total de tesis:

Puntaje = 1 – 10 (Muy malo)

Puntaje = 11 – 20 (Malo)

Puntaje = 21 – 30 (Regular)

Puntaje = 31 – 40 (Bueno)

Puntaje = 41 – 50 (Muy bueno)

4. VALORACIÓN FINAL DE TESIS EMITIDO POR EL EXPERTO:

Puntaje total	Valoración
41	**Muy bueno**

TEOFA

(Nombres y Apellidos del experto)
TEOFANES SOLAS ORIHUELA

DNI N° 19925355

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

FICHA DE VALIDACIÓN

OPINIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

1. DATOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

Título de la tesis	Estimación de riesgos ante inundaciones, mediante el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, en un tramo de la cuenca del Rio Chaupihuaranga, Yanahuanca, Pasco, 2023
Investigador	Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES
Asesor	Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA
Grado a optar	Maestro en Gestión del Sistema Ambiental
Fecha de validación	06 de setiembre de 2024

2. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y apellidos	Carlos Lizardo Acosta Crespo
Profesión	Ing. Metalurgista
Grado académico	Maestría en Gestion del Sistema Ambiental
Cargo u ocupación	Docante

3. CRITERIOS DE VALIDACIÓN (Marque con una "X" la valoración que crea conveniente a su juicio, por cada indicador, finalmente sume esta valoración para obtener el puntaje total)

	Indicadores	Criterios	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
			1	2	3	4	5
1	Claridad	El contenido está redactado de manera comprensible y sin ambigüedades				X	
2	Coherencia	Existe una conexión lógica entre los objetivos, la metodología, los resultados y las conclusiones				X	
3	Relevancia	El tema de investigación es pertinente y responde a una necesidad actual en el campo de estudio.				X	
4	Pertinencia	La metodología utilizada es adecuada para abordar las preguntas de investigación planteadas.					X
5	Suficiencia	La tesis cubre todos los aspectos clave del tema de investigación sin dejar vacíos importantes				X	
6	Originalidad / Innovación	La investigación aporta nuevos enfoques o soluciones que enriquecen el área de estudio.					X
7	Viabilidad	La propuesta es práctica y puede implementarse con el impulso de sus autoridades y su gente		X			
8	Consistencia teórica y metodológica	La investigación está sólidamente fundamentada en teorías y enfoques metodológicos pertinentes.					X

9	Objetividad	La tesis presenta los resultados y conclusiones de manera imparcial, basado en los datos obtenidos.				X	
10	Contribución al conocimiento	La tesis genera un aporte significativo y relevante que puede abrir nuevas líneas de investigación				X	
PUNTAJE TOTAL			**41**				

Leyenda de valoración total de tesis:

Puntaje = 1 – 10 (Muy malo)

Puntaje = 11 – 20 (Malo)

Puntaje = 21 – 30 (Regular)

Puntaje = 31 – 40 (Bueno)

Puntaje = 41 – 50 (Muy bueno)

4. VALORACIÓN FINAL DE TESIS EMITIDO POR EL EXPERTO:

Puntaje total	Valoración
41	**Muy bueno**

Carlos Lizardo Acosta Crespo
(Nombres y Apellidos del experto)

DNI N° 22658244

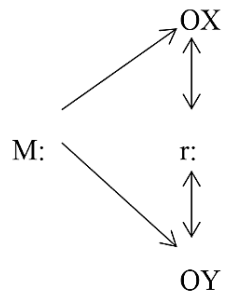
C.c.a.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla. *Matriz de consistencia*

Estimación de Riesgos Ante Inundaciones, Mediante el Estudio Hidrológico y la Simulación Hidráulica, Aplicando Modelos Matemáticos, en un Tramo de la Cuenca del Rio Chaupihuaranga, Yanahuanca, Pasco, 2023

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MUESTRA Y POBLACION	METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN
Problema General	**Objetivo General**	**Hipótesis General**				
¿Cómo influye el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, en la estimación de riesgos ante inundaciones en un tramo de la cuenca del rio Chaupihuaranga en el distrito de Yanahuanca, Pasco, en el año 2023?	Determinar de qué manera influye el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, en la estimacion de riesgos ante inundaciones en un tramo de la cuenca del rio Chaupihuaranga en el distrito de Yanahuanca, Pasco, en el año 2023	Existe una relacion directa y significativa entre el estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos, con la estimacion de riesgos ante inundaciones en un tramo de la cuenca del rio Chaupihuaranga en el distrito de Yanahuanca, Pasco en el año 2023	**Variable independiente:** El estudio hidrológico y la simulación hidráulica, aplicando modelos matemáticos. **Dimensiones:** -Obtención de datos meteorológicos -Estudio hidrológico -Estudio topográfico del área en estudio. -Modelamiento hidráulico	**Independiente:** **Obtención de datos meteorológicos** -Descarga de datos de SENAMHI -Completación y extensión de datos con Easyfit 5.4 **Estudio hidrológico:** -Delimitación y obtención de parámetros morfológicos de la cuenca con ArcGIS -Cálculo de precipitaciones máximas y ajustes de prueba de bondad con Hydrognomon -Obtención de curvas IDF y hietogramas para diferentes periodos de retorno con IDF-Tormenta 4.0. -Cálculo del número curva con ArcGIS. -Cálculo de caudales máximos con Hec-HMS 4.11 **Estudio topográfico del área de estudio:** -Levantamiento topográfico -Informe topográfico	**Población:** La población es el área total que contempla la cuenca del rio Chaupihuaranga, con punto de control en la ciudad de Yanahuanca. **Muestra:** Segmento de la cuenca del rio Chaupihuaranga, ubicada en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca.	**Forma o enfoque:** -Cuantitativa **Tipo de investigación, según la orientación:** -Aplicada **Nivel de investigación:** -Predicción de fenómenos **Método de investigación:** -Método específico: Medición - Matematización y Modelación **Diseño de investigación:** -No experimental - transversal y correlacional
Problema Especifico	**Objetivo Especifico**	**Hipótesis Especificas**				
a) ¿Cuál es el patrón de tormenta y los caudales máximos en la cuenca del rio Chaupihuaranga en el distrito de Yanahuanca, Pasco?	a) Desarrollar el estudio hidrológico de la cuenca del rio Chaupihuaranga, aplicando modelos matemáticos, para comprender los patrones de tormenta y obtener los caudales máximos en el área de estudio, perteneciente a la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca.	a) Existe una relación directa y significativa entre el estudio hidrológico de la cuenca del rio Chaupihuaranga, aplicando modelos matemáticos, con la obtención y comprensión de patrones de tormenta y la obtención de caudales máximos en el área de estudio, perteneciente a la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca.				

b) ¿Cuál es el comportamiento hidráulico del río Chaupihuaranga, en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca, en condiciones normales y de inundación?	b) Desarrollar la simulacion hidráulica, aplicando un modelo matemático, para simular el comportamiento del río Chaupihuaranga en la zona urbana de Yanahuanca, en condiciones normales y de inundación.	b) Existe una relación directa y significativa entre la simulación hidráulica, aplicando un modelo matemático, con la simulación del comportamiento del rio Chaupihuaranga en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca, en condiciones normales y de inundación.	**Variable dependiente:** -Estimación de riesgos ante inundaciones. **Dimensiones:** -Identificación de peligros ante inundaciones. -Análisis de vulnerabilidad ante inundaciones. -Estimación cuantitativa de riesgos ante inundaciones -Alternativas de protección y/o mitigación de daños ante inundaciones.	**Modelamiento Hidráulico:** -Modelamiento hidráulico del río Chaupihuaranga. **Dependiente:** **Identificación de peligros ante inundaciones:** -Espacial: Ubicación geográfica de las áreas propensas a inundaciones. -Temporal: Condiciones meteorológicas críticas que podrían causar peligro. **Análisis de vulnerabilidad ante inundaciones:** -Estructural: evaluar la susceptibilidad de las infraestructuras públicas y privadas a sufrir daño (incluir calidad de las infraestructuras) -Social: capacidad de respuestas de la población y otros factores socioeconómicos, ante inundaciones. **Estimación cuantitativa de riesgos ante inundaciones:** - Cuantitativa: Cuantificar los daños posibles de pérdidas de infraestructuras y vidas humanas **Alternativas de protección y/o mitigación de daños ante inundaciones:** **-**Medidas estructurales -Medidas no estructurales		 Donde: M: muestra O: observaciones obtenidas de cada una de las variable X, Y: variables r: relación
c) ¿Cuáles son los riesgos en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca, perteneciente a la cuenca del rio Chaupihuaranga, y qué medidas de protección o mitigación se podrían tomar en beneficio de la población?	c) Estimar los riesgos ante inundacoines en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca, y proponer medidas de protección o mitigacion de daños en este segmento de la cuenca del rio Chaupihuaranga.	c) Existe una relación directa y significativa entre la estimación de riesgos ante inundaciones en la zona urbana de la ciudad de Yanahuanca con las medidas de protección o mitigación de daños planteadas en un segmento de la cuenca del rio Chaupihuaranga.				

Nota. Elaboración propia

FOTOS, PLANOS DE UBICACIÓN, PLANOS TOPOGRÁFICOS Y MAPAS DE PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS

FOTOS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Figura. *Foto 1 - Levantamiento topográfico.*

Nota. Elaboración propia.

Figura. *Foto 2 - Levantamiento topográfico*

Nota. Elaboración propia.

Figura. *Foto 3 - Levantamiento topográfico*

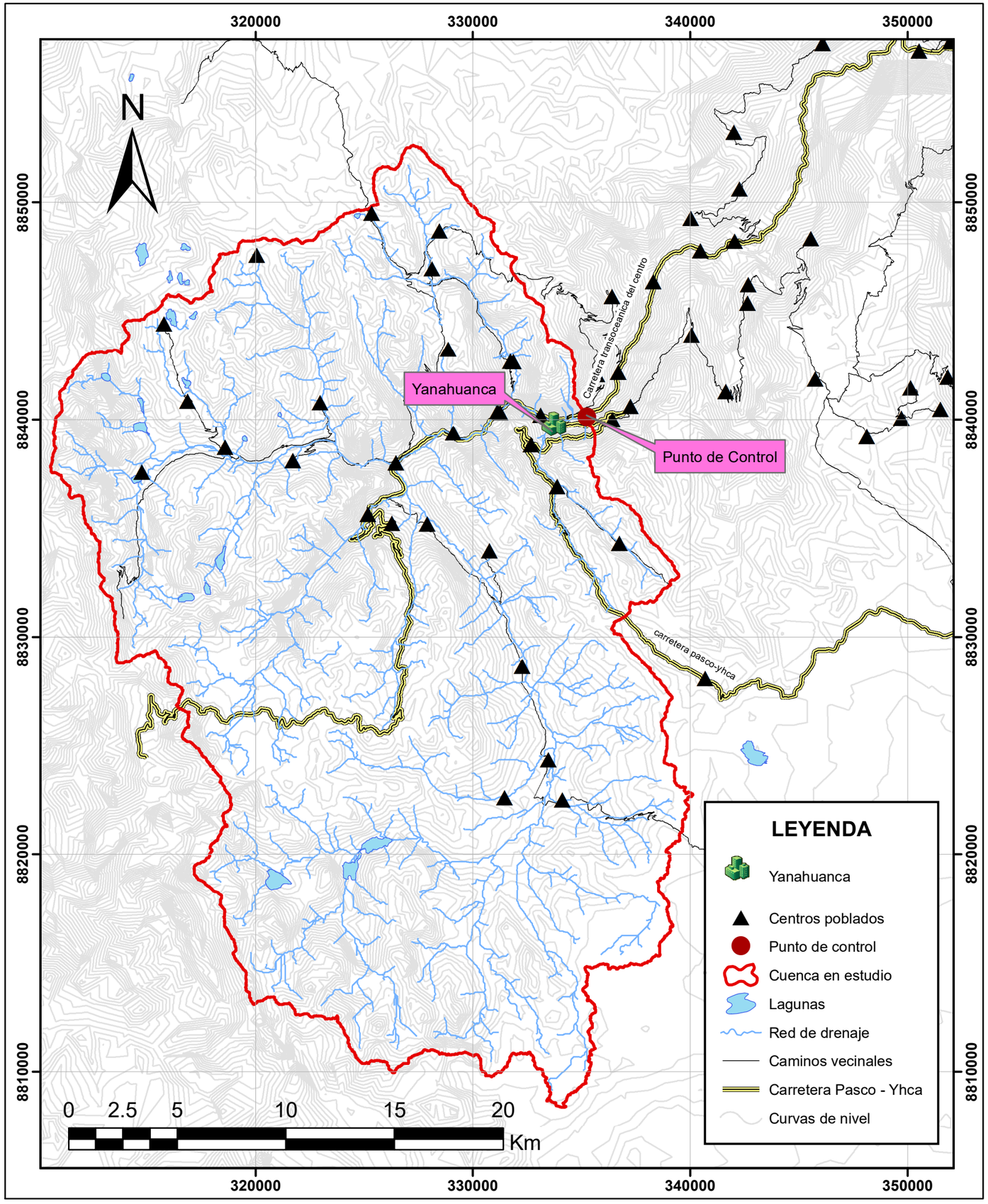
Nota. Elaboración propia.

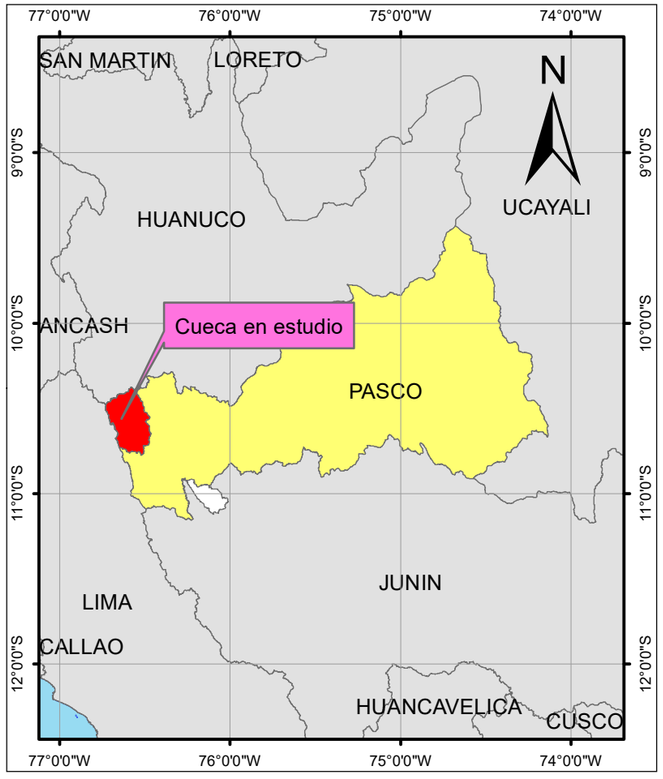
Figura. *Foto 4 - levantamiento topográfico*

Nota. Elaboración propia.

Figura. *Foto 5 - Levantamiento topográfico*

Nota. Elaboración propia.





UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

AUTOR:

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES
CIP N° 228206

PROYECTO:

ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHURANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

UBICACIÓN:

DEPARTAMENTO: PASCO
PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRIÓN
DISTRITO: YANAHUANCA

PLANO:

PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

ESCALA:

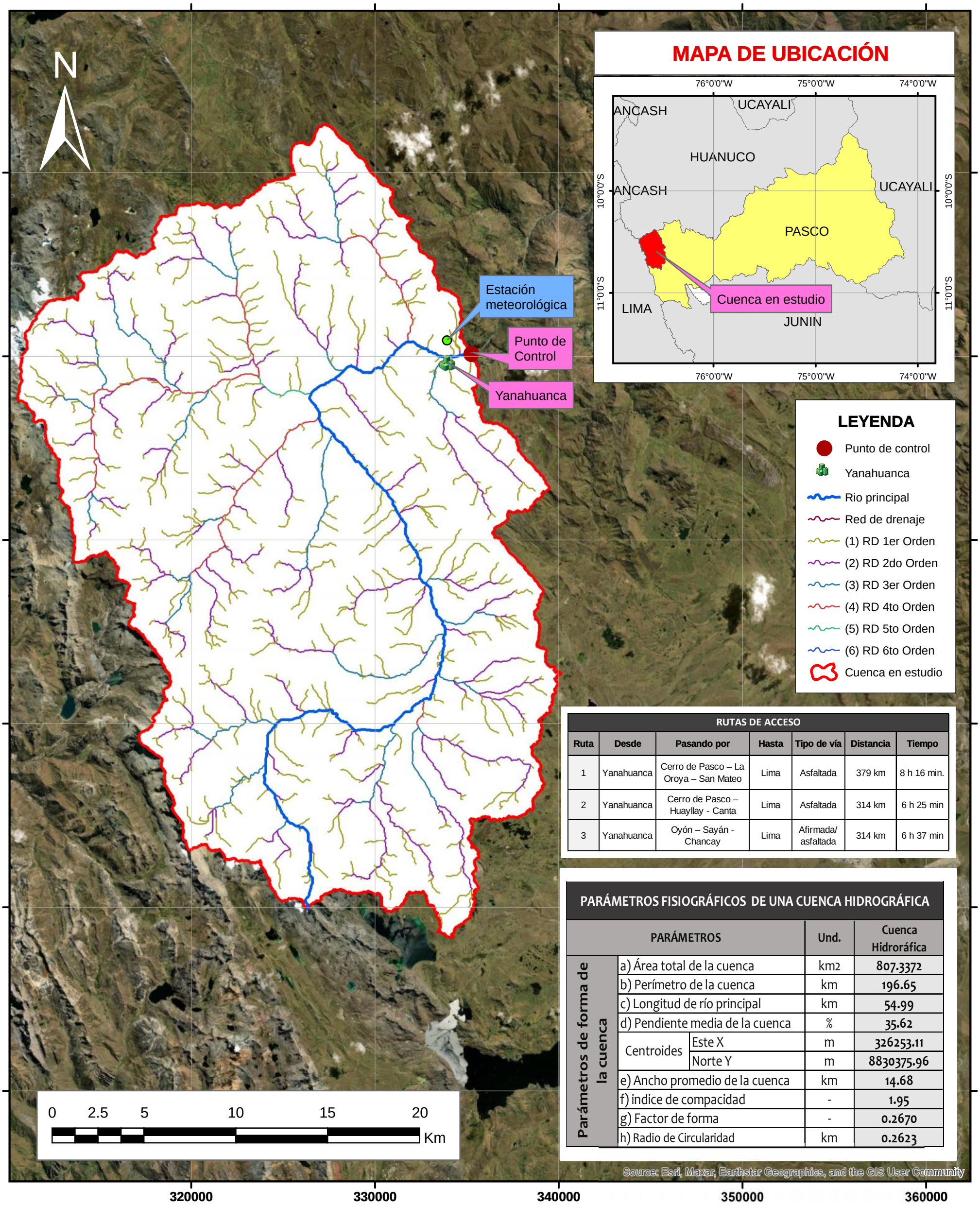
1:20,000,000

FECHA:

JULIO 2024

N° DE LÁMINA

UL - 01



RUTAS DE ACCESO

Ruta	Desde	Pasando por	Hasta	Tipo de vía	Distancia	Tiempo
1	Yanahuanca	Cerro de Pasco – La Oroya – San Mateo	Lima	Asfaltada	379 km	8 h 16 min.
2	Yanahuanca	Cerro de Pasco – Huayllay - Canta	Lima	Asfaltada	314 km	6 h 25 min
3	Yanahuanca	Oyón – Sayán - Chancay	Lima	Afirmada/ asfaltada	314 km	6 h 37 min

PARÁMETROS FISIOGRÁFICOS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA

PARÁMETROS			Und.	Cuenca Hidroráfica
Parámetros de forma de la cuenca	a) Área total de la cuenca		km2	807.3372
	b) Perímetro de la cuenca		km	196.65
	c) Longitud de río principal		km	54.99
	d) Pendiente media de la cuenca		%	35.62
	Centroides	Este X	m	326253.11
		Norte Y	m	8830375.96
	e) Ancho promedio de la cuenca		km	14.68
	f) indice de compacidad		-	1.95
	g) Factor de forma		-	0.2670
	h) Radio de Circularidad		km	0.2623

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
ESCUELA DE POSGRADO

AUTOR:
Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES
CIP N° 228206

PROYECTO:
ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHURANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

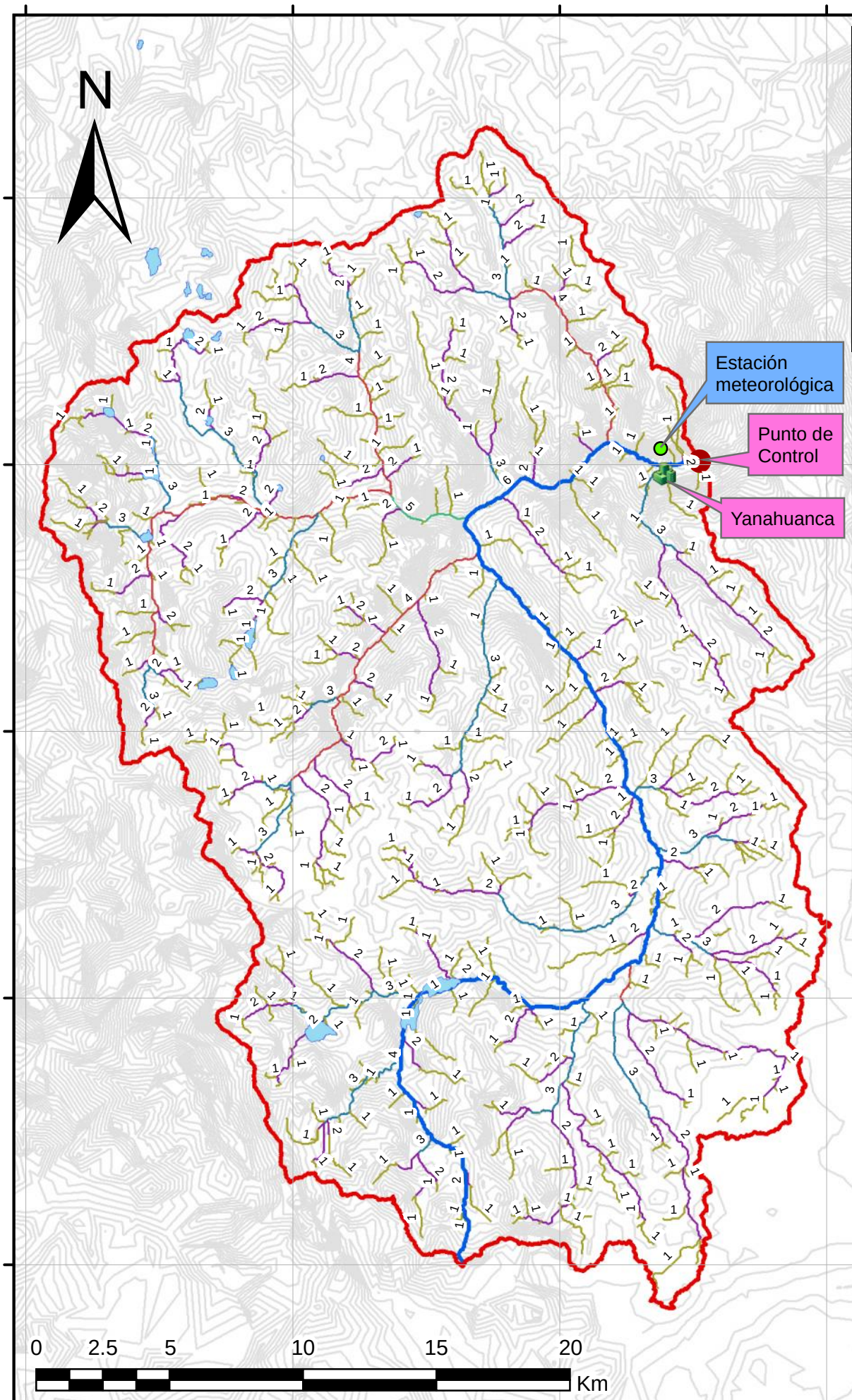
UBICACIÓN:
DEPARTAMENTO: PASCO
PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRIÓN
DISTRITO: YANAHUANCA

PLANO:
PLANO GEOREFERENCIADO DE LA CUENCA

ESCALA:
1:200,000

FECHA:
JULIO 2024

N° DE LÁMINA
PG - 01



PARÁMETROS FISIOGRÁFICOS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA

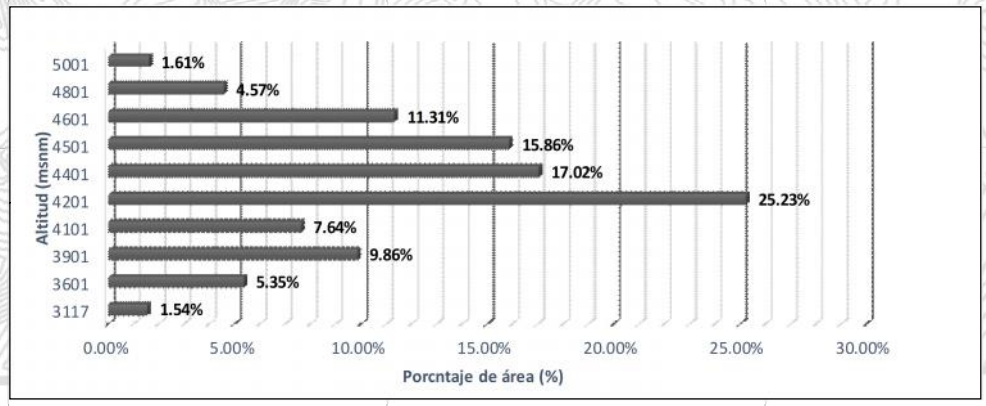
PARÁMETROS			Und.	Cuenca Hidroráfica
Parámetros de forma de la cuenca	a) Área total de la cuenca		km2	807.3372
	b) Perímetro de la cuenca		km	196.65
	c) Longitud de río principal		km	54.99
	d) Pendiente media de la cuenca		%	35.62
	Centroides	Este X	m	326253.11
		Norte Y	m	8830375.96
	e) Ancho promedio de la cuenca		km	14.68
	f) indice de compacidad		-	1.95
	g) Factor de forma		-	0.2670
	h) Radio de Circularidad		km	0.2623

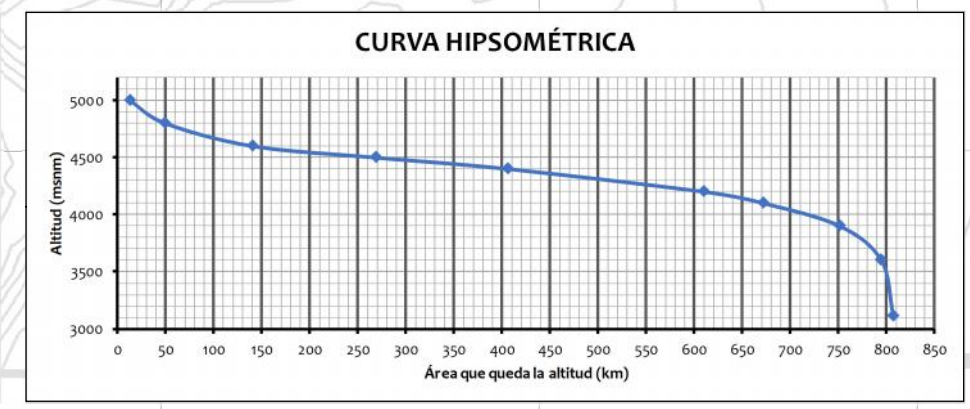
PARÁMETROS RED HIDROGRÁFICA DE UNA CUENCA

PARÁMETROS			UNIDAD DE MEDIDA	Cuenca Hidroráfica
Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca	Tipo de corriente		-	Perennes
	Número de orden de los ríos	Orden 1	-	550
		Orden 2	-	267
		Orden 3	-	116
		Orden 4	-	101
		Orden 5	-	45
		Orden 6	-	19
		N° Total de ríos	-	1098
		Grado de ramificación	-	6
	Frecuencia de densidad de los ríos (Dr)		ríos/km2	1.36
	Cotas del cauce principal	Altitud máxima (Hmax)	msnm	5093.00
		Altitud mínima (Hmin)	msnm	3117.00
	Pendiente media del río principal (Sm)		m/m	0.055
	Altura media del río principal (H)		msnm	4105.00
	Tiempo de concentración (Tc) Kirpich		horas	4.4197
	Longitud total de rios de la cuenca		km	853.7064
	Densidad de la cuenca (Dd)		km/km2	1.0574
	Tipo de drenaje		-	Baja
	Longitud del cause principal		km	54.9878
	Extensión media del escurriemiento superficial (E)		km2/km	0.9457

LEYENDA

- Punto de control
- Yanahuanca
- Cuenca en estudio
- Lagunas
- Rio principal
- Red de drenaje
- (1) RD 1er Orden
- (2) RD 2do Orden
- (3) RD 3er Orden
- (4) RD 4to Orden
- (5) RD 5to Orden
- (6) RD 6to Orden
- Curvas de nivel





UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
ESCUELA DE POSGRADO

AUTOR:
Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES
CIP N° 228206

PROYECTO:
ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHURANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

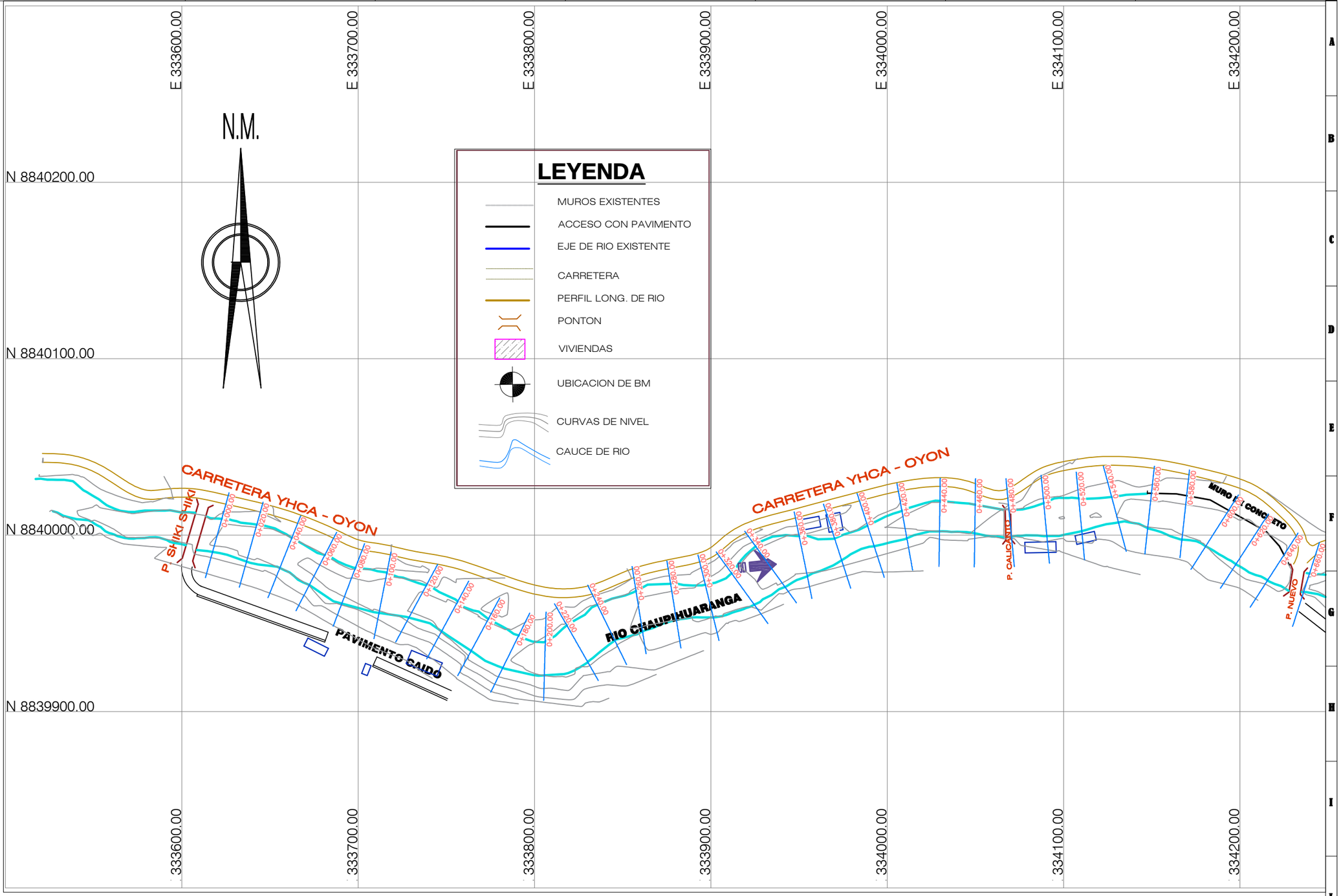
UBICACIÓN:
DEPARTAMENTO: PASCO
PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRIÓN
DISTRITO: YANAHUANCA

PLANO:
PLANO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA

ESCALA:
1:200,000

FECHA:
JULIO 2024

N° DE LÁMINA
PH - 01



ESCALA 1/2250

0 50m 100m 150m 300m

25m 75m 125m 200m

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

AUTOR:

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

CIP N° 228206

PROYECTO

ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHUARANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

UBICACIÓN.

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION

DISTRITO: YANAHUANCA

PLANO.

PLANO TOPOGRÁFICO TRAMO I

PROG. 0+000.00 - 0+650.00

ESCALA

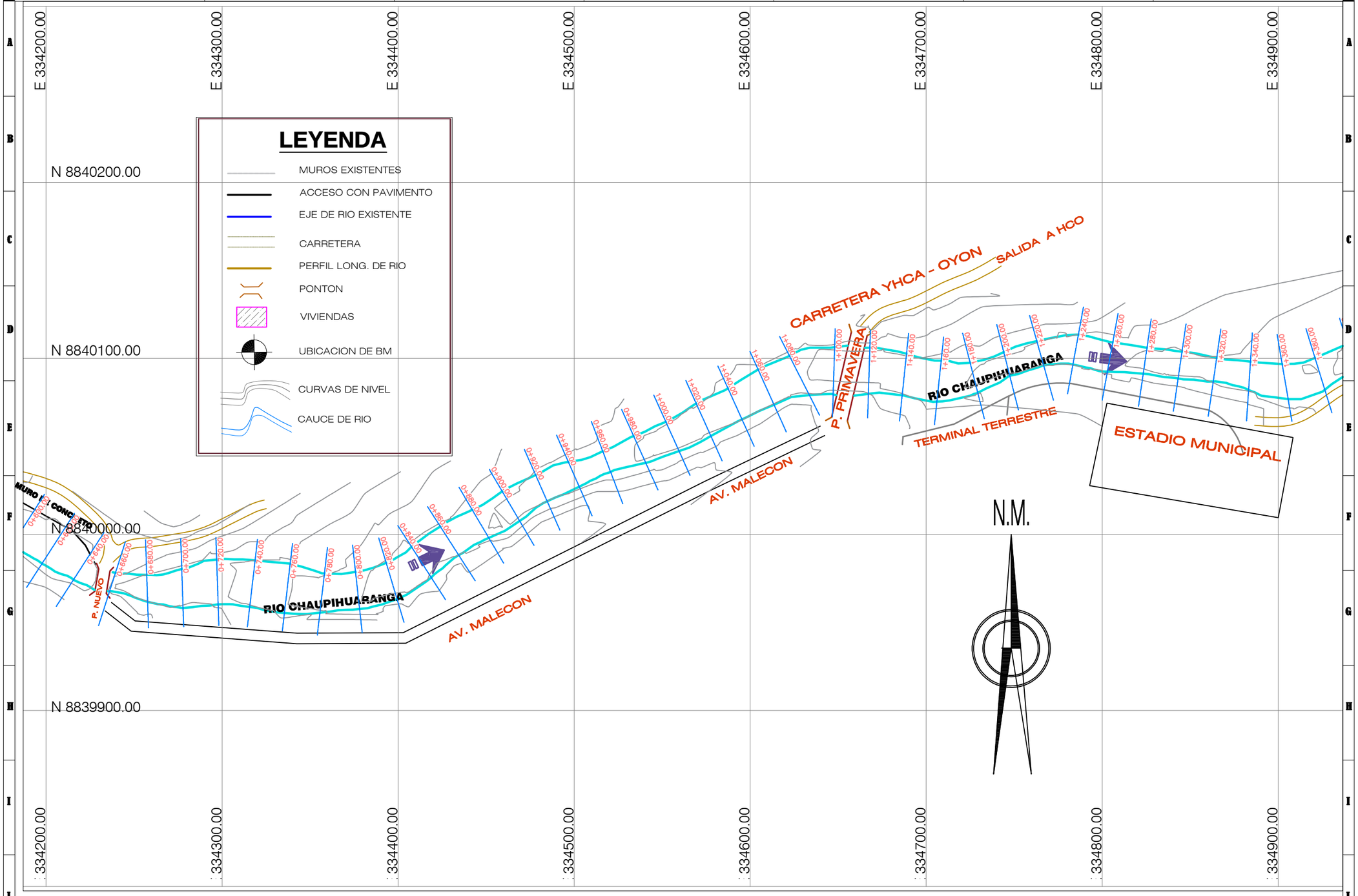
INDICADA

FECHA

JULIO 2024

N° DE LAMINA.

PT - 01



ESCALA 1/2250

0 50m 100m 150m 300m

25m 75m 125m 200m

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

AUTOR:

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

CIP N° 228206

PROYECTO

ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHUARANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

UBICACIÓN.

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION

DISTRITO: YANAHUANCA

PLANO.

PLANO TOPOGRÁFICO TRAMO II

PROG. 0+650.00 - 1+350.00

ESCALA

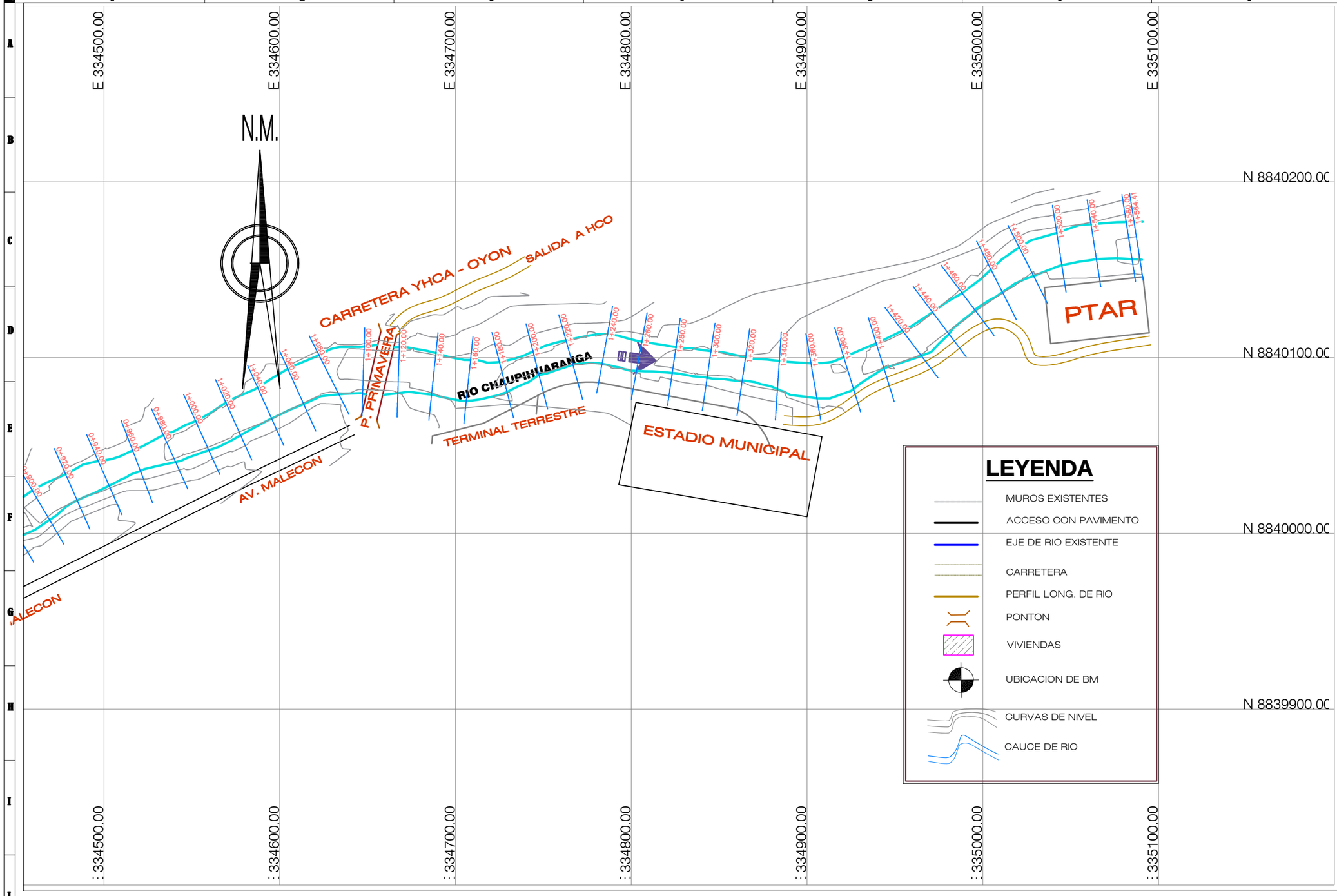
INDICADA

FECHA

JULIO 2024

N° DE LAMINA.

PT - 02



ESCALA 1/2250

0 25m 50m 75m 100m 125m 150m 200m 300m

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

AUTOR:

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

CIP N° 228206

PROYECTO

ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHUARANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

UBICACIÓN.

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION

DISTRITO: YANAHUANCA

PLANO.

PLANO TOPOGRÁFICO TRAMO III

PROG. 0+950.00 - 1+564.41

ESCALA

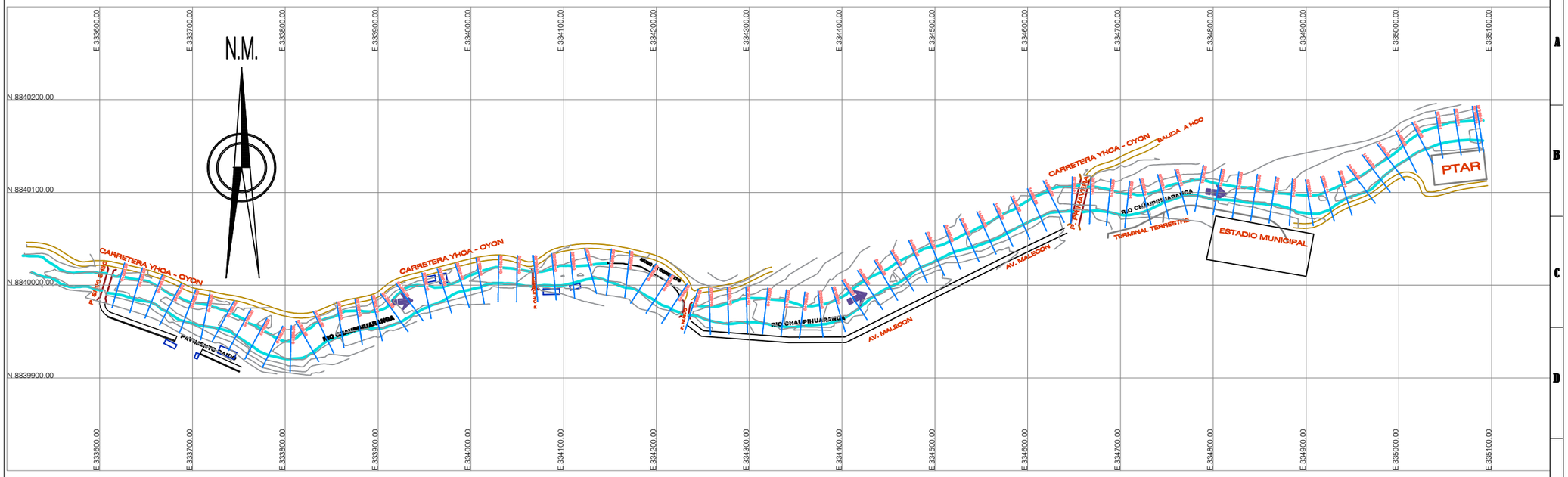
INDICADA

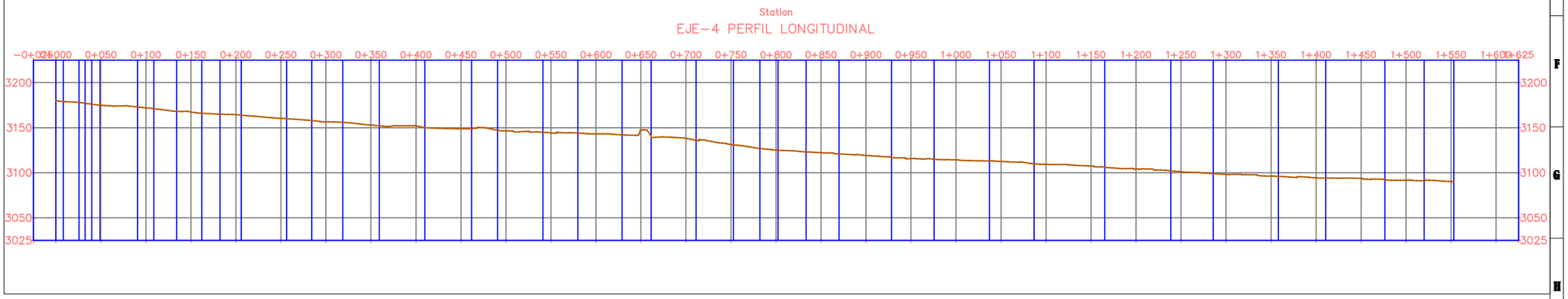
FECHA

JULIO 2024

N° DE LAMINA.

PT - 03





ESCALA 1/5000

0 100m 200m 300m 600m

50m 150m 250m 400m

LEYENDA

- MUROS EXISTENTES
- ACCESO CON PAVIMENTO
- EJE DE RIO EXISTENTE
- CARRETERA
- PERFIL LONG. DE RIO
- PONTON
- VIVIENDAS
- UBICACION DE BM
- CURVAS DE NIVEL
- CAUCE DE RIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

AUTOR:

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

CIP N° 228206

PROYECTO

ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHUARANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

UBICACIÓN.

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION

DISTRITO: YANAHUANCA

PLANO.

PLANO TOPOGRÁFICO GENERAL Y PERFIL LONGITUDINAL

ESCALA

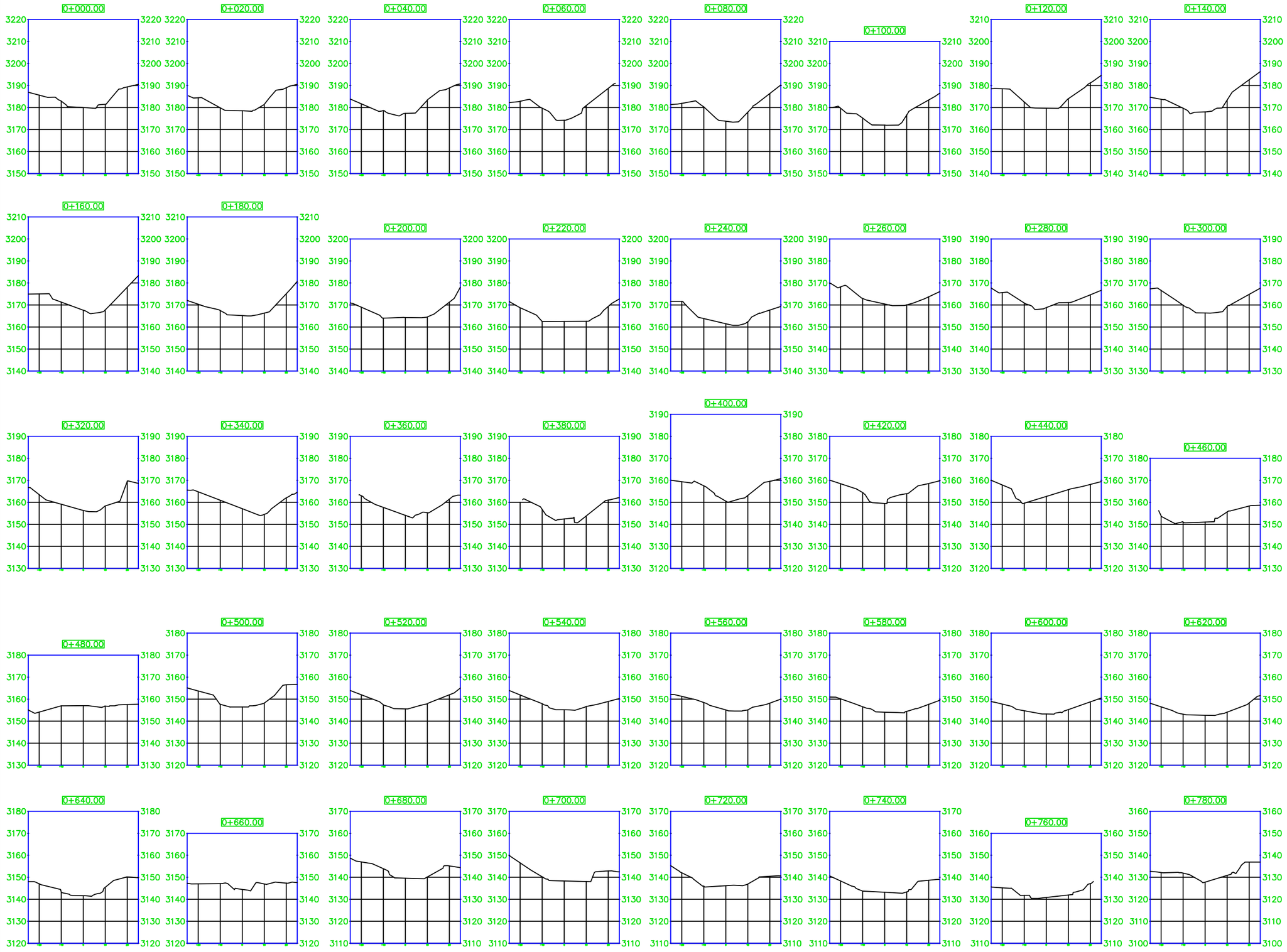
INDICADA

FECHA

JULIO 2024

N° DE LAMINA.

PT - 04



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

AUTOR:

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

CIP N° 228206

PROYECTO

ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHUARANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

UBICACIÓN.

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION

DISTRITO: YANAHUANCA

PLANO.

PLANO SECCIONES TRANSVERSALES

PROG. 0+000.00 - 0+780.00

ESCALA

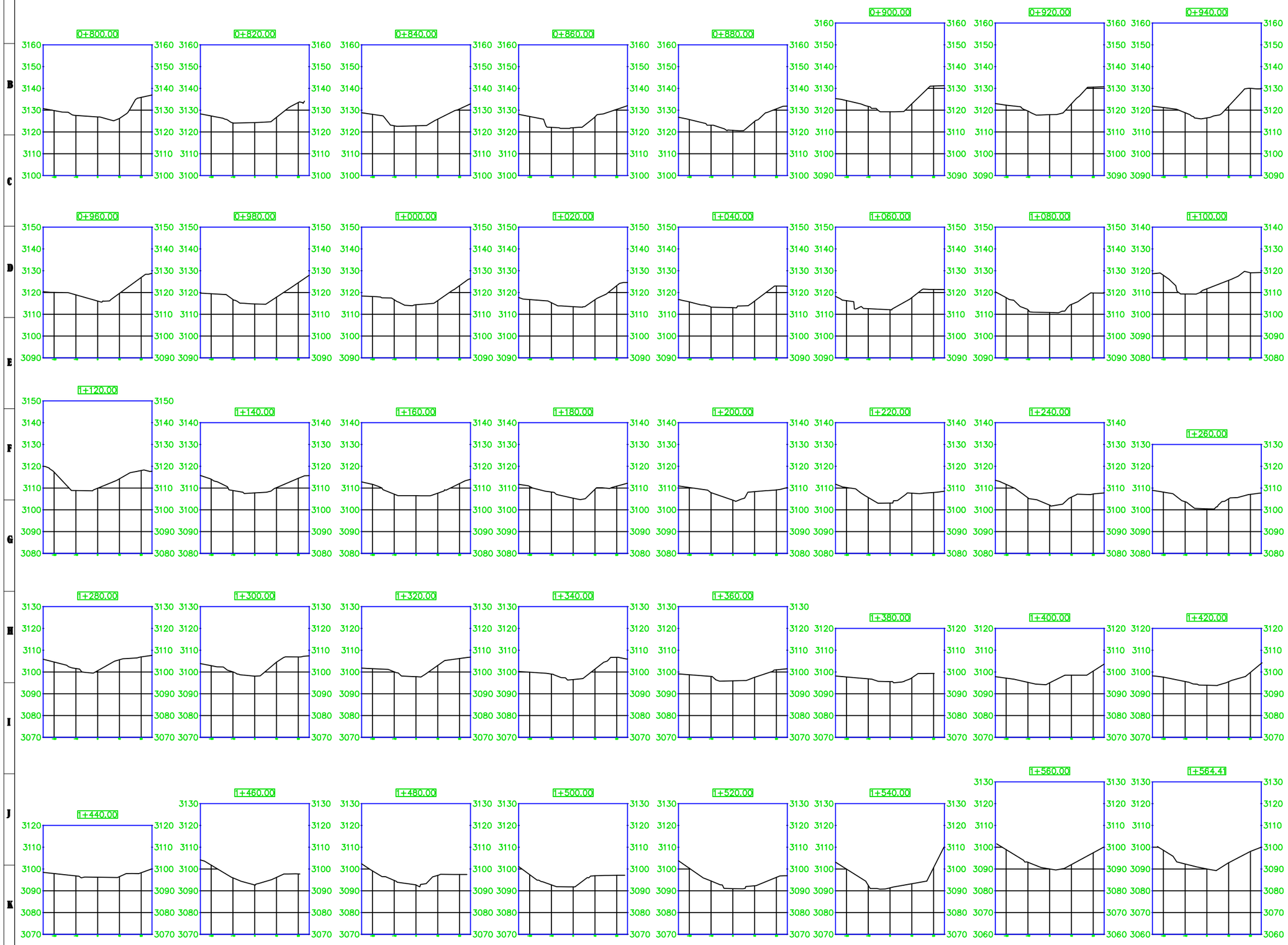
INDICADA

FECHA

JULIO 2024

N° DE LAMINA.

PT - 05



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

AUTOR:

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

CIP N° 228206

PROYECTO

ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHUARANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

UBICACIÓN.

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION

DISTRITO: YANAHUANCA

PLANO.

PLANO SECCIONES TRANSVERSALES

PROG. 0+800.00 - 1+564.41

ESCALA

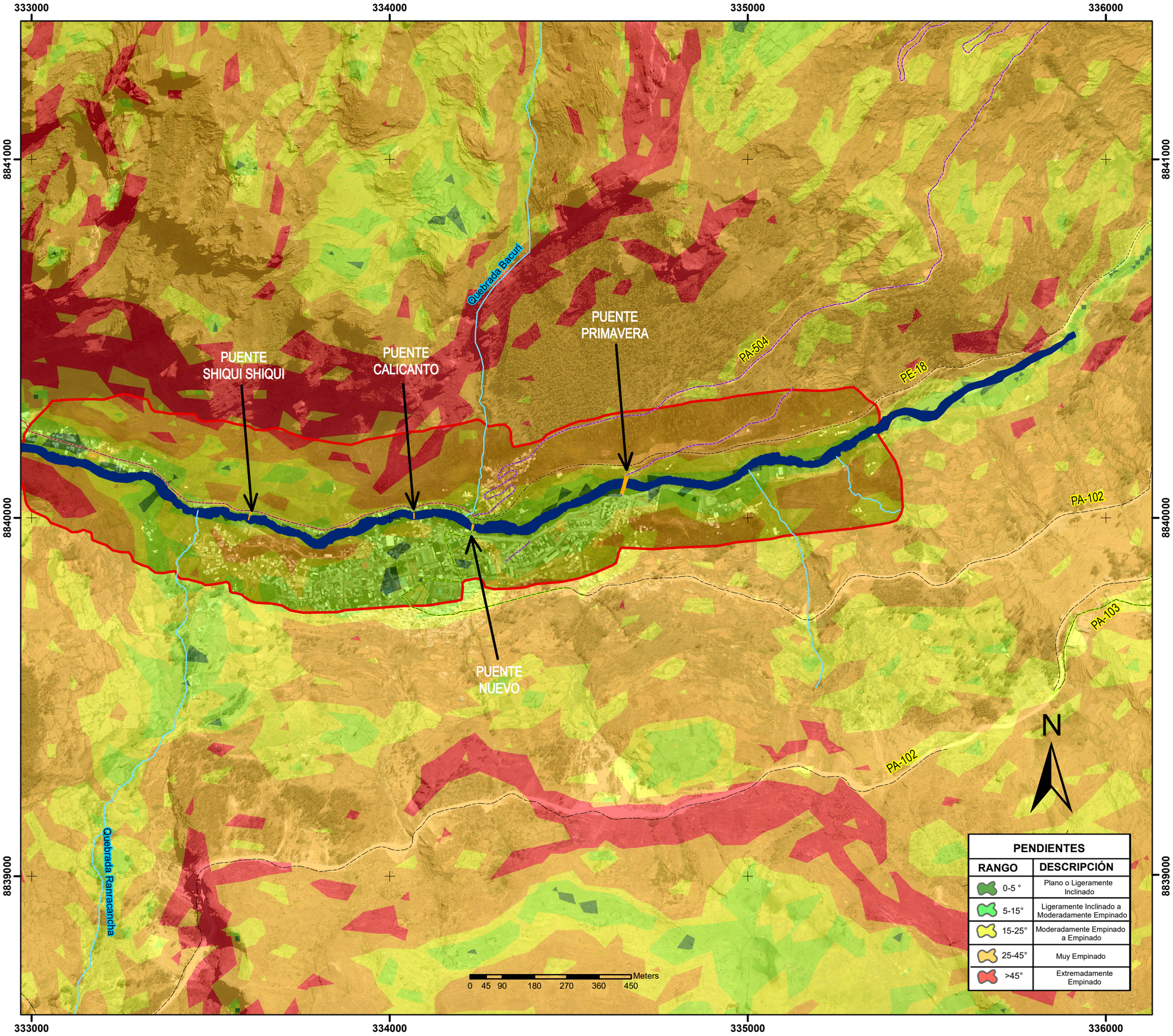
INDICADA

FECHA

JULIO 2024

N° DE LAMINA.

PT - 06



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

AUTOR:

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES
CIP N° 228206

PROYECTO:

ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHUARANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

UBICACIÓN:

DEPARTAMENTO: PASCO
PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRIÓN
DISTRITO: YANAHUANCA

MAPA:

MAPA DE PENDIENTES

ESCALA:

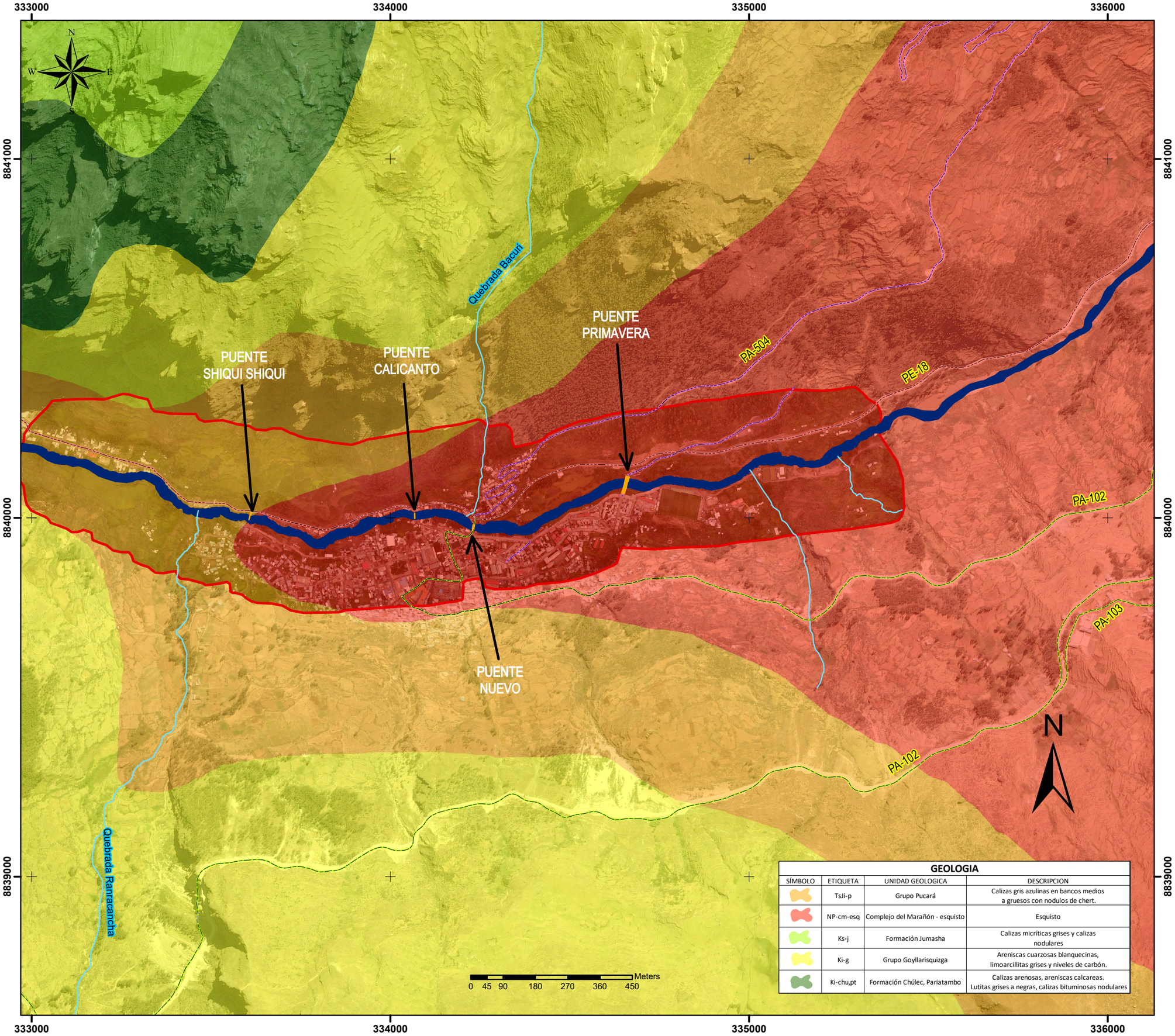
1:10,000.00

FECHA:

JULIO 2024

N° DE LÁMINA

ER - 01



GEOLOGIA

SÍMBOLO	ETIQUETA	UNIDAD GEOLOGICA	DESCRIPCION
	TsJi-p	Grupo Pucará	Calizas gris azulinas en bancos medios a gruesos con nodulos de chert.
	NP-cm-esq	Complejo del Marañón - esquisto	Esquisto
	Ks-j	Formación Jumasha	Calizas micríticas grises y calizas nodulares
	Ki-g	Grupo Goyllarisquizga	Areniscas cuarzosas blanquecinas, limoarcillitas grises y niveles de carbón.
	Ki-chu,pt	Formación Chúlec, Pariatambo	Calizas arenosas, areniscas calcareas. Lutitas grises a negras, calizas bituminosas nodulares

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES
CIP N° 228206

PROYECTO:

ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHUARANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

UBICACIÓN:

DEPARTAMENTO: PASCO
PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRIÓN
DISTRITO: YANAHUANCA

MAPA:

MAPA GEOLÓGICO

ESCALA:

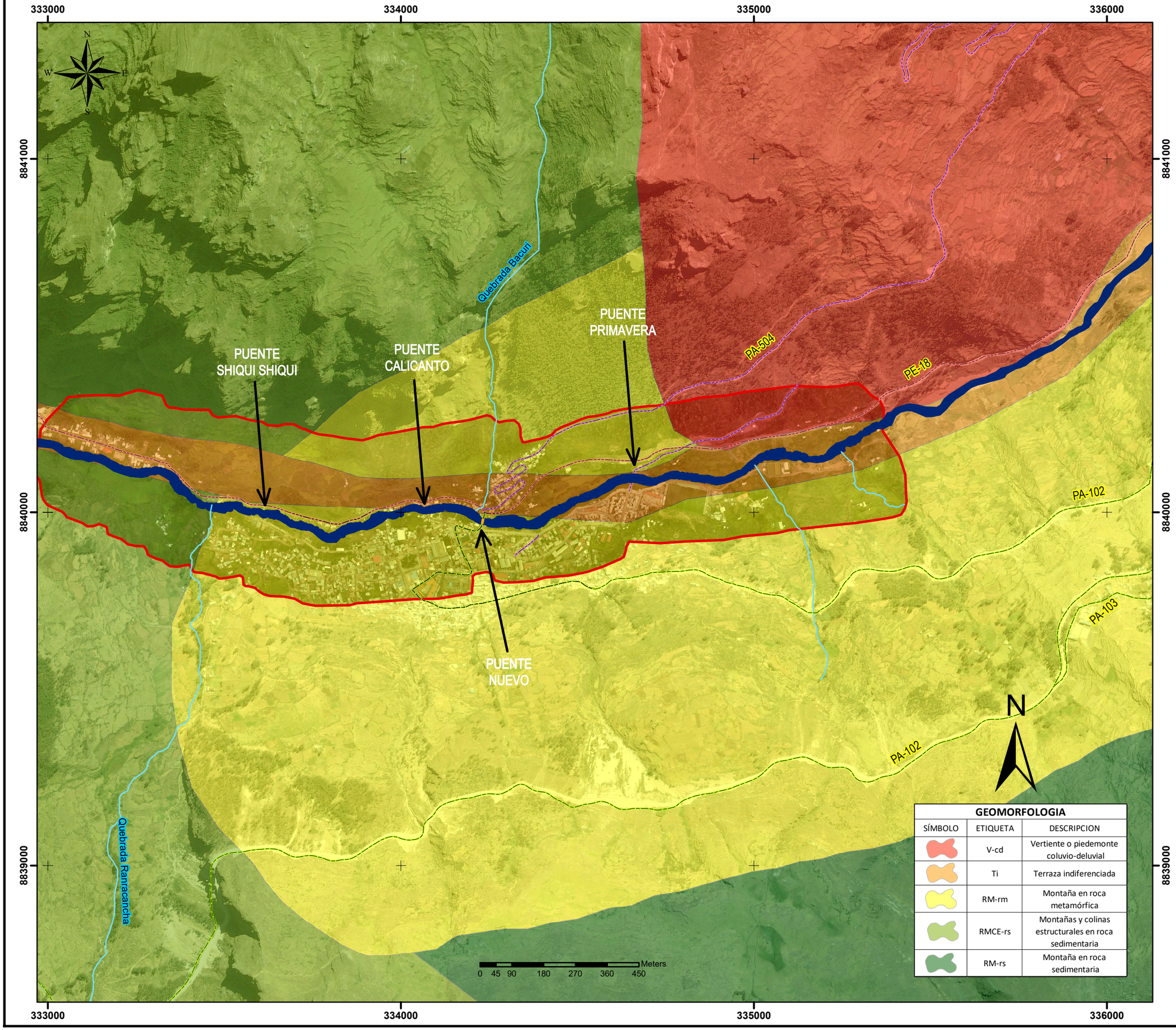
1:10,000.00

FECHA:

JULIO 2024

N° DE LÁMINA

ER - 02



GEOMORFOLOGIA		
SÍMBOLO	ETIQUETA	DESCRIPCION
	V-cd	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial
	Ti	Terraza indiferenciada
	RM-rm	Montaña en roca metamórfica
	RMCE-rs	Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria
	RM-rs	Montaña en roca sedimentaria

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES
CIP N° 228206

PROYECTO:

ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHUARANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

UBICACIÓN:

DEPARTAMENTO: PASCO
PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRIÓN
DISTRITO: YANAHUANCA

MAPA:

MAPA GEOMORFOLÓGICO

ESCALA:

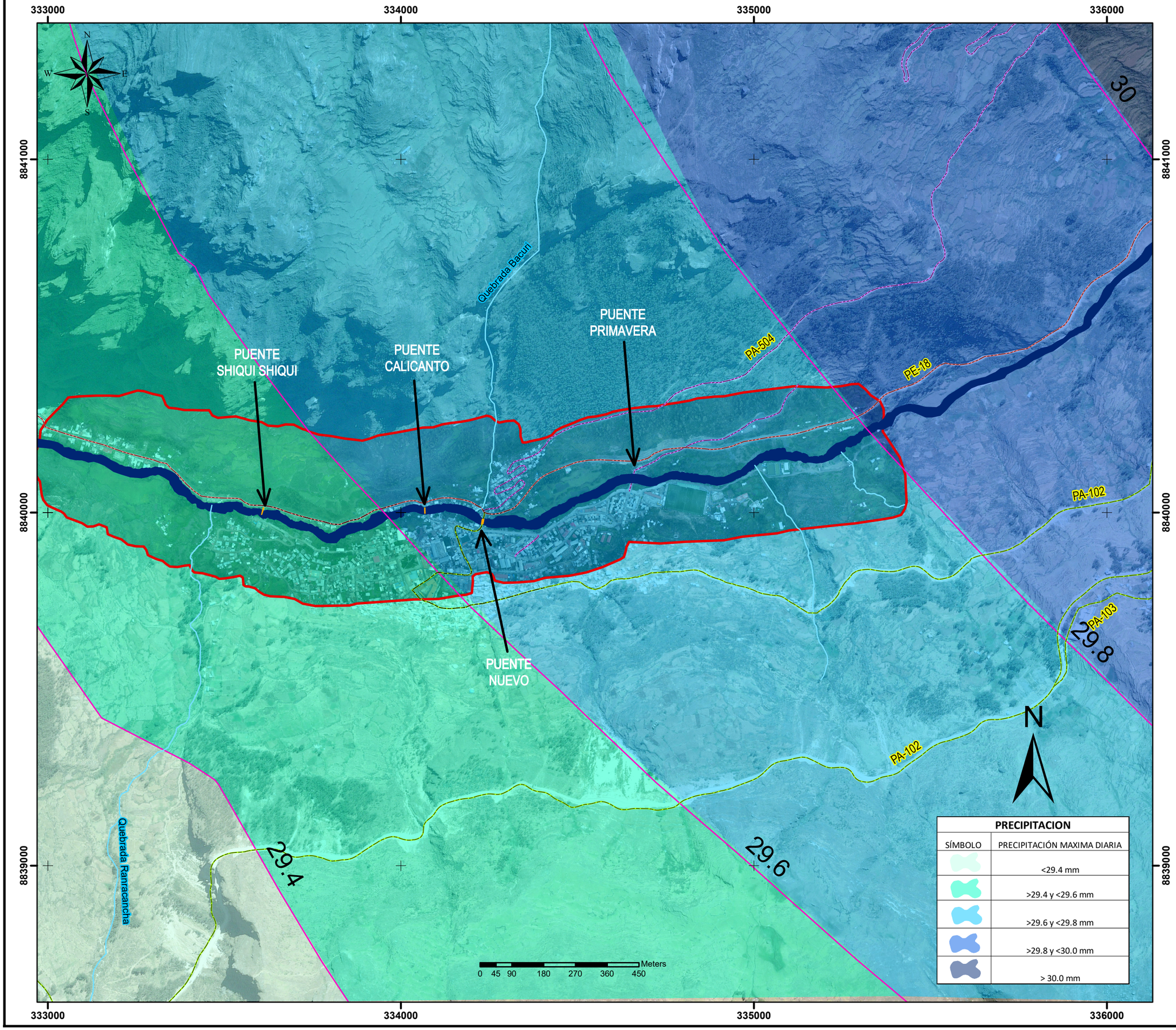
1:10,000.00

FECHA:

JULIO 2024

N° DE LÁMINA

ER - 03



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES
CIP N° 228206

PROYECTO:

ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHUARANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

UBICACIÓN:

DEPARTAMENTO: PASCO
PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRIÓN
DISTRITO: YANAHUANCA

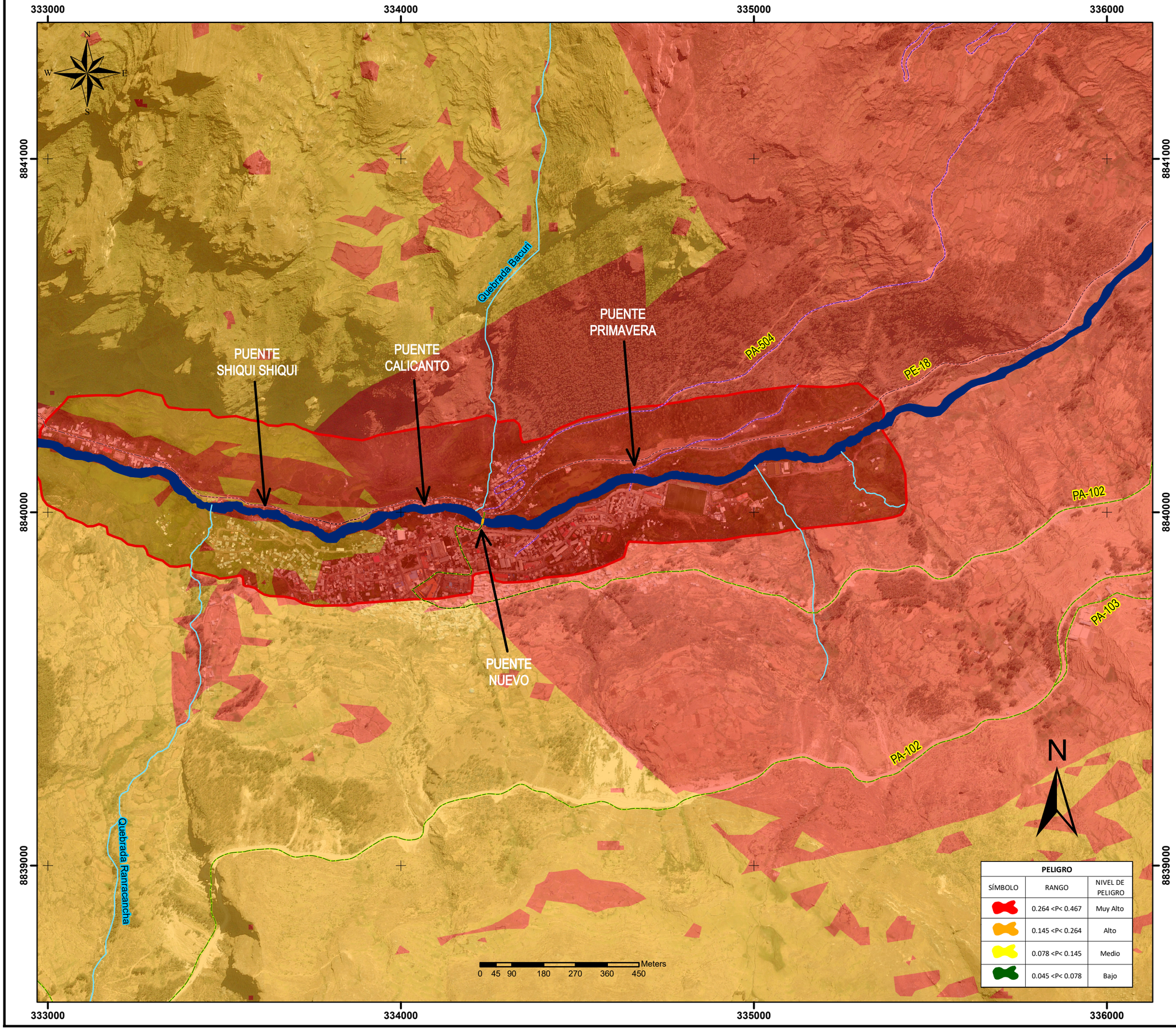
MAPA:

MAPA DE PRECIPITACIONES

ESCALA:
1:10,000.00

FECHA:
JULIO 2024

N° DE LÁMINA
ER - 04



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES

Ing. Elvin Manuel CONDOR CERVANTES
CIP N° 228206

PROYECTO:

ESTIMACIÓN DE RIESGOS ANTE INUNDACIONES, MEDIANTE EL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA, APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS, EN UN TRAMO DE LA CUENCA DEL RIO CHAUPIHUARANGA, YANAHUANCA, PASCO, 2023

UBICACIÓN:

DEPARTAMENTO: PASCO
PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRIÓN
DISTRITO: YANAHUANCA

MAPA:

MAPA DE PELIGROS

ESCALA:

1:10,000.00

FECHA:

JULIO 2024

N° DE LÁMINA

ER - 05