UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

Tesis:

"ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA – CAJAMARCA - 2024"

Para optar el título profesional de:

INGENIERO HIDRÁULICO

Presentado por:

Bach. PÉREZ VÁSQUEZ YORDAN JAMPIERE

Asesor:

Dr. Ing. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ

CAJAMARCA – PERÚ

2025

Universidad Nacional de Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA –

1. **Investigador:** YORDAN JAMPIERE PÉREZ VÁSQUEZ
   DNI: 76735049
   Escuela Profesional: Ingeniería Hidráulica

2. **Asesor:** Gaspar Virilo Méndez Cruz
   Facultad: Ingeniería

3. **Grado académico o título profesional**

   ☐Bachiller ■ Título profesional ☐Segunda especialidad

   ☐Maestro ☐Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

   ■ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional

   ☐ Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

   ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA – CAJAMARCA - 2024

6. **Fecha de evaluación:** 09/08/2025
7. **Software antiplagio:** ■ **TURNITIN** ☐ **URKUND (OURIGINAL)** ***(*)***
8. **Porcentaje de Informe de Similitud: 20 %**
9. **Código Documento: Oid: 3117:480199070**
10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

    ■ **APROBADO** ☐ **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha Emisión: Cajamarca, 10 de agosto de 2025

Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de conformidad
Fecha: 10/08/2025 19:17:33-0500

REPÚBLICA DEL PERÚ FIRMA DIGITAL

FIRMA DEL ASESOR
Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz

DNI: 26631950

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA – CAJAMARCA – 2024.*

ASESOR : *Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple Nº 0504-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 20 de agosto de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los ***veintiocho días del mes de agosto de 2025***, siendo las diez horas (10:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Ambiente 1A – Segundo Piso), de la facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Vocal : Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.
Secretario : M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA – CAJAMARCA - 2024*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Hidráulica *YORDAN JAMPIERE PÉREZ VÁSQUEZ*, asesorado por el Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : ....07..... PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : ....11..... PTS.
EVALUACIÓN FINAL : ....18..... PTS ..Dieciocho..... (En letras)

En consecuencia, se lo declara ....Aprobado..... con el calificativo de ..Dieciocho..... acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las ..doce..... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Presidente

Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.
Vocal

M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.
Secretario

Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Asesor

COPYRIGHT © 2025 by

YORDAN JAMPIERE PÉREZ VÁSQUEZ

Todos los derechos reservados

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por ampararme siempre y permitirme llegar hasta donde estoy.

A mi estimado asesor, el Dr. Ing. Gaspar Méndez, por su invaluable guía, paciencia, sus conocimientos y sus oportunas correcciones.

Asimismo, agradezco a todos los profesionales de la Escuela Profesional de Ingeniería Hidráulica, que de manera desinteresada compartieron su tiempo y conocimiento, brindándome valiosa información y perspectivas de este estudio.

Finalmente, y de forma muy especial, mi gratitud eterna a mis padres y hermanos, por su amor y por ser mi fuente constante de inspiración y motivación.

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Napoleón Pérez Ruíz y Elizabeth Vásquez Gonzales, por su amor incondicional y ser el pilar fundamental de mi vida.

A mis hermanos, Angiela y Josué, por su apoyo y motivación.

A toda mi familia, y de manera muy especial a la entrañable memoria de mi abuelito Felizardo Pérez Núñez y de mi tío Lenin Vásquez Gonzales, cuya inesperada ausencia dejó una huella profunda, pero cuyo legado de amor y alegría perdura.

ÍNDICE

RESUMEN ..... **xiv**
ABSTRACT ..... **xv**
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN **1**
1.1. Planteamiento del problema. **1**
1.2. Formulación del problema. **2**
1.3. Justificación del problema. **2**
1.4. Alcances o delimitaciones de la investigación. **2**
1.5. Limitaciones de la investigación. **2**
1.6. Objetivos. **3**
1.6.1. Objetivo general. 3
1.6.2. Objetivos específicos. 3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO **4**
2.1. Antecedentes **4**
2.1.1. Internacionales 4
2.1.2. Nacionales. 4
2.1.3. Regionales. 5
2.1.4. Locales 6
2.2. Bases teóricas **6**
2.2.1. Cartografía y Topografía 6
2.2.2. Cuenca hidrográfica 7
2.2.2.1. Parámetros hidro-geomorfológicos de una cuenca 7
2.2.3. Modelamiento Hidrológico 15
2.2.3.1. Hidrología 15
2.2.3.2. Precipitaciones Máximas en 24 horas 15
2.2.3.3. Caudal Máximo 16
2.2.3.4. Análisis de Datos Dudosos – Análisis de Outliers 16
2.2.3.5. Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogorov - Smirnov 18
2.2.3.6. Distribuciones de Probabilidad de Ajuste 19

2.2.3.7. Transposición de las Precipitaciones a las cuencas de estudio.....22
2.2.3.8. Distribución temporal Dick & Peschke.....22
2.2.3.9. Coeficientes de duración para lluvias entre una hora hasta 48 horas. 23
2.2.3.10. Hietograma 24
2.2.3.11. Software de modelamiento hidrológico.....27
2.2.3.12. Método SCS para abstracciones 29
2.2.4.13. Número adimensional de la curva CN.....31
2.2.3.14. Método SCS para estimación de caudal máximo 33
2.2.3.15. Método Snyder para estimación de caudal máximo.....34
2.2.4. Modelamiento Hidráulico.....35
2.2.4.1. Hidráulica 35
2.2.4.2. Tránsito de avenidas en ríos 36
2.2.4.3. Ríos.....38
2.2.4.4. Inundación 40
2.2.4.5. Coeficiente de Rugosidad de Manning.....41
2.2.4.6. Fórmula de Manning para caudales.....43
2.2.4.7. Software de modelamiento hidráulico.....43
2.2.5. Niveles de intensidad o peligrosidad de inundaciones pluviales 47
2.2.6. Definición de términos básicos. 48
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 51
3.1. Ubicación geográfica.....51
3.1.1. Accesibilidad.....51
3.1.2. Ubicación de la zona de estudio.....51
3.1.3. Ubicación geográfica de las microcuencas 54
3.2. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación.....56
3.2.1. Tipo 56
3.2.2. Nivel.....56

3.2.3. Diseño....56
3.2.4. Método de la investigación 57
3.3. Población de estudio y muestra....59
3.4. Equipos, materiales e insumos 60
3.5. Procedimiento....61
3.5.1. Recopilación de Información 61
3.5.2. Levantamiento Topográfico 65
3.5.3. Obtención de los Parámetros Hidro-geomorfológicos de las Microcuencas 68
3.5.4. Análisis de las Precipitaciones Máximas en 24 horas....74
3.5.5. Determinación de los periodos de retorno.....76
3.5.6. Modelamiento Hidrológico en HEC-HMS 4.12....77
3.5.7. Datos de campo para calibración del modelo numérico....80
3.5.8. Modelamiento Hidráulico en HEC-RAS 6.4.1....82
3.5.9. Mapas de Zonificación de Áreas Inundables 89
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 91
4.1. Recopilación de información: 91
4.2. Topografía....92
4.3 Caracterización según el uso de suelo en la zona de estudio....92
4.4. Caracterización del tramo de estudio según su vista fluvial. 93
4.5. Parámetros hidro-geomorfológicos de la microcuenca del río Chotano y sus quebradas aportantes 93
4.6. Análisis de la información meteorológica para las microcuencas 96
4.7. Modelamiento hidrológico de las microcuencas....96
4.8. Máxima avenida de observación....98
4.9. Modelamiento hidráulico de la zona de estudio 99
4.10. Zonificación de áreas inundables....99
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓNES....108
5.1. Conclusiones 108
5.2. Recomendaciones 109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS....110
Bibliografía 110

Linkografía **113**
ANEXOS **116**
Anexo 1. Correo recibido por el Senamhi de las precipitaciones máximas en 24 horas desde el año 1994 a 2024. ..... **116**
Anexo 2. Inundación en la zona de estudio según ANA, CENEPRED y SIGRID. **116**
Anexo 3. Recreación de la inundación ocurrida en 2006 según relatos de los residentes. **118**
Anexo 4. Análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Chota. **119**
Anexo 5. Modelamiento Hidrológico en HEC-HMS 4.12. ..... **137**
Anexo 6. Datos obtenidos para la calibración del modelo matemático. **143**
Anexo 7. Modelamiento Hidráulico en HEC RAS 6.4.1. ..... **145**
Anexo 8. Perfiles transversales del tramo de estudio para la máxima avenida observada. **155**
Anexo 9. Panel fotográfico **161**
Anexo 10. Planos **170**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Características del cuadrante seleccionado de la carta nacional.* 6
Tabla 2. *Tipo de terreno según la pendiente media.* 9
Tabla 3. *Tipo de forma de la cuenca hidrográfica según el coeficiente de Gravelius.* 11
Tabla 4. *Ubicación de la Estación convencional – meteorológica CHOTA.* 16
Tabla 5. *Valores Kn para la prueba de datos dudosos.* 17
Tabla 6. *Factor de corrección para el número de intervalos de observación.* 18
Tabla 7. *Valores críticos para la prueba de Kolmogorov-Smirnov.* 19
Tabla 8. *Coeficientes de duración para lluvias entre una hora hasta 48 horas.* 23
Tabla 9. *AMC clasificación de clases de antecedentes de humedad para el método SCS.* 31
Tabla 10. *Grupo de tipos de suelo para SCS.* 31
Tabla 11. *Curva número para el tipo de uso de suelo.* 32
Tabla 12. *Curva número para el tipo de uso de suelo general.* 32
Tabla 13. *Coeficiente "n" de Manning para cauces naturales.* 41
Tabla 14. *Coeficiente "n" de Manning para el tipo de uso de suelo.* 42
Tabla 15. *Coeficiente "n" de Manning para el tipo de uso de suelo.* 42
Tabla 16. *Rangos para clasificar el nivel de intensidad o peligrosidad de inundación.* 48

Tabla 17. *Coordenadas de inicio y fin del tramo de estudio.* 52
Tabla 18. *Coordenadas de la estación meteorológica Chota.* 52
Tabla 19. *Tipo de áreas que intervienen en la zona de estudio.* 60
Tabla 20. *Periodos de retorno según elementos analizados en la zona de estudio.* 77
Tabla 21. *Áreas según su uso de suelo en la zona de estudio.* 92
Tabla 22. *Coeficientes de Manning según el uso de suelo que intervienen en la zona de estudio.* 92
Tabla 23. *Parámetros hidro-geomorfológicos de la microcuenca del río Chotano.* 94
Tabla 24. *Parámetros hidro-geomorfológicos de la microcuenca de la quebrada S/N.* 94
Tabla 25. *Parámetros hidro-geomorfológicos de la microcuenca de la quebrada Colpamayo.* 95
Tabla 26. *Número de curva de la microcuenca del río Chotano.* 97
Tabla 27. *Número de curva de la microcuenca de la quebrada S/N.* 97
Tabla 28. *Número de curva de la microcuenca de la quebrada Colpamayo*.....97
Tabla 29. *Caudales máximos que aportan las microcuencas a la zona de estudio.* 98
Tabla 30. *Resultados en HEC-RAS 6.4.1. de los escenarios evaluados.* 99
Tabla 31. *Áreas de inundación en la zona de estudio para Tr = 50 años.* 105
Tabla 32. *Áreas de inundación en la zona de estudio para Tr = 100 años.* 105
Tabla 33. *Áreas de inundación en la zona de estudio para Tr = 135 años.* 106
Tabla 34. *Áreas de inundación en la zona de estudio para Tr = 185 años.* 106
Tabla 35. *Áreas de inundación en la zona de estudio para Tr = 285 años.* 107
Tabla 36. *Datos meteorológicos de la estación convencional Chota.* 119
Tabla 37. *Análisis de datos dudosos de las precipitaciones máximas de la estación convencional Chota.* 119
Tabla 38. *Precipitaciones máximas corregidas de la estación convencional Chota.*.....121
Tabla 39. *Distribución Normal.* 121
Tabla 40. *Distribución Log. Normal.*.....122
Tabla 41. *Distribución Log. Normal III Parámetros.*.....122
Tabla 42. *Distribución Gamma II Parámetros.* 123
Tabla 43. *Distribución Gamma III Parámetros.*.....124
Tabla 44. *Distribución Log Pearson Tipo III.* 124
Tabla 45. *Distribución Gumbel.*.....125
Tabla 46. *Distribución Log Gumbel.* 125

Tabla 47. *Distribuciones de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov.* 126
Tabla 48. *Precipitación máxima en 24 horas según los periodos de retorno.* 127
Tabla 49. *Transposición y corrección de Pmáx a la microcuenca río Chotano.* 127
Tabla 50. *Transposición y corrección de Pmáx a la microcuenca de la quebrada S/N.* 127
Tabla 51. *Transposición y corrección de Pmáx a la microcuenca de la quebrada Colpamayo.* 127
Tabla 52. *Hietogramas para las microcuencas del río Chotano, quebrada S/N y quebrada Colpamayo.* 128
Tabla 53. *Hidrogramas para las microcuencas del río Chotano, quebrada S/N y quebrada Colpamayo.* 142
Tabla 54. *Datos de sección transversal escogida en campo para calibración del modelado.* 143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Parámetros hidro-geomorfológicos de una cuenca. 7
Figura 2: Tramos de la longitud de un cauce.....11
Figura 3. *Versión QGIS 3.34.1 para la presente investigación.* 14
Figura 4. *Interfaz de programa QGIS 3.34.1.*.....15
Figura 5. *Ejemplo del gráfico que forma un Hietograma.*.....24
Figura 6. *Mapa de duración de tormentas de lluvia promedio en el Perú.* 25
Figura 7. *Interfaz del programa Hidroesta 2.*.....27
Figura 8. *Interfaz del programa HEC HMS 4.12.* 28
Figura 9. *Método del SCS.* 30
Figura 10. *Hidrograma Sintético del SCS.* 33
Figura 11. *Hidrograma Sintético Snyder.*.....34
Figura 12. *Almacenamiento según el método de Muskingum.*.....36
Figura 13. *Morfología de los ríos.* 39
Figura 14. *Diagrama del modelamiento hidráulico.* 44
Figura 15. *Interfaz del software HEC-RAS 6.4.1.*.....45
Figura 16. *Representación de términos del trinomio de Bernoulli*.....46
Figura 17. *Ubicación de la región de Cajamarca en el Perú.*.....52
Figura 18. *Ubicación de la provincia de Chota en la región de Cajamarca.* 53

Figura 19. *Ubicación del distrito de Chota en la provincia de Chota.*.....53
Figura 20. *Ubicación geográfica de la zona de estudio.* 54
Figura 21. *Ubicación geográfica de las microcuencas de estudio.* 55
Figura 22. *Ubicación de la cuenca Chamaya.*.....56
Figura 23. *Flujograma seguido para la presente investigación.*.....58
Figura 24. *Trayecto de análisis de la zona de estudio en el río Chotano (desde el Puente Choza hasta el Puente Cementerio).*.....59
Figura 25. *Delimitación de áreas en la zona de estudio.*.....60
Figura 26. *Riesgo de inundación para la zona de estudio según CENEPRED - SIGRID.*.....63
Figura 27. *Base de datos del SENAMHI para la obtención de las precipitaciones máximas en 24h.*.....64
Figura 28. *Carta Nacional para los parámetros hidro-geomorfológicos de las cuencas.* 65
Figura 29. *Delimitación de la microcuenca del Río Chotano.* 68
Figura 30. *Delimitación de la microcuenca de la Quebrada Sin Nombre (S/N).*.....69
Figura 31. *Delimitación de la microcuenca de la Quebrada Colpamayo.*.....69
Figura 32. *Manera en que se calcula los parámetros básicos de cada microcuenca.* 70
Figura 33. *Puntos emisores de las microcuencas.*.....70
Figura 34. *Modelos digitales de elevación "DEM" de las microcuencas.*.....71
Figura 35. *Forma de hallar la altitud máxima, mínima y media de cada microcuenca.*.....72
Figura 36. *Forma de hallar la pendiente promedio de las microcuencas de estudio.*.....72
Figura 37. *Cauces principales de las microcuencas de estudio.* 73
Figura 38. *Forma de análisis de distribución en el Hidroesta 2.* 75
Figura 39. *Datos de ingreso para el HEC-HMS 4.12.*.....78
Figura 40. *Métodos para calcular la máxima avenida en HEC-HMS 4.12.*.....78
Figura 41. *Modelamiento hidrológico en HEC-HMS 4.12 para la microcuenca del río Chotano.*.....79
Figura 42. *Modelamiento hidrológico en HEC-HMS 4.12 para la microcuenca de la quebrada sin nombre (S/N).* 79
Figura 43. *Modelamiento hidrológico en HEC-HMS 4.12 para la microcuenca de la quebrada Colpamayo.* 80
Figura 44. *Sección transversal del río Chotano para la calibración del modelo numérico.* .81
Figura 45. *Medidas de sección transversal del río Chotano para la calibración del modelo numérico.* 81

Figura 46. *Importación del DEM del levantamiento topográfico de la zona de estudio en el HEC-RAS 6.4.1.* 82
Figura 47. *Perfil longitudinal del rio Chotano en el HEC-RAS 6.4.1.* 83
Figura 48. *Insertado de geometría del mallado, las condiciones de fuentes naturales, faja marginal y las secciones en HEC-RAS 6.4.1.* 83
Figura 49. *Coeficientes de Manning de la zona de estudio en el HEC-RAS 6.4.1.* 84
Figura 50. *Insertado de hidrogramas en el HEC-RAS 6.4.1.* 85
Figura 51. *Insertado de condiciones de computación para el modelamiento hidráulico de la zona de estudio en el HEC-RAS 6.4.1.* 86
Figura 52. *Forma en que se observa el modelamiento hidráulico de la zona de estudio en el HEC-RAS 6.4.1.* 87
Figura 53. *Forma en que se observa el modelamiento hidráulico de la zona de estudio en el HEC-RAS 6.4.1 con imagen satelital.* 88
Figura 54. *Visualización de la exportación de simulaciones, en Q-GIS 3.34.1., del HEC-RAS 6.4.1.* 89
Figura 55. *Peligrosidad según INDECI elaborada en Q-GIS 3.34.1.* 90
Figura 56. *Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación meteorológica Chota.* 91
Figura 57. *Niveles de peligrosidad para Tr = 50 años en la zona de estudio.* 100
Figura 58. *Niveles de peligrosidad para Tr = 100 años en la zona de estudio.* 101
Figura 59. *Niveles de peligrosidad para Tr = 135 años en la zona de estudio.* 102
Figura 60. *Niveles de peligrosidad para Tr = 185 años en la zona de estudio.* 103
Figura 61. *Niveles de peligrosidad para Tr = 285 años en la zona de estudio.* 104
Figura 62. *Correo que confirma la recepción de los datos entregadas por el Senamhi.* 116
Figura 63. *Inundación en la zona de estudio según CENEPRED - SIGRID.* 116
Figura 64. *Ficha técnica de puntos críticos en el Río Chotano.* 117
Figura 65. *Recreación de inundación ocurrida en el año 2006 en la zona de estudio.* 118
Figura 66. *Resultado del análisis de datos dudosos o de Outliers.* 120
Figura 67. *Hietogramas de la microcuenca del río Chotano con Tr = 50 años.* 129
Figura 68. *Hietogramas de la microcuenca del río Chotano con Tr = 100 años.* 130
Figura 69. *Hietograma de la microcuenca del río Chotano con Tr = 135 años.* 130
Figura 70. *Hietograma de la microcuenca del río Chotano con Tr = 185 años.* 131
Figura 71. *Hietograma de la microcuenca del río Chotano con Tr = 285 años.* 131
Figura 72. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada S/N para Tr = 50 años.* 132

Figura 73. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada S/N para Tr = 100 años.* 132
Figura 74. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada S/N para Tr = 135 años.* 133
Figura 75. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada S/N para Tr = 185 años.* 133
Figura 76. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada S/N para Tr = 285 años.* 134
Figura 77. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para Tr = 50 años.* 134
Figura 78. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para Tr = 100 años.* 135
Figura 79. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para Tr = 135 años.* 135
Figura 80. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para Tr = 185 años.* 136
Figura 81. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada S/N para Tr = 285 años.* 136
Figura 82. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca del río Chotano para un Tr = 50 años.* 137
Figura 83. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca del río Chotano para un Tr = 100 años.* 137
Figura 84. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca del río Chotano para un Tr = 135 años.* 137
Figura 85. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca del río Chotano para un Tr = 185 años.* 138
Figura 86. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca del río Chotano para un Tr = 285 años.* 138
Figura 87. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada S/N para un Tr = 50 años.* 138
Figura 88. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada S/N para un Tr = 100 años.* 139
Figura 89. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada S/N para un Tr = 135 años.* 139
Figura 90. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada S/N para un Tr = 185 años.* 139
Figura 91. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada S/N para un Tr = 285 años.* 140

Figura 92. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para un Tr = 50 años.* 140
Figura 93. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para un Tr = 100 años.* 140
Figura 94. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para un Tr = 135 años.* 141
Figura 95. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para un Tr = 185 años.* 141
Figura 96. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para un Tr = 285 años.* 141
Figura 97. *Inundación para Tr=50 años en la zona de estudio en HEC RAS 6.4.1.*.....145
Figura 98. *Velocidades del flujo de inundación para Tr=50 años en la zona de estudio.* ...146
Figura 99. *Inundación para Tr=100 años en la zona de estudio en HEC RAS 6.4.1.*.....147
Figura 100. *Velocidades del flujo de inundación para Tr=100 años en la zona de estudio.* 148
Figura 101. *Inundación para Tr=135 años en la zona de estudio en HEC RAS 6.4.1.*.....149
Figura 102. *Velocidades del flujo de inundación para Tr=135 años en la zona de estudio.* 150
Figura 103. *Inundación para Tr=185 años en la zona de estudio en HEC RAS 6.4.1.*.....151
Figura 104. *Velocidades del flujo de inundación para Tr=185 años en la zona de estudio.* 152
Figura 105. *Inundación para Tr=285 años en la zona de estudio en HEC RAS 6.4.1.*.....153
Figura 106. *Velocidades del flujo de inundación para Tr=285 años en la zona de estudio.* 154
Figura 107. *Vista de las proyecciones de los cortes transversales en HEC-RAS 6.4.1*.....155
Figura 108. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+028 m.*.....156
Figura 109. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+102 m.*.....156
Figura 110. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+194 m.*.....157
Figura 111. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+344 m.*.....157
Figura 112. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+502 m.*.....158
Figura 113. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+557 m.*.....158
Figura 114. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+630 m.*.....159
Figura 115. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+691 m.*.....159

Figura 116. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+759 m.*.....160
Figura 117. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+816 m.*.....160

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Visita a la zona de estudio para la visualización de vestigios.....62
Fotografía 2. Visita a la zona de estudio para la visualización de vestigios.....62
Fotografía 3. *Punto BM en el puente Choza.*.....66
Fotografía 4. *Punto BM en tramo de estudio.*.....66
Fotografía 5. *Punto BM en el puente Cementerio.* 67
Fotografía 6. *Toma de puntos en el Thalweg con el GPS diferencial.* 67
Fotografía 7. *Equipos utilizados para el levantamiento topográfico.* 68
Fotografía 8. *Reconocimiento del tramo de estudio.* 161
Fotografía 9. *Reconocimiento del tramo de estudio.* 161
Fotografía 10. *Unión de la quebrada S/N con el Río Chotano.*.....162
Fotografía 11. *Unión de la quebrada Colpamayo con el Río Chotano.*.....162
Fotografía 12. *BM en el punto de inicio (Puente Choza) del tramo de estudio.* 163
Fotografía 13. *BM en el punto de inicio (Puente Choza) del tramo de estudio.* 163
Fotografía 14. *BM en el tramo de estudio.* 164
Fotografía 15. *BM en el tramo de estudio.* 164
Fotografía 16. *BM en el tramo de estudio.* 165
Fotografía 17. *BM en el tramo de estudio.* 165
Fotografía 18. *BM en el punto inicial (Puente Cementerio) fin del tramo de estudio.* 166
Fotografía 19. *Levantamiento con GPS diferencial del tramo de estudio.*.....166
Fotografía 20. *Levantamiento con GPS diferencial del tramo de estudio.*.....167
Fotografía 21. *Levantamiento con GPS diferencial del tramo de estudio.*.....167
Fotografía 22. *Levantamiento con GPS diferencial del tramo de estudio.*.....168
Fotografía 23. *Levantamiento con GPS diferencial del tramo de estudio.*.....168
Fotografía 24. *Equipo del levantamiento topográfico con dron y GPS diferencial de la zona de estudio.* 169
Fotografía 25. *Trabajo de Gabinete.* 169
Fotografía 26. *Crecida del río Chotano, aguas arriba del puente Cementerio el 30/04/2025.* 170

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general zonificar las áreas inundables ocasionadas por máximas avenidas del río Chotano en la zona sureste de la ciudad de Chota, distrito de Chota, provincia de Chota, región de Cajamarca; comprendiendo un tramo de evaluación de 0.82km desde el puente Choza hasta el puente Cementerio. La investigación es tipo aplicativa, de nivel no experimental, según los vestigios de la zona de estudio se ha hecho el levantamiento topográfico con un mínimo de 50m de ancho desde riberas del río Chotano, después con el programa QGIS 3.34.1 se hallaron los parámetros hidro-geomorfológicos de las microcuencas del río Chotano, la quebrada S/N y la quebrada Colpamayo, contando con áreas de 102.09, 3.07 y 34.73 km^2 respectivamente, luego se hizo el modelamiento hidrológico en HEC-HMS 4.12 con los datos de precipitaciones máximas brindadas por Senamhi de la estación meteorológica Chota con una data desde el 1994 al 2024 para así obtener los caudales máximos con los métodos de SCS y de Snyder para los periodos de retorno de 50, 100, 135, 185 y 285 años, obteniéndose caudales progresivos de 403.30, 470.53, 506.90, 537.79 y 581.99 m^3/s. Posteriormente, se realizó el modelamiento hidráulico con el programa HEC-RAS 6.4.1 insertando el DEM del levantamiento topográfico, el coeficiente "n" de Manning, el CN de la zona de estudio y los caudales máximos obtenidos, para finalmente pasarlo a mapas usando QGIS 3.34.1, observándose que para un Tr de 50 años, se estima un área inundada de 4.10 hectáreas, aumentando a 4.57 hectáreas para 100 años, 4.93 hectáreas para 135 años, 5.17 hectáreas para 185 años y alcanzando 5.48 hectáreas para un periodo de retorno de 285 años. Finalmente, mediante la comparación con datos de campo, incluyendo vestigios de la inundación y testimonios de residentes en la zona sureste de Chota, ha permitido establecer que el evento de inundación ocurrido en 2006 se corresponde con un periodo de retorno de 100 años, que al zonificar y cuantificar las áreas inundables, los resultados revelan que un evento de inundación de esta magnitud actualmente afectaría además de los puentes Choza y Cementerio, inundando 0.58 ha de área urbana, 1.43 ha de pastos y alfalfa, 0.95 ha de árboles y arbustos, 0.98 ha de cultivos como la papa y maíz, 0.63 ha de trochas carrozables y caminos.

Palabras clave: Zonificar, parámetro hidro-geomorfológico, microcuenca, modelamiento hidrológico, estación meteorológica, precipitación máxima, caudal máximo, periodo de retorno, modelamiento hidráulico, DEM, CN, inundación, área inundable.

ABSTRACT

The general objective of this research was to zone the floodable areas caused by maximum floods of the Chotano River in the southeast area of the city of Chota, district of Chota, province of Chota, region of Cajamarca; comprising an evaluation section of 0.82km from the Choza bridge to the Cementerio bridge. The research is of an applicative type, of non-experimental level, according to the vestiges of the study area, the topographic survey has been made with a minimum of 50m wide from the banks of the Chotano River, then with the QGIS 3.34.1 program the hydro-geomorphological parameters of the micro-basins of the Chotano River, the S/N creek and the Colpamayo creek were found. with areas of 102.09, 3.07 and 34.73 km2 respectively, then the hydrological modeling was done in HEC-HMS 4.12 with the maximum rainfall data provided by Senamhi from the Chota meteorological station with a data from 1994 to 2024 in order to obtain the maximum flows with the SCS and Snyder methods for the return periods of 50, 100, 135, 185 and 285 years, obtaining progressive flows of 403.30, 470.53, 506.90, 537.79 and 581.99 m3/s. Subsequently, hydraulic modeling was carried out with the HEC-RAS 6.4.1 program inserting the DEM of the topographic survey, Manning's coefficient "n", the CN of the study area and the maximum flows obtained, to finally transfer it to maps using QGIS 3.34.1, observing that for a 50-year Tr, a flooded area of 4.10 hectares is estimated. increasing to 4.57 hectares for 100 years, 4.93 hectares for 135 years, 5.17 hectares for 185 years and reaching 5.48 hectares for a return period of 285 years. Finally, by comparing it with field data, including vestiges of the flood and testimonies of residents in the southeast area of Chota, it has been possible to establish that the flood event that occurred in 2006 corresponds to a return period of 100 years, which by zoning and quantifying the floodable areas, the results reveal that a flood event of this magnitude would currently affect in addition to the Choza and Cementerio bridges, flooding 0.58 ha of urban area, 1.43 ha of pastures and alfalfa, 0.95 ha of trees and shrubs, 0.98 ha of crops such as potatoes and corn, 0.63 ha of dirt roads and roads.

Keywords: Zoning, hydro-geomorphological parameter, micro-basin, hydrological modeling, meteorological station, maximum precipitation, maximum flow, return period, hydraulic modeling, DEM, CN, flood, floodable area.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema.

Las predicciones apoyadas en el cambio de patrón e intensidad de las lluvias pronostican inundaciones en diversas partes del mundo; principalmente para la parte norte de los Andes, siendo con mayor asiduidad en la altitud, mientras en los terrenos bajos y en el sur de Sudamérica se reducen (Fischer, 2021).

El fenómeno climatológico del Niño registrado en el año 2017 hizo que muchas de las regiones del Perú sufrieran abatimientos por parte de la naturaleza; especialmente, la región de Cajamarca fue uno de los más afectados por ser justamente región altoandina, además, en esta región en la mayoría de veces se registra fuertes precipitaciones, pero que, en el año 2017, sufrió estos eventos extraordinarios que afectaron a 114 de sus distritos, con un saldo de 13,123 damnificados, con viviendas, sembríos e infraestructura vial destruida (INDECI, 2017).

La ciudad de Chota, ubicada en la parte centro de la región de Cajamarca, no es exenta de la ocurrencia de los fenómenos meteorológicos extremos, es todo lo contrario, al estar en la sierra norte del país, perennemente se ve afectada por severas precipitaciones pluviales originando inundaciones en las calles, en especial las zonas próximas a las fuentes naturales como son los ríos y quebradas (Ordoñez, 2021).

El asentamiento urbano, al pasar de los años, poco a poco va incrementado provocando construcciones de viviendas que se están ubicando a riberas al cauce del río Chotano. Esta ocupación es alarmante, porque cuando el río Chotano de un momento a otro incrementa formidablemente su caudal y en temporada de lluvias tiende a generar inseguridad en las viviendas construidas, como también hasta afectar físicamente a sus habitantes (Díaz, 2023).

Exactamente no se cuenta con los registros del momento que se dio las grandes crecidas del río Chotano aguas arriba del puente Cementerio, pero según vestigios y por los habitantes que aún sigues residiendo en la misma zona, estas no solo causaron inundaciones, sino también el colapso de los puentes teniendo que ser reconstruidos en más de una ocasión; además, afectó viviendas, una casa comunal, personas y animales que se encontraban en el lugar de los hechos. Al encuestar a los habitantes que ya llevan mucho tiempo en el mismo lugar viviendo, mencionan que, en el año 1976, por las fuertes lluvias, fue la primera vez que se presenció las inundaciones, luego el segundo y último caso registrado fue en 2006. Después de ese último no se ha presenciado similares ocurrencias. Por lo tanto, la presente investigación se centrará

en zonificar las áreas inundables, causadas por máximas avenidas para el tiempo de retorno representativo referido a la inundación del 2006, entre el tramo puente Choza y el puente Cementerio ubicado en la zona sureste de la ciudad de Chota, con el fin de tener en cuenta la inundación que genera y hacer frente a posibles peligros en un futuro.

1.2. Formulación del problema.

¿Cuáles son las zonas inundables ocasionadas por máximas avenidas del Río Chotano en la zona sureste de la ciudad de Chota - Cajamarca - 2024?

1.3. Justificación del problema.

La presente investigación ayudará a identificar las áreas con diferente nivel de inundación, con esta información, además de hacer conocer a la población de las áreas de inundación por desborde del río Chotano, también, informar a los entes gubernamentales para que puedan administrar dicha información en la planificación y gestión del territorio, para así minimizar los riesgos a la población.

1.4. Alcances o delimitaciones de la investigación.

La investigación tiene como delimitación espacial desde el Puente Choza - coordenadas UTM WGS Z 17S 759836.30 E y 9272736.40 N - hasta el Puente Cementerio - coordenadas UTM WGS Z 17S 759543.30 E y 9273253.70 N - teniendo un recorrido del tramo del río de 821 m.

La investigación se centra en el procesamiento de datos para la generación de caudales máximos según los periodos de retorno y zonificación de áreas inundables usando principalmente los softwares QGIS 3.34.1, HEC-HMS 4.12 y HEC RAS 6.4.1.

1.5. Limitaciones de la investigación.

En el punto de investigación no se cuenta con alguna estación hidrológica, por lo que se pidió al Senamhi datos de la estación convencional – meteorológica Chota con coordenadas en latitud: 6°32'49.66" S y longitud: 78°38'55.07" W que se encuentra muy cerca de la zona de estudio, importando la data de 31 años desde 1994 al 2024. Asimismo, para la obtención de los parámetros hidro-geomorfológicos de las microcuencas del río Chotano y quebradas aportantes se usará el archivo 14-f de la carta nacional de la fuente GEO GPS PERÚ. Además, las rugosidades de Manning y el CN se las pondrá empíricamente según fuentes de investigación para la zona de estudio, con la finalidad de obtener mayor precisión de datos.

1.6. Objetivos.

1.6.1. Objetivo general.

Zonificar las áreas inundables ocasionadas por máximas avenidas del río Chotano en la zona sureste de la ciudad de Chota - Cajamarca - 2024.

1.6.2. Objetivos específicos.

a) Caracterizar desde el punto de vista de uso del suelo la zona sureste de la ciudad de Chota.

b) Caracterizar el tramo de estudio del río Chotano y fuentes aportantes desde el punto de vista fluvial.

c) Estimar el caudal y el periodo de retorno de la inundación observada en la zona de estudio.

d) Determinar el caudal y nivel de inundación en la zona para periodos de retorno de 50, 100, 135, 185 y 285 años.

e) Elaborar mapas de áreas inundables.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Sánchez (2021), determina el nivel de riesgo para los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años en una zona del río Grijalva usando el álgebra de mapas en un sistema de información geográfica. Al hacer el análisis hidráulico, tiene como resultado, que al superponer los mapas de peligro y vulnerabilidad en el software QGIS en los escenarios de 10, 50 y 100 años se contempló la evolución del riesgo para los distintos eventos, donde el área de riesgo alto fue en aumento hasta llegar a un riesgo muy alto.

Ogras y Onnen (2020), valúan las zonas inundables y crean un mapa de riesgo de inundación con el fin de predecir las zonas de riesgo en el río Tigris. Para ello obtuvieron las características hidráulicas del lecho de inundación junto con los perfiles de la superficie del agua de las crecidas para tiempos de retorno de 25, 50 100 y 500 años en el software HEC-RAS.

Criado et al., (2019), establecieron un proceso de estimación de la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad a la que se somete la población y de sus bienes causadas por inundaciones en el río Tomes en Salamanca - España. Ellos analizaron los escenarios con diferente ocurrencia e intensidad en su probabilidad con 5, 50, 100 y 500 años de periodo de retorno. Luego calcularon los caudales de cada periodo, con la extensión, velocidad y profundidad del agua en cada evento, como resultado teniendo la profundidad y de la velocidad. Para que finalmente identifiquen las muchas edificaciones existentes expuestas a las inundaciones en las proximidades del río en la zona estudiada.

Luna (2019), al hacer el modelamiento en el software HEC-RAS del río Suches–Bolivia obtuvo el comportamiento de los caudales para los periodos de 10, 20 y 100 años. Como resultado halló que para un periodo de retorno de 10 años ya se notaban las primeras inundaciones y ya para un periodo de retorno de solo 20 años todas las secciones ya se encuentran inundadas.

2.1.2. Nacionales.

Belizario y Pancca (2020), ejecutan el comportamiento del cauce del río Coata (Puno) en una simulación con los softwares IBER y HEC-RAS, permitiéndoles identificar las zonas inundables, Además, concluyen que el modelo hidráulico bidimensional IBER tienen para los periodos de retorno y su área afectada es de 5 años =119.37 ha, 20 años = 318.06 ha, 50 años = 331.1 ha y 100 años = 344.98 ha y con el modelo hidráulico Unidimensional HEC-RAS

tienen un área de inundación de 5 años =118.62 ha, 20 años = 306.56 ha, 50 años = 312.67 ha y 100 años = 423.98 ha.

Ramos (2019), utiliza la metodología de flujo permanente en el modelo hidráulico, descrito en el manual de hidrología, hidráulica y drenaje – MTC. Asimismo, hace uso del modelamiento hidrológico en el software HEC-HMS v4.2 para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años; determinando que las áreas inundables del tramo urbano del río San Ramón para diferentes periodos de retorno son: T2 = 13.29 ha, T5 = 18.96 ha, T10 = 24.67 ha, T25 = 30.28 ha, T50 = 34.70 ha y T100 = 38.97 ha.

Rojas (2019), hace su estudio reuniendo información de planos, imágenes satelitales, datos hidro-meteorológicos, entre otros. Después de que trata la información haciendo uso de los softwares como Hyfran, Sasplanet, HEC-HMS, Hec-GeoRas, ArcGis 10.4(ArcMap-ArcSen), Global Mapper 19, AutoCAD Civil 3D, Surfer, WEAP y hojas de cálculo en Excel obtuvo los caudales para los periodos de retorno de 20, 50, 100, 200, 1000, 2000 y 10000 años. Finalmente, a través del modelamiento hidráulico en HEC-RAS consiguió las posibles áreas inundables de la subcuenca Juana Ríos-Lambayeque para los periodos de retorno de 100 años con un área de 1340.36 ha inundada y 200 años con un área de 2201.31 ha inundada.

2.1.3. Regionales.

Paredes (2023), trabaja con una data de precipitaciones máximas de 24 horas para hallar el hidrograma unitario con un tiempo de retorno de 200 años, para luego hacer el modelamiento hidráulico bidimensional en el software HEC-RAS, hallando de esta manera los tirantes máximos alcanzados por la quebrada Tumbillan en el tramo de 1 km, donde el tirante de agua superaba los 1.5m afectando a parcelas agrícolas ya a viviendas cercanas a la quebrada.

Quiroz (2023), utiliza la información meteorológica de precipitaciones máximas desde el año 1971 hasta el 2021, procesando la información en el software HEC-HMS para hallar los caudales para los periodos de retorno de 25, 50, 65, 100 y 200 años considerando el periodo de observación de 65 años que simulan la inundación ocurrida en el año 2002 de la zona de estudio en el río Condebamba-Cachachi. Finalmente, ella obtiene las áreas inundables con el software HEC-RAS que cuantificándoles serían de 104.503, 112.885, 115.307, 120.304 y 128.696 ha para cada uno de los periodos de retorno.

Aparicio (2021), identificó las áreas inundables del río Las Quinuas-La Encañada-Cajamarca para tiempos de retorno de 15, 25 y 40 años, con caudales de 110.753 m^3/s, 123.860 m^3/s y

136.844 m^3/s. Siendo para este último las áreas inundadas de 479 m^2 para pueblo, 412 m^2 en la trocha, 2404 m^2 en bosques, 7537 m^2 para cultivos y 3217 m^2 en el lecho de río.

Díaz (2019), elige tres caudales máximos para el modelamiento hidráulico, con lo que resultó en períodos de retorno de 50, 200 y 500 años, obteniendo los caudales de 260.59, 324.92 y 365.77 m3 /s. Concluyendo que, para el caudal de mayor magnitud, el área de inundación en la zona de pastos cortos fue 5.82 ha., en la zona de pastos altos 0.76 ha., y en la zona de asfalto (carretera asfaltada) 0.17 ha.

2.1.4. Locales.

Diaz (2023), hace su modelamiento en HEC-RAS del rio Chotano en el tramo del puente Cementerio hasta el Puente Chota, ubicados en el sector 2 y 5 de la ciudad de Chota, utilizando los tiempos de retorno de 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años, así calculando las áreas de inundación que ascienden a 9.37, 10.16 10.70, 11.31, 11.85 y 12.63 ha que representan el 30, 33, 34, 36, 38 y 41 % de la zona de estudio.

Ticlla (2022), determina las áreas probables de inundación, haciendo el uso del modelamiento en HEC-RAS obteniendo la inundación del río San Mateo-Chota, para los tiempos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, siendo 2.59, 2.77, 2.92 y 3.13 ha, respectivamente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cartografía y Topografía

Disciplina enfocada a la representación geográfica de la superficie terrestre, en la presente investigación se ha hecho uso de las cartas nacionales obtenidas del Instituto Geográfico Nacional “IGN”.

2.2.1.1. Cuadrante 14-f de la Carta Nacional

Las cartas nacionales disponibles en el portal del IGN se encuentran a una escala de 1: 100 000, para el presente estudio se ha hecho uso de la carta mencionada en la Tabla 1.

Tabla 1.

Características del cuadrante seleccionado de la carta nacional.

Cuadrante	Extensión		Zona	Cuadrícula
	Latitud	Longitud		
14-f	6°30' a 7°00'	78°30' a 79°00'	17	M

Nota: IGN o GEO GPS, 2024.

2.2.1.2. Topografía

Disciplina que usa todos los métodos con el único fin de reunir la información de la superficie de la Tierra, como los lechos de corrientes hídricas, relieves y otros (González et al., 2023).

a. Levantamiento hidrográfico: Hace relación a los deslindes de los cuerpos de agua tales como los ríos, quebradas, lagos y otros, así como la forma irregular de la batimetría. La finalidad de este levantamiento de terreno es para la delimitación de sus cercanías a las fuentes naturales para uso urbano, estudio de sedimentos, inundaciones, etc.

b. DEM: El Modelo Digital de Elevación es un ráster que representa a la superficie continua de la Tierra. Dicho archivo sirve para transferir o almacenar la información de relieve para proyectos como el GIS (Sistemas de Información Geográfica), este DEM es obtenido después de hacer el levantamiento topográfico o en esta investigación después del levantamiento hidrográfico de la zona de estudio.

c. Ortofoto: Representación fotográfica de la superficie de la Tierra, tiene una misma escala, sin deformaciones o errores, es válida tanto como un plano topográfico o carta nacional.

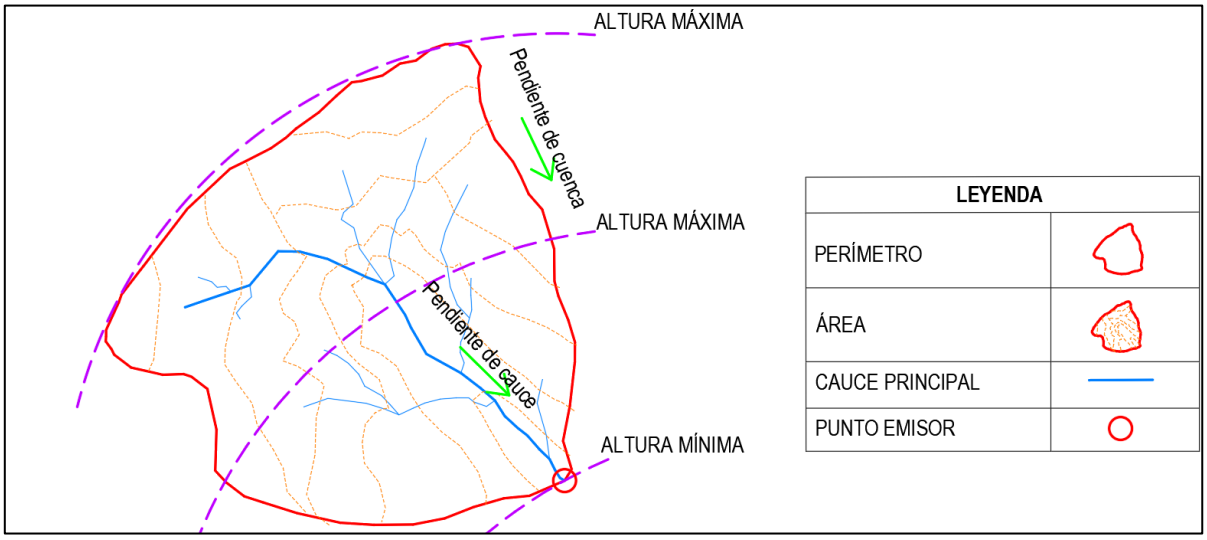
2.2.2. Cuenca hidrográfica

Es toda área de terreno que drena sus aguas a una fuente natural como lo son los ríos.

2.2.2.1. Parámetros hidro-geomorfológicos de una cuenca

Estos parámetros tienen una gran relevancia para hallar el caudal máximo de la fuente natural de la cuenca, los parámetros usados en la presente investigación son los siguientes:

Figura 1: *Parámetros hidro-geomorfológicos de una cuenca.*



a. Parámetros básicos

a.1. Perímetro de la cuenca:

Es la línea de forma muy irregular que se genera después de haber delimitado la cuenca (Villón, 2002, p.32).

a.2. Área de la cuenca:

Es la superficie terrestre que está delimitada por el perímetro de la cuenca.

a.3. Punto emisor de la cuenca:

Es el punto de fluidez o de salida de la cuenca, siendo el punto con la mínima altura de la cuenca hidrográfica.

b. Parámetros de relieve

b.1. Altitud máxima de la cuenca:

Es el límite superior o cota máxima "msnm" de la cuenca hidrográfica.

b.2. Altitud mínima de la cuenca:

Es el límite inferior o cota mínima "msnm" de la cuenca hidrográfica.

b.3. Altura media de la cuenca:

Este indicador es de suma importancia para importar la data de información de estaciones meteorológicas hacia las cuencas con poca información (Ortiz, 2004). De forma gráfica considerar el 50% del área de la cuenca se halla trazando dos perpendiculares una en el eje "x" y la otra en el eje "y" de la curva hipsométrica. Y numéricamente, se obtiene la ecuación 1 (Villón, 2002).

$$A_m = \frac{\sum a * e}{A} \quad (1)$$

Donde:

A_m = Altura media de la cuenca.

a = Área entre dos contornos o curvas de nivel.

e = Promedio de la elevación de los contornos o curvas de nivel.

A = Área total de la cuenca.

(Villón, 2002)

b.4. Pendiente media de la cuenca:

Este parámetro tiene una relación singular con la escorrentía superficial, infiltración subterránea y la humedad del suelo; asimismo es un factor que controla el tiempo de concentración de las precipitaciones en los cauces. Para hallar la pendiente en una cuenca se pueden usar los criterios de Alvord, Horton, Nash, el Rectángulo Equivalente (Villón, 2002).

Tabla 2. *Tipo de terreno según la pendiente media.*

Pendiente (%)	Tipo de terreno
0 - 2	Plano
2 - 5	Suave
5 - 10	Accidentado medio
10 - 15	Accidentado
15 - 25	Fuertemente accidentado
25 - 50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

Nota: (Gámez, 2010)

Criterio de Alvord

Se basa en la obtención de la pendiente media mediante las porciones de terreno entre curvas de nivel de la cuenca hidrográfica.

$$S_c = \frac{D_1 * l_1 + D_2 * l_2 + \cdots D_n * l_n}{A} \quad (2)$$

Donde:

S_c = Pendiente media de la cuenca.

D_n = Desnivel entre curvas de nivel, en km.

l_1 = Longitud de curva de nivel, en km.

A = Área total de la cuenca en km^2.

(Villón, 2002)

b.5. Coeficiente orográfico de la cuenca:

Asociado con el potencial de degradación o erosión de la cuenca, asimismo este parámetro adimensional incrementa cuando aumenta la altura media y disminuye el área de la cuenca hidrográfica. Por esta razón, el valor del parámetro es mayor para microcuencas pequeñas que son montañosas y disminuye para aquellas cuencas amplias con pendientes bajas (Ortiz, 2004).

$$C_o = \frac{(H_{med})^2}{A} \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

Donde:

C_o = Coeficiente orográfico de la cuenca hidrográfica.

H_{med} = Altura media de la cuenca hidrográfica, en m.

A = Área total de la cuenca, en km^2.

b.6. Factor de forma:

Es la relación entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud. Si lo pasamos a forma rectangular a la cuenca:

$$F_f = \frac{B}{L^2} \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

Donde:

F_f = Factor de forma de la cuenca hidrográfica. Mientras menor sea el valor, tiene menor posibilidad de tener una tormenta de precipitaciones continua, porque la cuenca es más alargada.

L = Longitud total de la cuenca, en km.

B = Ancho promedio de la cuenca en km.

(Villón, 2002)

b.7. Coeficiente de compacidad o de Gravelius:

Desde los comienzos de la hidrología moderna se han definido los diversos índices de forma de la cuenca, entre los cuales se destacan los que tratan de describir el grado de compacidad de la misma, tales como el coeficiente te compacidad K (Gravelius, 1914) y el índice de circularidad C (Miller, 1953).

El índice de compacidad definida por Gravelius, relaciona el perímetro de la cuenca hidrográfica entre el perímetro equivalente de una circunferencia con la misma área que la cuenca siendo:

$$Kc = \frac{Perímetro\ de\ la\ cuenca\ hidrográfica}{Perímero\ de\ un\ círculo\ de\ igual\ área} \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

$$Kc = \frac{P}{Pc} = \frac{P}{2 * \pi * r} = \frac{P}{2 * \pi * \sqrt{\frac{A}{\pi}}} = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

$$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

Donde:

Kc = Coeficiente de Gravelius de la cuenca.

P_c = Perímetro de una circunferencia de igual área que la cuenca, en km.

P = Perímetro de la cuenca, en km.

A = Área total de la cuenca en km^2.

(Villón, 2002)

Tabla 3. *Tipo de forma de la cuenca hidrográfica según el coeficiente de Gravelius.*

Valores de Kc	Forma	Características
1.00 - 1.25	Compacta o redonda a oval redonda	Cuenca torrencial peligrosa
1.25 - 1.50	Oval redonda a oval oblonga	Presenta peligros torrenciales, pero no iguales a la anterior
1.50 - 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga	Son las cuencas que tienen menos torrencialidad

Nota: (Arango, 2001)

c. Parámetros de la red hidrológica

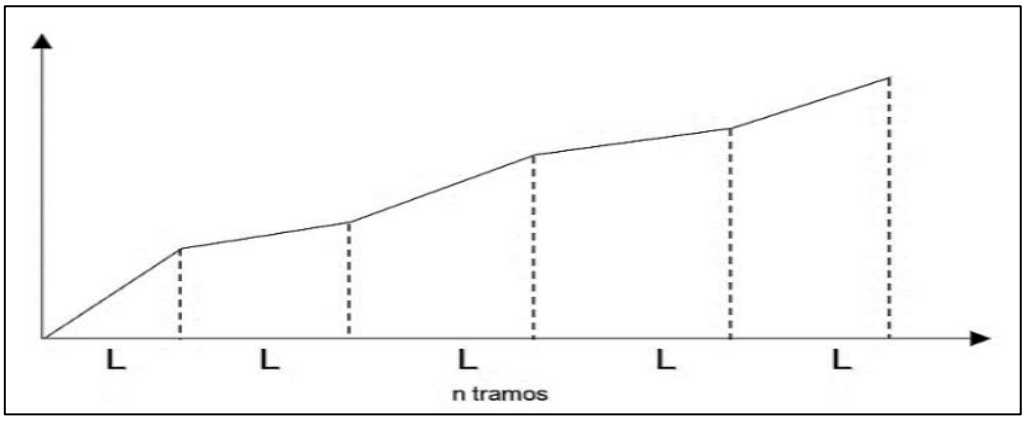
c.1. Longitud del cauce principal de la cuenca:

Es el recorrido total del cauce predominante en la cuenca hidrográfica.

c.2. Pendiente media del cauce principal de la cuenca:

La pendiente se considera como el cociente al dividir el desnivel de los extremos de un tramo entre su longitud horizontal. La ecuación de Taylor y Schwarz considera la formación de un río por tramos de igual longitud como se muestra en la figura:

Figura 2: Tramos de la longitud de un cauce.



Nota: (Villón, 2002)

Siendo la ecuación de Taylor y Schwarz:

$$S = \left(\frac{n}{\frac{1}{S_1^{1/2}} + \frac{1}{S_3^{1/2}} + \cdots + \frac{1}{S_n^{1/2}}} \right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

Pero la ecuación descrita solo es cuando las longitudes de los tramos son iguales, pero en campo no es así, por lo que se recomienda la siguiente ecuación.

$$S = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{S_i^{1/2}}} \right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

Donde:

S = Pendiente media del cauce principal, en m/m.

S_1, $S_{2, \ldots,}$ S_n = Pendiente de cada tramo, en m/m.

n = Número de tramos.

L_i = Longitud de tramo i, en m.

S_i = Pendiente del tramo i, en m/m.

(Villón, 2002).

c.3. Tiempo de concentración de la cuenca:

Metafóricamente hablando es el tiempo que requiere una gota en recorrer desde el punto más lejano hidráulicamente posible, hasta la salida de la cuenca hidrográfica. Además, hay una relación inversa entre la duración de la precipitación y su intensidad, la cual es a mayor duración disminuye la intensidad de la tormenta; por lo tanto, la duración crítica es igual al tiempo de concentración (MTC, 2018)

Métodos para hallar el tiempo de concentración:

El tiempo de concentración real depende de diversos factores, como la geometría de la microcuenca, la pendiente de la fuente natural principal, las características del uso de suelo y otros. Por lo que, para la presente investigación se han tomado en cuenta los siguientes métodos para hallar el tiempo de concentración para las microcuencas de estudio:

- Ecuación de Kirpich 1940, desarrollada para cuencas rurales de Tennesse con fuentes definidas y pendientes entre 3-10%.

$$t_c = 0.019047 * L^{0.77} * s^{-0.385} \quad \ldots\ldots\ldots (10)$$

- California Culverts Practice 1942, modifica la ecuación de Kirpich para pequeñas cuencas montañosas.

$$t_c = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385} \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

- Ecuación de Témez creada en 1978; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas con superficie menor a 770 km2.

$$t_c = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76} \quad \ldots\ldots\ldots (12)$$

- Fórmula de Giandotti 1934, desarrollada para pequeñas cuencas montañosas italianas.

$$t_c = (4 * S^{\frac{1}{2}} + 1.5 * L)/(0.8 * H^{\frac{1}{2}}) \quad \ldots\ldots\ldots (13)$$

- Ecuación de retardo SCS 1973, desarrollada con información de cuencas de uso agrícola.

$$t_c = \frac{0.0136 * L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{S^{0.5}} \quad \ldots\ldots\ldots (14)$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración en minutos.

L = Longitud del máximo recorrido, km.

H = Diferencia entre la altitud máxima y mínima del curso.

S = Pendiente promedio del cauce con mayor recorrido, en m/m.

CN = Número de curva de la microcuenca de estudio.

s = Pendiente promedio de la microcuenca de estudio, en m/m.

(MTC, 2018)

d. Software QGIS 3.34.1. para los parámetros hidro-geomorfológicos:

Los SIG (Geographic Information System) o sistemas de información geográfica en español dan la facilidad de visualizar, analizar y almacenar los datos de una superficie terrestre.

Quantum GIS: es el software que permite construir un SIG, con el cual se crean mapas, modelos, datos, aplicaciones geoespaciales. Este es de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows. Su aplicación sirve para manejar formatos raster y vectoriales como bases de datos.

Sus principales funciones son:

_Procesamiento de imágenes satelitales a datos de mapa.

_Análisis estadístico de datos espaciales.

_Manejo de base de datos espaciales con sus atributos.

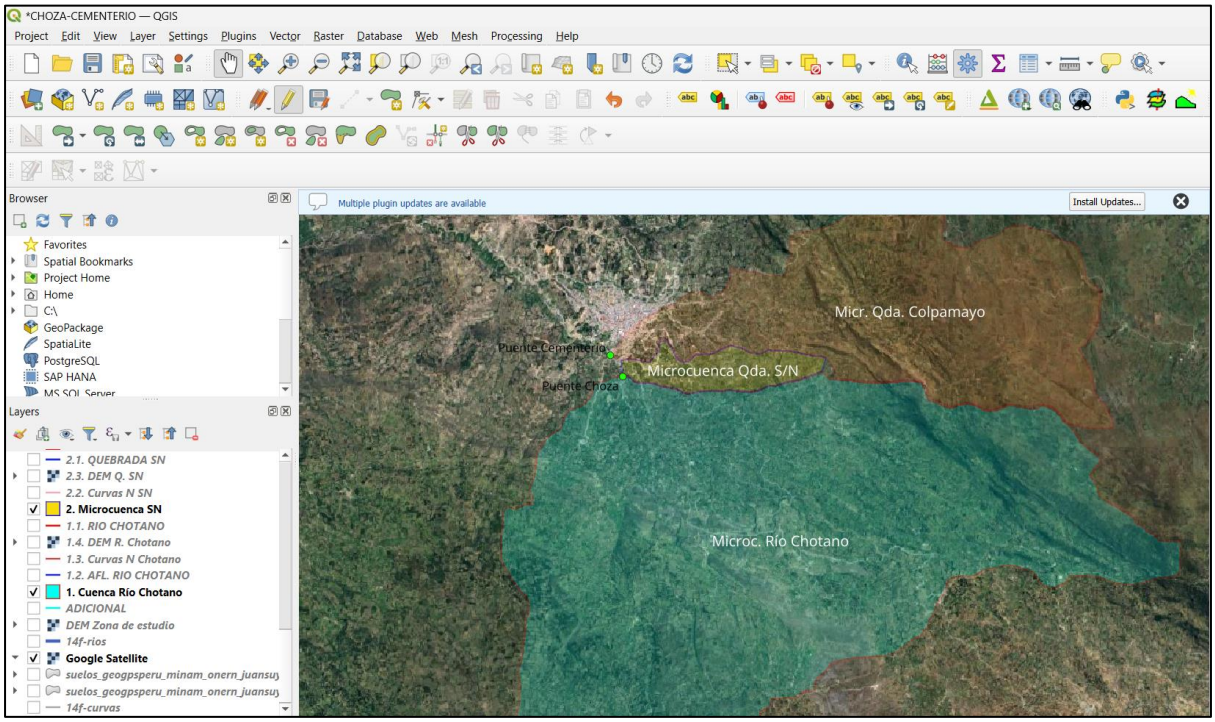
_Análisis geográfico en base a la localización.

_Apoyo de toma de decisiones para la ubicación de recursos.

_Digitalización de mapas en formatos digitales para su impresión.

Figura 3. *Versión QGIS 3.34.1 para la presente investigación.*

Figura 4. *Interfaz de programa QGIS 3.34.1.*



Nota: Para más detalle ver en anexo de planos.

2.2.3. Modelamiento Hidrológico

2.2.3.1. Hidrología

Es el estudio que es realizado a través del registro de las máximas avenidas anuales, esta admite determinar de manera supuesta la probabilidad de ocurrencia de este fenómeno natural. El análisis de la información hidrológica y meteorológica en el estudio debe ser con los datos proporcionados del Senamhi (MTC, 2018).

2.2.3.2. Precipitaciones Máximas en 24 horas

Es el registro de la cantidad máxima de precipitación ocurrida en una hora de un día, de un área específica, esta se obtiene de las lecturas que se hace a la estación meteorológica desde las 07:00 a.m. de un día hasta las 07:00a.m. del día posterior. A partir de estas precipitaciones máximas diarias, se sacan las precipitaciones máximas mensuales y las anuales. Las precipitaciones máximas son cruciales para determinar las tormentas extremas y los impactos que ocasionarían como las inundaciones (González & Mora, 2013).

Estación meteorológica

Conjunto de equipos e instrumentos utilizados para medir, registrar y analizar la condición de la atmósfera en un punto específico. Los datos que se miden son la humedad relativa, la velocidad y dirección de viento, las precipitaciones, la presión atmosférica y otros (Barona et al., 2022).

La estación meteorológica usada para la presente investigación se ubica como se lo muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. *Ubicación de la Estación convencional – meteorológica CHOTA.*

Ubicación Política:		**Ubicación Geográfica:**	
Departamento:	Cajamarca	***Latitud:***	6°32'49.66" S
Provincia:	Chota	***Longitud:***	78°38'55.07" W
Distrito:	Chota	***Altitud:***	2468 msnm.

Nota: Ubicación de la estación meteorológica Chota.

2.2.3.3. Caudal Máximo

El caudal máximo es el flujo más alto de agua que se presenta en un curso de agua durante un periodo específico, generalmente asociado a eventos hidrológicos extremos, como tormentas intensas o deshielos. Este valor es clave en la ingeniería hidráulica, ya que es utilizado para diseñar infraestructuras capaces de soportar estos flujos, como presas, canales y sistemas de drenaje, para así asegurar que estas obras al establecerlas estén sin riesgo de fallos estructurales. La determinación de este caudal se obtiene al hacer el análisis de datos históricos de precipitaciones o caudales mediante el modelamiento hidrológico que permite prever el comportamiento del flujo en situaciones de alta intensidad (Jácome, 2022).

2.2.3.4. Análisis de Datos Dudosos – Análisis de Outliers

Proceso de identificación y evaluación de datos que se desvían significativamente del comportamiento general de un grupo de datos. Estos datos que se desvían son valores atípicos o conocidos como Outliers, pueden ser producto de errores en la medición o fallos del sistema de recolección de datos como también de eventos excepcionales que no se ajustan a la tendencia general. En el contexto hidráulico, el análisis de Outliers es esencial para garantizar la precisión de los modelos y las conclusiones, ya que los datos dudosos pueden afectar negativamente la confiabilidad de los resultados en estudios que hacen uso de las simulaciones hidrológicas. Existen varios métodos estadísticos para detectar estos datos, como la desviación estándar, el rango intercuartílico o como el análisis de regresión (Eraso et al., 2023).

Según la Asociación Estadounidense de Recursos Hídricos en 1981 el rango máximo y mínimo para los datos dudosos a escala logarítmica es:

$$Y_H = \bar{y} + K_n * S_y \quad \ldots\ldots\ldots (15)$$

$$Y_L = \bar{y} - K_n * S_y \quad \ldots\ldots\ldots (16)$$

Donde:

Y_H = Límite máximo de datos dudosos.

Y_L = Límite mínimo de datos dudosos.

$\bar{y}$ = Media de los valores y=log(x).

Kn = Coeficiente que depende del tamaño de la muestra en tabla 5.

S_y = Desviación estándar de los logaritmos de las precipitaciones.

Además, el valor de los datos de las precipitaciones máximas será:

$$P_H = 10^{Y_H} \quad \ldots\ldots\ldots (17)$$

$$P_L = 10^{Y_L} \quad \ldots\ldots\ldots (18)$$

Donde:

P_H = Valor máximo de datos dudosos.

P_L = Valor mínimo de datos dudosos.

Tabla 5. *Valores Kn para la prueba de datos dudosos.*

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

Nota: U.S. Water Resources Council, 1981. Valores de Kn con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Ajuste de la precipitación con intervalo fijo

Es el proceso de corrección y modificación de las series de datos de precipitación para que se ajusten a un intervalo temporal fijo, como diario, mensual o anual. Sirve para obtener una serie temporal coherente y homogénea, especialmente cuando los datos originales provienen de mediciones con diferentes intervalos de tiempo. Este ajuste es fundamental para el análisis hidrológico, permitiendo comparar y analizar los datos de precipitación de manera que sea consistente, sin distorsionar los resultados por las variaciones en la frecuencia de las mediciones (MTC, 2018).

Tabla 6. *Factor de corrección para el número de intervalos de observación.*

Número de intervalos de observación	Relación
1	1.13
2	1.04
3-4	1.03
5-8	1.02
9-24	1.01

Nota: (Linsley et al., 1977)

2.2.3.5. Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogorov - Smirnov

Herramienta estadística que se utiliza para evaluar si un conjunto de datos sigue una distribución específica, comparando la distribución empírica de los datos con una distribución teórica. Esta prueba mide la máxima diferencia acumulada entre las funciones de distribución empírica y teórica, y se usa comúnmente para verificar la validez de modelos de distribución en los estudios hidrológicos. En caso de que la estadística de la prueba es grande, se puede concluir que los datos no se ajustan bien a la distribución teórica, mientras que valores pequeños sugieren un buen ajuste (Zhang & Wei, 2021).

Según la guía del MTC del 2018 se tiene:

$$D = máx|F_o(X_m) - F(X_m)| \quad \ldots\ldots\ldots (19)$$

Donde:

D = Valor máximo del valor absoluto.

F_oX_m = Probabilidad observada.

FX_m = Probabilidad estimada.

Además:

$$F_o(X_m) = 1 - m/(n+1) \quad \ldots\ldots\ldots (20)$$

Donde:

F_oX_m = Probabilidad observada.

m = Número de orden del dato

X_m = Es una lista de mayor a menor.

n= número total de datos.

Al compararla con el valor crítico "d" que se obtiene de la tabla 7, si D<d, la hipótesis es nula.

Tabla 7. *Valores críticos para la prueba de Kolmogorov-Smirnov.*

Tamaño de 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: (Aparicio, 1996).

2.2.3.6. Distribuciones de Probabilidad de Ajuste

Según el manual de MTC 2018 las probabilidades de ajuste a tener en cuenta son:

i. Distribución Normal

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2} \quad \ldots\ldots\ldots (21)$$

Donde:

f(x) = Función que representa a la densidad normal de la variable x.

x = Valor de variable independiente.

μ = Media aritmética de x, siendo el parámetro de localización.

S= Desviación estándar de x, siendo el parámetro de escala.

(MTC, 2018).

ii. Distribución Log Normal 2 parámetros

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(\frac{-(x-\bar{X})^2}{2S^2}\right)} dx \quad \ldots\ldots\ldots (22)$$

Donde:

$\bar{X}\ y\ S$ = Parámetros de distribución.

Asimismo, si la variable x de la ecuación 16 se reemplaza de y=f(x), tal que y=log(x), se transforma en ley de probabilidades Log-Normal, N(Y, Sy). Por lo tanto, haciendo la relación $C_s = a/S^3 y$ entonces:

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{Y})^3 \qquad \ldots\ldots\ldots (23)$$

Donde:

Cs = Coeficiente de oblicuidad de la muestra transformada.

Sy = Desviación estándar de la muestra transformada.

$\bar{Y}$ = Media de los datos de la muestra transformada.

(Monsalve, 1999).

iii. Distribución Log Normal 3 parámetros

Donde la función de la densidad en "x" es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{(2\pi)Sy}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{Ln(x-x_0)-Uy}{Sy}\right)} \qquad \ldots\ldots\ldots (24)$$

Donde:

$x > x_0$

f(x) = Función que representa a la densidad normal de la variable x.

x = Valor de variable independiente.

Uy = Media.

Sy^2= Varianza.

(MTC, 2018).

iv. Distribución Gamma 2 parámetros

Siendo:

$$f(x) = \frac{x^{y-1} e^{-x/B}}{B^y \Gamma(y)} \qquad \ldots\ldots\ldots (25)$$

Donde:

Válido para: $0 \leq x < \infty, \quad 0 < y < \infty \quad \& \quad 0 < B < \infty$

y = Parámetro de forma.

B = Parámetro de escala.

(MTC, 2018).

v. Distribución Gamma 3 parámetros

Siendo:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{y-1} e^{-\frac{x-x_0}{B}}}{B^y \Gamma(y)} \quad \ldots\ldots\ldots (26)$$

Donde:

Válido para: $x_0 \leq x < \infty, \quad -\infty \leq x < \infty, \quad 0 < B < \infty \quad \& \quad 0 < y < \infty$

x_0 = Parámetro de posición, origen de la variable x.

y = Parámetro de forma.

B = Parámetro de escala.

(MTC, 2018).

vi. Distribución Log Pearson tipo III

Siendo:

$$f(x) = \frac{(lnx - x_0)^{y-1} e^{-\frac{lnx-x_0}{B}}}{xB^y \Gamma(y)} \quad \ldots\ldots\ldots (27)$$

Donde:

Válido para: $x_0 \leq x < \infty, \quad -\infty \leq x < \infty, \quad 0 < B < \infty \quad \& \quad 0 < y < \infty$

x_0 = Parámetro de posición, origen de la variable x.

y = Parámetro de forma.

B = Parámetro de escala.

(MTC, 2018).

vii. Distribución Gumbel

Conocida como la doble exponencial siendo:

$$f(x) = e^{-e^{\alpha(x-B)}} \quad \ldots\ldots\ldots (28)$$

Donde:

$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$: Parámetro de concentración.

$B = \mu - 0.45\sigma$: Parámetro de escala.

Se expresa de la siguiente manera según Ven te Chow:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x \quad \ldots\ldots\ldots (29)$$

Donde:

x = Valor con una probabilidad.

$\bar{x}$ = Media aritmética de la serie.

k = Factor de la frecuencia.

(Chow, 1994).

viii. Distribución Log Gumbel

La variable reducida se expresa como;

$$y = \frac{lnx - \mu}{\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots (30)$$

Asimismo, la función de la variable acumulada reducida es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad \ldots\ldots\ldots (31)$$

(MTC, 2018).

2.2.3.7. Transposición de las Precipitaciones a las cuencas de estudio

Según Ortiz, para los sistemas hidrológicos alto andinos que tengan similitud hidráulica se hace la transferencia de la información meteorológica usando la ecuación:

$$P_d = \left(\frac{H_d}{H_0}\right) * \left(\frac{t_0}{t_d}\right) * P_0 = H_e * t_e^{-1} * P_0 \quad \ldots\ldots\ldots (32)$$

Donde:

P_d = Precipitación total medida (mm).

P_0 = Precipitación en la cuenca de destino (mm).

H_e = Altitud de cuenca de destino entre la altitud de la cuenca de origen (mm).

t_d = Escala de periodos de duración.

(Ortiz, 2015).

2.2.3.8. Distribución temporal Dick & Peschke

Es el modelo empírico utilizado en hidrología para representar cómo se distribuye la precipitación a lo largo del tiempo durante un evento lluvioso, además este modelo es especialmente relevante para la estimación de la escorrentía en cuencas urbanas y rurales, ya

que permite simular la variabilidad temporal de la intensidad de la lluvia. A través de estos modelos, es posible ajustar la distribución de la lluvia en intervalos de tiempo específicos, facilitando la predicción de los efectos de la lluvia en el comportamiento del flujo ayudando en el diseño de infraestructuras hidráulicas como presas, canales o sistemas de drenaje (Guevara, 1991).

Este método es mencionado por Guevara en 1991, es elaborado por Dick y Peschke en 1983, siendo:

$$P_d = P_{24h}\left(\frac{d}{1440}\right)^{0.25} \quad \ldots\ldots\ldots (33)$$

Donde:

P_d = Precipitación total medida (mm).

P_{24h} = Precipitaciones máximas en 24 horas (mm).

d = Duración (min).

La intensidad se calcula dividiendo la precipitación máxima "Pd" obtenida entre el tiempo de duración que dio lugar esa precipitación máxima.

(Dick & Peschke,1983).

2.2.3.9. Coeficientes de duración para lluvias entre una hora hasta 48 horas.

En nuestro país, ordinariamente se tienen registros de lluvias máximas en 24 horas, pero realmente en una zona de estudio es muy difícil que una tormenta dure esas 24 horas. Gracias a la poca información pluviográfica que se tiene, por lo que, desde la precipitación máxima de 24 horas, se multiplica por un coeficiente de duración como se muestra en la tabla:

Tabla 8. *Coeficientes de duración para lluvias entre una hora hasta 48 horas.*

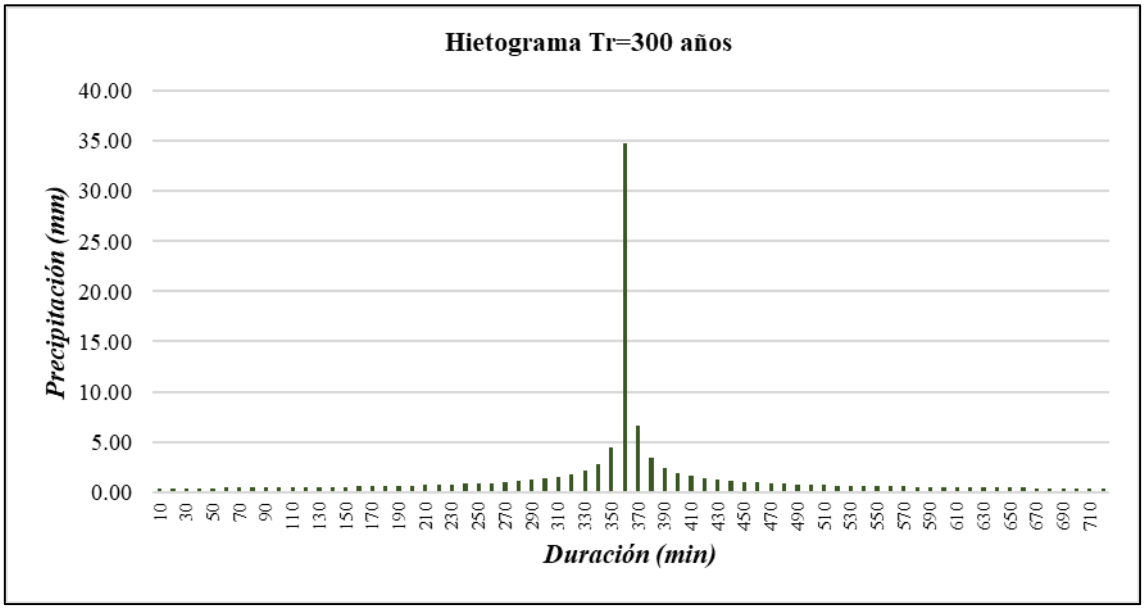
Duración de Precipitación en Horas	Coeficiente
1	0.25
2	0.31
4	0.44
6	0.50
10	0.73
12	0.79
16	0.87
20	0.93
24	1.00
48	1.32

Nota: Adaptado del Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje (MTC, 2018)

2.2.3.10. Hietograma

Según lo que dice el manual de hidrología, hidráulica y drenaje si el dato de la precipitación máxima en las 5 horas más lluviosas es de 100 mm, este no es suficiente; por lo cual es necesario saber cómo se distribuyen esos 100 mm a lo largo de las 5 horas. Para esto los enfoques hidrológicos más avanzados no solo requieren el valor de la lluvia o la intensidad de diseño, sino también una distribución temporal de la tormenta, es decir, el análisis se enfoca en cómo se distribuyen las precipitaciones a lo largo del tiempo en las tormentas observadas (MTC, 2018).

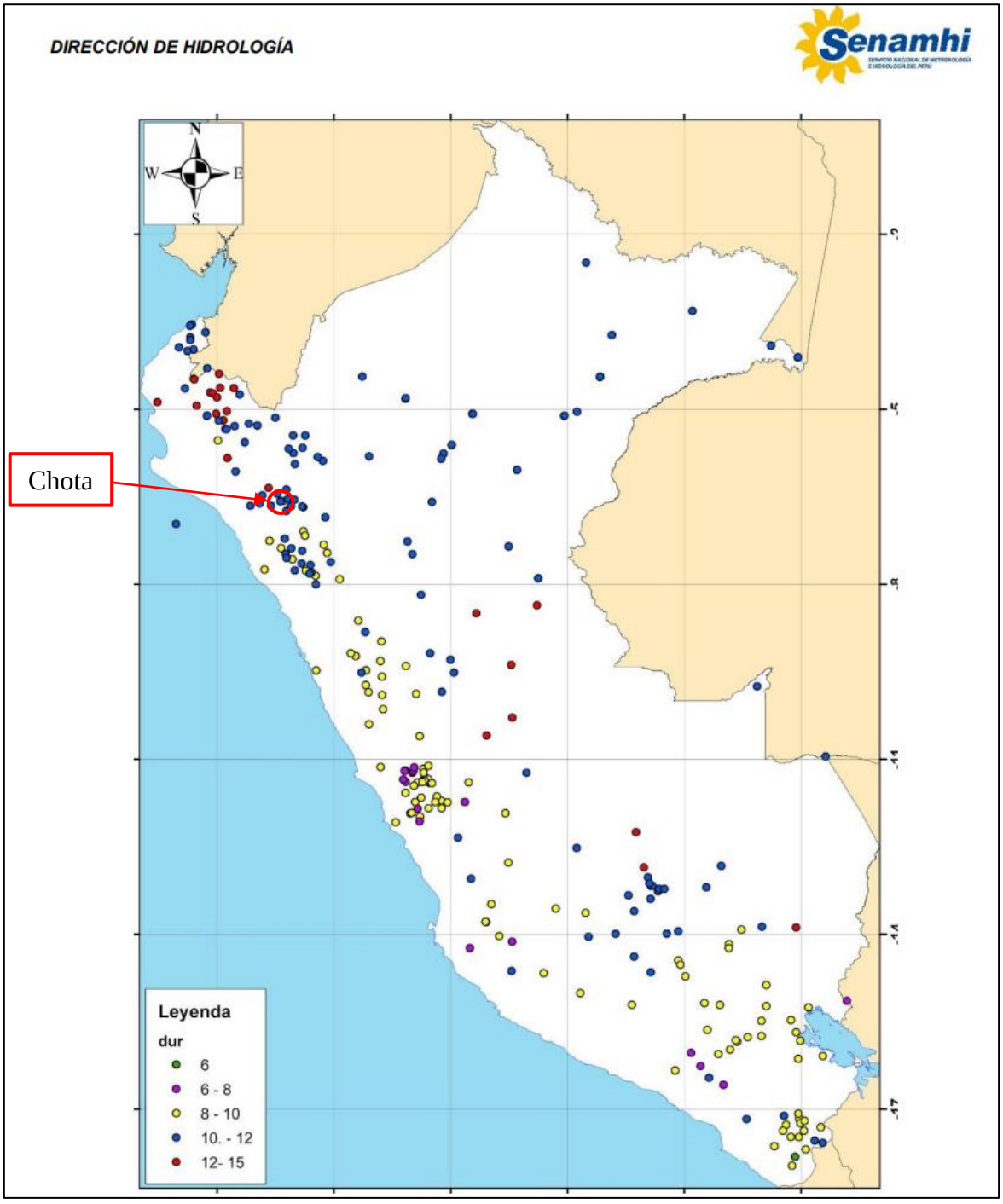
Figura 5. *Ejemplo del gráfico que forma un Hietograma.*



Nota: En la parte vertical izquierda se ubican los valores de la precipitación en milímetros “mm” y en la parte horizontal inferior se coloca la duración en minutos “min” del fenómeno natural. Este gráfico se arma para cada tiempo de retorno que se estudie.

En la provincia de Chota durante la temporada de lluvias, en especial entre los meses de febrero a abril y de septiembre a noviembre, los eventos de las precipitaciones pueden ser intensos. La evaluación de tormentas pluviométricas en todo el Perú realizada por el Senamhi indica que la duración de lluvia en Chota es de 12 horas tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 6. *Mapa de duración de tormentas de lluvia promedio en el Perú.*



Nota. De Evaluación de eventos de tormentas pluviométricas con información satelital (Tupac et al. 2022, p. 25).

Tiempo de retorno Tr

Conocido comúnmente como periodo de retorno, es una medida estadística que indica la frecuencia que se espera que ocurra un evento extremo o en este caso un evento hidrológico

extremo a través de una precipitación intensa o una crecida de río, basado en observaciones pasadas. Asimismo, hace referencia a la medida de los intervalos de tiempo entre eventos de igual o mayor magnitud que se usa para evaluar el riesgo de eventos extremos como en el diseño de infraestructuras hidráulicas, por lo que tener en cuenta que a mayor tiempo de retorno la probabilidad que ese evento ocurra es menor (Burbano & Zarama, 1996).

La probabilidad de que un evento ocurra en un tiempo determinado en "N" años de análisis es:

$$P(X \geq Xt) = \frac{1}{T} \quad \ldots\ldots\ldots (34)$$

Asimismo:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - R)^{1/N}} \quad \ldots\ldots\ldots (35)$$

Donde:

T = Tiempo de retorno en función al riesgo admisible y el número de años de análisis.

P (X ≥ X) = Probabilidad de excedencia.

Xt = Intervalo de ocurrencia del evento.

R= Riesgo de falla.

(Chow, 1994)

Método de Bloques Alternos

Este método proporciona de forma simplificada para elaborar un hietograma de diseño cuyo resultado es una curva de Intensidad-Duración-Frecuencia "IDF", el hietograma generado a través de este método determina la cantidad de precipitación que se presenta en "n" intervalos de tiempo sucesivos con una duración Δt, sobre una duración total de Td=nΔt. Luego de haber seleccionado los periodos de retorno elegidos, la intensidad se obtiene de la curva IDF para cada duración Δt, 2Δt, 3Δt, etc., donde la profundidad de precipitación se calcula multiplicando la intensidad por la duración. Después, al tomar las diferencias entre los valores sucesivos de profundidad de precipitación, se obtiene la cantidad de lluvia que debe agregarse en cada intervalo de tiempo adicional Δt; finalmente los bloques de precipitación se reorganizan en una secuencia temporal, de forma que la intensidad máxima se ubique en el centro de la duración requerida Td y el resto de los bloques se dispongan en orden descendente hacia la derecha e izquierda desde el bloque central y como resultado se obtiene el hietograma de diseño (Chow, 1994).

2.2.3.11. Software de modelamiento hidrológico

El modelamiento hidrológico es la representación matemática de los procesos relacionados cn el ciclo del agua en una cuenca hidrográfica, cuyo objetivo es de simular y predecir el comportamiento del caudal de agua en un área determinada bajo diferentes condiciones. Este proceso utiliza los modelos computacionales para analizar las precipitaciones, evaporación, infiltración, escorrentía y otros factores afectan al sistema hídrico (Fetter, 2018). En la presente investigación se ha convertido precipitaciones a caudales haciendo uso del modelamiento hidrológico.

Para la presente investigación se han usado el Hidroesta 2 y el HEC-HMS 4.12:

Fundamento del Hidroesta 2:

Es un software utilizado para el modelamiento hidrológico, el cual simula el comportamiento de los sistemas fluviales. Además, permite hacer el cálculo de regresión lineal a múltiple, lo que facilita la representación al hacer los estudios hidrológicos haciendo la evaluación de la serie de datos ajustando a los modelos de Log Pearson, Gamma y otros parámetros como se los describen en el ítem “2.2.3.6. Distribuciones de Probabilidad de Ajuste” (Villón, 2012).

Figura 7. *Interfaz del programa Hidroesta 2.*

Fundamento del HEC-HMS 4.12 (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System):

Software de modelamiento hidrológico creado por el cuerpo de ingenieros pertenecientes al ejército de los Estados Unidos. Este modelo simula los procesos hidrológicos en las cuencas hidrográficas, así calculando los caudales máximos y evaluar los eventos naturales como las precipitaciones causan sequías o inundaciones.

Las aplicaciones del HEC HMS 4.12 que se pueden dar son:

- Transforma las precipitaciones en escorrentía (caudal).

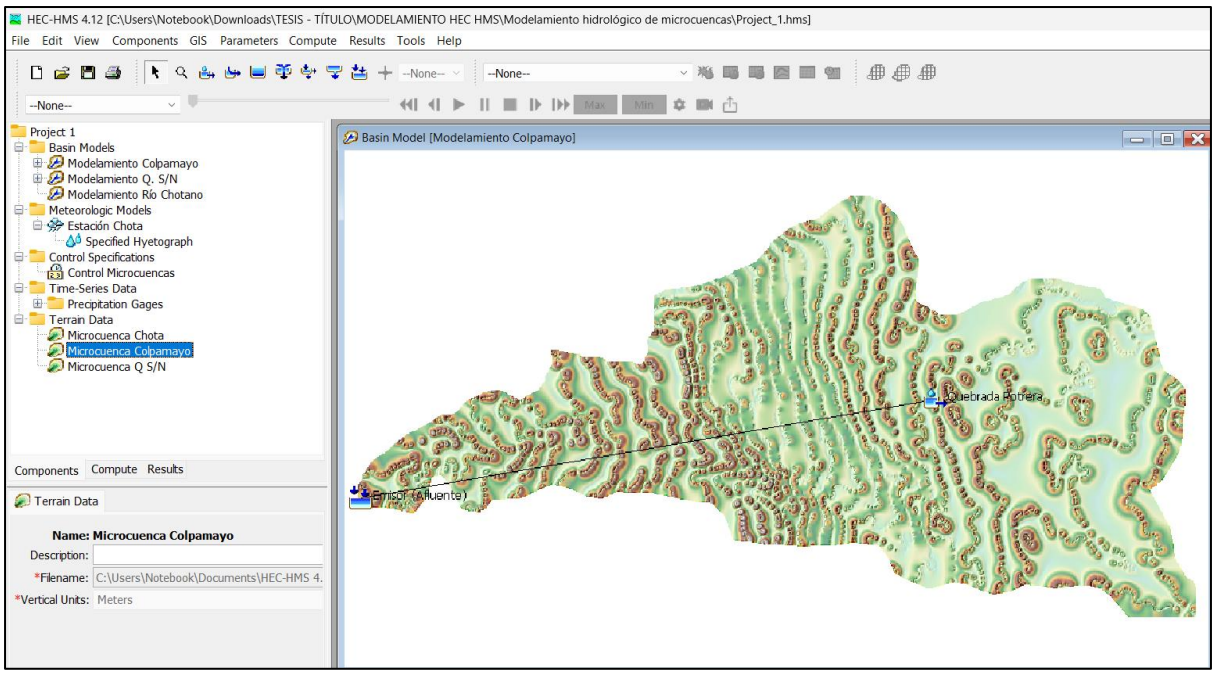
- Calcula las abstracciones, es decir, determina el agua que se pierde por el tipo de superficie de la zona de estudio.

- Utiliza la infiltración, es el agua que va desde la superficie del terreno hacia el subsuelo.

- Integra los datos de evapotranspiración, que es la pérdida del agua tanto en el suelo del terreno y de la vegetación hacia a la atmósfera.

(Feldman, 2020)

Figura 8. *Interfaz del programa HEC HMS 4.12.*



Los métodos y ecuaciones usadas en HEC HMS 4.12 para hallar los caudales máximos a según los tiempos de retorno para la presente investigación se han utilizado es el método SCS, Snyder y CN que están descritos en los ítems siguientes.

2.2.3.12. Método SCS para abstracciones

Precipitación total y efectiva.

El exceso de precipitación o precipitación efectiva (Pe) corresponde a la cantidad de lluvia que no es retenida en la superficie terrestre ni infiltrada en el suelo, que al tras desplazarse por la superficie de la cuenca el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa que sale de la cuenca, bajo la suposición de un flujo superficial tipo Horton.

Los gráficos que relacionan el exceso de precipitación con el tiempo, o hietogramas de exceso de precipitación son fundamentales para estudiar la relación que tiene la lluvia con la escorrentía; asimismo, la diferencia entre el hietograma de la lluvia total y el hietograma de exceso de precipitación se denomina abstracciones o pérdidas. Estas pérdidas son principalmente el agua que se infiltra en el suelo, con una fracción pequeña que corresponde a la intercepción y almacenamiento superficial.

(MTC, 2018).

El Método SCS (Soil Conservation Service)

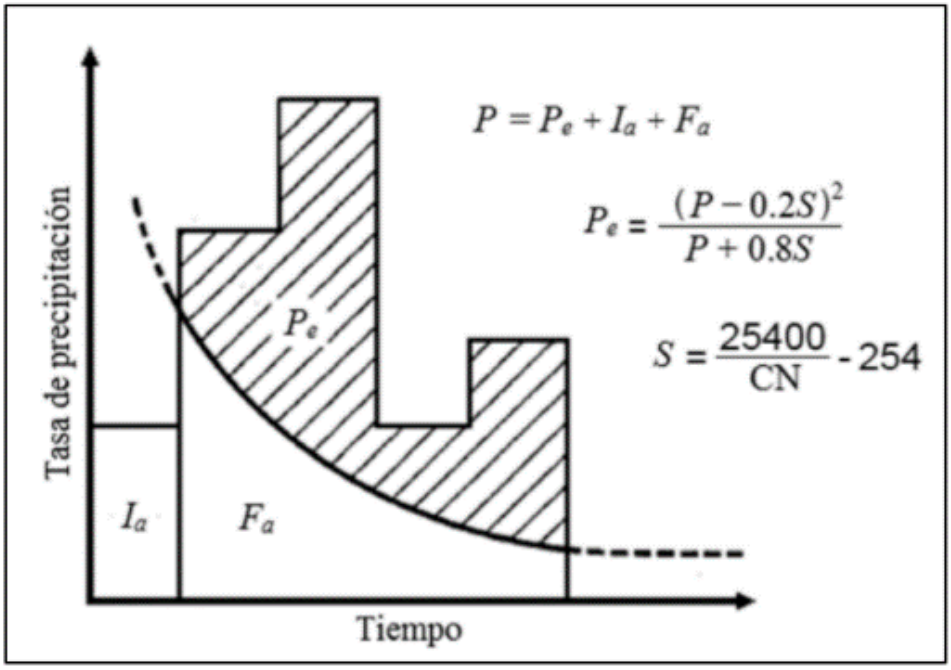
Es un procedimiento utilizado para abstracciones, es decir, calcular las pérdidas de precipitación que no contribuyen directamente a la escorrentía, sino que se absorben o se almacenan en la cuenca.

Estas pérdidas se deben principalmente a la infiltración en el suelo, la intercepción de la vegetación y el almacenamiento superficial del agua; aquí, el Número de Curva o Curva Número (CN) es el parámetro clave de este método, el cual depende de factores como el tipo de suelo, el suelo, la cobertura vegetal y las condiciones de humedad.

Además, este método es muy utilizado en la ingeniería hidráulica para el análisis hidrológico de las cuencas y tener una respuesta como al hacer el diseño de sistema de drenajes o control de inundaciones.

(SCS, 1972).

Figura 9. *Método del SCS.*



Nota: (Chow, 1994)

Partiendo de la hipótesis del SCS, esta dice que son iguales las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales relacionándolas de la forma:

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P - Ia} \quad \ldots\ldots\ldots (36)$$

Con el principio de continuidad de:

$$P = Pe + Ia + Fa \quad \ldots\ldots\ldots (37)$$

Combinando las ecuaciones 33 y 34 y simplificando para Pe se obtiene:

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad \ldots\ldots\ldots (38)$$

Según el manual del MTC, empíricamente Ia=0.2S entonces la fórmula final es:

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \ldots\ldots\ldots (39)$$

Donde:

Pe = Precipitación de exceso.

Fa = Abstracción continuada.

S = Retención máxima del suelo.

P = Profundidad de precipitación total.

Ia = Abstracción inicial.

(Chow, 1994).

2.2.4.13. Número adimensional de la curva CN

La metodología SCS hace uso indispensable del CN, la calibración de este parámetro se debe hacer en el campo de toda el área de estudio. (MTC, 2018).

El número de curva varía de 1 a 100, donde el valor de 100 identifica a un suelo impermeable y cuando el valor se acerca a 1 el suelo se vuelve muy permeable. (Chow, 1994).

El CN y S "en pulgadas" se relaciona en:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \qquad \ldots\ldots\ldots (40)$$

Además, los CN se aplican para las condiciones:

AMC I: Condiciones secas.

AMC II: Condiciones de humedad normales.

AMC III: Condiciones húmedas.

Entonces, se pueden calcular mediante:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \;\&\; CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \qquad \ldots\ldots\ldots (41)$$

Tabla 9. *AMC clasificación de clases de antecedentes de humedad para el método SCS.*

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación inactiva	Estación activa
I	< 0.5	< 1.4
II	0.5 - 1.1	1.4 - 2.1
III	> 1.1	> 2.1

Nota: Soil Conservation Service

El CN según el SCS para el tipo de tierra y uso de suelo se dividen en como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10. *Grupo de tipos de suelo para SCS.*

GRUPO A	Arena profunda, limos agregados, suelos profundos depositados por el viento. Son suelos con bajo potencial de escurrimiento.
GRUPO B	Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa. Suelos con moderado o bajo potencial de escurrimiento.
GRUPO C	Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, bajo contenido orgánico de suelos, altos contenidos de arcilla en los suelos. Suelos con moderado o alto potencial de escurrimiento.
GRUPO D	Suelos que se expanden al mojarse, arcillas muy plásticas y suelos salinos. Son los suelos con alto potencial de escurrimiento.

Nota: Soil Conservation Service

Los valores de CN según el tipo de uso de suelo para el SCS se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. *Curva número para el tipo de uso de suelo.*

Uso de la tierra	Tratamiento/Práctica	Condición Hidrológica	CN			
			A	B	C	D
Descuidado, en descanso, sin cultivos	Surcos rectos	-	77	86	91	94
Cultivo en surcos	Surcos rectos	Baja	72	81	88	94
	Surcos rectos	Alta	67	78	85	89
	En contornos	Baja	70	79	84	88
	En contornos	Alta	65	75	82	86
	En contorno y Terraceado	Baja	66	74	80	82
	En contorno y Terraceado	Alta	62	71	78	81
Granos pequeños o cereales de invierno	Surcos rectos	Baja	65	76	84	88
	Surcos rectos	Alta	63	75	83	87
	En contornos	Baja	63	74	82	85
	En contornos	Alta	61	73	81	84
	En contorno y Terraceado	Baja	61	72	79	82
	En contorno y Terraceado	Alta	59	70	78	81
Leguminosas, Sembríos cerrados, Sembríos en rotación	Surcos rectos	Baja	66	77	85	89
	Surcos rectos	Alta	58	72	81	85
	En contornos	Baja	64	75	83	85
	En contornos	Alta	55	69	78	83
	En contorno y Terraceado	Baja	63	73	80	83
	En contorno y Terraceado	Alta	51	67	76	80
Pastizales o Praderas	-	Baja	68	79	86	89
	-	Aceptable	49	69	79	84
	-	Alta	39	61	74	80
	En contornos	Baja	47	67	81	88
	En contornos	Aceptable	25	59	75	83
	En contornos	Alta	6	35	70	79
Praderas permanentes	-	Alta	30	58	71	78
Bosques en predio agrícola	-	Baja	45	66	77	83
	-	Aceptable	36	60	73	79
	-	Alta	25	55	70	77
Patios, parques, áreas edificadas	-	-	59	74	82	86
Caminos incluido el derecho de vía	Cieno	-	72	82	87	89
	Superficie Firme	-	74	84	90	92

Nota: Adaptado de Soil Conservation Service 1972, Chow 1994 & Villón 2002.

Tabla 12. *Curva número para el tipo de uso de suelo general.*

Uso de suelo	Condición Hidrológica	CN			
		A	B	C	D
Bosque	Alta	25	55	70	77
Selva	Alta	45	66	77	83

Arbusto	Baja	55	72	81	86
Agricultura	Baja	65	76	84	96
Pasto	Alta	39	61	74	80
Urbano	Nula	74	84	90	92
Agua	Aceptable	99	99	99	99

Nota: Adaptado de Soil Conservation Service 1972, Chow 1994 & Villón 2002.

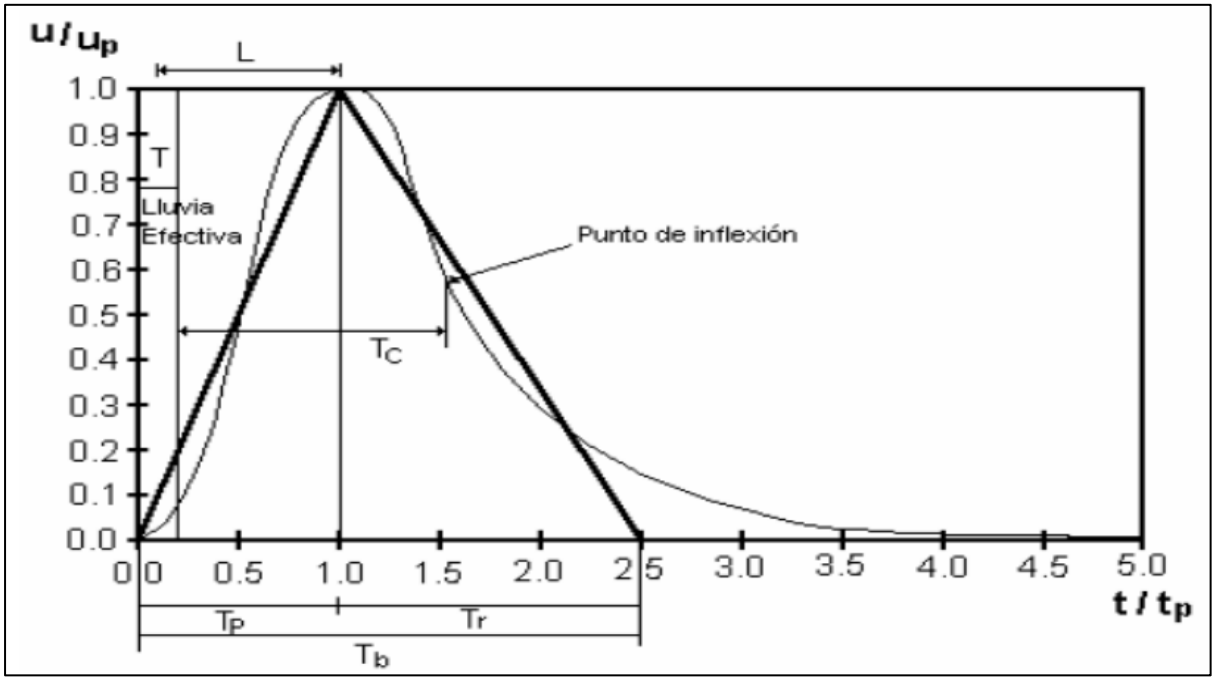
Donde el CN general para la cuenca se halla con la siguiente ecuación:

$$CN = \frac{\sum CN_i * A_i}{\sum A_i} \quad \ldots\ldots\ldots (42)$$

2.2.3.14. Método SCS para estimación de caudal máximo

O conocido como el método del hidrograma unitario adimensional curvilíneo del SCS, según el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC del 2018 se indica que este método es usado para cuencas hasta con un área máxima de 30km^2.

Figura 10. *Hidrograma Sintético del SCS.*



Nota: (Chow, 1994)

Basándose que la escorrentía del Hydrologic Unit "HU" debe tener una escorrentía de 1cm se llega a la ecuación:

$$U_p = \frac{484 * A}{2.67 * Tp} \quad \ldots\ldots\ldots (43)$$

$$tr = 0.6tc \quad \ldots\ldots\ldots (44)$$

$$Tp = \frac{T}{2} + t_r \quad \ldots\ldots\ldots (45)$$

$$T = 1.333 * tc \quad \ldots\ldots\ldots (46)$$

$$t_b = Tp + tr \quad \ldots\ldots\ldots (47)$$

Donde:

U_p = Caudal pico o máxima avenida, en $m^3/s*km^2*cm$.

A = Área de la cuenca, en Km^2.

Tp = Tiempo de ocurrencia, en horas.

t_r = Tiempo de retraso, entre el pico del caudal y e centroide del hietograma.

t_c = Tiempo de concentración.

T = Duración de la precipitación efectiva.

t_b = Tiempo base.

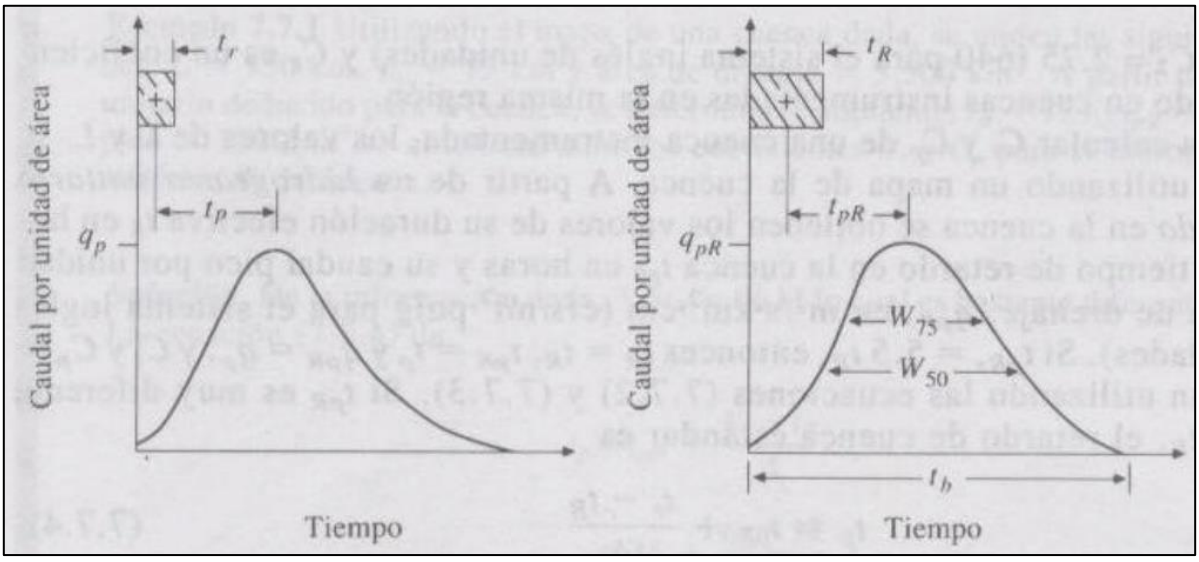
(Soil Conservation Service)

2.2.3.15. Método Snyder para estimación de caudal máximo

O método del hidrograma unitario sintético de Snyder, según el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC del 2018 se indica que este método es usado para cuencas hasta con un área comprendida entre los 30 km^2 hasta los 30 000 km^2.

Snyder define que la duración de la lluvia t_r está relacionada con el retardo de la cuenca de estudio t_p de la forma:

Figura 11. *Hidrograma Sintético Snyder.*



Nota: (Monsalve, 1999, p. 219)

$$t_p = 5.5 * t_r \quad \ldots\ldots\ldots (48)$$

Siendo:

$$t_p(hr) = C_1 * Ct * (L * Lc)^{0.3} \quad \ldots\ldots\ldots (49)$$

Hallándose el caudal pico en $m^3/s*Km^2$ como:

$$q_p = \frac{C_2 * Cp * A}{t_p} \quad \ldots\ldots\ldots (50)$$

Siendo el retardo para la cuenca estándar:

$$t_p = t_{pR} + (t_r - t_R)/4 \quad \ldots\ldots\ldots (51)$$

Para que finalmente el caudal pico del hidrograma requerido en $m^3/s*Km^2*cm$ es:

$$q_{pR} = q_p * t_p/t_{Pr} \quad \ldots\ldots\ldots (52)$$

Donde:

t_p = Tiempo de retardo de la cuenca, en horas. Feldman, 2010 "tp = (50%-75%)*tc".

t_r = Duración de la lluvia estándar, en horas.

Ct = Coeficiente de Snyder es de 0.2 a 1.65 (el valor es más alto para cuencas planas).

Cp = Su coeficiente es de 0.56 a 0.69 (el valor es más alto para cuencas montañosas).

L = Longitud del cauce principal, en km.

Lc = Longitud del cauce principal al centroide de la cuenca, en km.

q_p = Caudal máximo por área de drenaje, en $m^3/s*km^2$.

t_{pR} = Tiempo de retardo de la cuenca estándar, en horas.

q_{pR} = Caudal máximo del área de la cuenca de estudio, en $m^3/s*km^2 * cm$.

Además, A = Área de cuenca, en Km, t_b = Tiempo base, C_1 = 0.75 y C_2 = 2.75.

(MTC, 2018)

2.2.4. Modelamiento Hidráulico

2.2.4.1. Hidráulica

Estudia el comportamiento de los fluidos, particularmente el agua; es decir estudia en movimiento o en reposo del agua y su interacción con los sistemas sólidos a través de los cuales circulan; por ende esta disciplina se enfoca en el diseño, análisis y control de los sistemas hidráulicos como son los cauces naturales, canales, presas, redes de abastecimiento de agua; esto con la comprensión de los principios que rigen el comportamiento del agua en estos sistemas aplicando las leyes de la física, especialmente la mecánica de fluidos (Chanson, 2004).

2.2.4.2. Tránsito de avenidas en ríos

En la ingeniería hidráulica el tránsito de avenidas en ríos es el estudio de cómo una gran masa de agua, producido por intensas precipitaciones, se desplaza y transporta a lo largo de un cauce natural (Chow et al., 1988). Asimismo, el tránsito de las avenidas o caudales es un proceso para hallar el tiempo y la magnitud de los caudales representados en hidrogramas en uno o más puntos de cursos de agua (Chow, 1994).

Avenida de un río

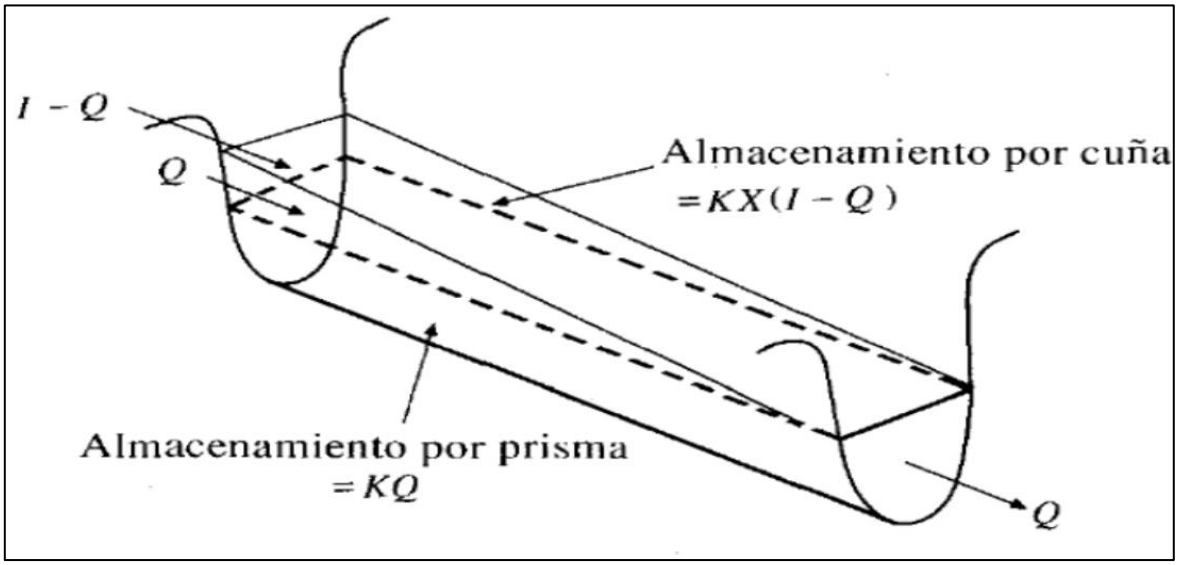
Es aquella onda de caudal elevado que se origina en la parte alta de una cuenca hidrográfica y se propaga aguas abajo. El tránsito de esta avenida es el proceso que se describe de cómo el hidrograma tiene alteración de su forma, caudal máximo y tiempo que tarda a lo largo del cauce natural; lo que provoca la atenuación en la velocidad y pico de la onda del caudal es el almacenamiento temporal de agua del propio cauce y la resistencia al flujo (Linsley et al., 1977).

Modelación de la avenida de un río

i. Métodos Hidrológicos:

Estos métodos son los más simplificados que se basan en la ecuación de la continuidad teniendo la relación empírica entre el almacenamiento y el caudal. Para la presente investigación se ha hecho uso del **método Muskingum**, asimismo este es ampliamente utilizado para análisis preliminares o cuando la información del cauce natural es limitada (Ponce, 1989).

Figura 12. *Almacenamiento según el método de Muskingum.*



Nota: Se observa en la imagen el almacenamiento que es por prima y por cuña en un cauce natural (Chow, 1994)

Siendo el volumen de almacenamiento es:

$$S = K * Q \quad \ldots\ldots\ldots (53)$$

Además:

$$S = K * X * (I - Q) \quad \ldots\ldots\ldots (54)$$

Donde X es un factor de entre 0.00 y 0.50, además, cuando X se acerca a 0.00 los cauces naturales son de baja pendiente con caudales altos, mientras que si se acerca a 0.50 el caudal será mayor junto con la pendiente.

(Chow, 1994).

El almacenamiento total del tramo del cauce natural tomaría la siguiente ecuación:

$$S = KQ + KX(I - Q) = K[XI + (I - X)Q] \quad \ldots\ldots\ldots (55)$$

Si se analiza en dos tiempos consecutivos 1 y 2:

$$S_2 - S_1 = K[XI_2 + (I - X)Q_2] - K[XI_1 + (I - X)Q_1] \quad \ldots\ldots\ldots (56)$$

Despejando Q_2 y reemplazando ecuaciones del almacenamiento por cuña y por prisma será:

$$Q_2 = \frac{K * X + \frac{\Delta t}{2}}{K(1-X) + \frac{\Delta t}{2}} * I_1 + \frac{-K * X + \frac{\Delta t}{2}}{K(1-X) + \frac{\Delta t}{2}} I_2 + \frac{K(1-X) - \frac{\Delta t}{2}}{K(1-X) + \frac{\Delta t}{2}} Q_1 \quad \ldots\ldots\ldots (57)$$

De la ecuación anterior cambiando por constantes:

$$C_1 = \frac{K * X + \frac{\Delta t}{2}}{K(1-X) + \frac{\Delta t}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots (58)$$

$$C_2 = \frac{-K * X + \frac{\Delta t}{2}}{K(1-X) + \frac{\Delta t}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots (59)$$

$$C_3 = \frac{K(1-X) - \frac{\Delta t}{2}}{K(1-X) + \frac{\Delta t}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots (60)$$

La ecuación final del almacenamiento total en el tramo del cauce será:

$$Q_2 = C_1 * I_1 + C_2 * I_2 + C_3 * Q_1 \quad \ldots\ldots\ldots (61)$$

Asimismo, se debe cumplir que C_1, C_2 y $C_3 = 1$.

ii. Métodos Hidráulicos:

Los métodos son más complejos donde resuelven las **ecuaciones de Saint-Venant** de manera completa, considerando el detalle de la topografía, las secciones transversales como también las características de rugosidad del cauce natural. Además, estos métodos ofrecen una mayor precisión en la simulación de la forma de la onda y los niveles de agua; lo que los hace indispensables para el diseño de obras hidráulicas y con mayor precisión en la predicción de las inundaciones (Chow, 1994).

2.2.4.3. Ríos

a. Los ríos o cauces naturales tienen los siguientes componentes:

Ribera: Área de terreno ubicada entre el nivel más bajo del agua y el nivel medio de las crecidas o avenidas habituales, esta área se encuentra dentro del cauce o lecho de río. En el caso de cauces temporales o estacionales la ribera abarca todo el cauce o lecho natural (ANA, 2019).

Faja Marginal: Franja de terreno adyacente y continua a la ribera de los cuerpos de agua, ya sean naturales o artificiales que principalmente facilitan el uso del agua, como también la protección, operación, rehabilitación, mantenimiento, monitoreo y acceso a dichos cuerpos de agua sin restricciones (ANA, 2019).

Eje de un cauce: Es la línea conceptual que sigue la dirección principal del flujo del agua, definida por el "Thalweg" del lecho del río (ANA, 2019).

Thalweg: Línea que une los puntos más bajos de diversas secciones transversales consecutivas de un cauce natural (ANA, 2019).

Sinuosidad*:* Proporción entre la distancia de dos puntos del "Thalweg", medida a lo largo del cauce y la distancia directa en línea recta entre esos mismos puntos (ANA, 2019).

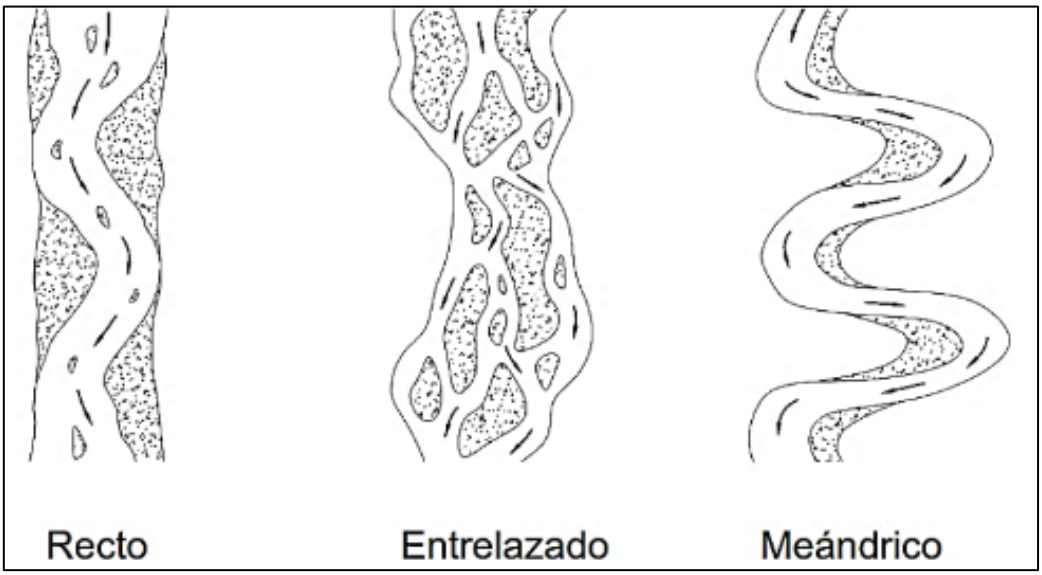
Nivel de agua de máximas extraordinarias: Nivel que un cuerpo de agua puede alcanzar al desplazarse sobre su cauce, conocido como la Avenida Máxima Extraordinaria. Este nivel está determinado según la magnitud, relevancia y potencial de daños materiales o personales que podría causar el desbordamiento del agua (ANA, 2019).

Cauce o Álveo: Área de terreno que alberga un cuerpo de agua, el cual puede ser de régimen permanente o temporal. El límite superior del cauce o lecho está definido por el Nivel Promedio

de Máximas Avenidas o Crecidas Ordinarias, donde el límite inferior corresponde al Thalweg del cauce (ANA, 2019).

b. Los ríos tienen la morfología como se muestra en la siguiente figura:

Figura 13. *Morfología de los ríos.*



Nota: (Rocha, 1998).

c. La edad de los ríos se puede identificar según:

Río juvenil: Esta etapa se caracteriza por una pendiente pronunciada y un cauce estrecho, donde el río aún está experimentando un proceso de erosión vertical, lo que da forma al paisaje mediante la escorrentía y el transporte de sedimentos. Además, en esta fase la capacidad de erosión del río es considerablemente alta (Rocha, 1998).

Río maduro: En esta fase, el río empieza a suavizar su pendiente, ampliando su cauce y comenzando a formar meandros; acá la erosión lateral se vuelve más relevante que la erosión vertical. Los ríos maduros también tienen un equilibrio más estable que los ríos juveniles y son capaces de transportar eficazmente el material sólido arrastrado por las lluvias intensas (Rocha, 1998).

Río senil: Este tipo de río alcanza un equilibrio con la pendiente más moderada y una capacidad de transporte de sedimentos reducida; donde los meandros y las curvas se desarrollan de forma más pronunciada, el flujo se vuelve más lento, esto conlleva a que la capacidad erosiva del río disminuya y el transporte de sedimentos se estabilice (Rocha, 1998).

Río viejo: Es la última etapa del ciclo que puede tener un río, acá el río pasa a estar en su fase más estable donde la pendiente es casi inexistente, al mismo tiempo los meandros son marcados y los procesos de sedimentación son dominantes sobre la erosión. Asimismo, la energía del río se estabiliza siendo baja y las planicies de inundación que origina el cauce natural se amplían considerablemente (Rocha, 1998).

2.2.4.4. Inundación

La inundación se refiere a la ocupación temporal de las áreas que normalmente están secas, esto es originado por el aumento repentino del nivel de agua en los cauces naturales como en los ríos, lagos u otros cuerpos de agua (Linsley et al., 1977). Además, estas se producen cuando las lluvias son intensas o continuas durante un largo periodo de tiempo superando la capacidad de absorción del suelo (Díaz, 2019), y pueden clasificarse de la siguiente manera:

a. Por su duración

Inundaciones dinámicas: Son causadas por precipitaciones intensas en cuencas con pendientes en su mayoría pronunciadas, acá el aumento del caudal es breve pero abrupto, generando daños significativos al no dar tiempo para una respuesta temprana adecuada (CENEPRED, 2014). Al mismo tiempo este tipo de inundación causa graves pérdidas a la población y a las infraestructuras por falta de resiliencia (INDECI, 2011).

Inundaciones estáticas: Originadas en su mayoría por lluvias continuas que afectan grandes áreas, provocando un aumento gradual del caudal del cauce natural que finalmente supera los límites del mismo, inundando áreas marginales o llanuras de inundación (INDECI y CENEPRED, 2014).

b. Según su origen

Inundaciones pluviales: Estas se producen por la acumulación de agua de lluvia en áreas con baja permeabilidad, sin que necesariamente se ocurra un desborde fluvial (CENEPRED, 2014). Además, para este tipo de inundación es el resultado de lluvias intensas que son breves o de las lluvias moderadas pero persistentes sobre suelos poco permeables (INDECI, 2011).

Inundaciones fluviales: estas ocurren cuando las fuentes naturales se desbordan debido a un aumento abrupto del caudal, excediendo la capacidad del cauce para transportar agua (CENEPRED, 2014), esto como resultado de un exceso de lluvias (INDECI, 2011).

2.2.4.5. Coeficiente de Rugosidad de Manning

El coeficiente "n" de Manning es un parámetro utilizado en la fórmula de Manning para calcular la velocidad de flujo o el caudal en canales abiertos; este coeficiente representa a la rugosidad o resistencia que ofrece el lecho del canal y sus márgenes hacia el flujo. El valor de "n" depende particularmente de las características del canal, como el tipo de suelo, presencia de vegetación, irregularidad de las paredes del cauce y la forma del canal. Y se sabe que, a mayor rugosidad del canal, el valor de "n" será mayor; lo que indica que la resistencia al flujo es mayor (Chow, 1994).

Para la presente investigación se está considerando:

Tabla 13. *Coeficiente "n" de Manning para cauces naturales.*

Tipo de cauce natural		Mínimo	Normal	Máximo
Corrientes menores (Ancho de superficie < 30m)	Ríos en planicies rectas, sin zonas muertas.	0.025	0.030	0.033
	Ríos en planicies rectas, sin zonas muertas con piedras y malezas.	0.030	0.036	0.040
	Río sinuoso, vegetación y piedras.	0.035	0.045	0.050
	Río sinuoso, vegetación y bastante pedregoso.	0.045	0.050	0.060
	Río con abundante vegetación, sinuoso.	0.075	0.100	0.150
	Torrentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos.	0.030	0.040	0.050
	Árboles y arbustos sumergidos parcialmente en crecidas con piedras y pocas rocas grandes y piedras en el fondo.	0.040	0.050	0.070
Planicies de inundación	Con pasto sin arbusto con pastizales bajos.	0.025	0.030	0.035
	Con pasto sin arbusto con pastizales altos.	0.030	0.035	0.050
	Áreas cultivables sin cultivo.	0.020	0.030	0.040
	Áreas cultivables con cultivo.	0.030	0.040	0.050
	Arbustos y malezas escasas.	0.040	0.060	0.080
	Arbustos y malezas densos.	0.070	0.100	0.160
	Área con árboles.	0.110	0.150	0.200
	Área de árboles despejada con troncos.	0.030	0.040	0.050
Ríos principales (ancho > 30m)	Secciones Regulares	0.025	-	0.060
	Secciones Irregulares	0.035	-	0.100

Nota: Adaptado de Chow, 1994.

Tabla 14. *Coeficiente "n" de Manning para el tipo de uso de suelo.*

Uso de suelo	Descripción	"n" de Manning
Bosques	Áreas caracterizadas por cobertura arbórea con alturas mayores a 6 m.	0.060
Matorrales	Áreas dominadas por matorrales. Cobertura del 25 al 100% del total.	0.055
Urbano Intensidad Baja	Áreas con mezcla entre urbanización y vegetación, mayoritariamente la última. Se tendrá áreas impermeables del 20%.	0.120
Urbano Intensidad Alta	Áreas con mezcla entre urbanización y vegetación, minoritariamente la última. Se tendrá áreas impermeables del 50 al 79%.	0.150

Nota: Adaptado de Chow, 1994.

Método de Cowan

En el año 1956, Cowan nos aportó una fórmula clave para la hidrología. Lo que hizo fue crear una herramienta que analiza la interacción de varios parámetros que describen las características de la fuente natural para determinar el valor del coeficiente de rugosidad de Manning, siendo su fórmula la siguiente:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5 \quad \ldots\ldots\ldots (62)$$

Donde el valor de los coeficientes se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla 15. *Coeficiente "n" de Manning para el tipo de uso de suelo.*

Condiciones del cauce		Coeficiente	Valores
Material Consolidado	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
Variación de la sección Transversal	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto 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		0025-0.050
	Muy Alta		0.050-1.000
Cantidad de Meandros	Menor	m_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Nota: (Chow, 1994)

2.2.4.6. Fórmula de Manning para caudales

Fórmula ampliamente usada en la ingeniería hidráulica, con la cual sirve para el cálculo de la velocidad y el caudal en canales abiertos. A diferencia de las ecuaciones que son derivadas de los principios de la mecánica de fluidos, Manning buscó la fórmula que pudiera ser calibrada con las observaciones que se realizan en campo (Chow, 1988).

Dicha fórmula expresada según la ecuación de continuidad es:

$$Q = \frac{1}{n} * A * (R_H)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots (63)$$

Donde:

Q = Caudal, en m^3/s.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

A = Área de la sección transversal.

R_H = Radio hidráulico, que es igual a el área de la sección transversal entre el perímetro mojado de la sección transversal.

S = Pendiente del fondo del canal.

(Chow, 1988).

2.2.4.7. Software de modelamiento hidráulico

Modelamiento Hidráulico

Está asociado a sistemas o flujos distribuidos, donde el caudal se modela considerando tanto el espacio como el tiempo a lo largo del sistema. Acá, la relación entre el almacenamiento y el caudal de salida varía, además, es aplicable a embalses largos y estrechos, así como a canales abiertos o corrientes donde la superficie del agua puede tener una curvatura significativa debido a efectos de remanso (Chow, 1994).

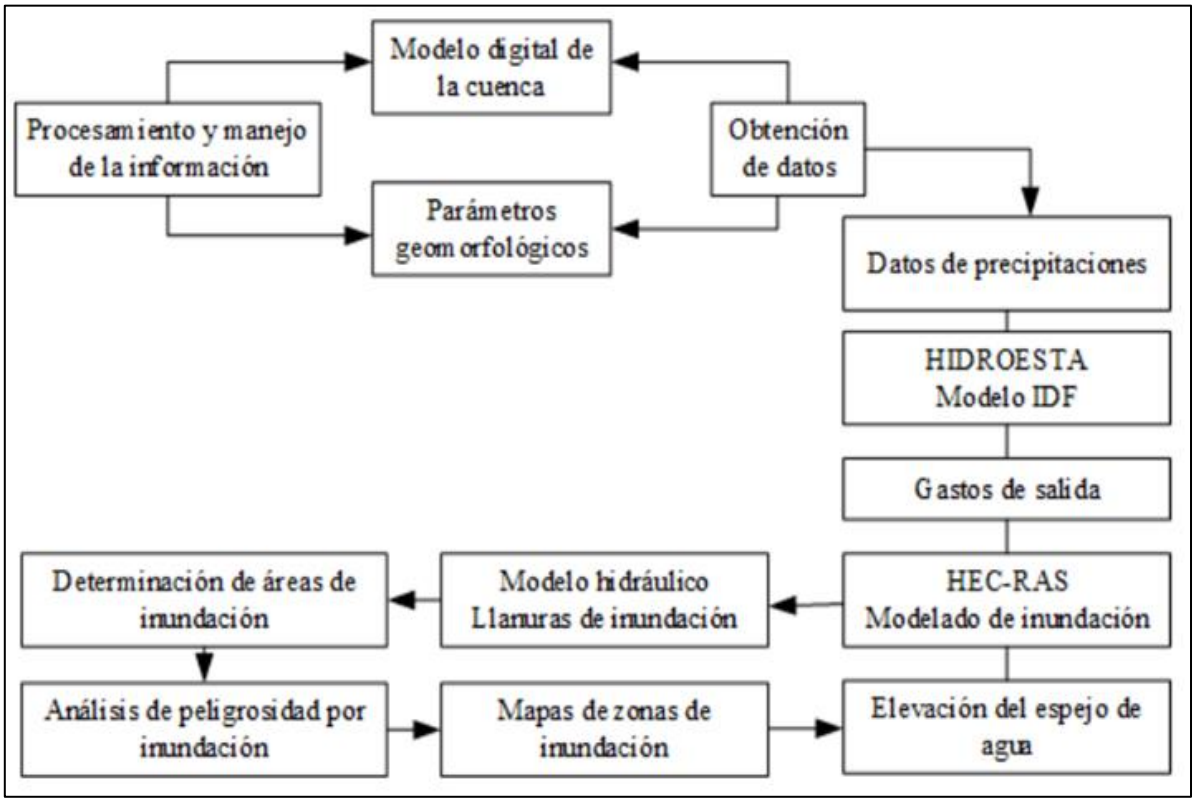
Son modelos matemáticos que representan los procesos físicos, capturando todas las características del medio para así poder simular la interacción de las fuerzas de los flujos que causan en el campo de la hidráulica (Rojas, 2019).

Modelamiento Hidráulico de un río

El modelamiento hidráulico de un río consiste en la aplicación de herramientas matemáticas y computacionales para simular y analizar el comportamiento del flujo de agua dentro del cauce natural fluvial; asimismo, este proceso busca representar con precisión la interacción entre el

agua y el entorno de estudio, considerando factores como la geometría del cauce, el caudal, la pendiente, la rugosidad y las variaciones que tiene el nivel del agua. Todo lo anterior con la finalidad de predecir fenómenos como las inundaciones, los cambios en los perfiles de agua, la velocidad de flujo y el transporte de sedimentos, lo cual es esencial para la gestión y el diseño de las infraestructuras hidráulicas (Chow et al., 1988).

Figura 14. *Diagrama del modelamiento hidráulico.*



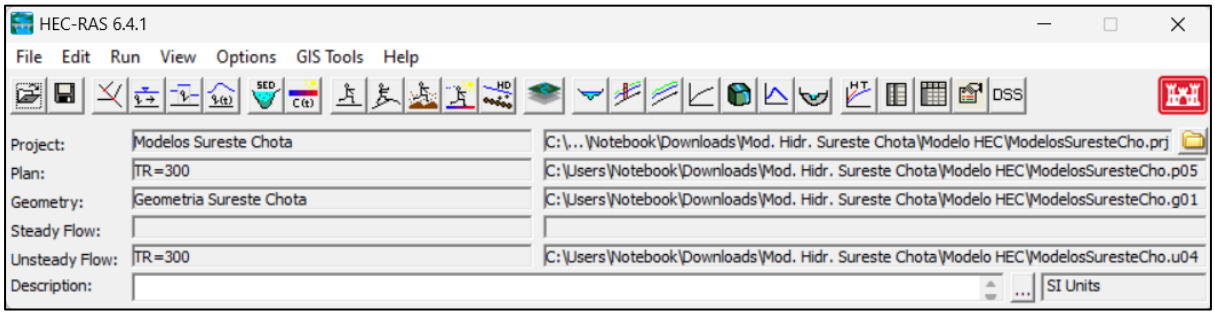
Nota: (Mays et al., 2018).

HEC-RAS 6.4.1.

El modelado en HEC-RAS consiste en el uso de este software para simular el comportamiento hidráulico de ríos y sistemas fluviales. HEC-RAS permite modelar flujos unidimensionales y bidimensionales, calculando perfiles de agua y analizando fenómenos como son las inundaciones; con este modelado se obtiene la propagación de onda de cresta y variación del caudal en función de las características que tiene el cauce y condiciones de flujo. Asimismo, en HEC-RAS se puede modelar para diferentes escenarios, como modificando el terreno o infraestructura en el comportamiento del flujo de agua (US Army Corps of Engineers, 2010).

Este software tiene en su base de modelamiento las ecuaciones de Saint-Venant, cuyas ecuaciones son las que describen el flujo unidimensional, no permanente y a una superficie libre.

Figura 15. *Interfaz del software HEC-RAS 6.4.1.*



Básicamente este software permite evaluar los resultados de las áreas inundadas al superponer datos hidrológicos sobre mapas topográficos, lo que facilita una visualización clara de los resultados.

Fundamento del HEC-RAS 6.4.1.

A. Consideraciones

Para elaborar el modelamiento del tránsito de avenidas en el HEC-RAS son:

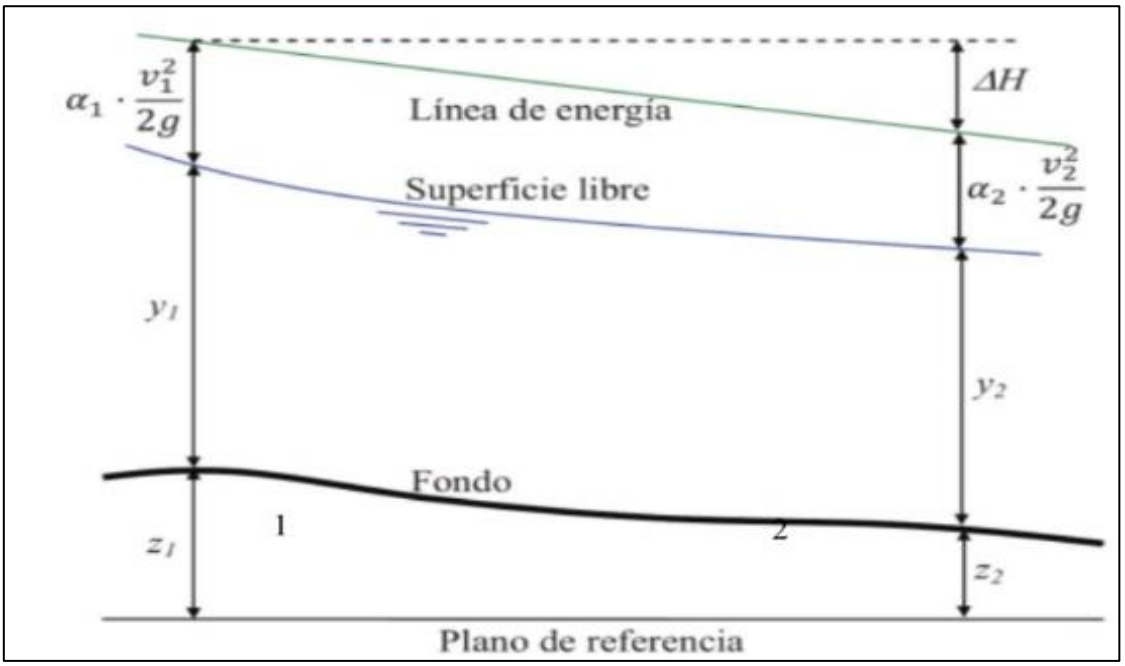
i. Topografía del cauce o zona de estudio.
ii. Hidrogramas de caudal máximo.
iii. Rugosidad de Manning de la zona de estudio.

Estos tres factores ya mencionados en ítems anteriores, son indispensables para el modelamiento en el software, ya que trabaja en base a ellos.

B. Cálculo unidimensional

Para estimar los perfiles de la superficie del agua, se utiliza la ecuación de balance de energía, también conocida como el trinomio de Bernoulli, aplicándola entre una sección transversal inicial y una sección final (Bladé et al., 2009).

Figura 16. *Representación de términos del trinomio de Bernoulli*



Nota: (Bladé et al., 2009).

Siendo:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 * v_2^2}{2 * g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 * v_1^2}{2 * g} + h_e \qquad \ldots\ldots\ldots 64)$$

Donde:

Z_1 y Z_2 = Elevación del cauce principal, en m.

Y_1 y Y_2 = Tirante de la sección transversal, en m.

$\alpha_1 \; y \; \alpha_2$ = Coeficientes de la ponderación de la velocidad, Coeficiente de Coriolis = 1.0.

h_e = Pérdida de la energía, en m.

C. Flujos en canales abiertos

Villón (2007) menciona que el flujo en canales abiertos se clasifica en varios criterios como lo siguiente:

Flujo permanente: cuando los parámetros no cambian con respecto al tiempo, expresándose la gradiente del tirante m/s, el gradiente de velocidad m/s^2 y el gradiente de área m^2/s son:

$$\frac{\partial_\gamma}{\partial_t} = 0, \quad \frac{\partial_v}{\partial_t} = 0 \quad \wedge \quad \frac{\partial_A}{\partial_t} = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots (65)$$

Flujo no permanente: cuando los parámetros cambian con respecto al tiempo, es poco frecuente este tipo de flujo y expresándose la gradiente del tirante m/s, el gradiente de velocidad m/s^2 y el gradiente de área m^2/s son:

$$\frac{\partial_\gamma}{\partial_t} \neq 0, \quad \frac{\partial_v}{\partial_t} \neq 0 \quad \wedge \quad \frac{\partial_A}{\partial_t} \neq 0 \qquad \ldots\ldots\ldots (66)$$

Flujo crítico, subcrítico y supercrítico: considera a la gravedad y está relacionado con el número de Froude "Fr":

$$Fr = \frac{v}{v * \sqrt{g * L}} \qquad \ldots\ldots\ldots (67)$$

Además:

$$Fr = \frac{v}{v * \sqrt{g * \gamma}} = \frac{v}{\sqrt{g * \frac{A}{T}}} \qquad \ldots\ldots\ldots (68)$$

Donde:

v = Velocidad media, en m/s.

g = aceleración de la gravedad, en m^2/s.

y = Tirante medio, en m; además, en canales el tirante medio $\gamma = \frac{A}{T}$.

L = Longitud de la sección característica, en m.

A = Área de la sección transversal del flujo, en m^2.

T = Ancho de la lámina libre o espejo de agua, en m.

Para Froude el flujo es subcrítico si **Fr < 1**, el flujo es crítico si **Fr = 1** y el flujo es supercrítico cuando **Fr > 1**.

(Villón, 2007) y (Córdova et al. 2022).

2.2.5. Niveles de intensidad o peligrosidad de inundaciones pluviales

La evaluación de la peligrosidad de las inundaciones pluviales implica considerar tanto la probabilidad de ocurrencia del evento, así como también la magnitud de sus efectos. Los manuales de INDECI del 2011 y de CENEPRED del 2014 proporcionan pautas para realizar esta evaluación, destacando la importancia de analizar factores como:

- **Intensidad de la lluvia:** Tanto la cantidad y duración de la precipitación son determinantes principales en la generación de las inundaciones.

- **Características del terreno:** La pendiente, la permeabilidad del suelo y la presencia de los obstáculos influyen en la velocidad y extensión del flujo del agua.
- **Condiciones de la cuenca hidrográfica:** Es la capacidad de las fuentes naturales para drenar el agua, así como la presencia de infraestructuras como represas o bocatomas que afectan el comportamiento de las inundaciones.
- **Niveles de agua alcanzados:** La profundidad y la velocidad del agua del cauce natural durante la inundación son indicadores directos de su peligrosidad.

El manual del INDECI, enfatiza en la necesidad de utilizar herramientas como mapas de peligrosidad y sistemas de alerta temprana para identificar áreas vulnerables y tomar las debidas medidas preventivas.

Tabla 16. *Rangos para clasificar el nivel de intensidad o peligrosidad de inundación.*

Nivel de intensidad o peligrosidad de inundación	Profundidad del flujo en inundaciones estáticas (m)	Profundidad del flujo por su velocidad para inundaciones dinámicas
Muy alta	H > 1.50 m	H * V > 1.50 m
Alta	0.50 m < H < 1.50 m	0.50 m < H * V < 1.50 m
Media	0.25 m < H < 0.50 m	0.25 m < H * V < 0.50 m
Baja	< 0.25 m	H * V < 0.25 m

Nota: (INDECI, 2011).

2.2.6. Definición de términos básicos.

Área de estudio: Para esta investigación, se entenderá por área de estudio a aquellas zonas de interés donde existen asentamientos poblacionales o se prevé el crecimiento de la población o el desarrollo de las actividades económicas; asimismo, para este caso el área de estudio hidrológico abarcará toda la cuenca hidrográfica; es decir toda el área de captación de los cauces naturales (INDECI, 2011).

Área inundable: Área de un territorio propensa a ser cubiertas por agua durante algún evento extraordinario de inundación, debido a factores como la topografía, la cercanía de los terrenos o de las infraestructuras hacia los cuerpos de agua, así como también la limitada capacidad de absorción del terreno.

Caudal máximo: Hace indicación al flujo mayor de agua registrado en un cauce natural durante un periodo determinado, generalmente causado por fenómenos hidrológicos extremos como son las fuertes lluvias o deshielos.

CN: Los Números de Curva o Curva Número (CN) son aquellos valores establecidos y tabulados por el Soil Conservation Service, basados en las características del tipo de suelo, el uso de terreno, el tipo de cobertura vegetal (MTC, 2018).

DEM: El Modelo Digital de Elevación (DEM), es la representación tridimensional del terreno, esta es mostrada a través de la variación de la altura del suelo en una malla de puntos.

Desborde: Desde una perspectiva natural, el impacto del desborde de un río en una zona depende de las características hidráulicas, hidrológicas y topográficas del área (Díaz, 2019).

Escorrentía: Es el agua que se desplaza por la superficie terrestre, moviéndose hacia las fuentes naturales tras una precipitación (presentándose en forma de lluvia o nieve derretida) (Chow et al, 1988).

Estación meteorológica: Es aquel lugar equipado con instrumentos mecánicos o digitales, que requieren la intervención de un operador para registrar datos meteorológicos como la precipitación, humedad, temperatura, radiación, evaporación y otros con el fin de caracterizar y analizar el clima de una zona (MTC, 2018).

Hidrograma: Es la representación gráfica que muestra la variación de una variable hidrológica a lo largo del tiempo. Existen dos tipos: el hidrograma natural que refleja el flujo del cauce sin la intervención humana y el hidrograma sintético que se genera a partir de los modelos matemáticos o estadísticos considerando parámetros como la precipitación, la geometría del cauce natural u otros factores (MTC, 2018).

Hietograma: Gráfico utilizado para representar la cantidad de precipitación que ocurre en un lugar a lo largo del tiempo durante una tormenta (MTC, 2018).

Inundación: Fenómeno que ocupa temporalmente las áreas que normalmente están secas, esto causado por el incremento del nivel de agua en las fuentes naturales (Linsley et al., 1977).

Microcuenca: Porción de terreno en la que toda su escorrentía superficial se dirige hacia una serie de corrientes como son las fuentes naturales, que finalmente desembocan en un curso de agua más grande como la confluencia de los ríos (MTC, 2018).

Modelamiento hidráulico: Este enfoque está relacionado con la simulación de los flujos distribuidos, en los cuales se calcula el caudal teniendo en cuenta tanto el terreno como el tiempo a lo largo del cauce natural (Chow, 1994).

Modelamiento hidrológico: Es la representación matemática de los procesos que componen el ciclo del agua en una cuenca, donde el propósito es simular y prever el comportamiento del flujo de agua en una región específica bajo diversas condiciones (Fetter, 2018).

Parámetro hidro-geomorfológico: Se refiere a las propiedades físicas y dinámicas del terreno, estas están relacionadas con el comportamiento del flujo y la distribución del agua en un área específica.

Periodo de retorno: Es el tiempo promedio en años en el que se espera que un valor de caudal máximo o evento extraordinario se repita, al menos una vez dentro de un periodo de "t" años (MTC, 2018).

Precipitación máxima: Referido a la cantidad más alta de precipitación registrada en un día en un área específica, la cual es determinada a partir de los datos obtenidos en una estación meteorológica, estos son obtenidos desde el 07:00 a.m. de un día hasta las 07:00 a.m. del día siguiente (González & Mora, 2013).

Soil Conservation Service (SCS): Es una agencia federal de los Estados Unidos, cuyo fin es trabajar junto con la comunidad para conservar y preservar los suelos y los recursos naturales (MTC, 2018).

Zonificar: Es aquella división de un área de estudio, es decir, partir un área en diferentes zonas o sectores para organizar y gestionar mejor su uso o características.

Peligrosidad: La peligrosidad de inundación de máxima avenida representa la frecuencia esperada y la intensidad potencial del evento hidrológico extremo que podría impactar una zona determinada. Esta se evalúa considerando los factores como las características hidrológicas de la cuenca, la geomorfología del terreno y los registros históricos de eventos similares, esto con único fin de cuantificar la amenaza inherente de ser inundado el área de estudio por un caudal máximo.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación geográfica

La ciudad de Chota se encuentra ubicado en la parte central de la provincia, en la región andina norte del Perú. Su capital se encuentra en la meseta de Acunta a 2,388 msnm y a 150 Km al norte de Cajamarca y a 219 Km al este de Chiclayo, Lambayeque.

3.1.1. Accesibilidad

Para llegar a la ciudad de chota se puede considerar las siguientes vías:

Vía aérea Chota solo cuenta con un pequeño helipuerto, pero se tiene planeado construir un aeropuerto que sirve de puerta principal hacia la provincia. Hasta el momento, el aeropuerto más cercano es el Aeropuerto Mayor General FAP Armando Revoredo Iglesias, el cual sirve a la ciudad de Cajamarca y cuenta con servicio diario de vuelos regulares.

Vías terrestres La ciudad de Chota se encuentra a 150 km al norte de Cajamarca a través de la Carretera Longitudinal de la Sierra (PE - 3N) de sur a norte, bordeando las localidades de Hualgayoc y Bambamarca, a unas tres horas y media en automóvil por carretera parcialmente asfaltada y afirmada. También se puede llegar desde Chiclayo, la cual se encuentra a 219 km al oeste a través de una carretera asfaltada (PE - 6A), a unas cinco horas en automóvil.

3.1.2. Ubicación de la zona de estudio

La localización del tramo de estudio es:

Distrito : Chota

Provincia : Chota

Región : Cajamarca

Asimismo, delimitando por el:

Este : C.P. Alto Cañafisto, C.P. Choctapata, Distrito de Chalamarca.

Oeste : C.P. Lanchebamba, distrito de Lajas.

Norte : C.P. Chuyabamba, Distrito de Chiguirip, Distrito de Conchan.

Sur : C.P. Cabracancha, C.P. Cuyumalca, distrito de Bambamarca.

Además, el tramo del río de estudio tiene las coordenadas:

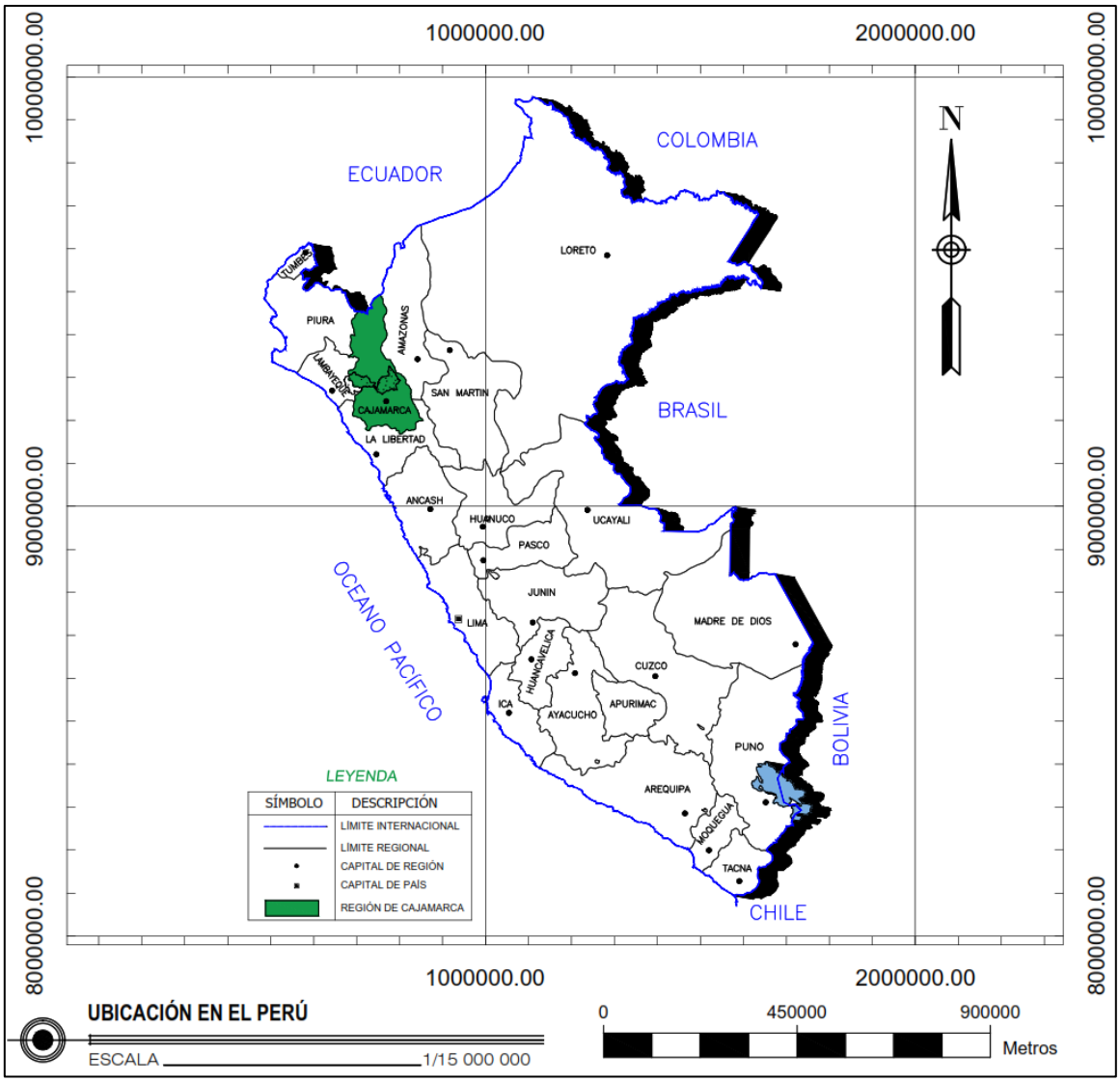
Tabla 17. *Coordenadas de inicio y fin del tramo de estudio.*

Tramo de estudio		Coordenadas UTM en zona 17S		
		Este	Oeste	Cota msnm.
Inicio	Puente Choza	759836.30	9272736.40	2335.10
Final	Puente Cementerio	759543.30	9273253.70	2320.74

Tabla 18. *Coordenadas de la estación meteorológica Chota.*

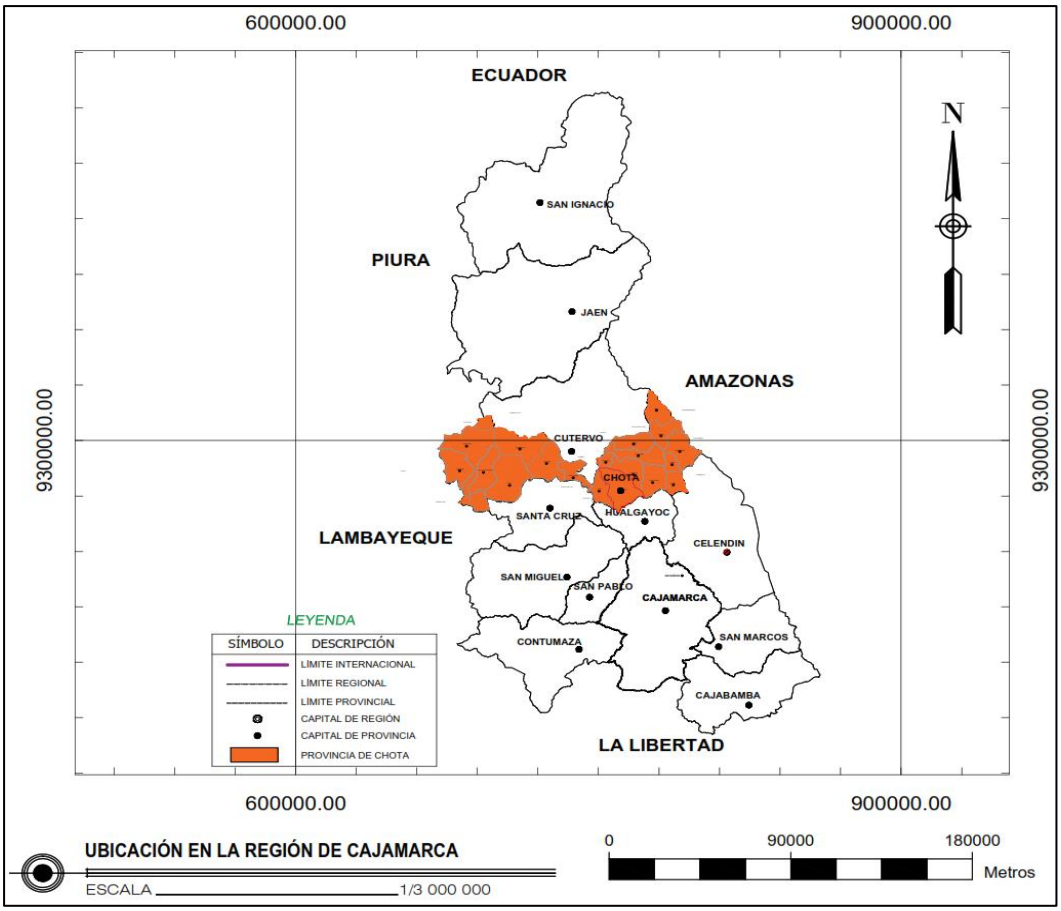
Estación Meteorológica	Coordenadas UTM en zona 17S		
	Este	Oeste	Cota msnm.
Chota	760025.25	9275704.59	2468.00

Figura 17. *Ubicación de la región de Cajamarca en el Perú.*



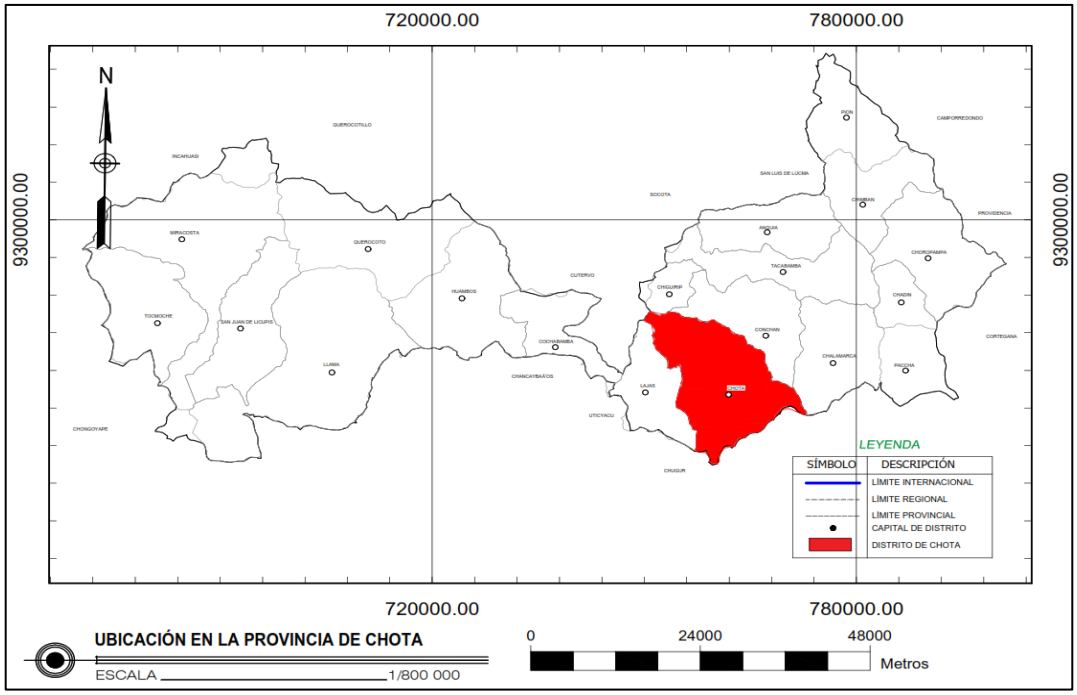
Nota: (Obtenido del mapa político del Perú), para más detalle ver en anexo de planos.

Figura 18. *Ubicación de la provincia de Chota en la región de Cajamarca.*



Nota: (Obtenido del mapa político de Cajamarca), para más detalle ver en anexo de planos.

Figura 19. *Ubicación del distrito de Chota en la provincia de Chota.*



Nota: (Obtenido del mapa político de Chota), para más detalle ver en anexo de planos.

Figura 20. *Ubicación geográfica de la zona de estudio.*

Nota: (Google Earth Pro, 2024), para más detalle ver en anexo de planos.

3.1.3. Ubicación geográfica de las microcuencas

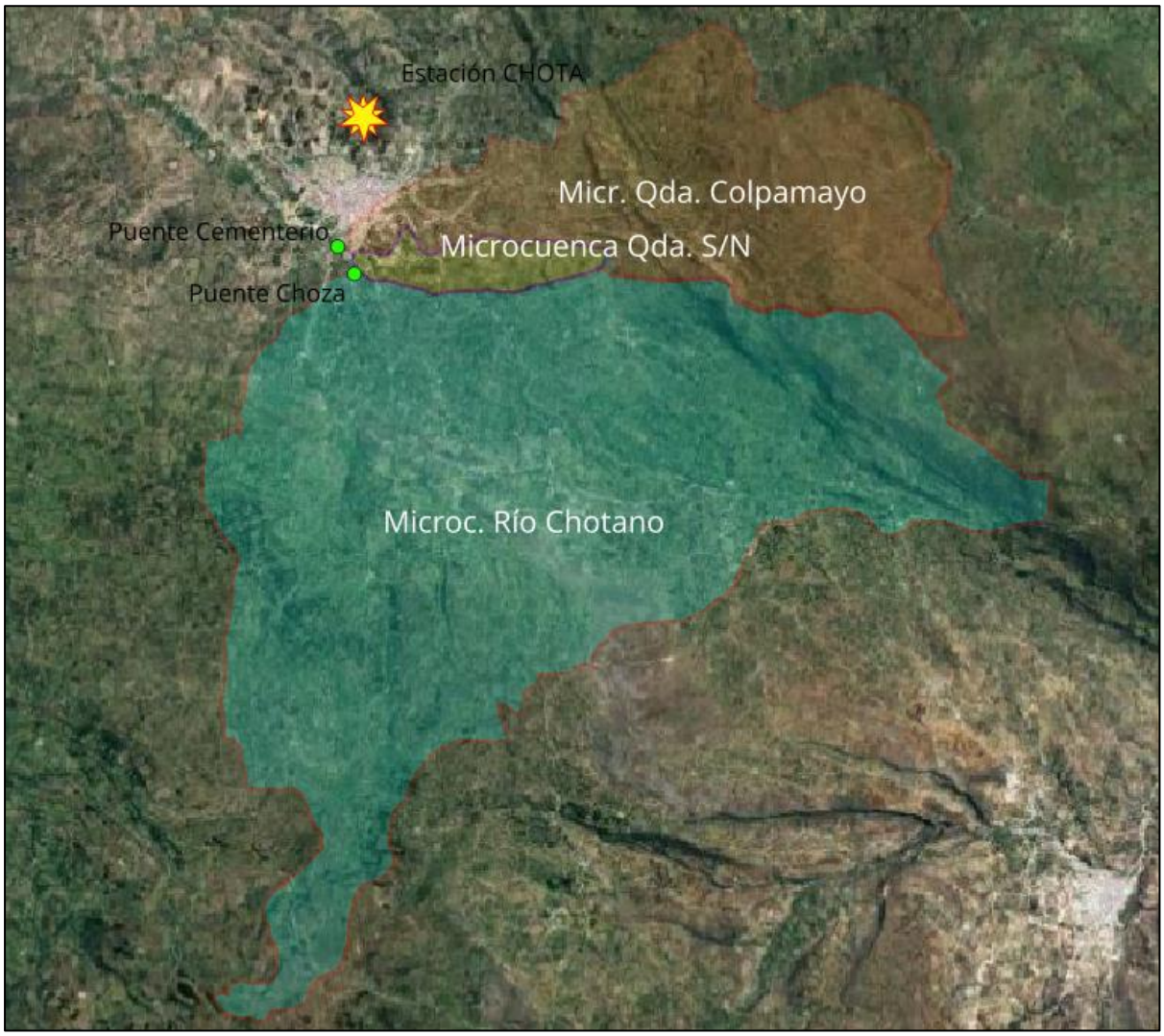
Las microcuencas usadas para el presente estudio son las que forman el río Chotano, la quebrada S/N y la quebrada Colpamayo pertenecen a la:

Región hidrográfica: Región Hidrográfica del Amazonas

Nombre de Unidad Hidrográfica: Chamaya

Nombre de cuenca: Cuenca Chamaya

Figura 21. *Ubicación geográfica de las microcuencas de estudio.*



Nota: (QGIS 3.34.1), para más detalle ver en anexo de planos.

Delimitando por el:

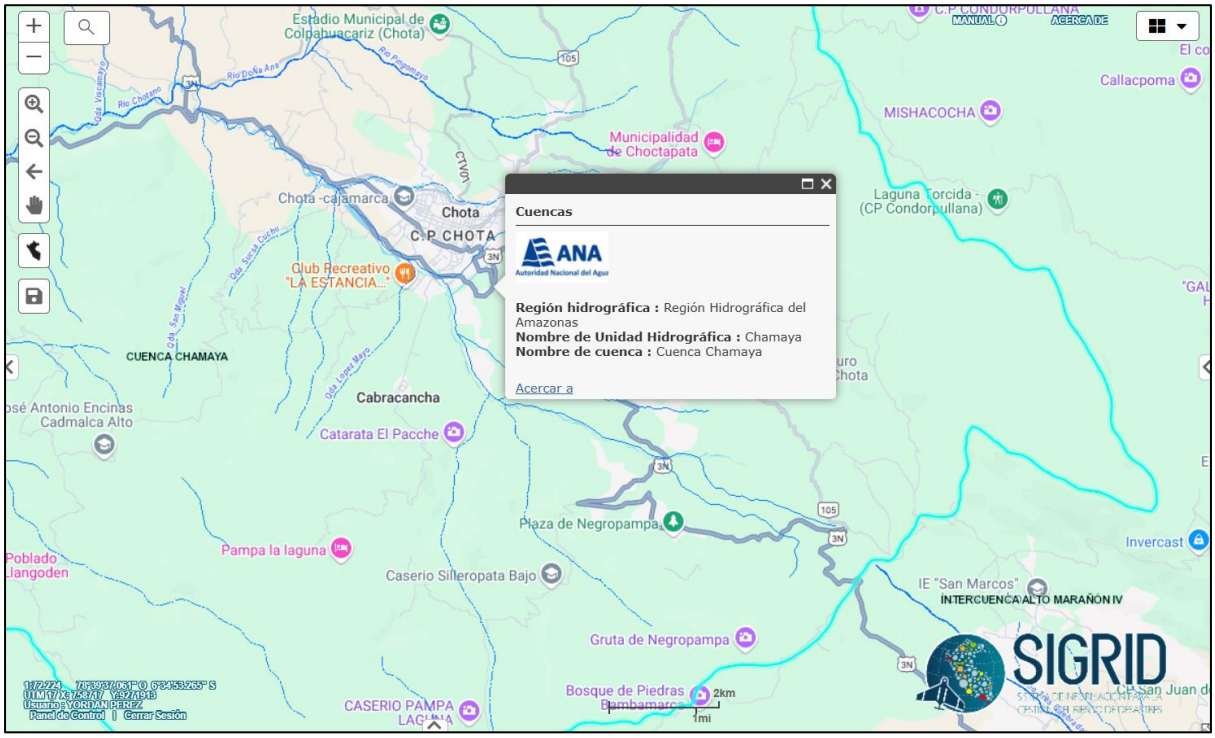
Este : Intercuenca Alto Marañón I, cuenca Utcubamba.

Oeste : Cuenca Cascajal, cuenca Motupe.

Norte : Cuenca Chira, cuenca Chinchipe, cuenca Piura.

Sur : Cuenca Chancay Lambayeque, Intercuenca Alto Marañón IV.

Figura 22. *Ubicación de la cuenca Chamaya.*



Nota: (SIGRID, 2024).

3.2. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

3.2.1. Tipo

El tipo de investigación es aplicativo, porque para el presente estudio se va a aplicar el modelamiento hidráulico determinista para delimitar las áreas de inundación, y proponer mapas de zonificación, como una alternativa de mitigación de la inundación en el tramo desde el Puente Choza hasta el Puente Cementerio.

3.2.2. Nivel

El nivel de investigación es no experimental descriptivo, porque se desarrollará una imagen de representación de las delimitaciones de áreas de inundación por máxima avenida, además los datos serán obtenidos a partir de las intensidades máximas brindadas por la estación meteorológica “Chota”, es decir, a pesar que los datos necesarios son recopilados en el transcurso de varios años, la investigación no busca obtener dichos datos sino aplicarlos en un tiempo específico para la zonificación de las áreas inundables en el tramo desde el Puente Choza hasta el Puente Cementerio.

3.2.3. Diseño

Como la tesis será desarrollada de manera no experimental los pasos a seguir son:

a) Lo primero que se realizó es ir a campo a visualizar e identificar los vestigios que han dejado las inundaciones ocurridas anteriormente.

b) Luego se realizó las debidas encuestas a los residentes acerca de las inundaciones ocurridas, para saber hasta dónde llegó y qué altura de inundación se manifestó. También corroborando con datos del SIGRID si en esa zona tiene peligro de inundación.

c) Después de identificado lo anterior, se hizo levantamiento topográfico de la zona de estudio, tanto a riberas del río con un mínimo de 50m de ancho (teniendo en cuenta los vestigios y la encuesta), como también las secciones del cauce natural.

d) Se obtuvieron los datos meteorológicos de la estación meteorológica Chota mediante el Senamhi.

e) Con los datos de campo obtenidos, se realizó el trabajo de gabinete, comenzando con calcular los parámetros hidro-geomorfológicos de la microcuenca del río Chotano y quebradas aportantes.

f) Se seleccionó una sección transversal del río Chotano para encontrar el caudal de campo, para la calibración del modelo matemático.

g) Se realizó el modelamiento hidrológico para determinar los caudales máximos para tiempos de retorno de 50, 100, 135, 185 y 285 años.

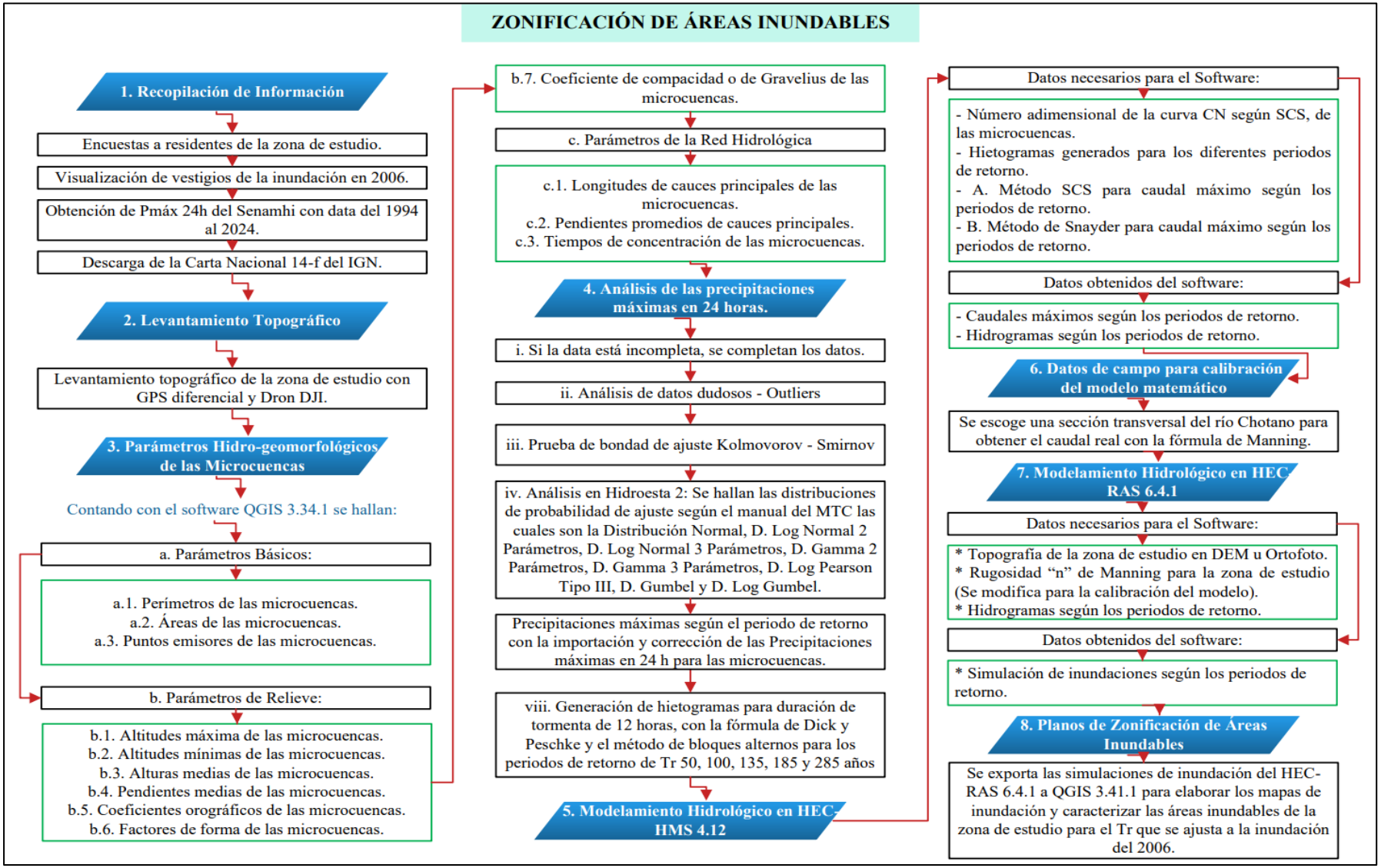
h) Se realizó el modelamiento hidráulico con los caudales máximos según cada tiempo de retorno y se elabora los planos de inundación.

i) Realizados los escenarios de inundación, se escogió el plano de inundación de un tiempo de retorno que se ajustó a las condiciones de inundación ocurrida anteriormente en el año 2006 teniendo en cuenta los vestigios y las encuestas de los residentes, entonces se procederá a describir las áreas inundables de la zona de estudio, caracterizando si se inundan áreas de pastos, zona de agricultura, zona urbana y más.

3.2.4. Método de la investigación

Para la presente investigación se ha seguido el proceso del siguiente flujograma:

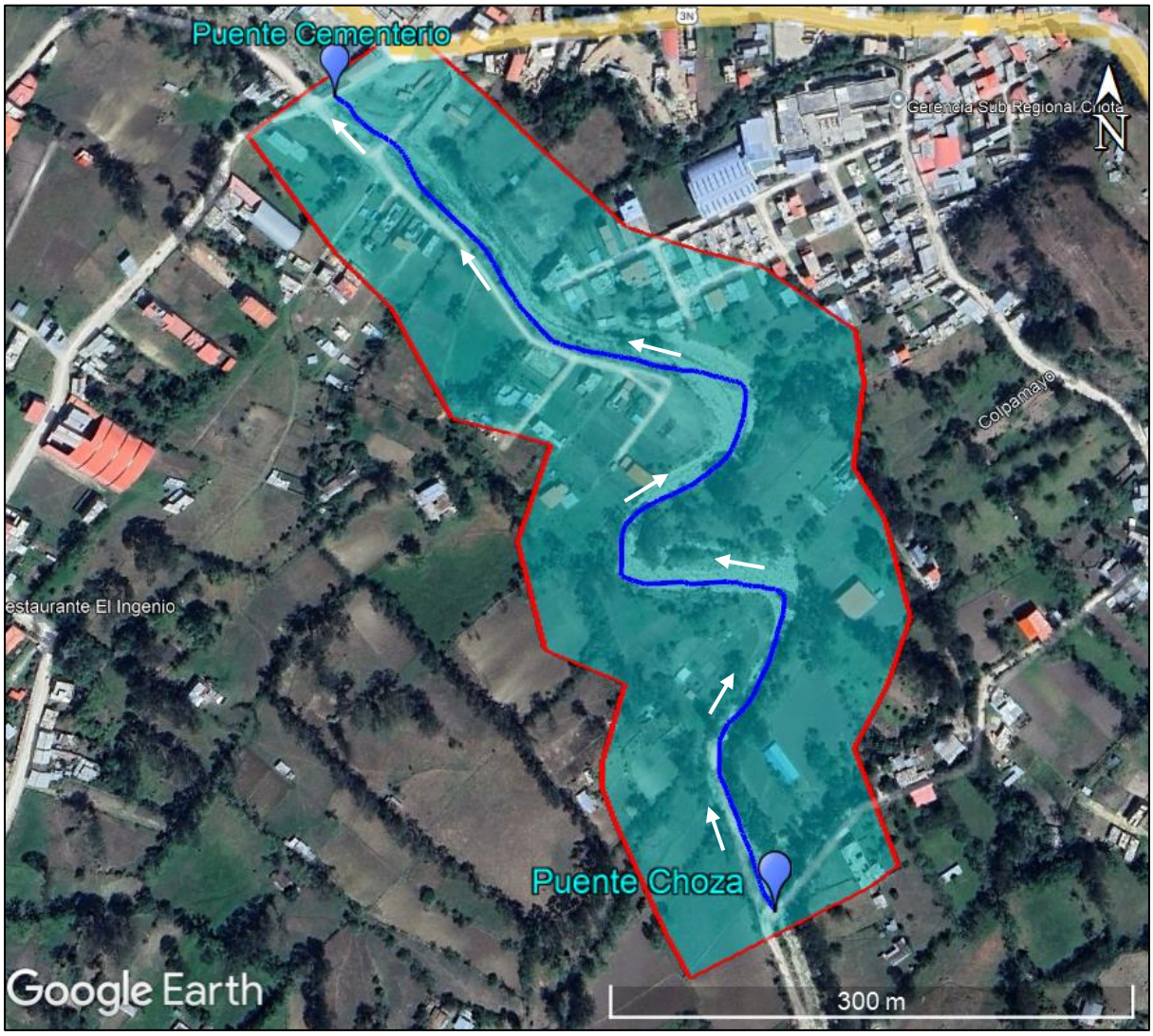
Figura 23. *Flujograma seguido para la presente investigación.*



3.3. Población de estudio y muestra

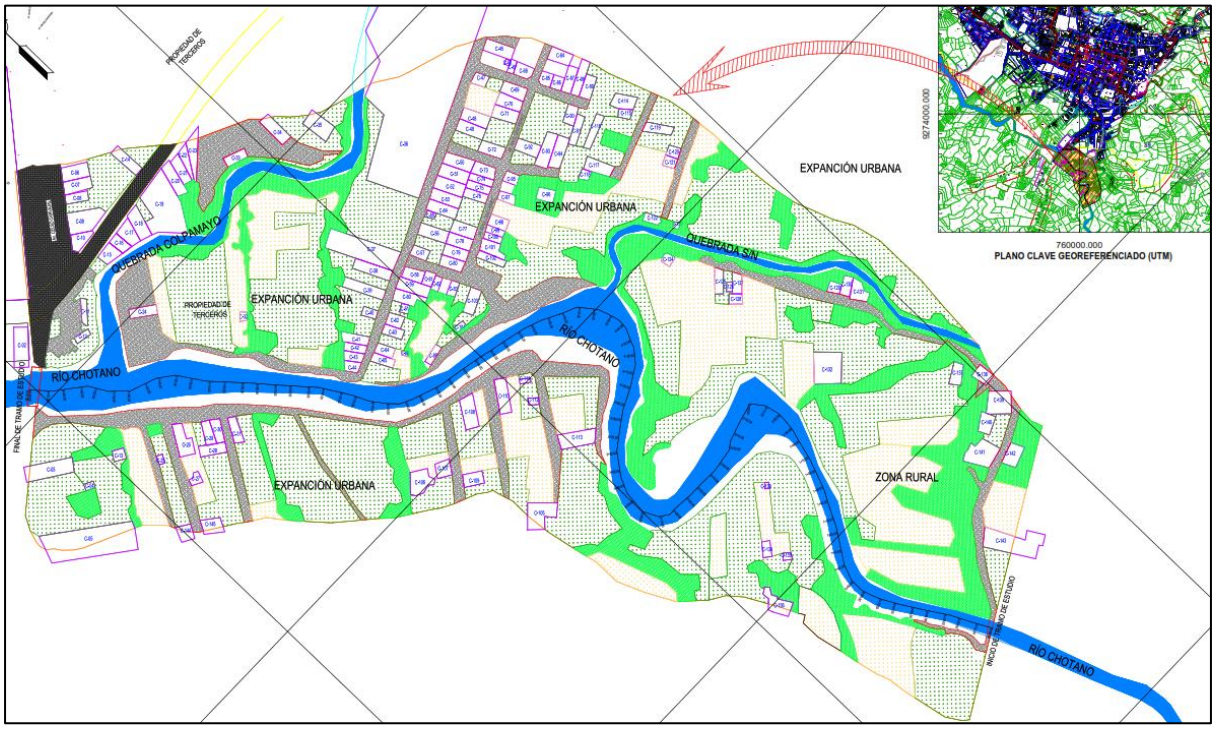
Con el fin de obtener resultados que se refleje la situación del área de estudio, se seleccionó las áreas a las riberas del río Chotano en el tramo desde el Puente Choza (punto de inicio de estudio) hasta el Puente Cementerio (punto final del estudio), que tiene como intersección a la quebrada S/N y a la quebrada Colpamayo, además se ha considerado un ancho mínimo de 50m desde la faja marginal del río Chotano como se muestra en las siguientes figuras:

Figura 24. *Trayecto de análisis de la zona de estudio en el río Chotano (desde el Puente Choza hasta el Puente Cementerio).*



Nota: (Google Earth Pro, 2024), para más detalle ver en anexo de planos.

Figura 25. *Delimitación de áreas en la zona de estudio.*



Nota: Para más detalle, ver en anexo de planos.

En la figura anterior muestra las áreas que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 19. *Tipo de áreas que intervienen en la zona de estudio.*

Tipo de área	Área de estudio	
	Km²	**Ha**
Área total urbana:	0.01809	1.78
Área total de pastos y alfalfa:	0.04742	4.74
Área total de cultivos como papa, maíz, hortalizas:	0.02224	2.22
Área total de árboles y arbustos:	0.01979	1.98
Área total de Trochas y caminos:	0.02455	2.46
Área total de vía pavimentada y asfaltada:	0.00348	0.35
Área bruta de fuentes naturales:	0.01680	1.68
Área total de zona de estudio:	**0.15237**	**15.24**

Nota: De la tabla se puede rescatar que en gran parte de la zona de estudio hay existencia de vegetación y suelo para uso agrícola; sin embargo, hay un área más que significante que pertenece a la zona urbana.

3.4. Equipos, materiales e insumos

Equipos

- Dron de marca DJI para levantamiento topográfico de la zona de estudio y la ortofoto.

- GPS Diferencial marca Trimble R12i-GUWFBTR4, utilizados para los puntos BM (Bench Mark o punto de referencias) y para el levantamiento topográfico.

- Yeso, para ubicar los BM.

- Wincha, para medir las obras de arte como los puentes Choza y Cementerio, y también la altura de inundación ocurrida en 2006 según residentes.

- Cámara fotográfica, para el panel fotográfico de la presente investigación.

- Cuaderno, lápiz, lapicero, estas fueron indispensables para tomar nota en la zona de estudio.

- Laptop, para todo el trabajo en gabinete y usar los programas necesarios para la presente investigación.

Software's

- Civil 3D.
- Google Earth Pro.
- HEC-HMS 4.12.
- HEC-RAS 6.4.1.
- Hidroesta 2.
- Microsoft Excel Office.
- Microsoft Word Office.
- QGIS 3.34.1.

3.5. Procedimiento

Para la presente investigación se ha realizado los siguientes pasos descritos en el flujograma:

3.5.1. Recopilación de Información

i. Se empezó recopilando información de la zona de estudio haciendo encuestas a residentes para saber las características que tuvo la inundación ocurrida en 2006 desde el puente Choza hasta el puente Cementerio.

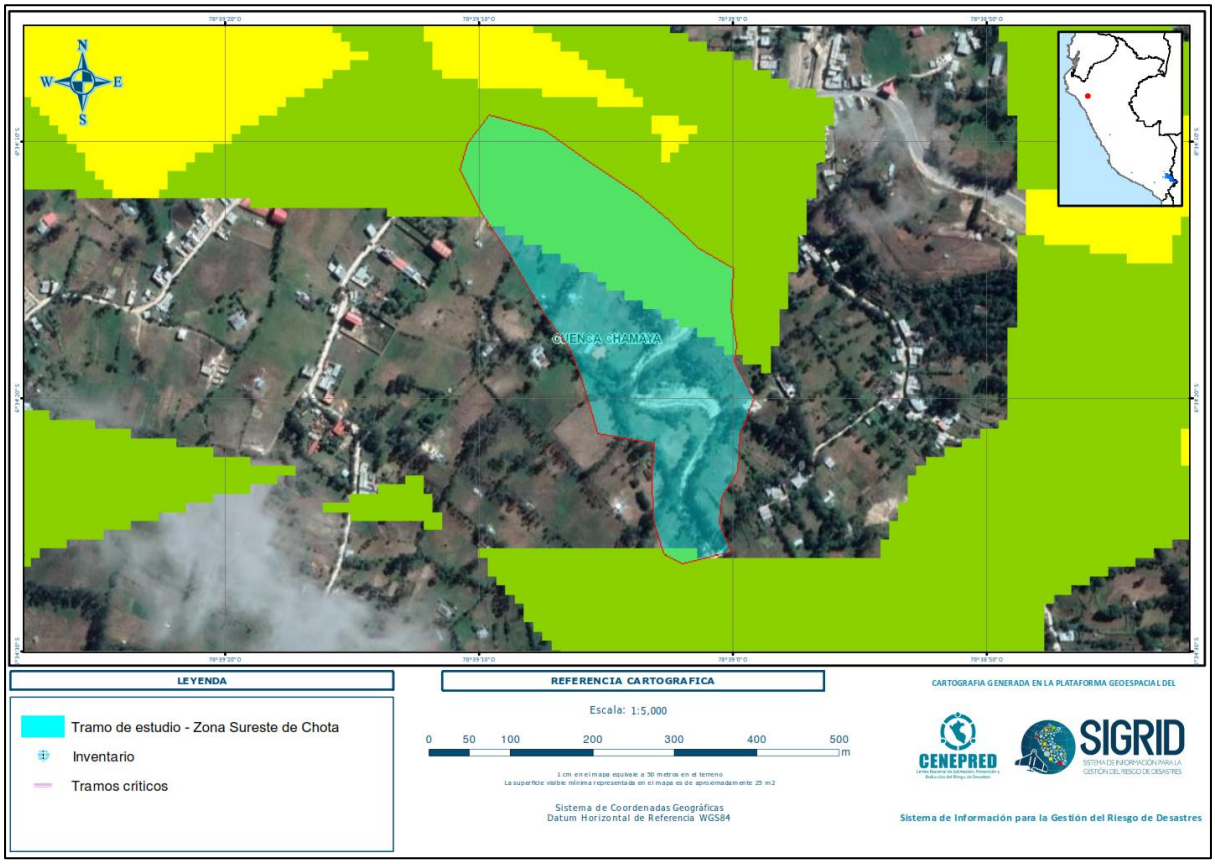
ii. Asimismo, se buscó, identificó y analizó los vestigios dejados por la inundación en la zona de estudio del año 2006.

Fotografía 1. *Visita a la zona de estudio para la visualización de vestigios.*

Fotografía 2. *Visita a la zona de estudio para la visualización de vestigios.*

iii. Además de las encuestas y vestigios, se corroboró con los mapas de riesgos de inundación que tiene el SIGRID en su base de datos, observándose que efectivamente para la zona de estudio hay riesgo de inundación.

Figura 26. *Riesgo de inundación para la zona de estudio según CENEPRED - SIGRID.*



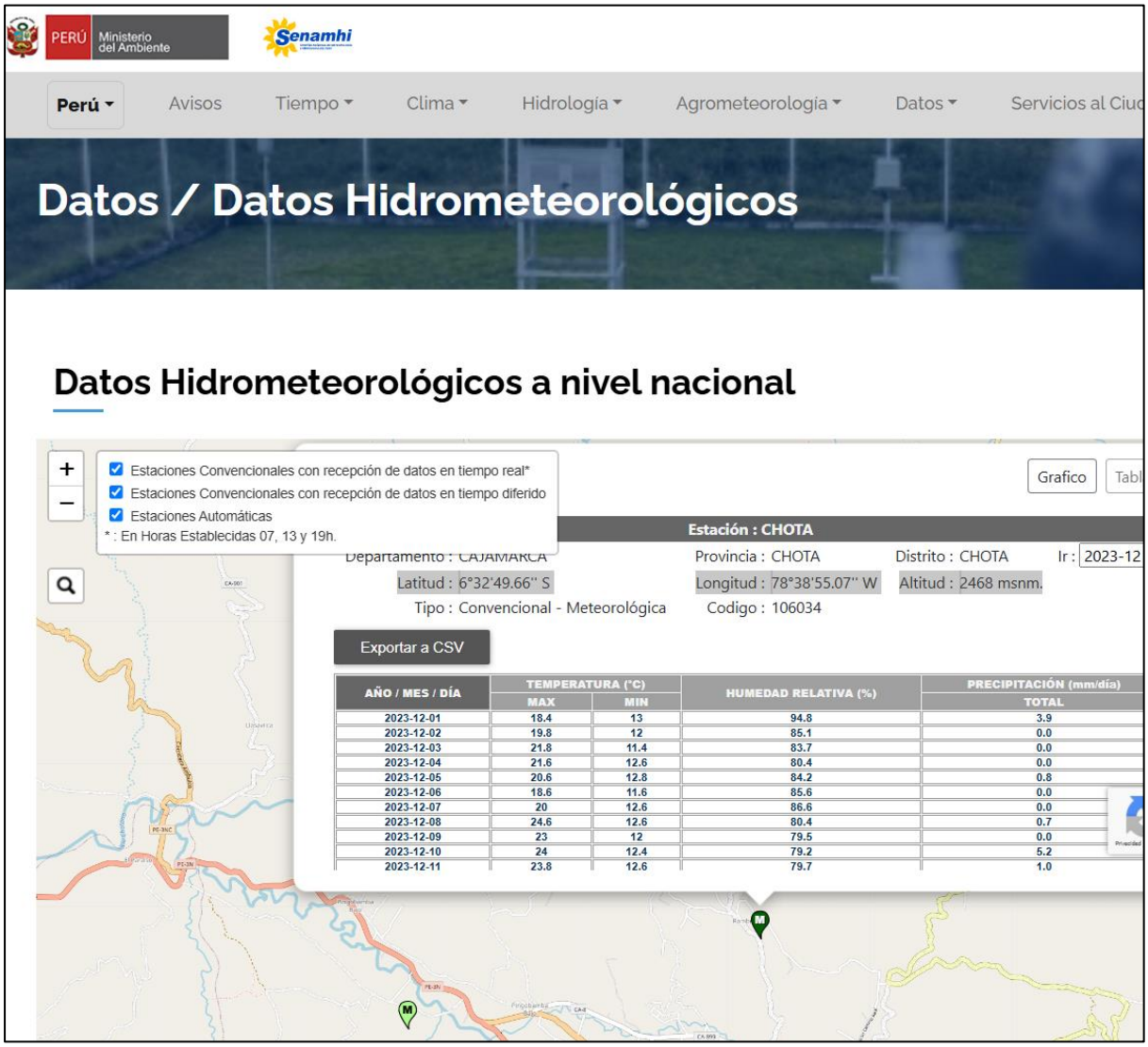
Nota: (SIGRID, 2024)

iv. Ya confirmado que para la zona de estudio existió y existe la probabilidad de ocurrir otro evento similar a la inundación del 2006, lo que se hizo después es identificar qué fuentes naturales intervienen desde el tramo Puente Choza hasta el Puente Cementerio, en donde se encontró dos quebradas aportantes, que según encuestas aparte del río Chotano se habían activado en simultáneo el año de la inundación, por lo que en la presente investigación también se analizó las fuentes aportantes las cuales son la quebrada Sin Nombre (S/N) y la quebrada Colpamayo.

v. Como se sabe, para el presente estudio es indispensable calcular el caudal de avenida que se dio en 2006, por lo que lo se obtuvieron las precipitaciones máximas en 24 horas del Senamhi con una data desde el 1994 al 2024 de la estación Chota, cuya estación es muy

próxima e idónea para el área de estudio; asimismo, por motivo que faltaban algunos datos de los últimos meses del 2024, se completaron los datos de su portal web.

Figura 27. *Base de datos del SENAMHI para la obtención de las precipitaciones máximas en 24h.*

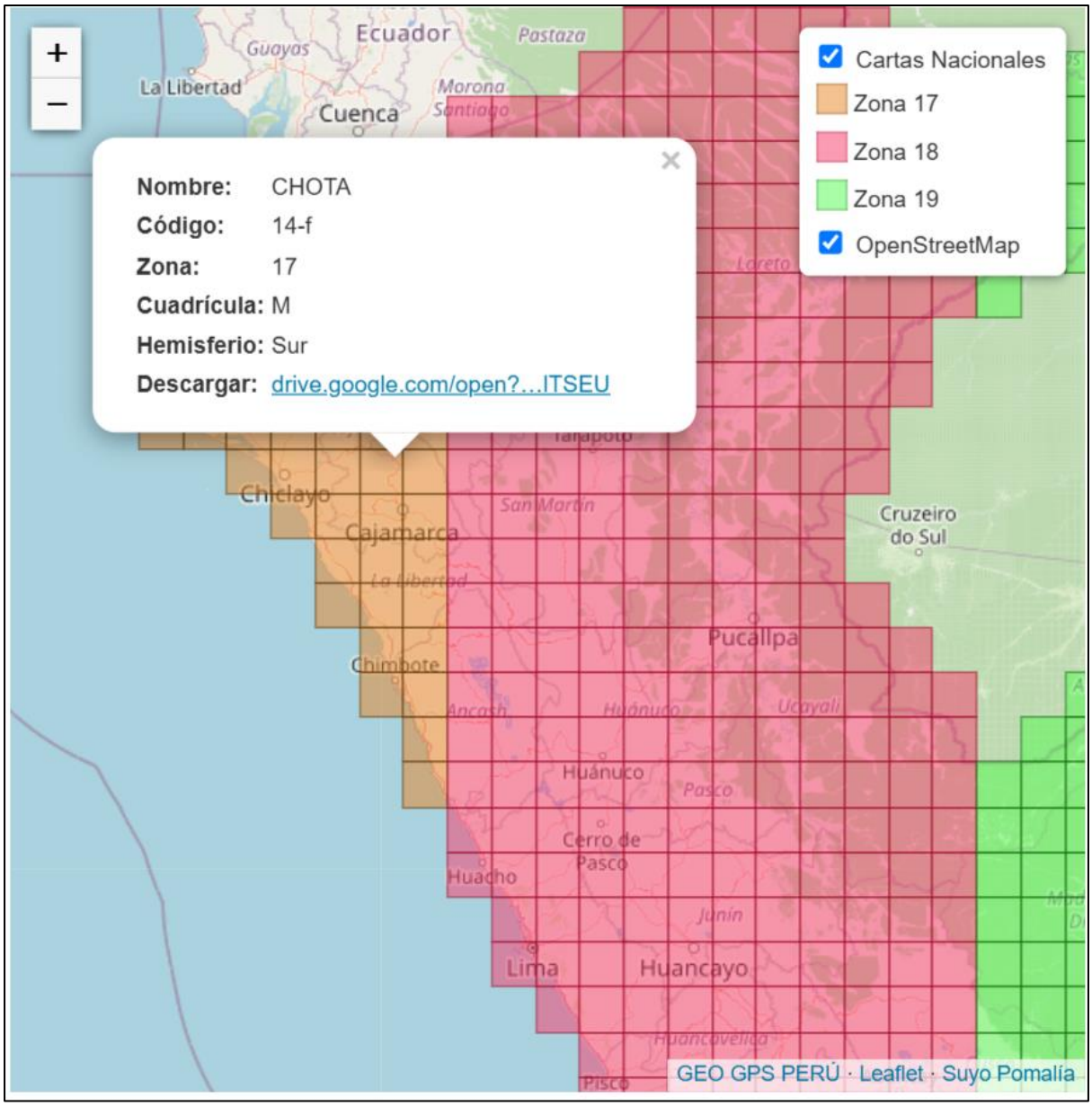


Nota: Senamhi, 2024. Los datos que se han obtenido del portal Web solo han sido para completar de los últimos meses del 2024 y corroborar los datos que se recibieron por parte de la entidad.

vi. Otra información necesaria, son las curvas de nivel del área de estudio, para analizar las microcuencas del río Chotano y de las quebradas aportantes con el fin de sacar los parámetros hidro-geomorfológicos necesarios, por consiguiente, se descargó la Carta Nacional del cuadrante 14-f (ver tabla 1) del IGN para proceder con el presente estudio. Asimismo, se

descargó de la misma zona 14-f para identificar el tipo de suelo de cada microcuenca con el fin de obtener el número de curva CN que se ajuste a cada una de estas.

Figura 28. *Carta Nacional para los parámetros hidro-geomorfológicos de las cuencas.*



Nota: GEO GPS PERÚ “www.geogpsperu.com”

3.5.2. Levantamiento Topográfico

Por conveniencia y exactitud, para la presente investigación se ha realizado el levantamiento topográfico con los equipos que son el GPS diferencial y Dron DJI, considerando los vestigios y encuestas a los residentes.

Fotografía 3. *Punto BM en el puente Choza.*

Fotografía 4. *Punto BM en tramo de estudio.*

Fotografía 5. *Punto BM en el puente Cementerio.*

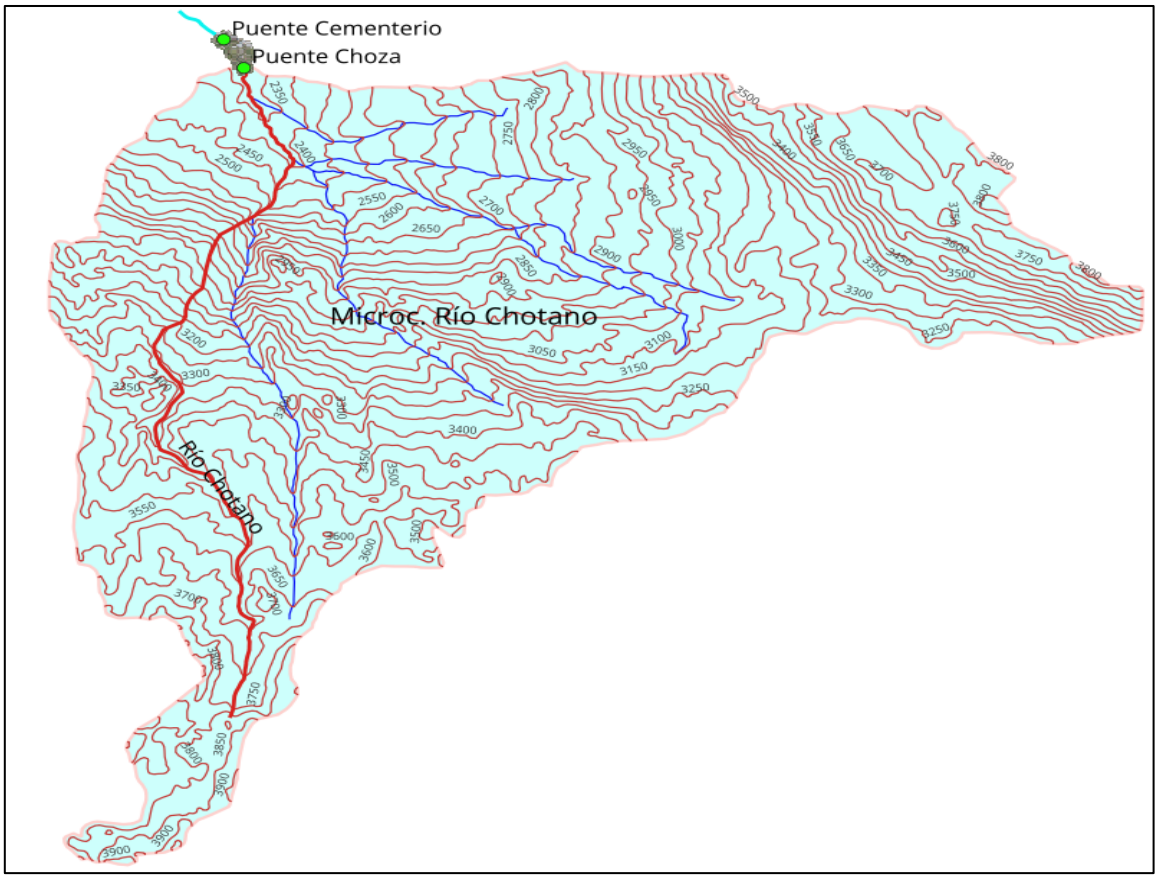
Fotografía 6. *Toma de puntos en el Thalweg con el GPS diferencial.*

Fotografía 7. *Equipos utilizados para el levantamiento topográfico.*

3.5.3. Obtención de los Parámetros Hidro-geomorfológicos de las Microcuencas

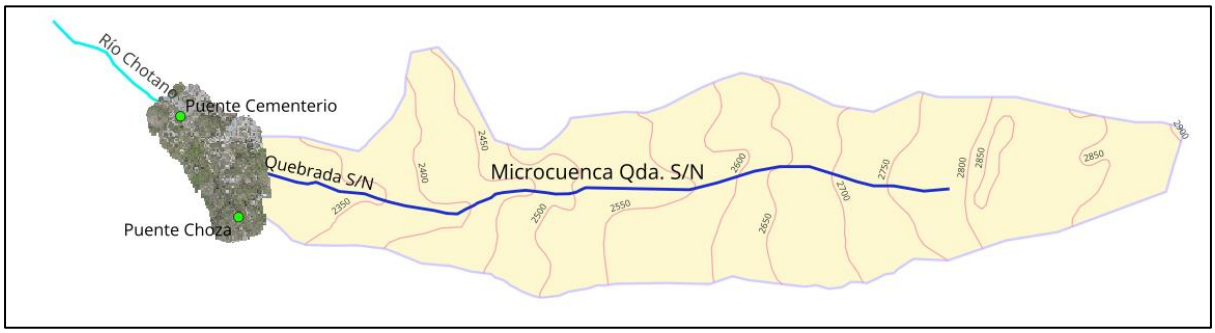
Estos parámetros han sido calculados básicamente a través del uso **software QGIS 3.34.1**, con el uso de la **carta nacional 14f** descargada del **IGN**.

Figura 29. *Delimitación de la microcuenca del Río Chotano.*



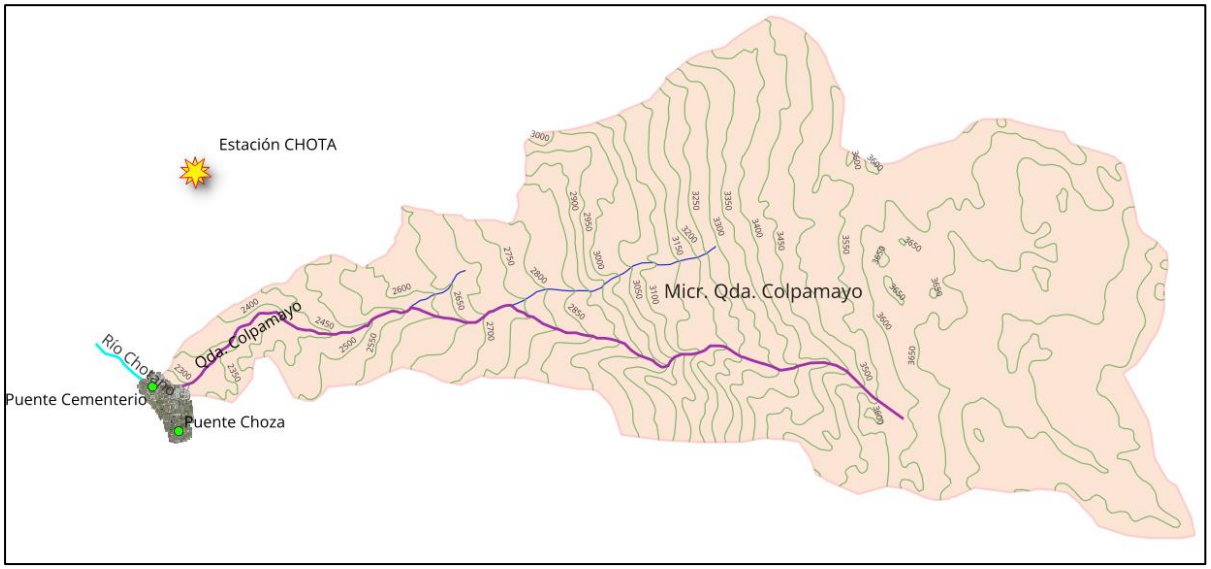
Nota: Para más detalle ver en anexo de planos.

Figura 30. *Delimitación de la microcuenca de la Quebrada Sin Nombre (S/N).*



Nota: Para más detalle ver en anexo de planos.

Figura 31. *Delimitación de la microcuenca de la Quebrada Colpamayo.*



Nota: Para más detalle ver en anexo de planos.

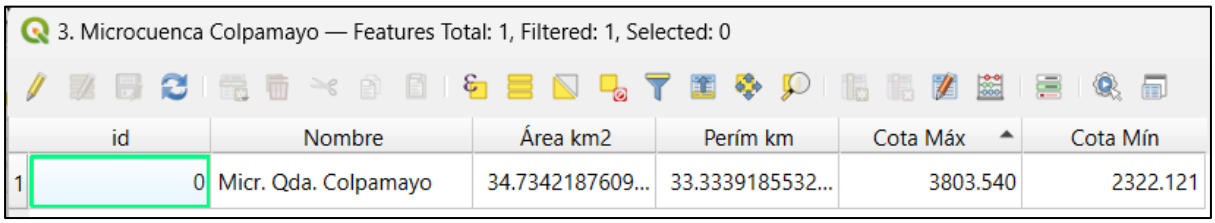
Para determinar los parámetros básicos, de relieve y de la red hidrológica perteneciente a cada microcuenca se han seguido los siguientes pasos descritos comenzando por los parámetros básicos:

a. Parámetros básicos

a.1. Perímetros de las microcuencas: Para determinar los perímetros de la microcuenca del río Chotano, la quebrada S/N y de la quebrada Colpamayo haciendo uso del programa **QGIS 3.34.1** en la **tabla de atributos** de cada microcuenca se calcula el **perímetro, en Km**.

a.2. Áreas de las microcuencas: Sucede lo mismo que lo anterior, se calcula el **área en Km^2** de cada microcuenca en la tabla de atributos en el programa **QGIS 3.34.1.**

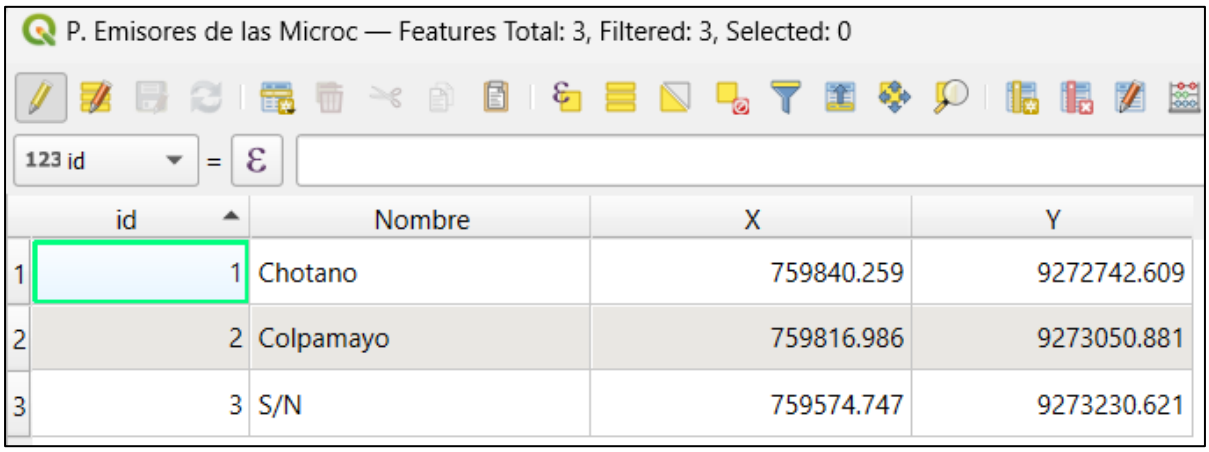
Figura 32. *Manera en que se calcula los parámetros básicos de cada microcuenca.*



	id	Nombre	Área km2	Perím km	Cota Máx	Cota Mín
1	0	Micr. Qda. Colpamayo	34.7342187609...	33.3339185532...	3803.540	2322.121

a.3. Puntos emisores de las microcuencas: Se halla los puntos emisores de cada una de las microcuencas haciendo uso del software mencionado.

Figura 33. *Puntos emisores de las microcuencas.*



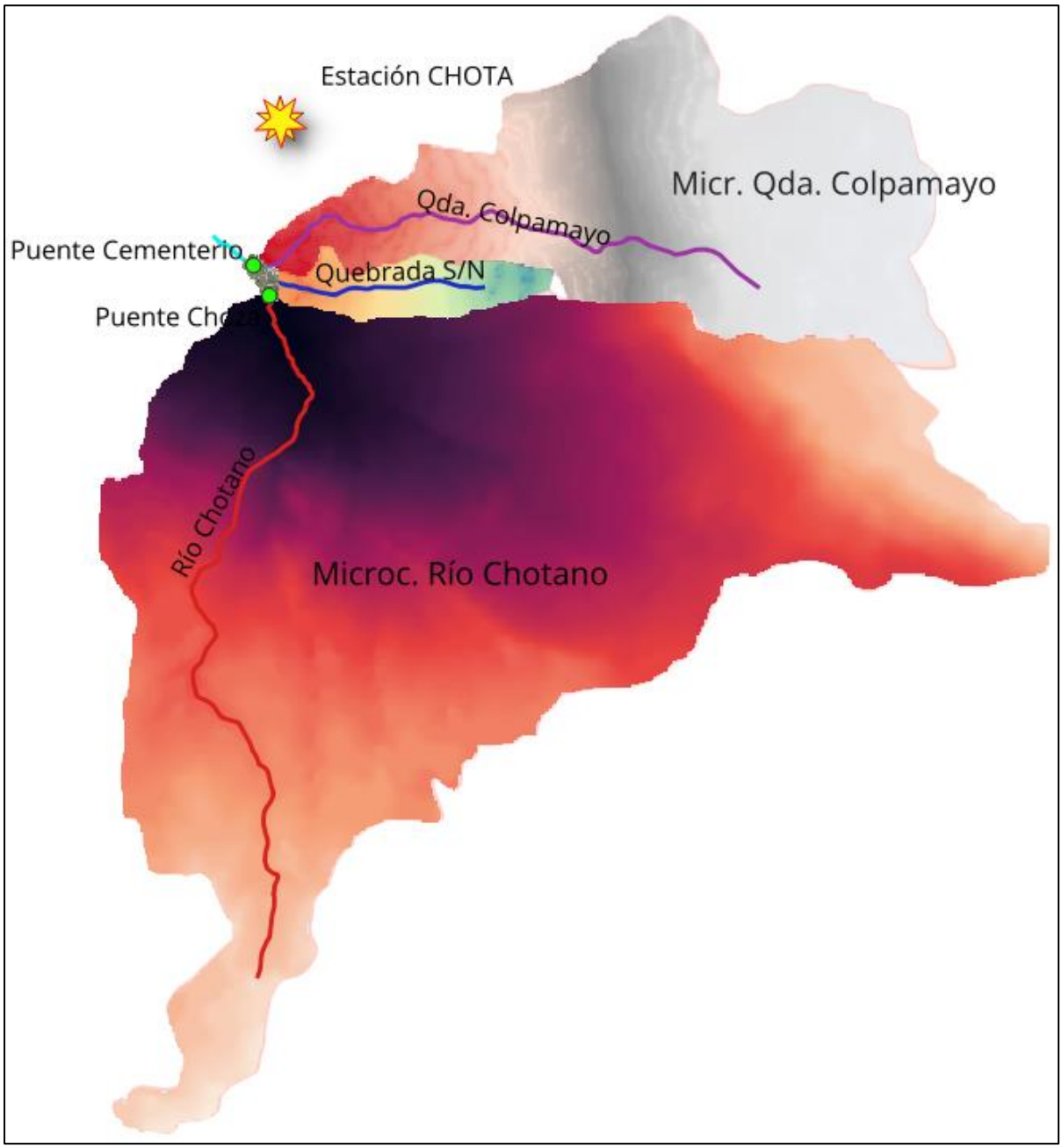
	id	Nombre	X	Y
1	1	Chotano	759840.259	9272742.609
2	2	Colpamayo	759816.986	9273050.881
3	3	S/N	759574.747	9273230.621

b. Parámetros de Relieve

Para hallar estos parámetros, lo que se hizo fue generar ráster de elevación "DEM" para cada microcuenca a partir de las curvas de nivel de la **carta nacional 14-f** con el comando "**Interpolación TIN**" del **QGIS 3.34.1**.

Los modelos digitales de elevación "DEM" también se pueden descargar de las cartas nacionales brindadas en el portal del IGN, pero en este caso por conveniencia los ráster se han generado a partir de las curvas de nivel para la mayor precisión al obtener los datos en el programa QGIS 3.34.1.

Figura 34. *Modelos digitales de elevación "DEM" de las microcuencas.*



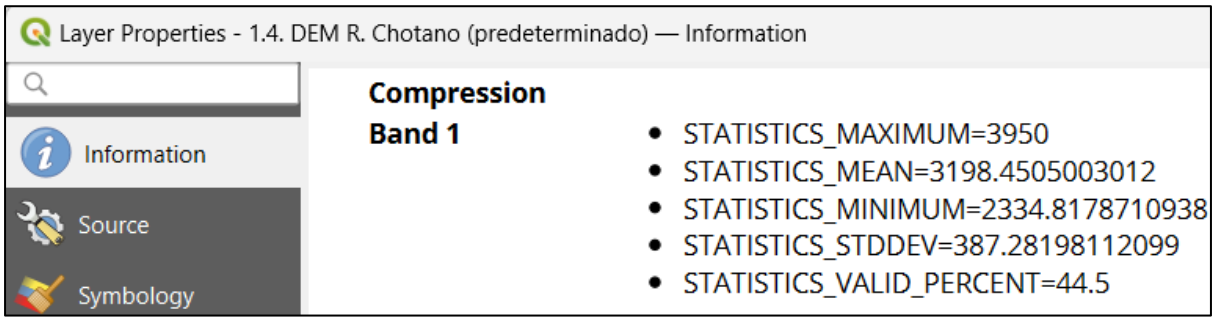
Nota: Para más detalle ver en anexo de planos.

b.1. Altitudes máximas de las microcuencas: Se halla en propiedades del DEM de cada microcuenca.

b.2. Altitudes mínimas de las microcuencas: Se halla en propiedades del DEM de cada microcuenca.

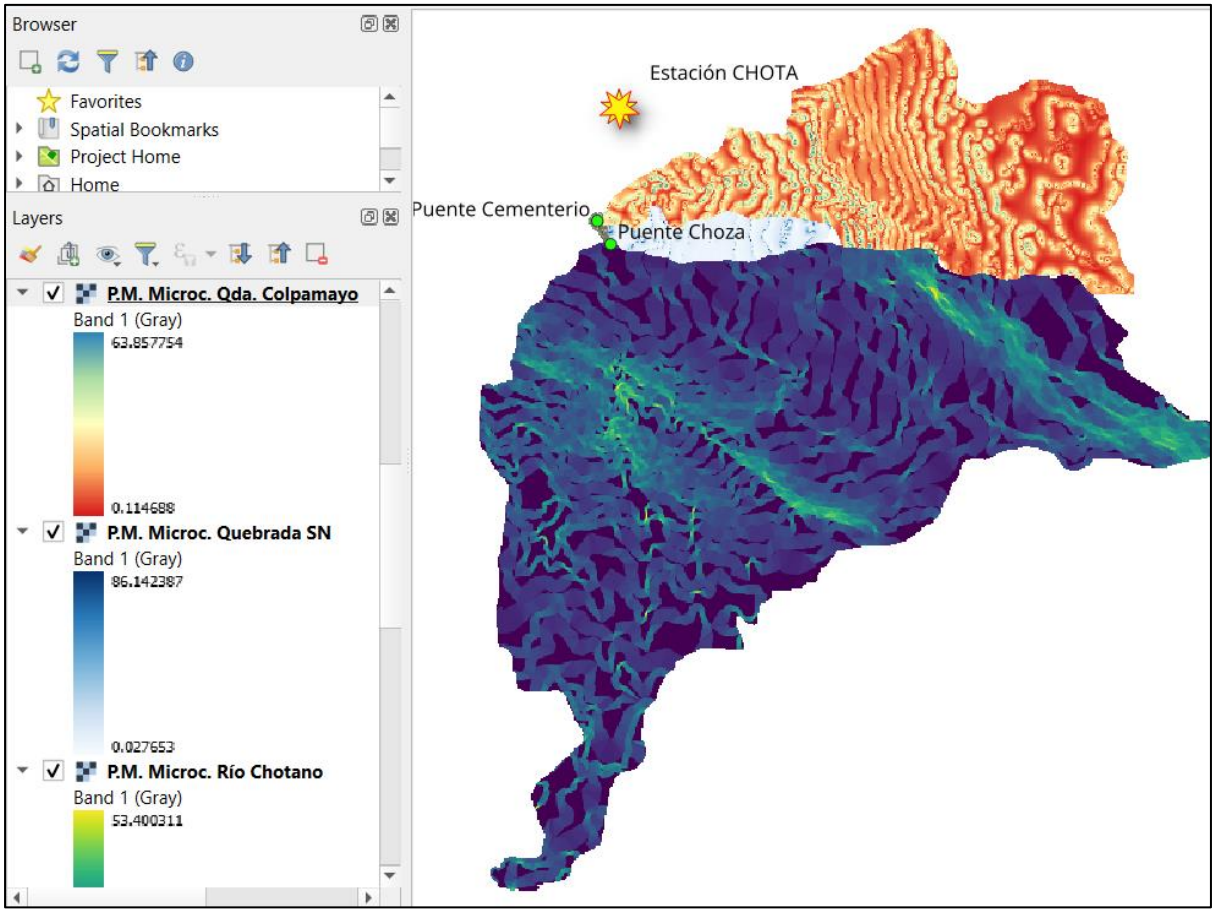
b.3. Alturas medias de las microcuencas: Se halla en propiedades del DEM de cada microcuenca, este ya integra la **ecuación 1**.

Figura 35. *Forma de hallar la altitud máxima, mínima y media de cada microcuenca.*



b.4. Pendientes medias de las microcuencas: Se hallan las pendientes promedio de cada microcuenca con el comando "**Pendiente**" en el software QGIS 3.34.1, el cual está implementado la **ecuación 2**.

Figura 36. *Forma de hallar la pendiente promedio de las microcuencas de estudio.*



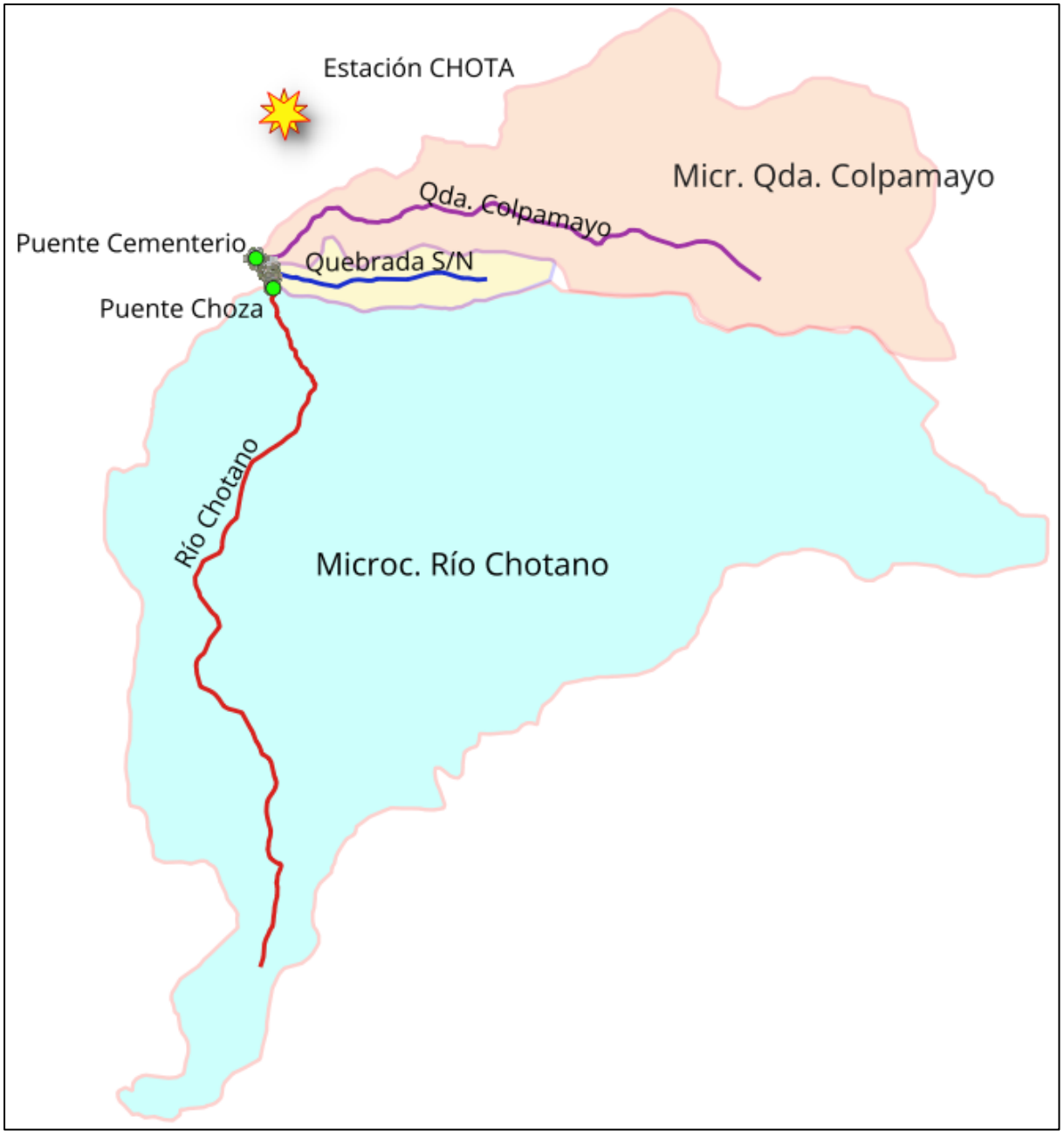
b.5. Coeficientes orográficos de las microcuencas: Ya teniendo todos los datos anteriores, haciendo uso de la **ecuación 3** se calcula el coeficiente orográfico para cada microcuenca.

b.6. Factores de forma de las microcuencas: haciendo uso de la **ecuación 4** se calcula el factor de forma para cada microcuenca.

b.7. Coeficientes de compacidad o de Gravelius de las microcuencas: haciendo uso de las **ecuaciones 5-7** se calcula el coeficiente de Gravelius para cada microcuenca.

c. Parámetros de la red hidrológica

Figura 37. *Cauces principales de las microcuencas de estudio.*



Nota: Para más detalle ver en anexo de planos.

c.1. Longitudes de cauces principales de las microcuencas: Haciendo uso del programa QGIS 3.34.1 en la tabla de atributos de cada cauce natural principal se calculó su longitud total.

c.2. Pendientes medias de cauces principales de las microcuencas: Haciendo uso del programa QGIS 3.34.1, se sacaron los datos necesarios para calcular le pendiente del cauce principal por la **ecuación 9** de **Taylor y Schwarz**.

c.3. Tiempos de concentración de las microcuencas: Se lo halló los diferentes tiempos de concentración mediante las ecuaciones 10 a la 14, sin embargo, fue la **ecuación 12 de Témez** la que más se ajustó para calcular los tiempos de concentración de las microcuencas de estudio.

3.5.4. Análisis de las Precipitaciones Máximas en 24 horas

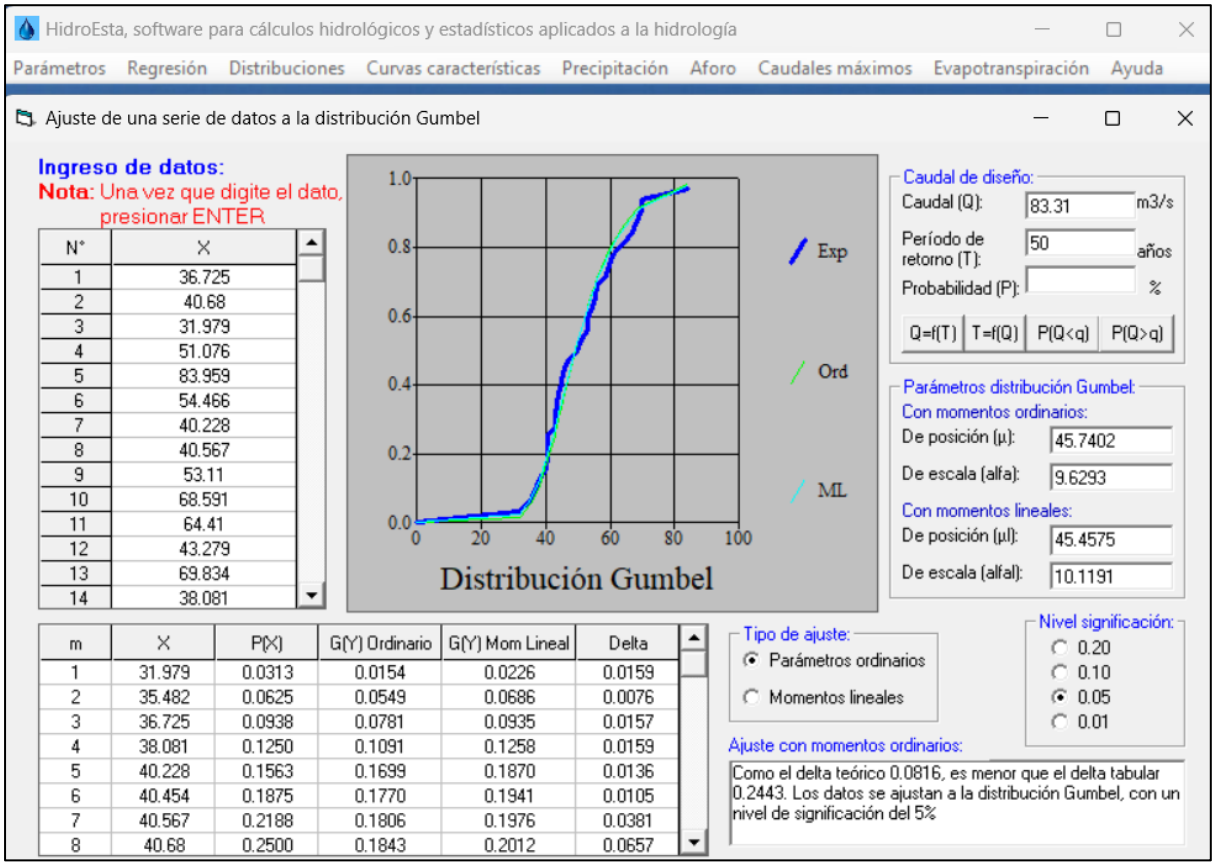
Teniendo toda la información básica anteriormente mencionada, lo que se analizó en principio fueron las precipitaciones máximas **obtenidas del Senamhi**, con el fin de obtener los caudales máximos según los periodos de retorno, pero para llegar a ello, se analizó la información de la siguiente manera:

i. Teniendo la tabla de precipitaciones máximas en 24 horas brindada por el Senamhi, en el software de Microsoft Excel, se corroboró si faltaban datos en la data desde el 1994 al 2024, sin embargo, para esta ocasión no sucedió ello, así que se trabajó con los datos sin mayor inconveniente.

ii. Lo siguiente fue analizar si había datos dudosos a través del **método de Outliers** para la cual se usaron las **ecuaciones del 15-18** conjuntamente haciendo uso de la **tabla 5** para un tamaño de muestra n=31 con un factor **Kn=2.577**; ya corrigiendo, si algún dato fuera anómalo, lo siguiente es utilizar la **tabla 6** para aplicar el factor de corrección a la tabla analizada de las precipitaciones máximas en 24 horas, utilizándose el factor de **1.13** porque solo es un intervalo de observación.

iii. Seguidamente se hace la prueba de **Bondad de Ajuste Kolmogorov - Smirnov** haciendo uso de las **ecuaciones 19 y 20**, y conjuntamente con la **tabla 7**. Asimismo, esta prueba de ajuste se hace para saber qué distribución de probabilidad se ajusta a la data de la estación meteorológica Chota, pero este análisis por conveniencia se lo ha hecho en el Hidroesta 2 que simplifica el trabajo del Excel; en donde siguiendo la recomendación del manual del MTC, 2018, con una **significancia del 5%** se analizan todas las distribuciones en el **Hidroesta 2** que hacen uso de las **ecuaciones 21 a la 31**:

Figura 38. *Forma de análisis de distribución en el Hidroesta 2.*



Nota: Se han analizado todas las distribuciones de probabilidad en el Hidroesta 2 ingresando las precipitaciones máximas corregidas previamente, para más detalle ver en anexos.

iv. Después de hallar la distribución de probabilidad que más se ajusta. En Excel se halla las precipitaciones máximas en 24 horas según los periodos de retorno de 50, 100, 135, 185 y 285 años.

v. Los anteriores pasos, solo representan a las precipitaciones de la estación meteorológica Chota, pero lo que se quiere para la presente investigación son las **precipitaciones máximas en 24 horas** para la microcuenca del río Chotano, la quebrada S/N y la quebrada Colpamayo. Por lo tanto, se hace las transposiciones de los datos de las precipitaciones para cada microcuenca usando la **ecuación 32**.

vi. Ya corregida las precipitaciones de cada microcuenca con respecto a cada periodo de tiempo, se hace la Distribución temporal Dick & Peschke para las precipitaciones máximas dentro de las 24 horas, para ello, se usa la **ecuación 33**.

vii. Finalmente, se generan los hietogramas por el método de Bloques Alternos, pero como la duración de tormenta en Chota según registro el Senamhi dura **12 horas**, entonces las precipitaciones se multiplican por **0.79**, factor sacado de la **tabla 8** para generar los **hietogramas de 12 horas**. Para finalmente, pasar los datos al programa HEC-HMS 4.12.

3.5.5. Determinación de los periodos de retorno.

No hay algún reglamento, norma de diseño o decreto específico que den una lista de periodos de retorno para la evaluación de las inundaciones. Sin embargo, la ley N° 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (SINAGERD), los manuales y quías del ANA y de las entidades como el INDECI, el CENEPRED y el Reglamento Nacional de Edificaciones, establecen un marco de periodos de retorno de referencia que son comúnmente utilizados en los estudios y diseños en el Perú, que son de 50, 100, 200 y hasta 500 años. Sin embargo, para la presente investigación se da una justificación técnica considerando un número de años de análisis y el riesgo de falla según los elementos que intervienen en la zona de estudio para los periodos de retorno con la **ecuación 35.**

En diversos casos el número de años "N" se considera como vida útil de la obra, sin embargo, no necesariamente corresponde a esta, sino que el responsable de elaborar el estudio define el riesgo admisible de falla y el número de años de análisis. Por lo tanto, para el presente estudio se considera un número de análisis de años de **N = 30**, este dato es una elección técnica y práctica que busca un equilibrio tanto en la vida útil y la relevancia de la evaluación de los peligros a mediano y largo plazo ante inundaciones de los elementos encontrados en la zona de estudio; además, se tienen las siguientes condiciones según los elementos dentro de la zona de estudio:

- **Puentes:** En el tramo de estudio se encuentran el puente Choza y el puente Cementerio, para este elemento se considera un riesgo admisible **R = 15%** según el MTC, 2018, es de riesgo moderado, ya que su falla puede generar interrupción en el tránsito y pérdidas económicas significativas.
- **Viviendas:** Casi a riberas del río Chotano y de las quebradas S/N y Colpamayo se encuentran viviendas, para este elemento se considera un riesgo admisible de **R = 20%**, siendo de riesgo moderado para la protección de la vida de los residentes.
- **Áreas de cultivos:** En el recorrido del tramo de estudio se encontró la presencia de áreas destinadas al cultivo de papas, maíz y legumbres, para este elemento se considera

un riesgo admisible de **R = 45%**, aunque tiene un riesgo más alto, no suele implicar el riesgo directo de la vida ni de infraestructura crítica.

- **Cementerio:** En la zona de estudio, cerca del puente cementerio se encuentra el cementerio general "San Juan", por ende, se ha considerado como un elemento a analizar y para este pertenece un riesgo admisible de **R = 10%**, debido al carácter sensible y la necesidad de preservar el lugar.

Por lo tanto, los periodos de retorno para la presente investigación serán:

Tabla 20. *Periodos de retorno según elementos analizados en la zona de estudio.*

Años de análisis "N" (años)	Elemento Análisis	Riesgo admisible "R" (%)	TR calculado (años)	TR asumido (años)
30	Cementerio	10%	285.24	**285**
	Puentes	15%	185.09	**185**
	Viviendas	20%	134.94	**135**
	Áreas de cultivos	45%	50.68	**50**

Nota, adicionalmente se analiza para un periodo de retorno de **100 años**, porque la inundación ocurrida en el año 2006 se ajusta a este tiempo de retorno (Ver en **apéndice 3.5.7**).

3.5.6. Modelamiento Hidrológico en HEC-HMS 4.12.

Para hacer uso del El Software HEC-HMS 4.12, los principales datos requeridos son el **método de Muskingum** para el comportamiento del flujo que hace uso de las **ecuaciones 53-61**, el **método SCS curva número** para las abstracciones que hace uso de las **ecuaciones 36-39**, número de curva "**CN**", el tiempo de retardo "**tr**", y el **hietograma** de cada microcuenca según periodo de retorno y, para esto se ha seguido los siguientes pasos:

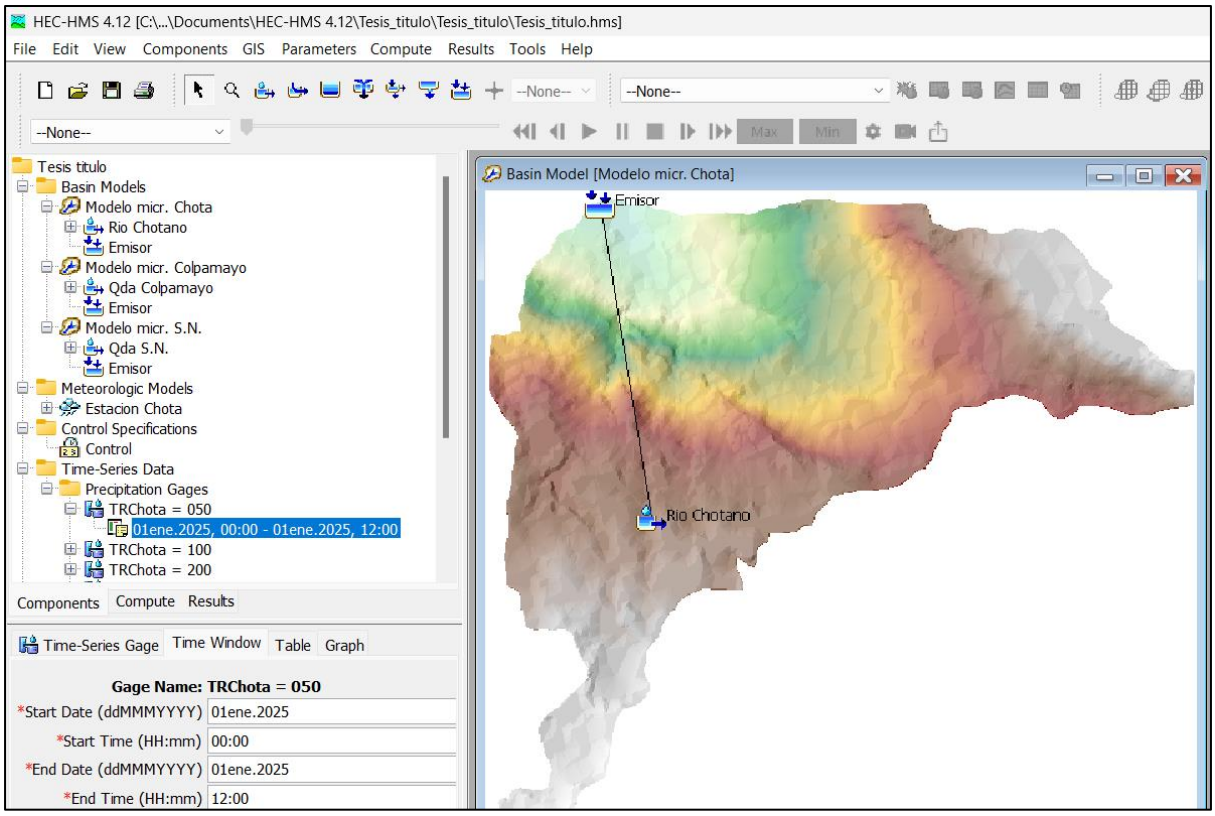
Datos necesarios:

i. Primero se insertan los tamaños de cada microcuenca, luego, se ingresa el número adimensional de la curva "**CN**", este se lo ha hallado según el **método descrito por SCS** (Soil Conservation Service) para las microcuencas del río Chotano, quebrada S/N y la quebrada Colpamayo. Este "CN" se halla en el programa QGIS 3.34.1 haciendo uso de las **ecuaciones 40-42**, con las **tablas 9-12**, para más detalle se lo puede observar en el anexo de planos.

ii. Asimismo, se ingresa el tiempo de retardo "**tr**", para la microcuenca de la quebrada S/N es calculado con la **ecuación 44** que es el **0.6 del "tc" y** para las microcuencas del río Chotano y la quebrada Colpamayo es calculado con la **ecuación 49**, el coeficiente de Snyder para el tiempo de retardo **"Ct"** para la microcuenca del río Chotano se consideró de **Ct=0.74** y para la microcuenca de la quebrada Colpamayo un **Ct=0.41.** Además, el tiempo de concentración "**tc**", es hallado con la **ecuación 12** de **Témez**, para cada microcuenca, asimismo para el método Snyder el "Peaking Coefficient = 0.8" (Coeficiente para cuencas montañosas).

iii. Después se ingresa el tiempo de modelamiento de entrada y salida de datos, aquí se ingresa los hietogramas generados en Excel **para una duración de tormenta de 12 horas**.

Figura 39. *Datos de ingreso para el HEC-HMS 4.12.*



iv. Finalmente, para obtener el **caudal máximo**, es muy importante definir el tipo de método a calcular, para las microcuencas del río Chotano con la quebrada Colpamayo se hace uso del **método de Snyder** y para la quebrada S/N se hace uso del **método SCS**. El método de cálculo se ha escogido según se ajuste la microcuenca de estudio, el método SCS hace uso de las **ecuaciones 43-47** y el método Snyder hace uso de las **ecuaciones 48 a 52**.

Figura 40. *Métodos para calcular la máxima avenida en HEC-HMS 4.12.*

Element Name: Rio Chotano	
Downstream:	Emisor
*Area (KM2)	102.09
Latitude Degrees:	
Longitude Degrees:	
Discretization Method:	--None---
Canopy Method:	--None--
Snow Method:	--None--
Surface Method:	--None--
Loss Method:	SCS Curve Number
Transform Method:	Snyder Unit Hydrograph
Baseflow Method:	--None--

Element Name: Qda Colpamayo	
Downstream:	Emisor
*Area (KM2)	34.734
Latitude Degrees:	
Longitude Degrees:	
Discretization Method:	--None---
Canopy Method:	--None--
Snow Method:	--None--
Surface Method:	--None--
Loss Method:	SCS Curve Number
Transform Method:	Snyder Unit Hydrograph
Baseflow Method:	--None--

Element Name: Qda S.N.	
Downstream:	Emisor
*Area (KM2)	3.6435
Latitude Degrees:	
Longitude Degrees:	
Discretization Method:	--None---
Canopy Method:	--None--
Snow Method:	--None--
Surface Method:	--None--
Loss Method:	SCS Curve Number
Transform Method:	SCS Unit Hydrograph
Baseflow Method:	--None--

Datos obtenidos:

v. Como resultado de ingresar los datos anteriores y haciendo uso de sus métodos correspondientes a cada microcuenca, se **obtienen los caudales máximos** y los **hidrogramas** para así dar paso a la modelación hidráulica en HEC-RAS 6.4.1.

Figura 41. *Modelamiento hidrológico en HEC-HMS 4.12 para la microcuenca del río Chotano.*

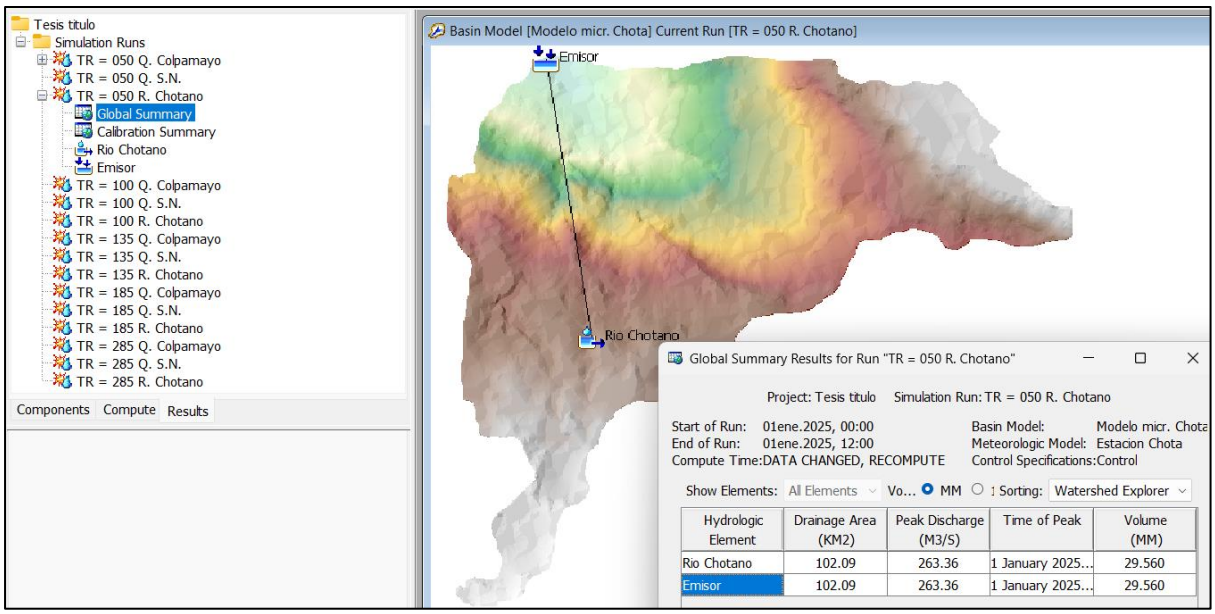


Figura 42. *Modelamiento hidrológico en HEC-HMS 4.12 para la microcuenca de la quebrada sin nombre (S/N).*

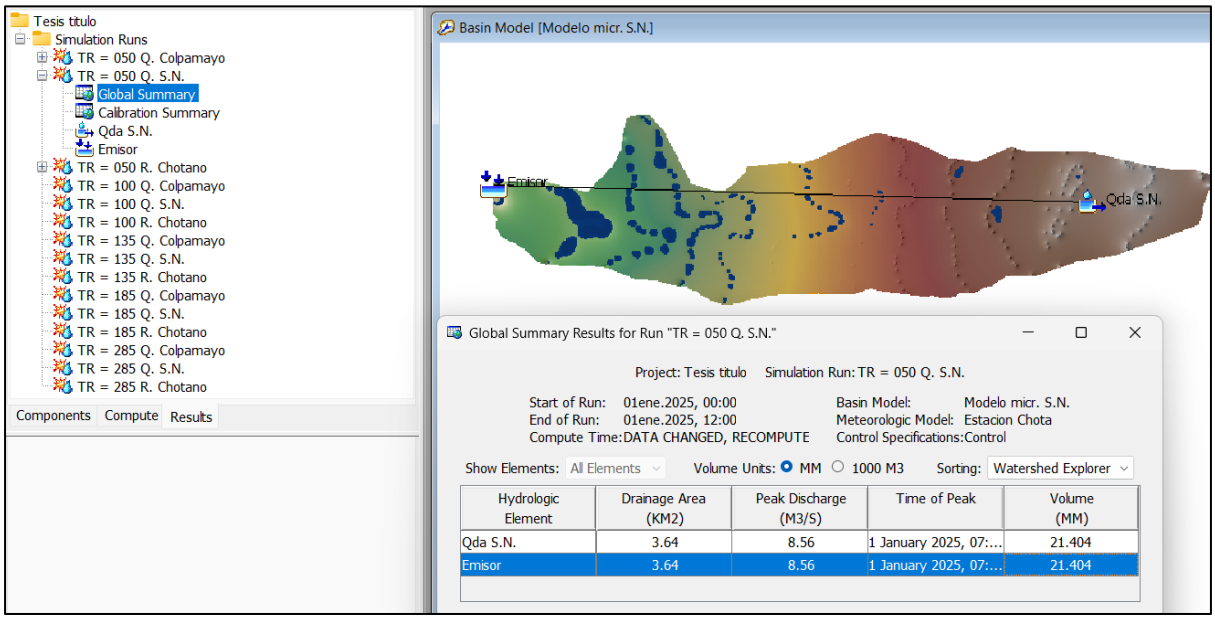
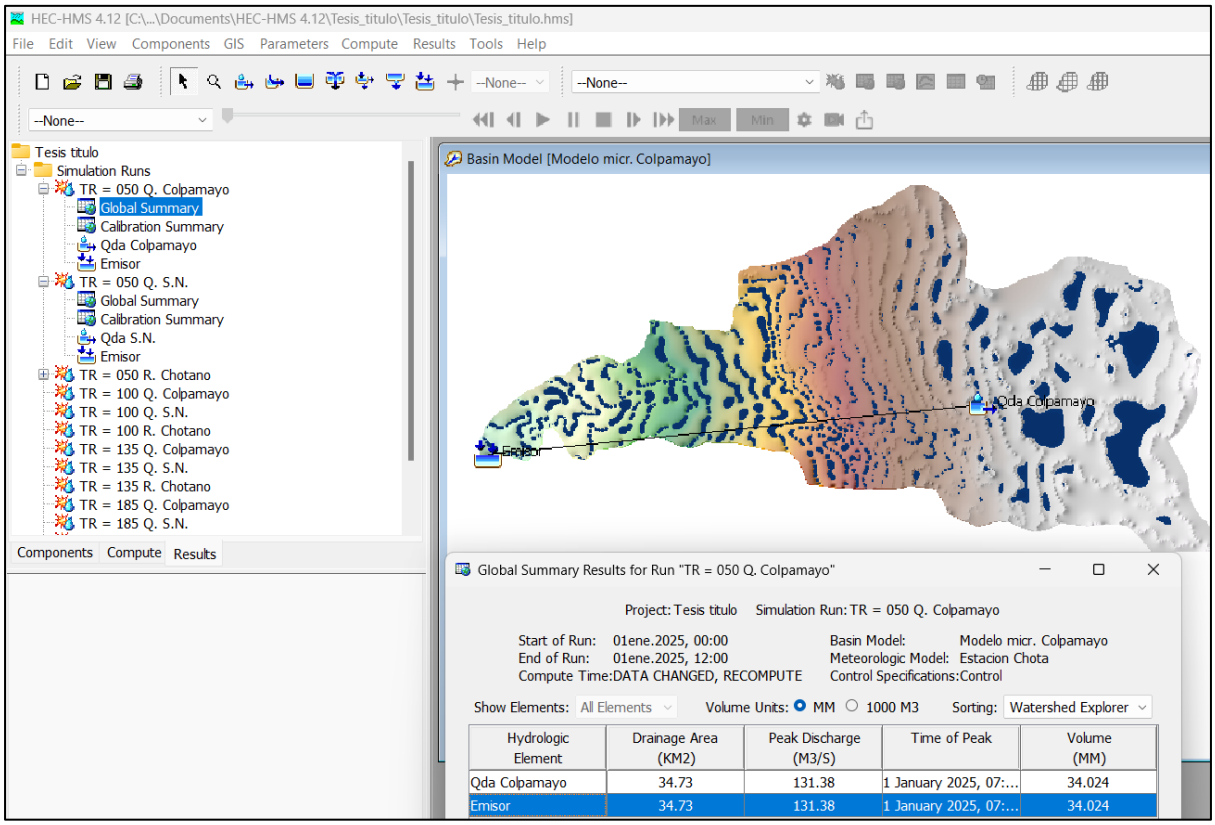


Figura 43. *Modelamiento hidrológico en HEC-HMS 4.12 para la microcuenca de la quebrada Colpamayo.*



3.5.7. Datos de campo para calibración del modelo numérico.

Para la calibración del modelo numérico, se ha hallado el caudal de campo según los relatos y vestigios de la inundación ocurrida en el año 2006 en la zona de estudio:

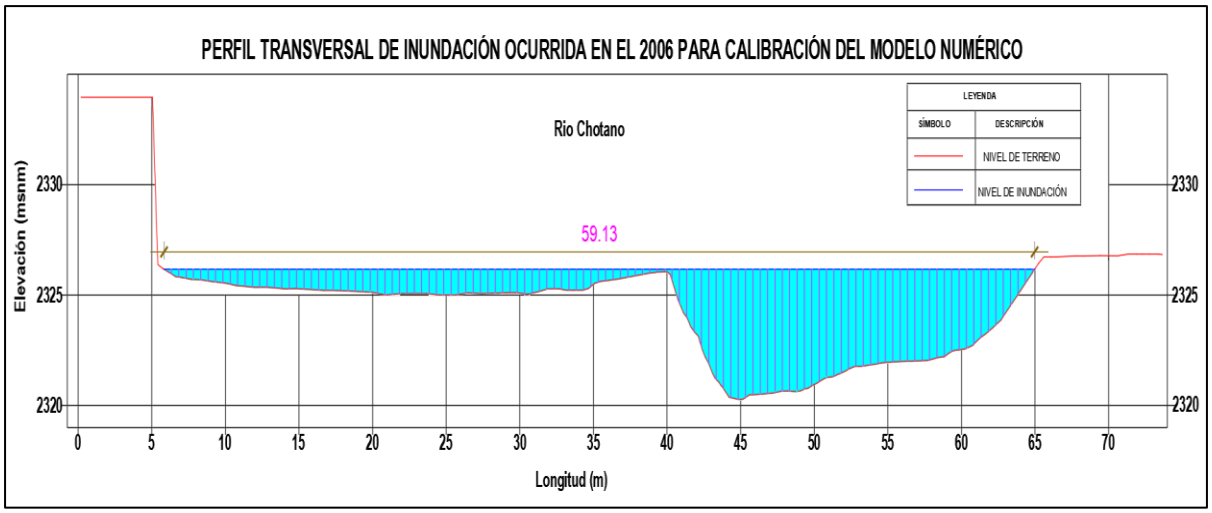
i. Primero para la rugosidad del río Chotano se ha utilizado el **método de Cowan**, donde para el río cumple $\mathbf{n_0 = 0.028}$ por tener grava gruesa, $\mathbf{n_1 = 0.001}$ por tener una moderada irregularidad, $\mathbf{n_2 = 0.010}$ por tener una variación frecuente en la sección transversal, $\mathbf{n_3 = 0.020}$ por tener un efecto de obstrucciones apreciable, $\mathbf{n_4 = 0.0175}$ por tener una vegetación media y un $\mathbf{m_5 = 1.150}$ por tener una cantidad apreciable de meandros. Por lo tanto, reemplazando los valores en la **ecuación 62** de Cowan, el valor de coeficiente de **rugosidad de Manning** que toma el río estudiado es de **n = 0.0983.**

ii. Lo siguiente es usar la **fórmula de Manning** de continuidad para calcular el caudal de la sección tomada de campo, como se muestra en la siguiente imagen tomada en campo:

Figura 44. *Sección transversal del río Chotano para la calibración del modelo numérico.*

Nota: Esta sección transversal está tomada según relatos de los residentes de la inundación ocurrida en el año 2006.

Figura 45. *Medidas de sección transversal del río Chotano para la calibración del modelo numérico.*



Nota: Para obtener los datos necesarios para la fórmula de Manning se ha seccionado el perfil transversal del río en **tramos de 0.50m**, hallando los tirantes, áreas y los perímetros mojados de cada sección. Para más detalle ver en Anexos.

Al reemplazar la **ecuación 63 de Manning** con los datos obtenidos, se ha calculado un caudal de campo de **Q = 481.32 m^3/s**. Dicho caudal calculado y demás datos obtenidos sirvieron para la calibración del modelo matemático, con el fin de hacer el modelamiento hidráulico en HEC-RAS 6.4.1 lo más real posible. Además, según el análisis de los datos obtenidos, este caudal se **ajusta para un Tr de 100 años** con un error menor al 5% de significancia.

3.5.8. Modelamiento Hidráulico en HEC-RAS 6.4.1.

Con toda la información anterior, ahora ya se puede hacer las simulaciones de las inundaciones, haciendo el modelamiento hidráulico en el programa HEC-RAS 6.4.1 para cada periodo de retorno. El software hace uso de las **ecuaciones 64-68**, dichas ecuaciones resuelven las ecuaciones de **Saint-Venant** y el procedimiento que se realizó fue el siguiente:

Datos necesarios:

i. Se importa el **levantamiento topográfico** realizado de la zona de estudio en formato **DEM** u Ortofoto, asimismo, luego de agregar el terreno georreferenciado se hace ajuste del terreno limpiándolo (es decir, se hacen los ajustes del terreno al eliminar las interferencias como los puentes en este caso, árboles o arbustos y alguna otra interferencia que no se requiere para el modelamiento hidráulico en el programa), así obteniendo el terreno de la zona de estudio adecuado para el modelamiento de la inundación.

Figura 46. *Importación del DEM del levantamiento topográfico de la zona de estudio en el HEC-RAS 6.4.1.*

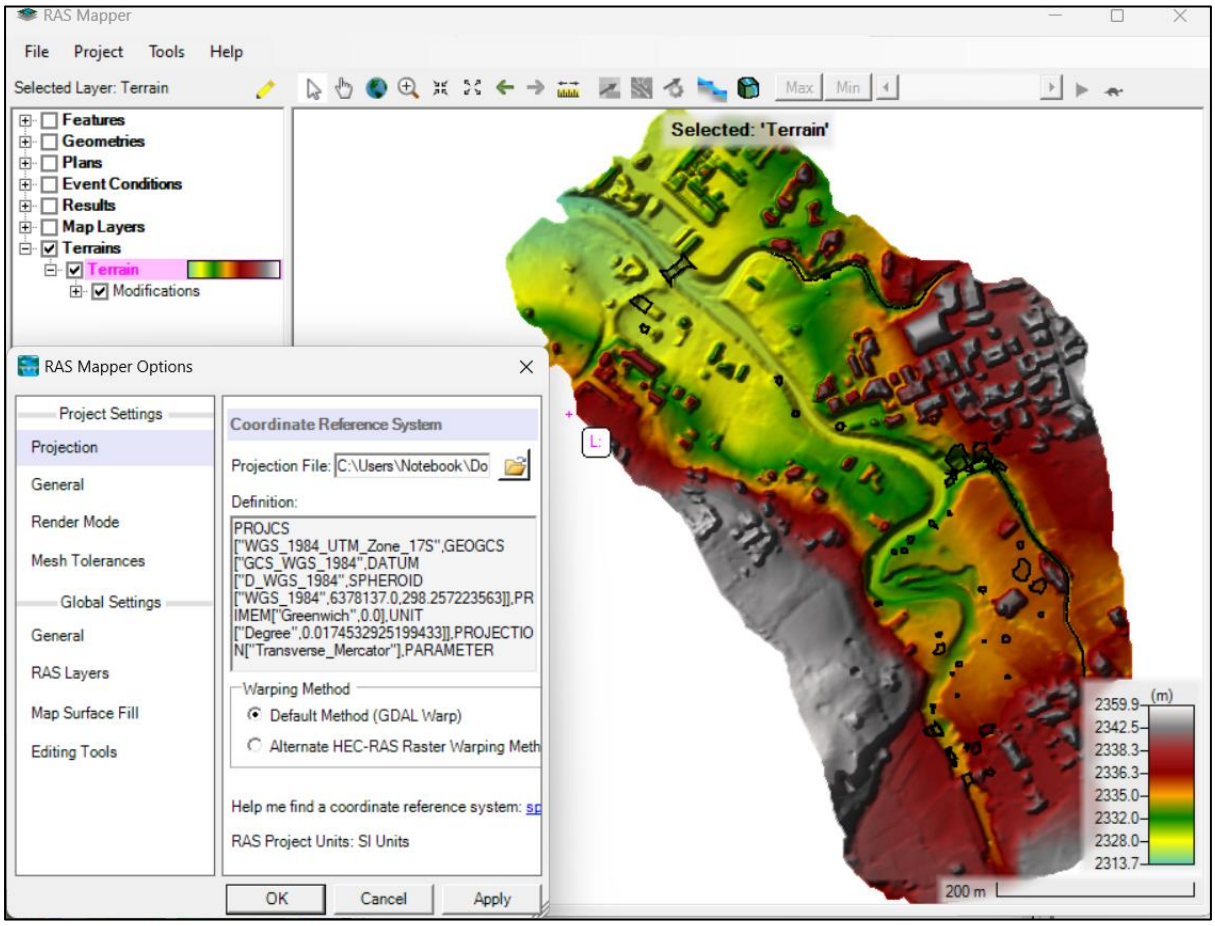
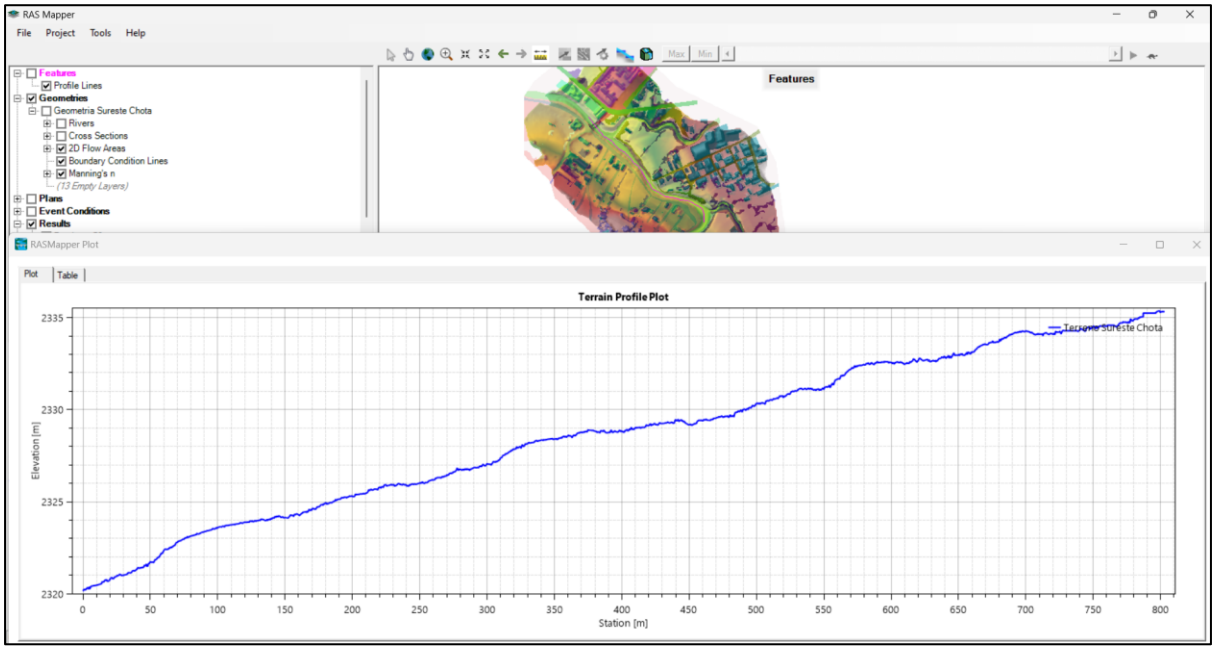


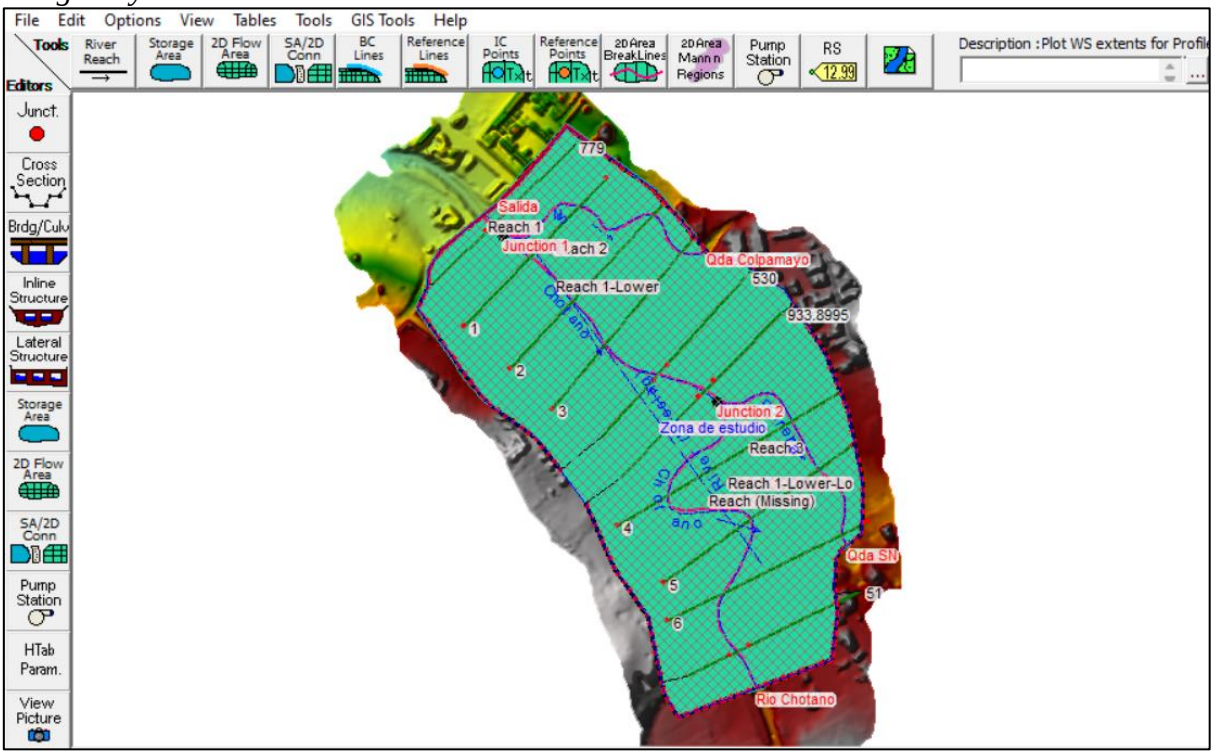
Figura 47. *Perfil longitudinal del rio Chotano en el HEC-RAS 6.4.1.*



Nota: Se puede apreciar que, por el perfil longitudinal del río Chotano, el DEM del terreno está limpio y en condiciones para empezar el modelamiento hidráulico.

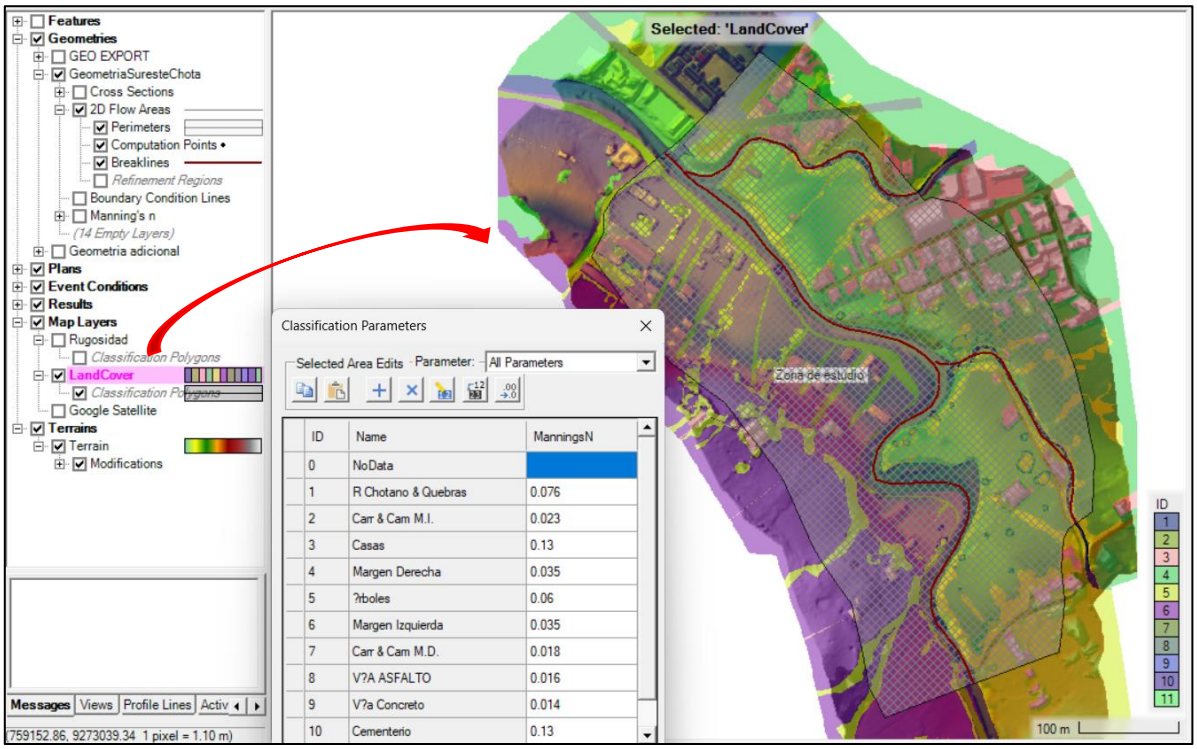
ii. Se inserta la geometría del mallado de la zona de estudio que se va analizar, además, se insertan las condiciones para el río Chotano y las quebradas aportantes.

Figura 48. *Insertado de geometría del mallado, las condiciones de fuentes naturales, faja marginal y las secciones en HEC-RAS 6.4.1.*



iii. Para la rugosidad del terreno o **"n" de Manning**, según su uso de suelo para toda la zona de estudio, se estableció usando las **tablas 13 y 14** y con ayuda del software QGIS 3.34.1., para luego exportarlo al HEC-RAS 6.4.1.

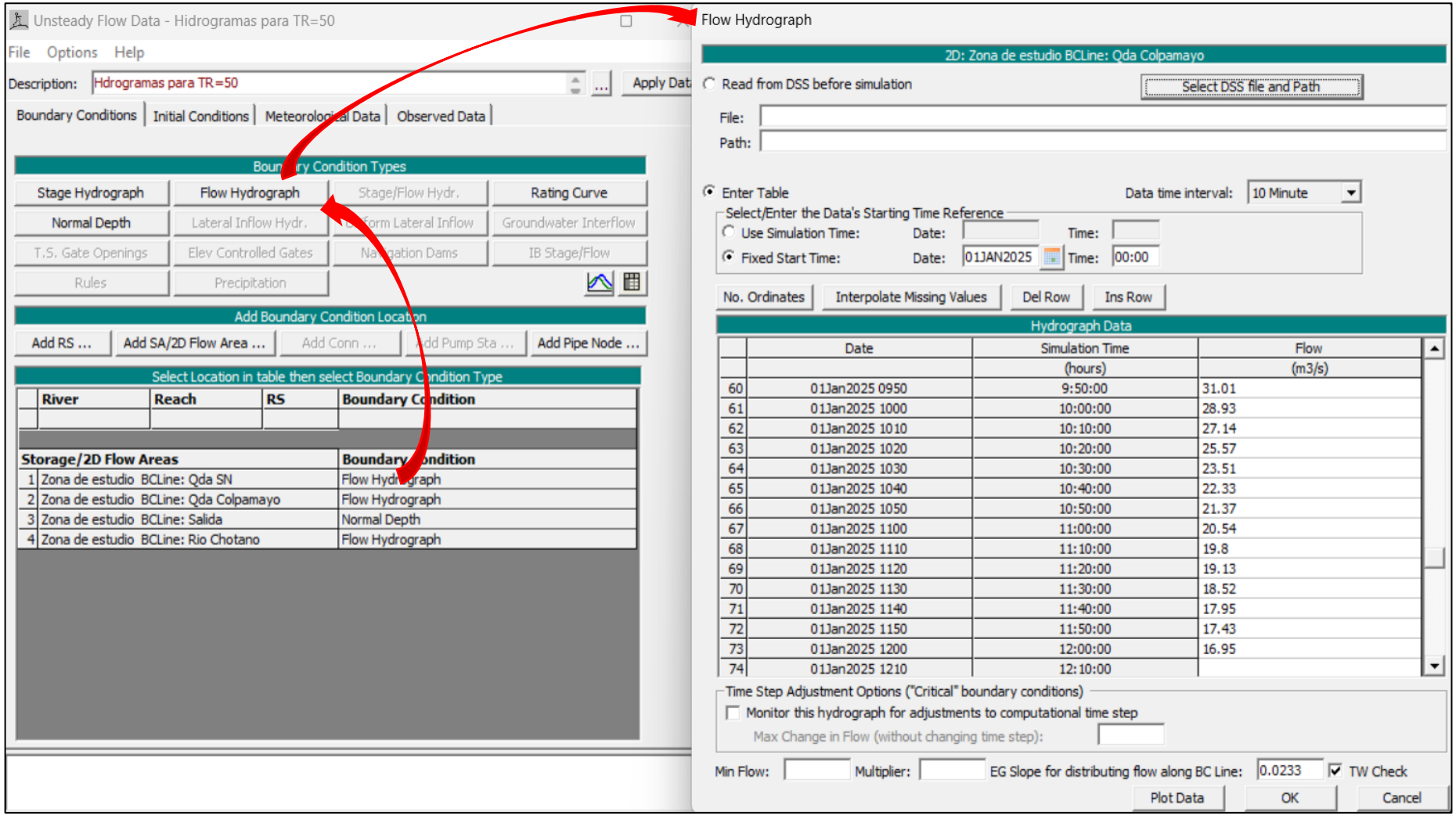
Figura 49. *Coeficientes de Manning de la zona de estudio en el HEC-RAS 6.4.1.*



Nota: La rugosidad "n" de Manning del río Chotano se ha modificado por tanteo para calibrar el modelo matemático, con el fin de que el modelamiento hidráulico obtenido por HEC-RAS 6.4.1. se asemeje a la realidad.

iv. Se insertan los Hidrogramas de 12 horas conjuntamente con las pendientes del Río Chotano, la quebrada S/N (sin nombre), la quebrada Colpamayo y la condición de salida del modelo, según el periodo de retorno.

Figura 50. *Insertado de hidrogramas en el HEC-RAS 6.4.1.*



v. Luego de ingresar los datos necesarios para el funcionamiento del modelamiento Hidráulico en el Software HEC-RAS 6.4.1., se insertan las últimas condiciones, según los escenarios de inundación para Tr de 50, 100, 135, 185 y 285 años como se muestra en la siguiente figura:

Figura 51. *Insertado de condiciones de computación para el modelamiento hidráulico de la zona de estudio en el HEC-RAS 6.4.1.*

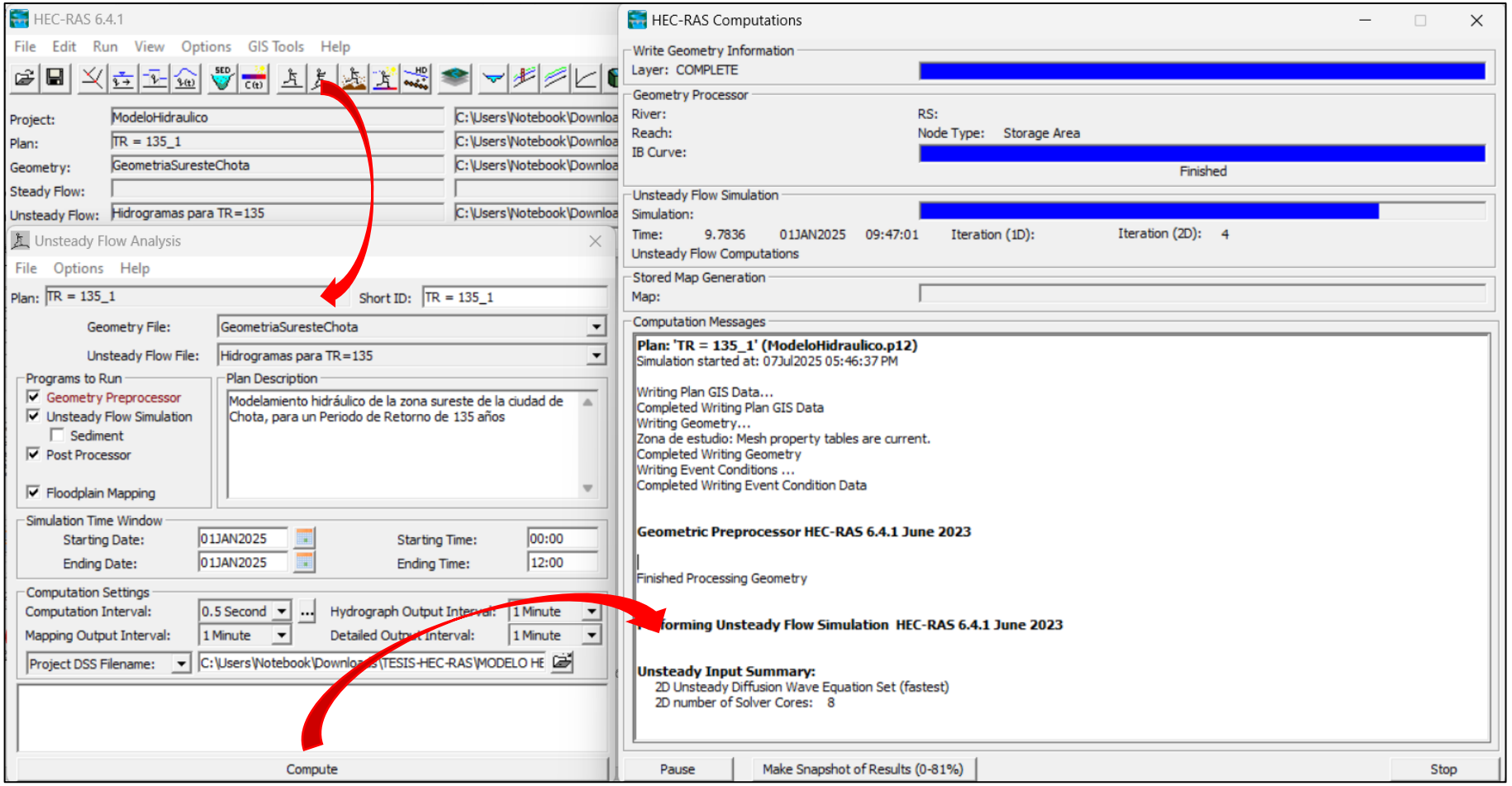


Figura 52. *Forma en que se observa el modelamiento hidráulico de la zona de estudio en el HEC-RAS 6.4.1.*

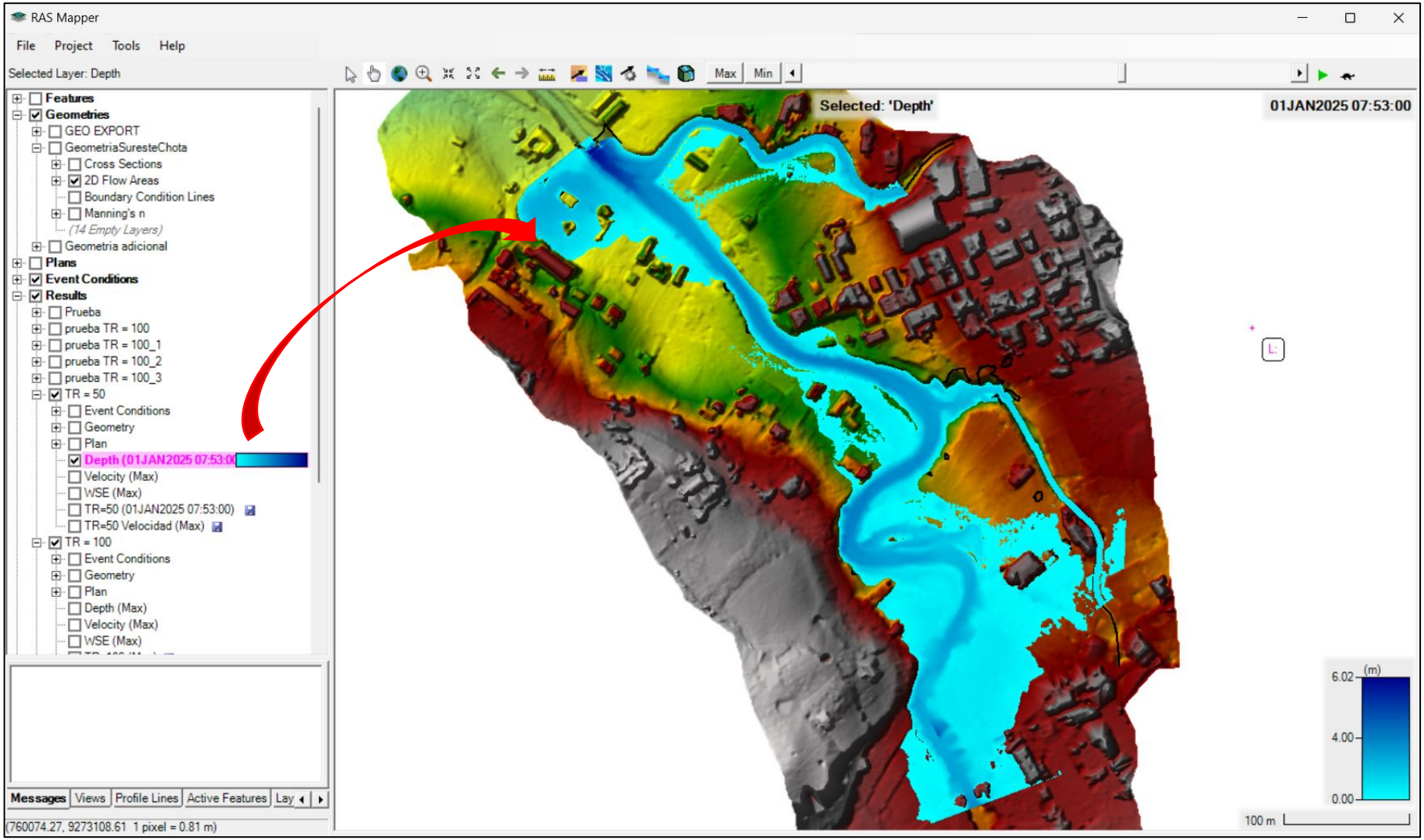
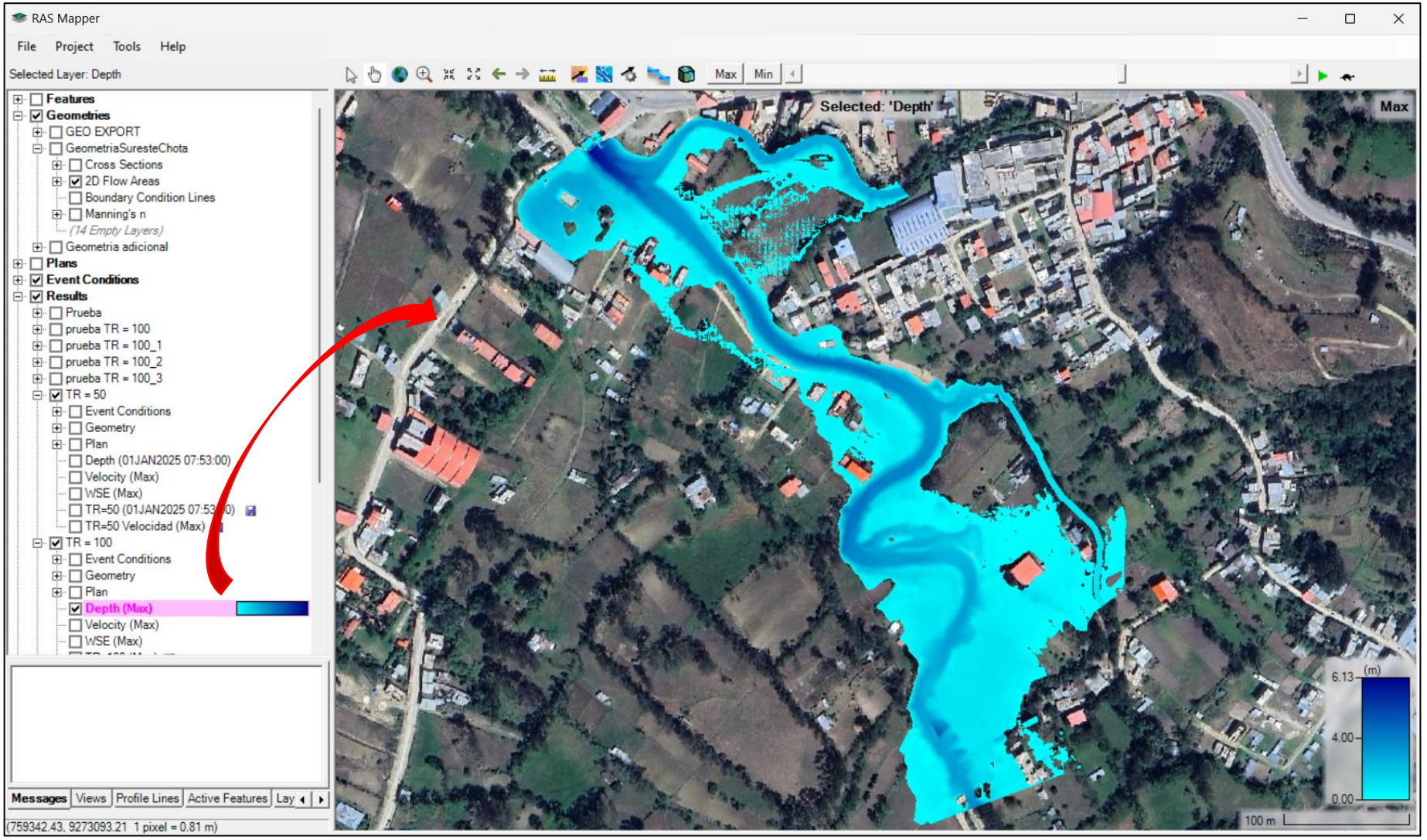


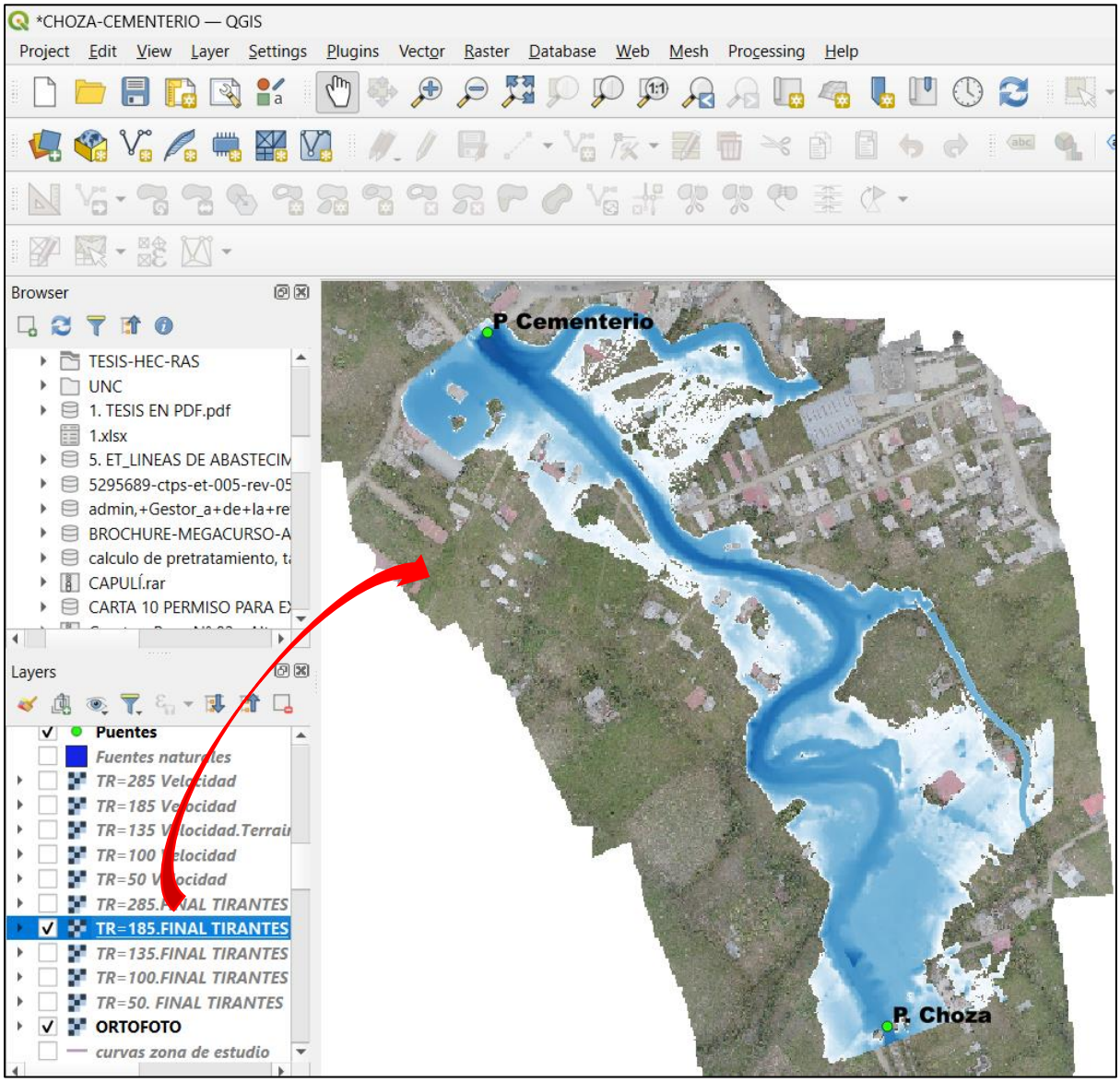
Figura 53. *Forma en que se observa el modelamiento hidráulico de la zona de estudio en el HEC-RAS 6.4.1 con imagen satelital.*



3.5.9. Mapas de Zonificación de Áreas Inundables

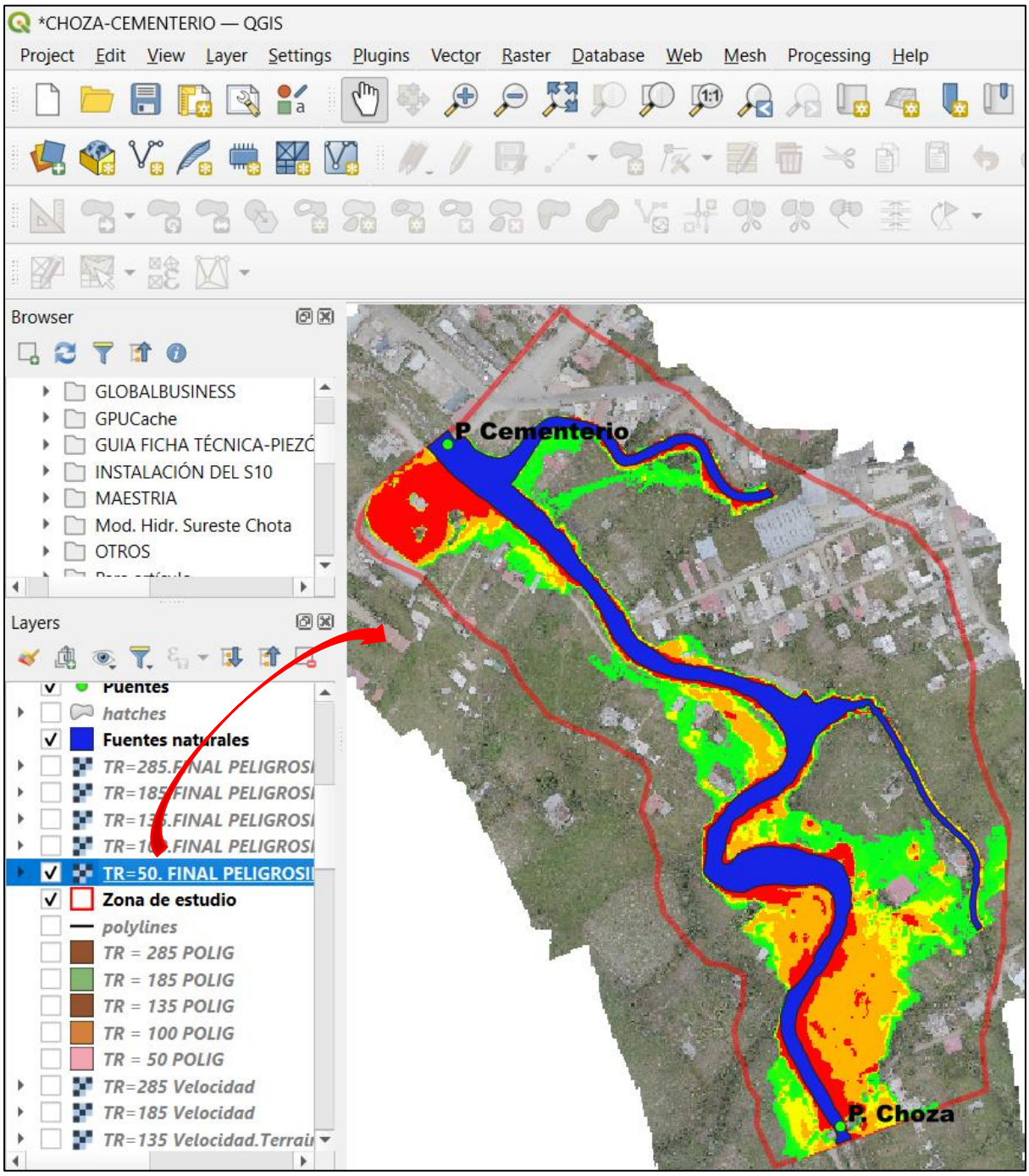
i. Hechas las simulaciones en **el HEC-RAS 6.4.1** para cada periodo de retorno (Tr), se **exportan** los resultados de la inundación (tanto la velocidad como la altura de inundación) a **Q-GIS 3.34.1**, esto con el motivo de caracterizar las áreas inundables de la zona de estudio en mapas de peligro.

Figura 54. *Visualización de la exportación de simulaciones, en Q-GIS 3.34.1., del HEC-RAS 6.4.1.*



ii. Luego, con la altura de inundación y las velocidades obtenidas para cada periodo de retorno, siguiendo la **guía del INDECI** para la clasificar el nivel de peligro de inundación, utilizando la **tabla 16**, se obtienen los mapas de peligrosidad:

Figura 55. *Peligrosidad según INDECI elaborada en Q-GIS 3.34.1.*



Nota: Para hallar la peligrosidad se han combinado las capas de la velocidad de flujo y profundidad de inundación según periodo de retorno.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como el presente estudio tiene el propósito de zonificar las áreas inundables de la zona de estudio que abarca el tramo con punto de inicio en el puente Choza y con punto final en el puente Cementerio; donde el causante de la inundación es la máxima avenida del río Chotano, donde intervienen también la quebrada sin nombre (S/N) y la quebrada Colpamayo que aportan al tramo de estudio. Por consiguiente, se presentan los análisis y discusión de los resultados, explicados según orden de procesamiento de información y los objetivos planteados:

4.1. Recopilación de información:

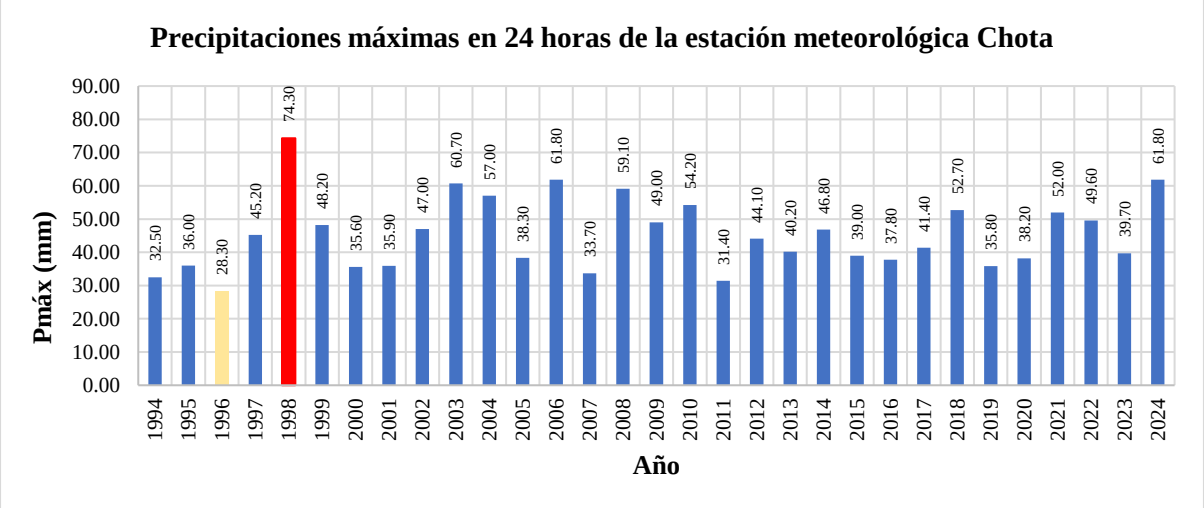
a. Información Cartográfica

Se ha trabajado con la carta nacional 14f, descargada del portal del IGN en formato de curvas de nivel; se ha escogido este formato por conveniencia con el fin de generar precisión en los datos al delimitar de manera manual las microcuencas de estudio; después estas curvas de nivel se han convertido en Modelos Digitales de Elevación (DEM) para completar el procesamiento de datos geomorfológicos de las microcuencas.

b. Información Meteorológica

Se ha pedido a la Dirección Zonal 3 del Senamhi la información de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación meteorológica de Chota, esta información corresponde a la data de los años 1994 al 2024; sin embargo, la data del año 2024 que brindó el Senamhi faltaban las precipitaciones de los últimos meses, por lo que se completó con los datos de precipitaciones del portal web del Senamhi.

Figura 56. *Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación meteorológica Chota.*



Nota: La precipitación mínima y máxima en 24 horas registradas en la estación meteorológica Chota son 28.30 y 74.30 mm.

4.2. Topografía

El levantamiento topográfico de la zona de estudio que comprende el tramo desde el puente Choza hasta el puente Cementerio, se lo ha realizado con un dron marca DJI, este tipo de drones son especializados para el levantamiento fotogramétrico, asimismo, para la optimización de vuelo del dron se establecieron puntos de referencia (BM). Además, para corregir el levantamiento topográfico del dron en lugares cubiertos por vegetación y el fondo de cauce de las fuentes naturales, se utilizó el GPS diferencial.

4.3 Caracterización según el uso de suelo en la zona de estudio

Al visitar la zona de estudio, se observó la existencia de área urbana, terrenos de cultivos, pastizales y demás, esta caracterización es muy importante porque sirve para que el modelamiento hidráulico se asemeje a la realidad. A continuación, se muestran las áreas que intervienen en la zona de estudio según su uso de suelo:

Tabla 21. *Áreas según su uso de suelo en la zona de estudio.*

Tipo de área según su uso de suelo	Área de estudio	
	Km^2	Ha
Área total urbana:	0.01809	1.78
Área total de pastos y alfalfa:	0.04742	4.74
Área total de cultivos como papa, maíz, hortalizas:	0.02224	2.22
Área total de árboles y arbustos:	0.01979	1.98
Área total de Trochas carrozables y caminos:	0.02455	2.46
Área total de vía pavimentada y asfaltada:	0.00348	0.35
Área bruta de fuentes naturales:	0.01680	1.68

Asimismo, cada área delimitada por su tipo de uso de suelo, tiene un coeficiente de rugosidad de Manning que le pertenece, para la zona de estudio se ha identificado lo siguiente:

Tabla 22. *Coeficientes de Manning según el uso de suelo que intervienen en la zona de estudio.*

Uso del suelo o cubierta en zona de estudio	Manning "n"
Árboles y arbustos.	0.06
Área urbana cementerio.	0.13
Área urbana (asentamiento de casas).	0.13
Carreteras (Trochas) y caminos en margen izquierda.	0.018
Carreteras (Trochas) y caminos en margen derecha.	0.023
Quebrada Colpamayo.	0.082
Quebrada S/N.	0.086

Río Chotano.	0.076
Terrenos en la margen derecha (pastos y cultivos).	0.035
Terrenos en la margen izquierda (pastos y cultivos).	0.035
Vía asfaltada.	0.016
Vía de concreto.	0.014

Los coeficientes de Manning de los cauces naturales se realizaron mediante el método de Cowan; para las demás clasificaciones según su uso de cubierta, se han designado valores según las tablas de rugosidades que Chow dio en 1994.

4.4. Caracterización del tramo de estudio según su vista fluvial.

Se visitó la zona de estudio y se encontró que en el tramo desde el puente Choza hasta el puente cementerio intervienen tres fuentes naturales que son el río Chotano, la quebrada S/N y la quebrada Colpamayo; se analizó los cauces naturales, donde el río Chotano tiene un lecho mayormente rocoso con un poco de vegetación en sus riberas, la quebrada S/N cuenta con lecho poco rocoso y con abundante vegetación en sus riberas y fajas marginales (dicha vegetación dificultó el levantamiento topográfico con dron, pero con el GPS diferencial se dio solución), la quebrada Colpamayo cuenta lecho mayormente rocoso y con un poco más de vegetación que el río Chotano en sus riberas.

Además, el río Chotano en su trayecto se observó la presencia de meandros, lo que indica que es un río maduro; para la quebrada S/N y la quebrada Colpamayo se tienen una morfología recta en sus cauces, indicando que son ríos jóvenes según su edad. Asimismo, para este tramo de estudio desde el puente Choza hasta el puente Cementerio, el río Chotano tiene una pendiente de 2.25%, la quebrada S/N cuenta con pendiente de 2.67% y la quebrada Colpamayo con una pendiente del 2.33%.

4.5. Parámetros hidro-geomorfológicos de la microcuenca del río Chotano y sus quebradas aportantes

Después de seguir el procedimiento descrito en el **apéndice 3.5.3**., los parámetros hidro-geomorfológicos para las tres microcuencas, en su mayoría se calcularon con el uso del software QGIS 3.34.1 utilizando su calculadora de tabla de atributos. Además, se complementó con el software Microsoft Excel para calcular los parámetros de mayor importancia, como lo es el tiempo de concentración (este parámetro y el CN son cruciales para calibrar el modelo hidrológico, para hallar el caudal máximo según los periodos de retorno), este parámetro fue hallado por cinco ecuaciones distintas; sin embargo, la que más se adecuó a las condiciones de las microcuencas fue la ecuación de Témez. Asimismo, los parámetros obtenidos fueron:

Tabla 23. *Parámetros hidro-geomorfológicos de la microcuenca del río Chotano.*

Microcuenca	Parámetros hidro-geomorfológicos	Parámetro	Magnitud
Río Chotano	Parámetros Básicos	Perímetro (km)	58.39
		Área (km^2)	102.09
	Parámetros de Relieve	Altitud máxima (msnm)	3950.00
		Altitud mínima (msnm)	2334.82
		Altura media (msnm)	3198.45
		Pendiente media (m/m)	0.2537
		Coeficiente orográfico "Co"	0.10
		Factor de forma "F_f"	0.0342
		Coef. de compacidad Gravelius "Kc"	1.62
	Parámetros de Red Hidrográfica	Longitud de cauce principal (m)	13026.86
		Longitud desde salida del cauce principal al centroide de la microcuenca (m)	5685.17
		Pendiente del cauce principal (m/m)	0.09
		Tiempo de concentración "tc" (Hr)	3.35
		Tiempo de retardo "tp" (Hr)	2.01

Según los parámetros hidro-geomorfológicos de la tabla anterior, la microcuenca del río Chotano cuenta con una altura media de 3198.45, lo que sugiere un alto potencial para lluvias intensas debido al efecto orográfico donde “Co” es 0.10, indicando que la microcuenca es relativamente grande y montañosa; su pendiente media del 25.37% que pertenece a un tipo de terreno escarpado significando que en una mayor proporción de la lluvia se convertirá en escorrentía; el factor de forma de 0.0342 y coeficiente de Gravelius de 1.62 indican que tiene mayores posibilidades de tener una tormenta de precipitaciones continua por ser una microcuenca ensanchada y de forma oval oblonga a rectangular oblonga. Asimismo, con la longitud del cauce principal y la pendiente del mismo se encuentra un tiempo de concentración de 3.35 horas, este valor indica que el río Chotano está relativamente propensa a crecientes por precipitaciones.

Tabla 24. *Parámetros hidro-geomorfológicos de la microcuenca de la quebrada S/N.*

Microcuenca	Parámetros hidro-geomorfológicos	Parámetro	Magnitud
Quebrada S/N	Parámetros Básicos	Perímetro (km)	11.27
		Área (km^2)	3.64
	Parámetros de Relieve	Altitud máxima (msnm)	2839.91
		Altitud mínima (msnm)	2339.11
		Altura media (msnm)	2595.30
		Pendiente media (m/m)	0.3501
		Coeficiente orográfico "Co"	1.85
		Factor de forma "F_f"	0.0263
		Coeficiente de compacidad o Gravelius "Kc"	1.65
	Parámetros de Red Hidrográfica	Longitud de cauce principal (m)	3072.94
		Pendiente del cauce principal (m/m)	0.09
		Tiempo de concentración "tc" (Hr)	1.11
		Tiempo de concentración "tc" (min)	110.60
		Tiempo de retardo "0.6*tc" (min)	66.36

Según los parámetros hidro-geomorfológicos de la tabla anterior, la microcuenca de la quebrada S/N, cuenta con una altura media de 2595.30, lo que sugiere un alto potencial para lluvias intensas en laderas expuestas al viento debido al efecto orográfico donde "Co" es 1.85, indicando que la microcuenca es muy pequeña y montañosa; su pendiente media del 35.01% que pertenece a un tipo de terreno escarpado significando que en una mayor proporción de la lluvia se convertirá en escorrentía; el factor de forma de 0.0263 y coeficiente de Gravelius de 1.65 indican que tiene menores posibilidades de tener una tormenta de precipitaciones continua por ser una microcuenca alargada y de forma rectangular oblonga. Asimismo, con la longitud del cauce principal y la pendiente del mismo se encuentra un tiempo de concentración de 110.60 minutos, este valor indica que la quebrada S/N está propensa a las crecientes por precipitaciones.

Tabla 25. *Parámetros hidro-geomorfológicos de la microcuenca de la quebrada Colpamayo.*

Microcuenca	Parámetros hidro-geomorfológicos	Parámetro	Magnitud
Quebrada Colpamayo	Parámetros Básicos	Perímetro (km)	33.33
		Área (km^2)	34.73
	Parámetros de Relieve	Altitud máxima (msnm)	3799.32
		Altitud mínima (msnm)	2300.59
		Altura media (msnm)	3287.47
		Pendiente media (m/m)	0.2614
		Coeficiente orográfico "Co"	0.31
		Factor de forma "F_f"	0.1088
		Coeficiente de compacidad o Gravelius "Kc"	1.58
	Parámetros de Red Hidrográfica	Longitud de cauce principal (m)	8390.88
		Longitud desde salida del cauce principal al centroide de la microcuenca (m)	7173.48
		Pendiente del cauce principal (m/m)	0.10
		Tiempo de concentración "tc" (Hr)	2.33
		Tiempo de retardo "tp" (Hr)	1.40

Según los parámetros hidro-geomorfológicos de la tabla anterior, la microcuenca de la quebrada Colpamayo, cuenta con una altura media de 3287.47, lo que sugiere un alto potencial para lluvias intensas debido al efecto orográfico donde "Co" es 0.31, indicando que la microcuenca es relativamente grande y montañosa; su pendiente media del 26.10% que pertenece a un tipo de terreno escarpado significando que en una mayor proporción de la lluvia se convertirá en escorrentía; el factor de forma de 0.1088 y coeficiente de Gravelius de 1.58 indican que tiene mayores posibilidades de tener una tormenta de precipitaciones continua por ser una microcuenca ensanchada y de forma oval oblonga. Asimismo, con la longitud del cauce principal y la pendiente del mismo se encuentra un tiempo de concentración de 2.33 horas, este valor indica que el río Chotano está relativamente propensa a crecientes por precipitaciones.

4.6. Análisis de la información meteorológica para las microcuencas

Analizando la información meteorológica como lo descrito en el **apéndice 3.5.4** y en anexos, se han obtenido los hietogramas para 12 horas de duración en donde los resultados muestran:

Para la microcuenca del Río Chotano:

De los hietogramas obtenidos para la microcuenca del río Chotano, la mayor precipitación que alcanzó para un Tr = 50 años fue de 31.1674 mm, para un Tr = 100 años fue de 33.6852 mm, para un Tr = 135 años fue de 34.7701 mm, para un Tr = 185 años fue de 35.9074 mm y para un Tr = 285 años fue de 37.4675 mm.

Para la microcuenca de la Quebrada S/N:

De los hietogramas obtenidos para la microcuenca de la quebrada S/N, la mayor precipitación que alcanzó para un Tr = 50 años fue de 25.2900 mm, para un Tr = 100 años fue de 27.3330 mm, para un Tr = 135 años fue de 28.2134 mm, para un Tr = 185 años fue de 29.1362 mm y para un Tr = 285 años fue de 30.4021 mm.

Para la microcuenca de la Quebrada Colpamayo:

De los hietogramas obtenidos para la microcuenca de la quebrada Colpamayo, la mayor precipitación que alcanzó para un Tr = 50 años fue de 32.0349 mm, para un Tr = 100 años fue de 34.6227 mm, para un Tr = 135 años fue de 35.7379 mm, para un Tr = 185 años fue de 36.9068 mm y para un Tr = 285 años fue de 38.5103 mm.

De los hietogramas para las diferentes microcuencas se puede notar que si el periodo de retorno aumenta, las intensidades de las precipitaciones aumentan en consecuencia. Y todos estos Hietogramas son necesarios para poder hallar los caudales máximos según los periodos de retorno para cada microcuenca.

4.7. Modelamiento hidrológico de las microcuencas

a. Para el modelamiento hidrológico en el software HEC-HMS 4.12 son muy importantes el tiempo de concentración y el número adimensional de la curva “CN”, este último hallado según el método descrito por SCS (Soil Conservation Service) se tienen los siguientes resultados:

Tabla 26. *Número de curva de la microcuenca del río Chotano.*

Grupo Hidrológico	Uso del suelo o cubierta	Número de Curva	Área (Ha)	Área acumulada (Ha)	NC_i*A_i
C	Agricultura	84	745.35	745.35	62609.064
C	Bosque y Arbusto	75.5	1065.52	1810.87	80446.76
C	Fuente Natural	99	382.45	2193.32	37862.451
C	Pastizal	74	728.04	2921.36	53875.182
C	Pradera	71	6936.98	9858.33	492525.3169
C	Urbano	90	350.52	10208.86	31547.16
Por lo tanto, el número de curva "CN" de la microcuenca del río Chotano es:					**74**

Tabla 27. *Número de curva de la microcuenca de la quebrada S/N.*

Grupo Hidrológico	Uso del suelo o cubierta	Número de Curva	Área (Ha)	Área acumulada (Ha)	NC_i*A_i
C	Agricultura	84	44.14	44.14	3708.096
C	Bosque y Arbusto	75.5	52.49	96.63	3962.995
C	Fuente Natural	99	8.26	104.89	817.74
C	Pastizal	74	30.71	135.60	2272.466
C	Pradera	71	207.75	343.36	14750.52105
C	Urbano	90	20.99	364.35	1889.1
Por lo tanto, el número de curva "CN" de la microcuenca de la quebrada S/N es:					**75**

Tabla 28. *Número de curva de la microcuenca de la quebrada Colpamayo*

Grupo Hidrológico	Uso del suelo o cubierta	Número de Curva	Área (Ha)	Área acumulada (Ha)	NC_i*A_i
C	Agricultura	84	430.53	430.53	36164.52
C	Bosque y Arbusto	75.5	108.53	539.06	8194.015
C	Fuente Natural	99	115.95	655.01	11479.248
C	Pastizal	74	572.76	1227.77	42384.092
C	Pradera	71	2066.46	3294.23	146718.5092
C	Urbano	90	179.19	3473.42	16127.46
Por lo tanto, el número de curva "CN" de la microcuenca de la quebrada Colpamayo es:					**75**

Se observa de las tablas anteriores que para la microcuenca del río Chotano tiene un NC de 74, y para las quebrada S/N y Colpamayo sus NC es 75, además estas microcuencas pertenecen a un grupo hidrológico “C” que son suelos con moderado potencial de escurrimiento según el SCS. Sin embargo, Diaz que hace su investigación con la microcuenca del río Chotano tiene un CN de 87, ya que él lo ha trabajado según el tipo hidrológico “D” que pertenece a suelos con alto potencial de escurrimiento, lo cual no es representativa a la microcuenca estudiada, además hace uso de las curvas CN en formato “shape” descargados de línea, lo cual no es recomendable para hacer el cálculo del CN.

b. Haciendo el modelamiento hidrológico en el software HEC-HMS 4.12, siguiendo los **apéndices 3.5.5** y **3.5.6**, se han hallado los hidrogramas para una duración de tormenta de 12 horas para cada una de las microcuencas de estudio; estos hidrogramas son para cada tiempo

de retorno de 50, 100, 135, 185 y 285 años, generados a partir de los hietogramas obtenidos en el Excel por los métodos correspondientes. Para generar los caudales se usó el método del SCS para la microcuenca de la quebrada S/N, el método de Snyder para las microcuencas del río Chotano y de la quebrada Colpamayo; además, se usó el método SCS curva número para las abstracciones. Los hidrogramas se pueden ver en anexos.

Los caudales máximos para cada microcuenca, obtenidos para cada periodo de retorno se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 29. *Caudales máximos que aportan las microcuencas a la zona de estudio.*

Fuente Natural	**Caudales máximos en m^3/s según periodo de retorno**				
	Tr = 50 años	**Tr = 100 años**	**Tr = 135 años**	**Tr = 185 años**	**Tr = 285 años**
Río Chotano	263.36	307.56	327.07	347.82	376.67
Quebrada S/N	8.56	10.20	17.64	17.80	19.28
Quebrada Colpamayo	131.38	152.77	162.19	172.17	186.04
Total =	**403.30**	**470.53**	**506.90**	**537.79**	**581.99**

De los datos obtenidos se notó que los caudales están estrechamente relacionados con el tamaño de la microcuenca, la intensidad de las precipitaciones y el tiempo de concentración. Diaz para la microcuenca del río Chotano tiene para un Tr de 50, 100 y 200 años caudales de 413.47, 442.53 y 471.05 m^3/s (Díaz ha englobado tanto el río Chotano, la quebrada S/N y la quebrada Colpamayo en su delimitación de la microcuenca). Comparando los resultados de caudales obtenidos por Díaz, hay una variación en los caudales, ya que él ha calculado sus caudales según el método racional modificado, además no ha realizado el ajuste de sus hietogramas para la duración de tormenta representativa en Chota.

4.8. Máxima avenida de observación

Según la información obtenida en campo y las descripciones dadas por los residentes de la zona sureste de la ciudad de Chota, sobre la inundación ocurrida por el año 2006, en el tramo de estudio se seleccionó una sección transversal del río Chotano, que, con los datos de campo y haciendo uso del método de Cowan para la rugosidad de campo y la fórmula de Manning se ha obtenido un caudal de campo de 481.32 m^3/s.

El caudal anterior al comparar con los caudales máximos obtenidos después de calibrar el modelamiento hidrológico en HEC-HMS 4.12, este evento corresponde para un periodo de retorno de 100 años, ya que con el HEC-HMS 4.12 se ha obtenido para un periodo de retorno de 100 años un caudal de 470.53 m^3/s. Además, al calibrar el modelamiento hidráulico en HEC-

RAS 6.4.1., se han comparado los tirantes generados en el modelo numérico con los tirantes de campo según la descripción de los residentes y efectivamente el periodo de retorno que se ajusta a la inundación ocurrida por el año 2006 es del escenario para un periodo de retorno de 100 años.

4.9. Modelamiento hidráulico de la zona de estudio

Mediante el modelamiento hidráulico en el tramo de estudio desde el puente Choza hasta el puente Cementerio de la presente investigación, ubicada en la zona sureste de la ciudad de Chota, se han obtenido los resultados de la inundación para cada periodo de retorno mediante el programa HEC-RAS 6.4.1. Los resultados obtenidos de tirantes y de velocidades en el software se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 30. *Resultados en HEC-RAS 6.4.1. de los escenarios evaluados.*

Escenario	TR	Caudales máximos (m3/s)	Tirante máximo de inundación (m)	Velocidad máxima de inundación (m/s)
1	50 años	403.30	6.02	10.10
2	100 años	470.53	6.13	10.63
3	135 años	506.90	6.19	10.78
4	185 años	537.79	6.24	11.05
5	285 años	581.99	6.29	11.25

Nota: Para más detalle de los resultados dirigirse al anexo del modelamiento hidráulico.

De los resultados obtenidos para los diferentes escenarios, se rescata, que donde se genera el mayor tirante de inundación es a la altura del puente Cementerio, indicando que acá tiene la mayor acumulación de agua; además, según la vista de velocidades se observó que la quebrada Colpamayo tiene mayor velocidad de flujo porque es angosto y tiene mayor pendiente. También se observó que a alturas del puente Cementerio las confluencias de las aguas tienen un receso de su velocidad, generando la acumulación de las aguas, por ende, la inundación en esa parte es significativa. Y en la parte alta por la zona del puente Choza se genera la mayor cobertura de inundación, esto es debido en general porque es estrecho ese tramo del río Chotano. Asimismo, se observó que la quebrada S/N apenas tiene desbordamiento del cauce porque el flujo de sus aguas sigue tranquilo por su lecho y riberas.

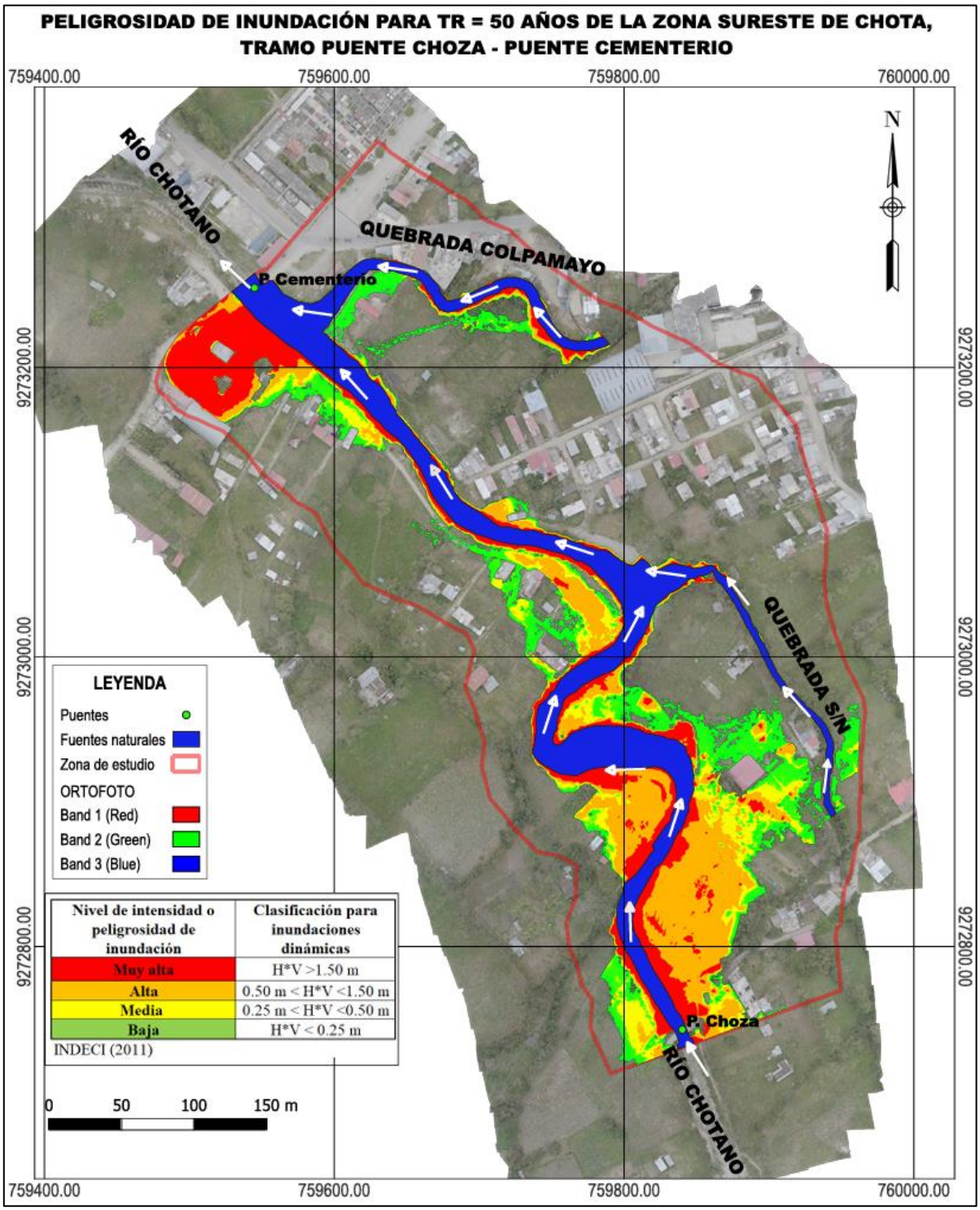
4.10. Zonificación de áreas inundables

Después de exportar los tirantes de inundación y las velocidades de flujo obtenidas del HEC-RAS 6.4.1., en el programa Q-GIS 3.34.1. se han combinado las capas multiplicando la

profundidad y la velocidad de inundación; así obteniéndose el nivel de peligrosidad según INDECI para las inundaciones dinámicas. Se muestran los siguientes resultados:

Escenario 1: Tiempo de retorno de 50 años

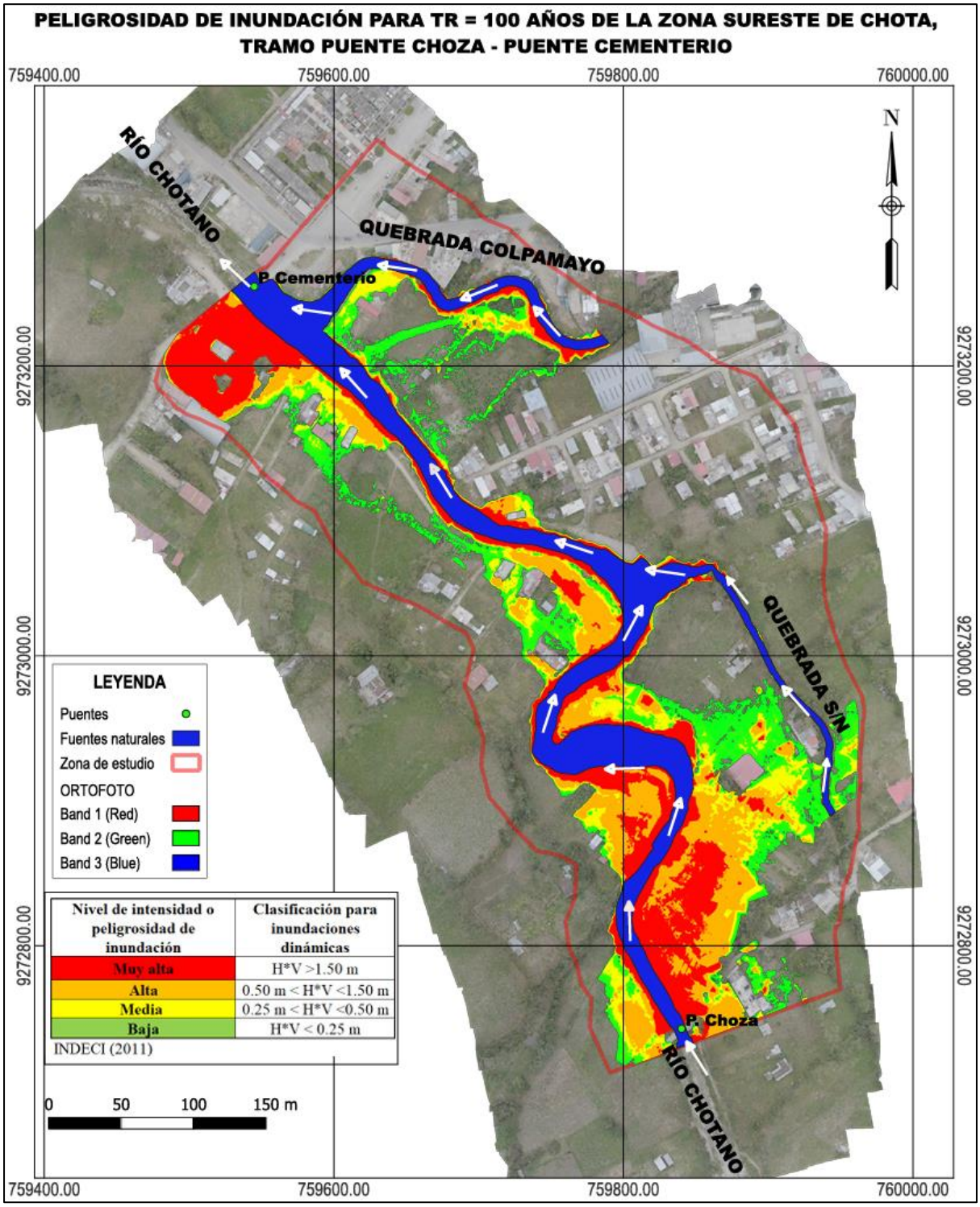
Figura 57. *Niveles de peligrosidad para Tr = 50 años en la zona de estudio.*



Nota: Para más detalle ver en anexo de planos.

Escenario 2: Tiempo de retorno de 100 años

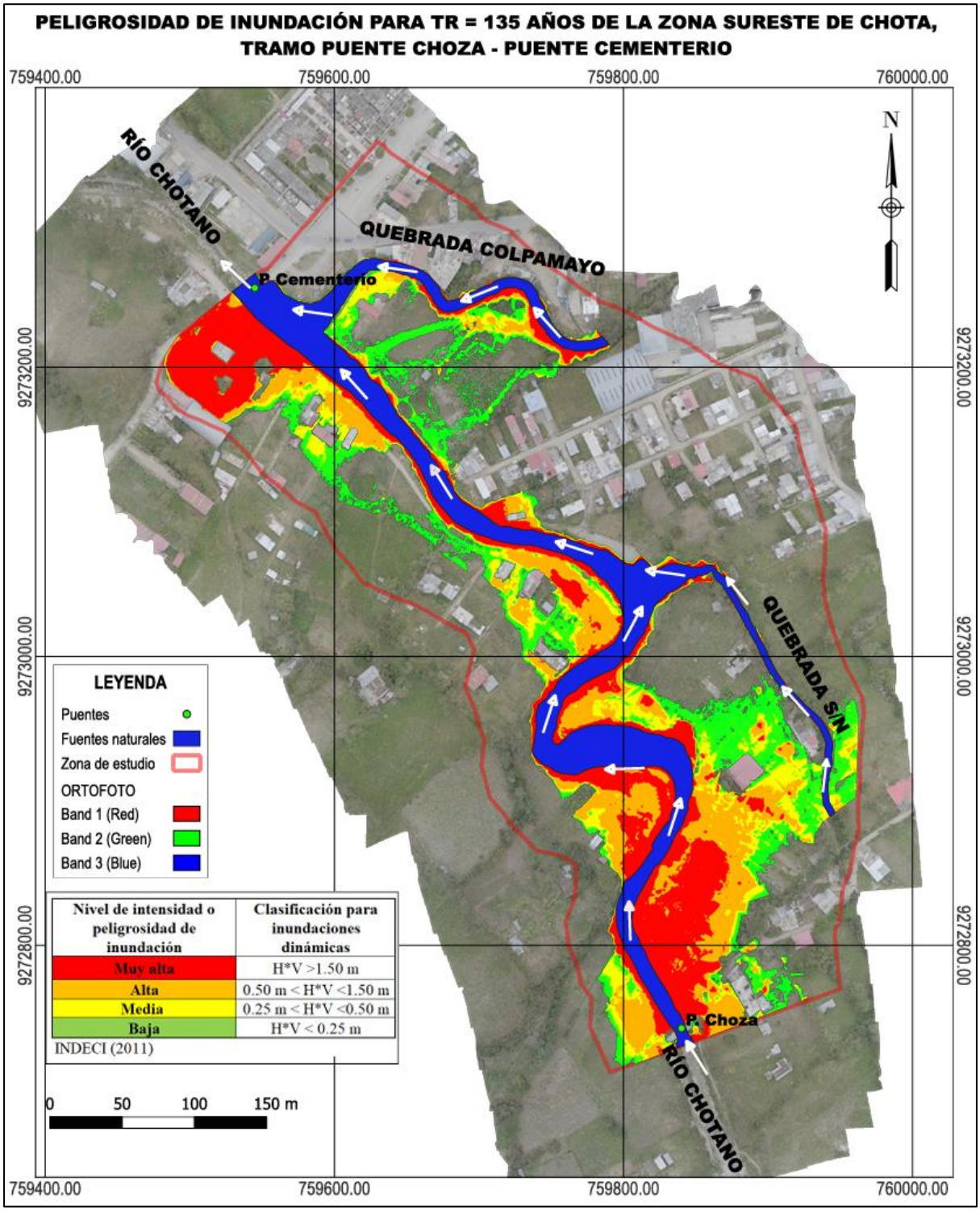
Figura 58. *Niveles de peligrosidad para Tr = 100 años en la zona de estudio.*



Nota: Para más detalle ver en anexo de planos.

Escenario 3: Tiempo de retorno de 135 años

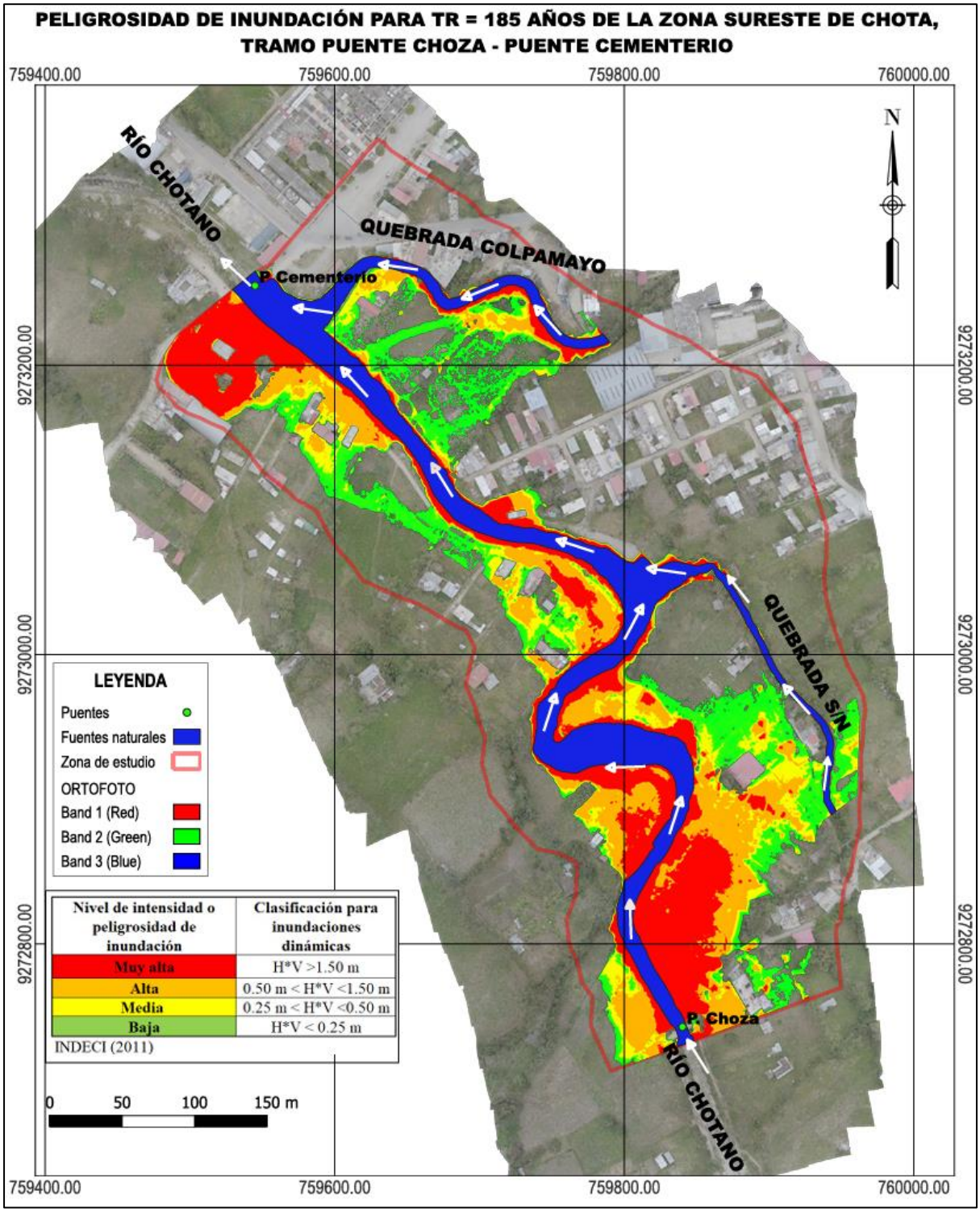
Figura 59. *Niveles de peligrosidad para Tr = 135 años en la zona de estudio.*



Nota: Para más detalle ver en anexo de planos.

Escenario 4: Tiempo de retorno de 185 años

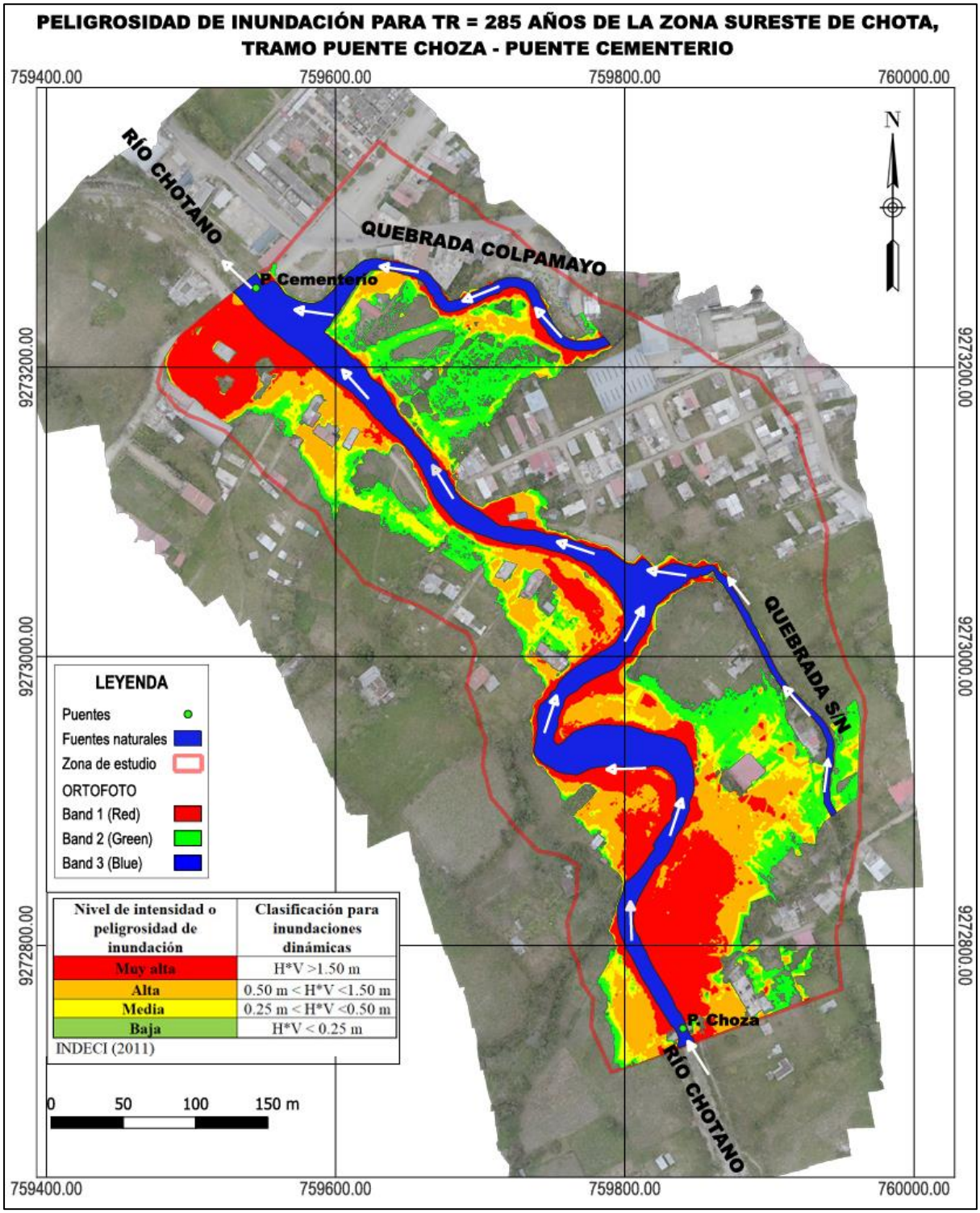
Figura 60. *Niveles de peligrosidad para Tr = 185 años en la zona de estudio.*



Nota: Para más detalle ver en anexo de planos.

Escenario 5: Tiempo de retorno de 285 años

Figura 61. *Niveles de peligrosidad para Tr = 285 años en la zona de estudio.*



Nota: Para más detalle ver en anexo de planos.

De los mapas mostrados, se han obtenido las áreas inundadas según la caracterización del uso de suelo para la zona de estudio y son:

Para el escenario 1: Zonificación de áreas inundables según uso de suelo Tr = 50 años.

Tabla 31. *Áreas de inundación en la zona de estudio para Tr = 50 años.*

Tipo de Área según el uso de suelo	**Área según el nivel de intensidad o peligrosidad de inundación (m^2)**				**Área total inundada**	
	Baja	**Media**	**Alta**	**Muy alta**	**m^2**	**Ha**
Área urbana:	2457.30	2892.99	2917.18	434.34	8701.81	0.87
Área de pastos y alfalfa:	1980.79	2735.67	1678.54	3739.43	10134.43	1.01
Área de cultivos como papa, maíz, hortalizas:	2468.64	1248.60	4072.47	971.33	8761.04	0.88
Área de árboles y arbustos:	1748.56	1259.41	2823.17	2557.36	8388.51	0.84
Área de Trochas carrozables y caminos:	1515.62	933.96	1595.19	997.10	5041.87	0.50
Área de vía pavimentada y asfaltada:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área total inundada de zona de estudio:	**10170.90**	**9070.63**	**13086.55**	**8699.56**	**41027.64**	**4.10**

Para el escenario 2: Zonificación de áreas inundables según su uso de suelo para Tr = 100 años.

Tabla 32. *Áreas de inundación en la zona de estudio para Tr = 100 años.*

Tipo de Área según el uso de suelo	**Área según el nivel de intensidad o peligrosidad de inundación (m^2)**				**Área total inundada**	
	Baja	**Media**	**Alta**	**Muy alta**	**m^2**	**Ha**
Área urbana:	1360.28	1123.96	2782.45	525.70	5792.39	0.58
Área de pastos y alfalfa:	2311.41	2795.56	5050.42	4131.21	14288.60	1.43
Área de cultivos como papa, maíz, hortalizas:	2718.80	1781.21	2557.91	2713.18	9771.10	0.98
Área de árboles y arbustos:	1872.52	1017.68	2686.85	3919.25	9496.30	0.95
Área de Trochas carrozables y caminos:	1760.73	1124.40	1893.86	1535.63	6314.62	0.63
Área de vía pavimentada y asfaltada:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área total inundada de zona de estudio:	**10023.74**	**7842.82**	**14971.49**	**12824.97**	**45663.02**	**4.57**

Para el escenario 3: Zonificación de áreas inundables según su uso de suelo para Tr = 200 años.

Tabla 33. *Áreas de inundación en la zona de estudio para Tr = 135 años.*

Tipo de Área según el uso de suelo	Área según el nivel de intensidad o peligrosidad de inundación (m^2)				Área total inundada	
	Baja	Media	Alta	Muy alta	m^2	Ha
Área urbana:	1467.28	1313.73	3006.78	576.27	6364.05	0.64
Área de pastos y alfalfa:	2694.99	3050.42	5520.89	4413.72	15680.01	1.57
Área de cultivos como papa, maíz, hortalizas:	2835.81	1853.40	2625.41	3114.45	10429.07	1.04
Área de árboles y arbustos:	1801.39	1129.70	2892.68	4125.00	9948.78	0.99
Área de Trochas carrozables y caminos:	2106.01	1284.91	1996.03	1525.57	6912.53	0.69
Área de vía pavimentada y asfaltada:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área total inundada de zona de estudio:	**10905.48**	**8632.16**	**16041.78**	**13755.02**	**49334.44**	**4.93**

Para el escenario 4: Zonificación de áreas inundables según su uso de suelo para Tr = 185 años.

Tabla 34. *Áreas de inundación en la zona de estudio para Tr = 185 años.*

Tipo de Área según el uso de suelo	Área según el nivel de intensidad o peligrosidad de inundación (m^2)				Área total inundada	
	Baja	Media	Alta	Muy alta	m^2	Ha
Área urbana:	1536.61	1469.77	3153.94	612.05	6772.37	0.68
Área de pastos y alfalfa:	3009.40	3226.98	5849.65	4582.94	16668.98	1.67
Área de cultivos como papa, maíz, hortalizas:	2880.04	1878.01	2625.53	3435.78	10819.37	1.08
Área de árboles y arbustos:	1684.03	1212.73	3024.26	4224.88	10145.90	1.01
Área de Trochas carrozables y caminos:	2397.24	1412.45	2046.96	1476.36	7333.01	0.73
Área de vía pavimentada y asfaltada:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área total inundada de zona de estudio:	**11507.32**	**9199.94**	**16700.34**	**14332.02**	**51739.62**	**5.17**

Para el escenario 5: Zonificación de áreas inundables según su uso de suelo para Tr = 285 años.

Tabla 35. *Áreas de inundación en la zona de estudio para Tr = 285 años.*

Tipo de Área según el uso de suelo	Área según el nivel de intensidad o peligrosidad de inundación (m^2)				Área total inundada	
	Baja	Media	Alta	Muy alta	m^2	Ha
Área urbana:	1476.65	1786.89	3652.56	772.34	7688.44	0.77
Área de pastos y alfalfa:	2656.25	3756.18	6103.63	5141.40	17657.45	1.77
Área de cultivos como papa, maíz, hortalizas:	2691.79	1890.43	2949.29	3824.85	11356.37	1.14
Área de árboles y arbustos:	1992.97	1128.33	2846.58	4725.09	10692.98	1.07
Área de Trochas carrozables y caminos:	2503.60	1265.81	1899.41	1709.93	7378.75	0.74
Área de vía pavimentada y asfaltada:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área total inundada de zona de estudio:	**11321.26**	**9827.65**	**17451.47**	**16173.62**	**54773.99**	**5.48**

Según los resultados obtenidos de los 4 escenarios evaluados, para un Tr de 50 años se tiene un área total inundada de 4.10 ha, para un Tr de 100 años un área inundada de 4.57 ha, para un Tr de 135 años un área inundada de 4.93 ha, para un Tr de 185 años un área inundada de 5.17 ha y para un Tr de 285 años se tiene un total de 5.48 ha de inundación, afectando a área urbana (asentamiento de viviendas), área de pastos, alfalfa, cultivos, árboles, arbustos, trochas y caminos. Todo lo anterior sin contar el área de 1.68 ha que abarca las fuentes naturales.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓNES

5.1. Conclusiones

- La recopilación de información mediante visitas y el levantamiento topográfico de la zona sureste de la ciudad de Chota, permitió de manera detallada visualizar las características del terreno según su uso del suelo del tramo de estudio, que comprende desde el puente Choza hasta el puente Cementerio. La zona de estudio presenta una variedad de usos de suelo, que incluye áreas urbanas, pastizales, cultivos, árboles, arbustos, trochas carrozables, vías pavimentadas y asfaltas, además del área perteneciente a las fuentes naturales.
- Desde un punto de vista fluvial en el tramo de estudio del río Chotano y sus fuentes aportantes, en el río Chotano se observó la presencia de meandros, lo que indica que es un río maduro obteniendo mayor estabilidad lateral; para la quebrada S/N y la quebrada Colpamayo tienen una morfología recta en sus cauces lo que indica que son ríos jóvenes con mayor energía erosiva. Asimismo, este comportamiento se refleja en el análisis de parámetros hidro-geomorfológicos de sus microcuencas, donde para la microcuenca del río Chotano su cauce principal es el mayor teniendo un tiempo de concentración de 3.35 hr, lo que sugiere una respuesta moderada ante eventos de crecidas por precipitación; asimismo, la microcuenca de la quebrada Colpamayo cuenta con un tiempo de concentración de 2.33 hr, también supone una respuesta moderada ante un evento de crecidas por precipitaciones; en contraste, la microcuenca de la quebrada S/N a pesar de su menor tamaño tiene un tiempo de concentración de 110.60 min, sugiere un alto potencial de crecidas.
- Con la información obtenida en campo y descripciones dadas por los residentes de la zona sureste de la ciudad de Chota, sobre la inundación ocurrida en el año 2006 causada por la crecida y desborde del río Chotano, se estimó que, esta inundación corresponde a un caudal de 481.32 m^3/s y se ajusta para un periodo de retorno de 100 años.
- Mediante el modelamiento hidrológico en HEC-HMS 4.12, se determinaron los caudales máximos para el río principal y las quebradas afluentes, usándose el método de Snyder para las microcuencas del río Chotano y la quebrada Colpamayo, y el método de SCS para la microcuenca de la quebrada S/N. Los resultados revelan un incremento progresivo en los caudales máximos según el aumento de los periodos de retorno, alcanzando valores de 403.30 m^3/s para un Tr de 50 años, 470.53 m^3/s para un Tr de

100 años, 506.90 m^3/s para un Tr de 135 años, 537.79 m^3/s para un Tr de 185 años y 581.99 m^3/s para un Tr de 285 años, donde los niveles de inundación se clasificaron según su peligrosidad baja, media, alta y muy alta.

- Se elaboraron los mapas según áreas inundables, con niveles de peligrosidad según INDECI para los 5 periodos de retorno analizados; de forma cuantitativa reflejan que, para los periodos de retorno de 50, 100, 135, 185, 285 años se inundaron 4.10, 4.57, 4.93, 5.17 y 5.17 hectáreas. Las áreas de inundación obtenidas comprometen directamente a las infraestructuras como las viviendas y actividades humanas esenciales como zonas de pastoreo, cultivos, árboles, arbustos, trochas y caminos.

5.2. Recomendaciones

Recomendaciones para elaborar futuros estudios similares:

- Priorizar el levantamiento topográfico de alta precisión, aprovechando las tecnologías avanzadas disponibles. La integración de los GPS diferenciales y los drones puede aumentar y mejorar significativamente la exactitud de los modelos.
- Prestar especial atención a la selección de la estación meteorológica y además cerciorarse que contenga un registro histórico extenso, preferiblemente de al menos 30 años de data para una calibración precisa de los modelos en la estimación de los caudales.
- Antes de iniciar cualquier estudio que intervenga el uso de modelamiento hidrológico e hidráulico se recomienda que el investigador adquiera una formación especializada en estas disciplinas tomando cursos de apoyo para la correcta aplicación de los modelos y una adecuada interpretación de los resultados.

Recomendaciones para hacer uso de la información de esta investigación:

- Se insta a las autoridades competentes como a la Municipalidad Provincial de Chota (MPCH) a considerar los resultados de esta investigación para la implementación de obras de protección o señalización permanente en el tramo de estudio. Asimismo, se recomienda encarecidamente la prohibición de nuevas construcciones de viviendas en las riberas de las fuentes naturales, dada la exposición a peligros de inundación que podrían resultar en daños económicos significativos y aún peores como las pérdidas humanas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

Aparicio, F. J. (1996). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa S.A. de C.V.

Arango, C. H. L. (2001). Cuencas hidrográficas. Universidad Del Tolima.

Barona-Posligua, H. D., Paredes-Morillo, G. J., & Ponce-Jara, M. A. (2022). Estación meteorológica automática y medición de variables atmosféricas. Revista Científica FINIBUS-Ingeniería, Industria y Arquitectura, 5(9), 2-8.

Bladé, E., Sánchez-Juny, H., Sánchez, P., Niñerola, D., & Gómez, M. (2009). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable. Una visión a partir del modelo HEC-RAS. Ediciones UPC.

Burbano, L. L., & Zarama, M. V. (1996). La importancia de la hidrología en el manejo de cuencas hidrográficas. Revista de Ciencias Agrícolas, 14(1 y 2).

California Highways and Public Works., California. División de Carreteras. (1955). Prácticas de alcantarillado en California: reimpresión de una serie de resúmenes técnicos [que aparecen en cada número desde agosto de 1942 hasta septiembre-octubre de 1943]. 2.ª ed. [Sacramento] Estado de California: Departamento de Obras Públicas, División de Carreteras.

CENEPRED. (2014). Guía técnica para la gestión de riesgos de desastres naturales: Inundaciones. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

Chahín, R. E. G. (2017). Comparación de los métodos: bloques alternos e hietograma histórico para la selección de tormentas de diseño, cuenca del río Chiquito, Tegucigalpa, Honduras. Agua, Saneamiento & Ambiente, 12(1), 34-42.

Chanson, H. (2004). Hydraulics of open channel flow: An introduction (2nd ed.). Elsevier.

Chow, V. T. (1994). Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill Interamericana S.A.

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill.

Criado, M., Martínez-Graña, A., & Santos-Francés, F. (2019). Determinación del riesgo de inundación en la ciudad de Salamanca (España) mediante análisis de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. Cuaternario y Geomorfología, 33(1-2), 87-102.

Córdova Mendoza, P., Barrios Mendoza, T. O., Zuzunaga Morales, R., Córdova Barrios, I. C., Pardo Moran, E. E., & Zuzunaga Concha, E. (2022). Análisis hidráulico del flujo de cuencas naturales y canales artificiales mediante el programa HEC-RAS.

Dick, S. y Peschke, G. (1983). Grundlagen der Hydrologie . Berlín: Ernst.

Eraso Reuter, N. C., Gilon Leiton, C., & Pabón Mena, S. M. (2023). Regionalización de lluvias de diseño en el departamento de Nariño.

Feldman, A. D. (2020). HEC-HMS Technica Reference Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

Fischer, G. (2021). El aumento de las inundaciones generado por el cambio climático afectará nuestros cultivos. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 74(3), 9619-9620.

Gámez Morales, W. R. (2010). Texto básico de Hidrología. Managua: Universidad Nacional Agraria.

González, M. D. Á., & Mora, R. D. (2013). Ecuaciones universales ajustadas para el cálculo de lluvias máximas de corta duración. Geos, 33(2).

González Vergara, C. J., Rincón Villalba, M. A., & Vargas Vargas, W. E. (2023). Topografía: Conceptos y aplicaciones (2a ed.). Ecoe Ediciones.

Guevara, E. (1991). Hidrología: una introducción a la ciencia hidrológica aplicada. Universidad de Carabobo, Venezuela.

Hernández-Uribe, R., Barrios-Piña, H. y Ramírez, A. (2017). Análisis de riesgo por inundación: Metodología y aplicación a las microcuencas Atemajac. Tecnología y ciencias del agua, 8(3), 5-25.

Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2011). Morfología de las cuencas hidrológicas.

Jácome Pérez, M. V. (2022). Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada de Cunduana mediante el uso de modelos hidrológicos e hidráulicos (Bachelor's thesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo).

Linsley, K., Kohler, A. & Paulus, L. 1977. Hidrología para ingenieros. Bogotá: McGraw-Hill Latinoamericana, S.A., 1977.

Monsalve Sáenz, G. (1999). Hidrología en la Ingeniería. Alfaomega, Colombia.

Ogras, S. y Onen, F. (2020). Flood Analysis with HEC-RAS: A Case Study of Tigris River. Advances in Civil Engineering, 2020, 1-13.

Ortiz, O. (2004). Evaluación hidrológica. HIDRORED–Red Latinoamericana de Micro energía. Editorial ITDG, Perú.

Ortiz-Vera, O. (2015). Similitud Hidráulica de Sistemas Hidrológicos Altoandinos y Transferencia de Información Hidrometeorológica. Tecnología y ciencias del agua, 6(4), 25-44.

Ponce, V. M. (1989). Engineering Hydrology: Principles and Practices. Prentice Hall.

Rocha, A. (1998). Introducción a la Hidráulica Fluvial. Universidad Nacional de Ingenieria, Facultad de Ingenieria Civil.

Soil Conservation Service (SCS). (1972). National engineering handbook, Section 4: Hydrology (2nd ed.). United States Department of Agriculture.

US Army Corps of Engineers. (2010). HEC-RAS River analysis system: Hydraulic reference manual (Version 4.1). Hydrologic Engineering Center.

U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. (1986). Urban hydrology for small watersheds (Technical Release No. 55). U.S. Government Printing Office.

U.S. Water Resources Council. (1981). Protocols for determining design precipitation and flood flows for flood control and floodplain management. U.S. Water Resources Council.

Villón, M. (2002). Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Agrícola, 2, 15-64.

Villón Béjar, M. (2007). Hidráulica de canales (2.a ed.). Editorial Villón.

Zhang, Y., & Wei, X. (2021). Application of Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit in hydrological data analysis. Hydrological Sciences Journal, 66(12), 1587-1598.

Linkografía

Aparicio Vásquez, C. H. J. (2021). Identificación de áreas inundables por máximas avenidas del río Las Quinuas en el centro poblado La Quispa [Tesis de título, Universidad Nacional de Cajamarca]. https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4156

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2019). Estudio de Delimitación de Faja Margina con Modelamiento Hidráulico del Afluente de la Quebrada Katira en el Tramo del Cruce 21+460. https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/20.500.12543/5470/1/ANA0004019_1.pdf

Belizario Quispe, M., & Pancca Cruz, Y. G. (2020). Comparativo del comportamiento hidráulico de zonas inundables con el software IBER y HEC-RAS del río Coata CP Almosanche [Tesis de título, Universidad Nacional del Altiplano]. https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16586

CENEPRED, (2014). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Inundaciones Fluviales. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. Recuperado de https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/MANUAL-EVAR.INUNDACIONES.pdf

Díaz Briones, O. E. (2019). Determinación de zonas de inundación mediante modelamiento hidráulico del río Chonta en el caserío Tartar Chico, distrito de Baños del Inca [Tesis de título, Universidad Nacional de Cajamarca]. https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3450

Diaz Latorre, E. (2023). Delimitación de áreas inundables en los sectores 2 y 5, tramo puente Cementerio–puente Chota, microcuenca del río Chotano, Chota, 2023 [Tesis de título, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. https://repositorio.unach.edu.pe/items/99175b38-4c94-4a75-b25b-1878a52b44ef

Fetter, C. W. (2018). Applied hydrogeology. Waveland Press. Recuperado de: https://books.google.com.pe/books?id=BYZXDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

GEO GPS PERÚ. (2024). Cartas Nacionales del Perú – Instituto Geográfico Nacional. https://www.geogpsperu.com/2013/09/cuadro-de-empalme-de-la-cartografia.html

INDECI. (2011). Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales. Instituto Nacional de Defensa Civil Lima, Perú. Recuperado de https://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1743/doc1743-contenido.pdf

Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2024). Infraestructura Nacional de Información Geoespacial Catastral. https://www.idep.gob.pe/geovisor/SNCP/

Luna Valdez, G. Y. (2019). Estudio hidrológico e hidráulico en un tramo del Rio Suches e identificación de zonas de inundación [Tesis de título, Universidad Mayor de San Andrés]. https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/31976?show=full

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2018). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Recuperado de: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf

Ordoñez, R. (2021, 26 de marzo). 32 distritos de Cajamarca son declarados en emergencia por fuertes lluvias. Noticias SER.PE [online]. Disponible en: https://www.noticiasser.pe/32-distritos-de-cajamarca-son-declarados-en-emergencia-por-fuertes-lluvias

Paredes Delgado, R. I. (2023). Evaluación del nivel de riesgo de inundación por la quebrada Tumbillan en la localidad de Bellavista Viejo de la provincia de Jaén, región Cajamarca [Tesis de título, Universidad Nacional de Cajamarca]. https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6012

Quiroz Rabanal, W. J. (2023). Estudio de zonas inundables por avenidas extraordinarias del Río Condebamba, en el centro poblado San Felipe del distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba, región Cajamarca [Tesis de título, Universidad Nacional de Cajamarca]. https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6017Ramos Caso, J. M. R. (2019). Áreas inundables en diferentes periodos de retorno aplicando el modelo de simulación hidráulica, tramo urbano del Río San Ramón, Pangoa-Satipo [Tesis de título, Universidad Nacional del Centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5759

Rojas Garcia, L. R. (2019). Estimación de las posibles áreas inundables mediante un estudio hidrológico en la sub cuenca Juana Ríos-cuenca Chancay-Lambayeque [Tesis de título, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo]. https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10770

Sánchez Ayala, Y. Y. (2021). Descripción del riesgo por inundación con superposición del peligro y vulnerabilidad utilizando un sistema de información geográfica [Tesis de especialización, Universidad Autónoma de México]. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/handle/RepoFi/18171

Senamhi. (2024). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología en el Perú. Recuperado de: https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones

SIGRID. (2024). Sistema de Información para la Gestión de Riesgo de Desastres. Recuperado de: https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/

Ticlla Sanchez, Y. W. (2022). Evaluación del nivel de riesgo a inundación según la metodología CENEPRED, en el río San Mateo, tramo puente "San Mateo" al puente "Lloque Yupanqui", Chota [Tesis de título, Universidad Nacional Autónomo de Chota]. https://repositorio.unach.edu.pe/items/39db9c77-141b-4343-9854-d45e0380dc51

Tupac-Yupanqui, R., Lavado-Casimiro, W., &Felipe, O. (2022). Evaluación de eventos de tormentas pluviométricas con información satelital. Estudio Final. Servicio Nacional de Meteorología del Perú – SENAMHI. https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1783

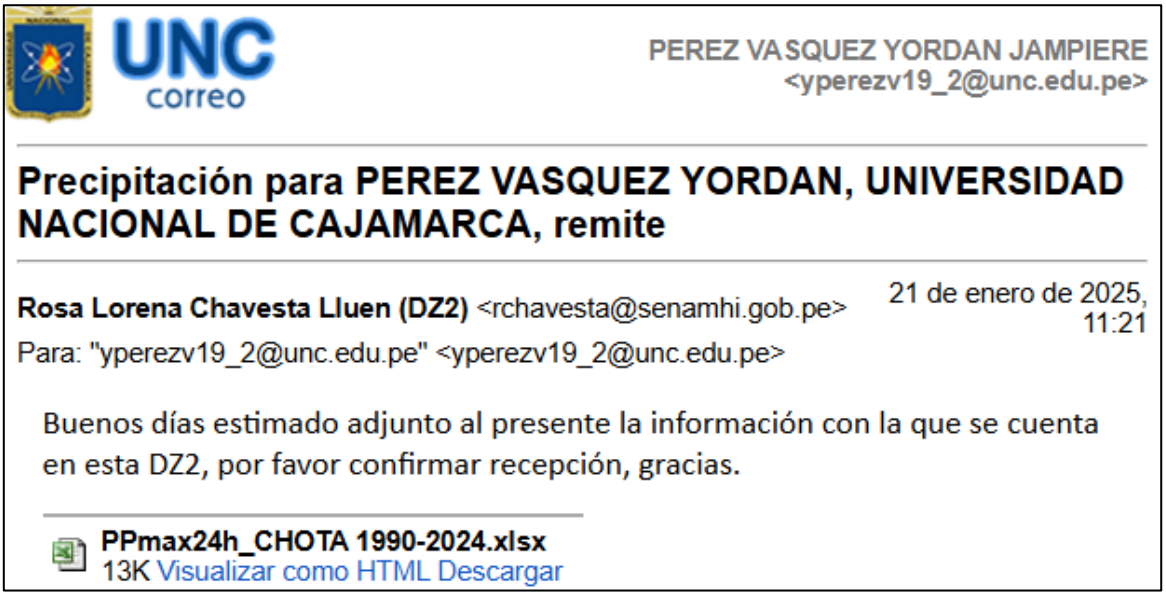
Villón, M. G. (2012). Hidroesta 2: Cálculos Hidrológicos. Manual del usuario. Ediciones Maxsoft y Villón. Recuperado de: https://fliphtml5.com/jcyud/zvgd/Manuel_HidroEsta_2/

Zúñiga Ramos, J. A. (2020). Evaluación de riesgo por inundación fluvial de la ciudad de Huancavelica, Perú [Tesis de título, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga] https://repositorio.unsch.edu.pe/items/373c927c-49cf-4c44-92c1-85b553a3f628

ANEXOS

Anexo 1. Correo recibido por el Senamhi de las precipitaciones máximas en 24 horas desde el año 1994 a 2024.

Figura 62. *Correo que confirma la recepción de los datos entregadas por el Senamhi.*



UNC correo

PEREZ VASQUEZ YORDAN JAMPIERE <yperezv19_2@unc.edu.pe>

Precipitación para PEREZ VASQUEZ YORDAN, UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, remite

Rosa Lorena Chavesta Lluen (DZ2) <rchavesta@senamhi.gob.pe> 21 de enero de 2025, 11:21

Para: "yperezv19_2@unc.edu.pe" <yperezv19_2@unc.edu.pe>

Buenos días estimado adjunto al presente la información con la que se cuenta en esta DZ2, por favor confirmar recepción, gracias.

PPmax24h_CHOTA 1990-2024.xlsx
13K Visualizar como HTML Descargar

Anexo 2. Inundación en la zona de estudio según ANA, CENEPRED y SIGRID.

Figura 63. *Inundación en la zona de estudio según CENEPRED - SIGRID.*

Figura 64. *Ficha técnica de puntos críticos en el Río Chotano.*

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego — PERÚ

ANA — Autoridad Nacional del Agua

FICHA TECNICA REFERENCIAL DE IDENTIFICACION DE PUNTOS CRITICOS EN EL RIO CHOTANO, SECTOR ZONA URBANA, DISTRITO DE LAJAS, PROVINCIA DE CHOTA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA.

PROPUESTA: DESCOLMATACION DEL RIO CHOTANO, SECTOR ZONA URBANA, DISTRITO DE LAJAS, PROVINCIA DE CHOTA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

I.- UBICACIÓN:

RÍO	CHOTANO	QUEBRADA		SECTOR	ZONA URBANA	MD	
						MI	
DEPARTAMENTO	CAJAMARCA	PROVINCIA	CHOTA	DISTRITO	LAJAS		
AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA	MARAÑON	ADMINISTRACIÓN LOCAL DE AGUA	CHOTANO LLAUCANO				

II.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA EN COORDENADAS UTM - DATUM: WGS 84:

MARGEN IZQUIERDA					
ESTE INICIAL	750613	NORTE INICIAL	9274750	ZONA	17
ESTE FINAL	749882	NORTE FINAL	9274248		

III.- EVALUACIÓN DE LA ZONA EXPUESTA A INUNDACIONES::

3.1.- GEOLOGÍA

Geomorfológicamente se asocian principalmente a las planicies aluviales o terrazas altas, y planicies aluviales susceptibles a la erosión fluvial (socavamiento de terrazas), algunos derrumbes y hasta deslizamientos cuando conforman márgenes de ríos y quebradas.
Constituidos por materiales ubicados en los flancos de los valles y las quebradas tributarias; están compuestos por depósitos semiconsolidados, algunos de ellos presentan cierto grado de consolidación y son erosionados por los cauces actuales. Están formados por clastos de tamaño heterogéneo como: bloques y gravas de formas redondeadas a subredondeadas, que ocasionalmente se intercalan con lentes arenosos y limo arenosos (0,1 mm - 2,0 m), con regular a buena selección, localizándose niveles y estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial.
Se caracteriza por un relieve semi llano a accidentado sobre el cual se desarrollan cultivos, presentando zonas sujetas a inundaciones y erosión en época de lluvias.

Geodinamica externa: Dentro de los factores estáticos consideramos los topográficos, estructurales (falla, estratificación, fracturas, pliegues, etc.), litológicos (suelos y rocas) e hidrometeoro lógicos; y dentro de los factores dinámicos se considera la acción de las aguas de lluvia que influyen en la inestabilidad de los taludes y masas rocosas; la actividad sísmica y la gravedad.

Lluvias:

En la zona de estudio la actividad pluvial periodica y eventos extraordinarios como el Fenómeno El Niño,causan daños debido al volumen de precipitaciones, la velocidad de escorrentía, superficie de drenaje y caudal de microcuencas.

Erosion Pluvial:

Es un fenómeno que se presenta en mayor o menor grado de intensidad en la planicies a lo largo del rio Chotano. Las principales causas de su ocurrencia son el incremento brusco de las escorrentías en cada temporada de lluvias, y las variaciones de su dinámica fluvial. Por lo que la erosión tiende afectar a las riberas naturales y artificiales.

Inundaciones:

Estas se dieron por efecto del fenómeno El Niño, principalmente en las ultimas décadas al incrementar el caudal del rio Doña Ana, lo que causó perdida de áreas de cultivo, desaparición de terrenos agrícolas en producción, inundación de viviendas; etc.

3.2.- HIDROLOGÍA

En el cauce el rio Chotano, las inundaciones ocurridas en los ultimos años han sido ocasionadas por el desbordamiento del agua en maximas avenidas. En este proceso de inundacion han ocurrido perdidas de cultivo, disminucion de areas de cultivo, deterioro de la infraestructura hidraulica y daño a la poblacion.

No se tienen registros históricos de los caudales que fluyen por el rio Chotano

3.3.- AREAS PRODUCTIVAS:

El area agricola comprendida de afectación, es el area de plantaciones y pastos, ademas de 02 bocatomas del Canal San Jose y del Canal Santa Isabel

Cultivos

Area Total (Hass)	Cultivos	Area (Ha)
10	Pastos	10
	-	-
	-	-
	-	-

Total de cabezas de ganado	Clase	N°
-	Vacunos	-
	Ovinos	-
	Camelidos	-
	Equinos	-
	Porcinos	-
	Otros	-

Infraestructuras afectadas	Nombre	Cantidad	Longitud (m)
Bocatomas		-	-
Canales			
Puentes	-	-	-
Carreteras	-	-	-
Redes electricas	-	-	-
Servicios de agua y desague	-	-	-

3.4.- POBLACIÓN EXPUESTA:

N° de familias	N° de viviendas	Tipo
20	20	Rustico

N° de I.E.P/I.E.S.	Nombre
1	-

Postas Medicas	Nombre
-	-

Otros	Nombre
-	-

IV.- EVALUACIÓN ECONOMICA:

N° DE FAMILIAS AFECTADAS	SERVICIO ELCTRICO AFECTADO		SERVICIO DE AGUA Y DESAGUE AFECTADO		N° INSTITUCIONES EDUCATIVAS AFECTADOS	CENTROS DE SALUD TOTAL AFECTADOS
	SI	NO	SI	NO		
20.00		X		X	-	-

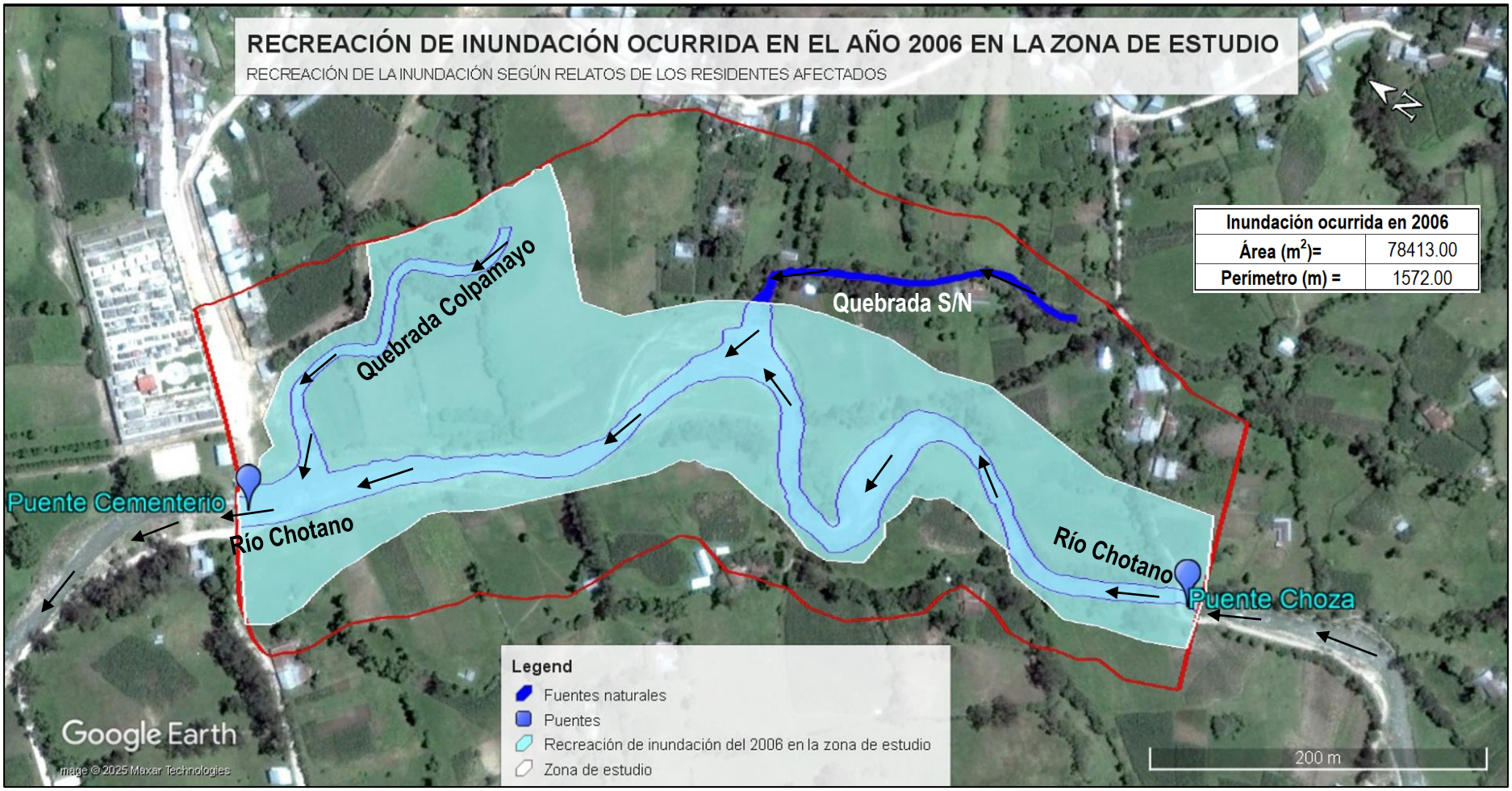
CULTIVOS AFECTADOS		POBLACION GANADERA AFECTADA		CARRETERA (s) AFECTADAS (KM)	INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA AFECTADA (Km. - Unid.)						INFRAESTRUCTURA VIAL AFECTADA (Km - Unid.)			
Cultivo	Area (ha)	Tipo de Ganado	Número de cabezas		BOCATOMAS	CANALES	DIQUES	DRENES	ACEQUIAS	DESCOLMATACION	CARRETERAS	CAMINOS	PUENTES	OTROS
Pastos	10.00	-	-	-	-		-	-	-		-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Firmado digitalmente por SUAREZ SILVA Cristian Alvaro FAU 20520711865 soft
Motivo: Doy V° B°

Firmado digitalmente por VALLEJOS IRIGOIN Marlon Erik FAU 20520711865 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 2022/03/16 09:57:24-0500

Anexo 3. Recreación de la inundación ocurrida en 2006 según relatos de los residentes.

Figura 65. *Recreación de inundación ocurrida en el año 2006 en la zona de estudio.*



Nota: La recreación de la inundación se ha trabajado en el software Google Earth Pro con imagen satelital más antigua que tiene y es del 2011.

Anexo 4. Análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Chota.

i. Datos meteorológicos.

Tabla 36. *Datos meteorológicos de la estación convencional Chota.*

Estación Convencional-Meteorológica: CHOTA			
Ubicación Política:		***Ubicación Geográfica:***	
Departamento:	Cajamarca	Latitud:	6°32'49.66" S
Provincia:	Chota	Longitud:	78°38'55.07" W
Distrito:	Chota	Altitud:	2468 msnm.

Precipitaciones Máximas en 24h de la Estación Chota (mm)

N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Pmáx
1	1994	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	3.00	0.00	7.50	10.00	32.50	18.50	32.50
2	1995	4.50	23.40	17.00	19.80	9.30	11.70	7.00	27.80	36.00	0.00	12.00	32.00	36.00
3	1996	7.80	17.60	19.50	18.50	14.50	23.60	0.00	28.30	24.60	23.20	22.50	16.10	28.30
4	1997	17.10	34.70	45.20	24.60	23.70	8.60	0.00	0.00	11.80	15.90	16.30	30.60	45.20
5	1998	11.40	74.30	21.00	28.30	30.00	2.60	0.70	13.90	13.30	32.00	13.10	18.60	74.30
6	1999	38.40	48.20	28.40	24.70	34.00	23.70	4.30	2.60	15.00	20.40	39.40	27.50	48.20
7	2000	26.20	30.80	7.70	32.20	23.70	24.30	5.40	3.30	35.60	11.40	32.10	26.00	35.60
8	2001	24.30	17.60	26.80	32.80	14.40	8.80	3.40	0.00	17.40	16.00	30.60	35.90	35.90
9	2002	14.00	20.30	46.70	47.00	30.70	3.90	5.10	1.20	16.40	29.30	39.00	22.80	47.00
10	2003	26.30	60.70	25.20	29.70	6.70	21.90	1.00	4.70	28.50	19.70	28.00	31.00	60.70
11	2004	25.60	16.00	30.80	16.60	38.60	0.50	17.10	0.80	18.70	57.00	52.50	16.70	57.00
12	2005	8.60	0.00	38.30	25.00	8.40	14.90	0.80	4.20	17.80	32.90	28.20	23.80	38.30
13	2006	61.80	28.00	33.10	29.80	6.40	16.90	16.20	14.90	31.20	22.50	27.40	32.70	61.80
14	2007	21.50	11.10	33.70	32.70	26.60	0.70	16.60	9.70	6.00	20.40	24.40	19.80	33.70
15	2008	26.30	59.10	38.40	25.20	26.20	10.60	4.40	8.20	30.90	26.00	19.90	24.20	59.10
16	2009	0.00	34.20	49.00	38.10	36.50	13.40	2.70	0.80	16.70	21.60	24.00	33.10	49.00
17	2010	21.60	51.90	47.10	54.20	28.70	14.80	3.90	7.20	10.80	44.00	15.70	24.10	54.20
18	2011	17.00	18.10	26.20	23.20	15.70	0.70	13.60	8.00	27.90	31.40	14.90	23.40	31.40
19	2012	36.70	19.70	21.30	32.50	19.40	8.50	0.00	1.00	3.90	21.80	44.10	15.90	44.10
20	2013	40.20	23.00	33.20	19.20	29.40	7.40	1.20	24.60	4.40	33.10	17.10	24.40	40.20
21	2014	10.10	34.60	46.80	17.30	25.90	4.20	7.20	8.60	33.60	13.10	27.00	25.90	46.80
22	2015	24.10	26.50	39.00	37.20	24.10	2.00	9.10	2.00	5.30	19.30	19.20	6.70	39.00
23	2016	22.80	17.40	35.90	37.80	13.20	4.90	2.50	1.30	21.50	8.30	15.80	18.60	37.80
24	2017	13.20	21.50	41.40	21.50	33.30	10.30	1.70	41.40	16.90	26.90	19.20	18.80	41.40
25	2018	25.80	22.40	15.90	38.10	28.60	6.50	4.50	0.20	44.40	52.70	44.90	10.90	52.70
26	2019	14.40	35.80	22.00	35.00	11.90	11.80	5.20	0.30	2.30	25.90	22.60	33.80	35.80
27	2020	15.70	15.80	32.50	36.30	29.20	38.20	22.80	3.70	25.80	9.60	38.20	38.20	38.20
28	2021	23.40	44.00	28.10	35.70	26.00	21.50	3.50	22.50	8.70	52.00	24.10	20.70	52.00
29	2022	12.40	35.50	49.60	27.70	14.90	28.40	19.10	10.60	16.80	27.10	18.50	23.60	49.60
30	2023	36.30	21.40	39.50	33.20	24.90	10.30	5.50	7.20	21.60	18.30	39.70	32.00	39.70
31	2024	34.00	39.90	29.30	61.80	24.50	18.60	5.70	24.60	12.30	30.50	15.00	24.20	61.80

Nota: Se han obtenido los datos tanto por entrega formal por parte de la entidad como de la obtención de los datos faltantes de su portal web www.senamhi.gob.pe.

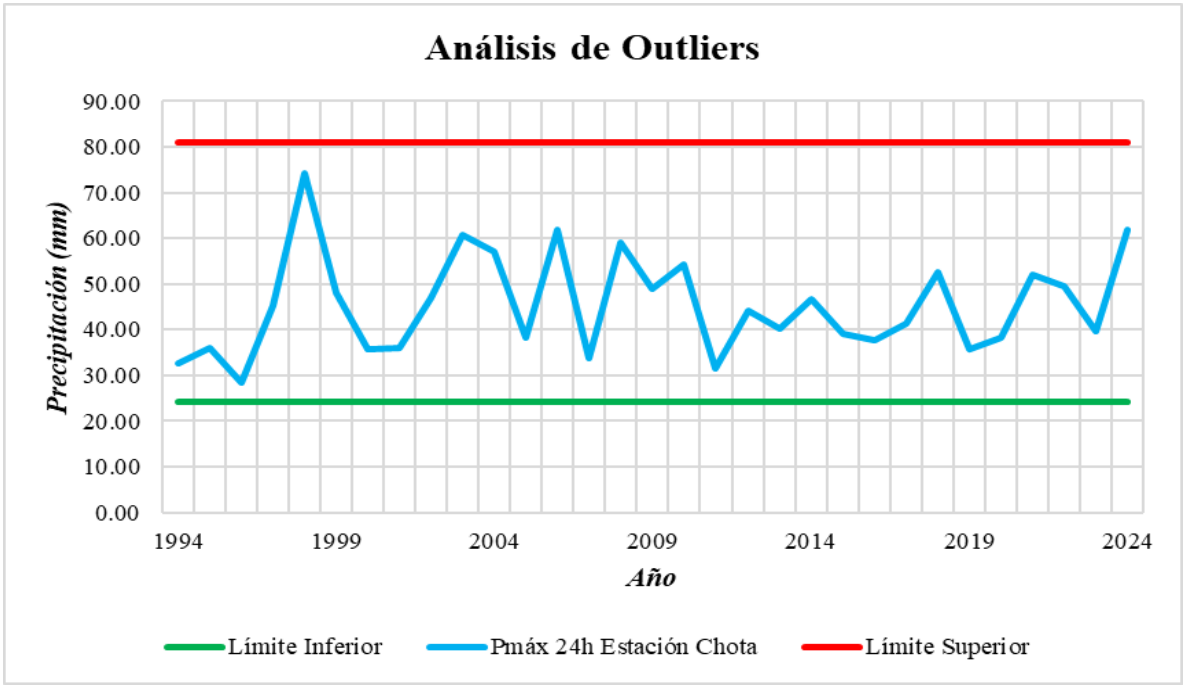
ii. Análisis de Outliers.

Tabla 37. *Análisis de datos dudosos de las precipitaciones máximas de la estación convencional Chota.*

Análisis de Outliers (análisis de valores atípicos)		
Año	**Pmáx**	**Log (Pmáx)**
1994	32.50	1.512
1995	36.00	1.556
1996	28.30	1.452

1997	45.20	1.655
1998	74.30	1.871
1999	48.20	1.683
2000	35.60	1.551
2001	35.90	1.555
2002	47.00	1.672
2003	60.70	1.783
2004	57.00	1.756
2005	38.30	1.583
2006	61.80	1.791
2007	33.70	1.528
2008	59.10	1.772
2009	49.00	1.690
2010	54.20	1.734
2011	31.40	1.497
2012	44.10	1.644
2013	40.20	1.604
2014	46.80	1.670
2015	39.00	1.591
2016	37.80	1.577
2017	41.40	1.617
2018	52.70	1.722
2019	35.80	1.554
2020	38.20	1.582
2021	52.00	1.716
2022	49.60	1.695
2023	39.70	1.599
2024	61.80	1.791
Media de log (Pmáx)		1.645
Desviación estándar de log (Pmáx)		0.102
Coeficiente al 5% de significancia (Kn)		2.577
Logaritmo del límite superior (yH)		1.908
Logaritmo del límite inferior (yL)		1.383
Límite superior		80.859
Límite inferior		24.149

Figura 66. *Resultado del análisis de datos dudosos o de Outliers.*



Nota: Del gráfico se puede concluir que no ha habido un evento anómalo con respecto a los registros de las precipitaciones.

iii. Corrección de precipitaciones máximas

Tabla 38. *Precipitaciones máximas corregidas de la estación convencional Chota.*

Año	Pmáx.	Pmáx. corregida
1994	32.50	36.73
1995	36.00	40.68
1996	28.30	31.98
1997	45.20	51.08
1998	74.30	83.96
1999	48.20	54.47
2000	35.60	40.23
2001	35.90	40.57
2002	47.00	53.11
2003	60.70	68.59
2004	57.00	64.41
2005	38.30	43.28
2006	61.80	69.83
2007	33.70	38.08
2008	59.10	66.78
2009	49.00	55.37
2010	54.20	61.25
2011	31.40	35.48
2012	44.10	49.83
2013	40.20	45.43
2014	46.80	52.88
2015	39.00	44.07
2016	37.80	42.71
2017	41.40	46.78
2018	52.70	59.55
2019	35.80	40.45
2020	38.20	43.17
2021	52.00	58.76
2022	49.60	56.05
2023	39.70	44.86
2024	61.80	69.83

Nota: Para hallar la tabla se multiplicó por un factor de 1.13.

iv. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.

Tabla 39. *Distribución Normal.*

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	31.979	0.031	0.059	0.060	0.028
2	35.482	0.063	0.100	0.102	0.038
3	36.725	0.094	0.119	0.121	0.025
4	38.081	0.125	0.142	0.144	0.017
5	40.228	0.156	0.185	0.187	0.029
6	40.454	0.188	0.190	0.192	0.003
7	40.567	0.219	0.192	0.194	0.026
8	40.680	0.250	0.195	0.197	0.055
9	42.714	0.281	0.244	0.245	0.038
10	43.166	0.313	0.255	0.257	0.057
11	43.279	0.344	0.258	0.259	0.086
12	44.070	0.375	0.279	0.281	0.096
13	44.861	0.406	0.301	0.302	0.105
14	45.426	0.438	0.317	0.318	0.120
15	46.782	0.469	0.357	0.358	0.112
16	49.833	0.500	0.453	0.453	0.047

17	51.076	0.531	0.493	0.493	0.038
18	52.884	0.563	0.551	0.551	0.011
19	53.110	0.594	0.558	0.558	0.035
20	54.466	0.625	0.601	0.601	0.024
21	55.370	0.656	0.629	0.628	0.027
22	56.048	0.688	0.650	0.649	0.038
23	58.760	0.719	0.727	0.726	0.008
24	59.551	0.750	0.748	0.747	0.002
25	61.246	0.781	0.790	0.788	0.009
26	64.410	0.813	0.856	0.854	0.043
27	66.783	0.844	0.895	0.894	0.051
28	68.591	0.875	0.919	0.918	0.044
29	69.834	0.906	0.933	0.932	0.027
30	69.834	0.938	0.933	0.932	0.004
31	83.959	0.969	0.996	0.996	0.027

Nota: Como el delta teórico 0.1203, es menor que el delta tabular 0.2443. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%.

Tabla 40. *Distribución Log. Normal.*

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	31.979	0.031	0.029	0.032	0.003
2	35.482	0.063	0.073	0.078	0.010
3	36.725	0.094	0.095	0.101	0.001
4	38.081	0.125	0.124	0.130	0.001
5	40.228	0.156	0.178	0.185	0.022
6	40.454	0.188	0.185	0.191	0.003
7	40.567	0.219	0.188	0.194	0.031
8	40.680	0.250	0.191	0.197	0.059
9	42.714	0.281	0.253	0.258	0.029
10	43.166	0.313	0.267	0.273	0.045
11	43.279	0.344	0.271	0.276	0.073
12	44.070	0.375	0.297	0.302	0.078
13	44.861	0.406	0.324	0.328	0.082
14	45.426	0.438	0.343	0.347	0.094
15	46.782	0.469	0.391	0.393	0.078
16	49.833	0.500	0.497	0.497	0.003
17	51.076	0.531	0.538	0.537	0.007
18	52.884	0.563	0.597	0.594	0.034
19	53.110	0.594	0.604	0.601	0.010
20	54.466	0.625	0.645	0.641	0.020
21	55.370	0.656	0.670	0.666	0.014
22	56.048	0.688	0.689	0.684	0.001
23	58.760	0.719	0.756	0.751	0.038
24	59.551	0.750	0.774	0.768	0.024
25	61.246	0.781	0.808	0.802	0.027
26	64.410	0.813	0.861	0.855	0.049
27	66.783	0.844	0.893	0.887	0.049
28	68.591	0.875	0.912	0.906	0.037
29	69.834	0.906	0.924	0.918	0.018
30	69.834	0.938	0.924	0.918	0.014
31	83.959	0.969	0.987	0.985	0.018

Nota: Como el delta teórico 0.0942, es menor que el delta tabular 0.2443. Los datos se ajustan a la distribución Log. Normal 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%.

Tabla 41. *Distribución Log. Normal III Parámetros.*

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	31.979	0.031	-2.075	0.019	0.012
2	35.482	0.063	-1.540	0.062	0.001
3	36.725	0.094	-1.370	0.085	0.008

4	38.081	0.125	-1.194	0.116	0.009
5	40.228	0.156	-0.933	0.175	0.019
6	40.454	0.188	-0.907	0.182	0.005
7	40.567	0.219	-0.894	0.186	0.033
8	40.680	0.250	-0.881	0.189	0.061
9	42.714	0.281	-0.655	0.256	0.025
10	43.166	0.313	-0.607	0.272	0.041
11	43.279	0.344	-0.596	0.276	0.068
12	44.070	0.375	-0.513	0.304	0.071
13	44.861	0.406	-0.433	0.332	0.074
14	45.426	0.438	-0.377	0.353	0.085
15	46.782	0.469	-0.247	0.403	0.066
16	49.833	0.500	0.030	0.512	0.012
17	51.076	0.531	0.136	0.554	0.023
18	52.884	0.563	0.284	0.612	0.049
19	53.110	0.594	0.302	0.619	0.025
20	54.466	0.625	0.408	0.659	0.034
21	55.370	0.656	0.477	0.684	0.027
22	56.048	0.688	0.528	0.701	0.014
23	58.760	0.719	0.724	0.766	0.047
24	59.551	0.750	0.779	0.782	0.032
25	61.246	0.781	0.894	0.814	0.033
26	64.410	0.813	1.098	0.864	0.051
27	66.783	0.844	1.242	0.893	0.049
28	68.591	0.875	1.349	0.911	0.036
29	69.834	0.906	1.420	0.922	0.016
30	69.834	0.938	1.420	0.922	0.015
31	83.959	0.969	2.134	0.984	0.015

Nota: Como el delta teórico 0.0845, es menor que el delta tabular 0.2443. Los datos se ajustan a la distribución Log Normal 3 parámetros, con un nivel de significación del 5%.

Tabla 42. *Distribución Gamma II Parámetros.*

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	31.979	0.031	0.035	0.121	0.004
2	35.482	0.063	0.077	0.183	0.015
3	36.725	0.094	0.099	0.208	0.005
4	38.081	0.125	0.125	0.236	0.000
5	40.228	0.156	0.176	0.284	0.019
6	40.454	0.188	0.182	0.289	0.006
7	40.567	0.219	0.184	0.292	0.034
8	40.680	0.250	0.187	0.294	0.063
9	42.714	0.281	0.245	0.342	0.036
10	43.166	0.313	0.259	0.353	0.054
11	43.279	0.344	0.262	0.355	0.082
12	44.070	0.375	0.287	0.374	0.088
13	44.861	0.406	0.312	0.393	0.094
14	45.426	0.438	0.331	0.407	0.107
15	46.782	0.469	0.376	0.439	0.092
16	49.833	0.500	0.481	0.512	0.019
17	51.076	0.531	0.523	0.540	0.008
18	52.884	0.563	0.583	0.581	0.020
19	53.110	0.594	0.590	0.586	0.004
20	54.466	0.625	0.633	0.615	0.008
21	55.370	0.656	0.660	0.633	0.003
22	56.048	0.688	0.679	0.647	0.008
23	58.760	0.719	0.751	0.699	0.032
24	59.551	0.750	0.770	0.713	0.020
25	61.246	0.781	0.807	0.742	0.026
26	64.410	0.813	0.864	0.790	0.052
27	66.783	0.844	0.898	0.822	0.054
28	68.591	0.875	0.919	0.844	0.044
29	69.834	0.906	0.931	0.857	0.025

30	69.834	0.938	0.931	0.857	0.007
31	83.959	0.969	0.992	0.954	0.023

Nota: Como el delta teórico 0.1067, es menor que el delta tabular 0.2443. Los datos se ajustan a la distribución Gamma de 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%.

Tabla 43. *Distribución Gamma III Parámetros.*

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	31.979	0.031	0.031	0.021	0.001
2	35.482	0.063	0.078	0.073	0.015
3	36.725	0.094	0.101	0.099	0.007
4	38.081	0.125	0.131	0.133	0.006
5	40.228	0.156	0.186	0.195	0.030
6	40.454	0.188	0.193	0.202	0.005
7	40.567	0.219	0.196	0.206	0.023
8	40.680	0.250	0.199	0.209	0.051
9	42.714	0.281	0.260	0.276	0.021
10	43.166	0.313	0.275	0.291	0.038
11	43.279	0.344	0.278	0.295	0.065
12	44.070	0.375	0.304	0.322	0.071
13	44.861	0.406	0.330	0.349	0.076
14	45.426	0.438	0.349	0.369	0.088
15	46.782	0.469	0.395	0.415	0.073
16	49.833	0.500	0.498	0.517	0.002
17	51.076	0.531	0.539	0.556	0.008
18	52.884	0.563	0.596	0.610	0.033
19	53.110	0.594	0.602	0.617	0.009
20	54.466	0.625	0.642	0.654	0.017
21	55.370	0.656	0.667	0.678	0.011
22	56.048	0.688	0.686	0.695	0.002
23	58.760	0.719	0.752	0.756	0.033
24	59.551	0.750	0.769	0.772	0.019
25	61.246	0.781	0.804	0.803	0.022
26	64.410	0.813	0.857	0.853	0.044
27	66.783	0.844	0.889	0.883	0.045
28	68.591	0.875	0.909	0.902	0.034
29	69.834	0.906	0.921	0.913	0.015
30	69.834	0.938	0.921	0.913	0.017
31	83.959	0.969	0.987	0.981	0.018

Nota: Como el delta teórico 0.08812, es menor que el delta tabular 0.2443. Los datos se ajustan a la distribución Gamma de 3 parámetros, con un nivel de significación del 5%.

Tabla 44. *Distribución Log Pearson Tipo III.*

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	31.979	0.031	0.022	0.021	0.010
2	35.482	0.063	0.066	0.068	0.003
3	36.725	0.094	0.090	0.093	0.004
4	38.081	0.125	0.121	0.126	0.005
5	40.228	0.156	0.179	0.188	0.023
6	40.454	0.188	0.186	0.195	0.001
7	40.567	0.219	0.190	0.198	0.029
8	40.680	0.250	0.193	0.202	0.057
9	42.714	0.281	0.259	0.270	0.022
10	43.166	0.313	0.275	0.286	0.038
11	43.279	0.344	0.279	0.290	0.065
12	44.070	0.375	0.307	0.318	0.069
13	44.861	0.406	0.335	0.346	0.072
14	45.426	0.438	0.355	0.366	0.083
15	46.782	0.469	0.404	0.415	0.065

16	49.833	0.500	0.512	0.520	0.012
17	51.076	0.531	0.553	0.560	0.022
18	52.884	0.563	0.610	0.615	0.048
19	53.110	0.594	0.617	0.622	0.024
20	54.466	0.625	0.657	0.659	0.032
21	55.370	0.656	0.681	0.683	0.025
22	56.048	0.688	0.699	0.700	0.012
23	58.760	0.719	0.763	0.760	0.044
24	59.551	0.750	0.779	0.776	0.029
25	61.246	0.781	0.811	0.806	0.030
26	64.410	0.813	0.860	0.854	0.048
27	66.783	0.844	0.889	0.882	0.046
28	68.591	0.875	0.908	0.900	0.033
29	69.834	0.906	0.919	0.911	0.013
30	69.834	0.938	0.919	0.911	0.019
31	83.959	0.969	0.982	0.976	0.013

Nota: Como el delta teórico 0.08246, es menor que el delta tabular 0.2443. Los datos se ajustan a la distribución Log-Pearson tipo 3, con un nivel de significación del 5%.

Tabla 45. *Distribución Gumbel.*

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	31.979	0.031	0.015	0.023	0.016
2	35.482	0.063	0.055	0.069	0.008
3	36.725	0.094	0.078	0.094	0.016
4	38.081	0.125	0.109	0.126	0.016
5	40.228	0.156	0.170	0.187	0.014
6	40.454	0.188	0.177	0.194	0.011
7	40.567	0.219	0.181	0.198	0.038
8	40.680	0.250	0.184	0.201	0.066
9	42.714	0.281	0.254	0.269	0.027
10	43.166	0.313	0.271	0.285	0.042
11	43.279	0.344	0.275	0.289	0.069
12	44.070	0.375	0.304	0.318	0.071
13	44.861	0.406	0.334	0.346	0.072
14	45.426	0.438	0.356	0.367	0.082
15	46.782	0.469	0.408	0.416	0.061
16	49.833	0.500	0.520	0.523	0.020
17	51.076	0.531	0.563	0.563	0.032
18	52.884	0.563	0.621	0.619	0.059
19	53.110	0.594	0.628	0.625	0.034
20	54.466	0.625	0.668	0.663	0.043
21	55.370	0.656	0.692	0.687	0.036
22	56.048	0.688	0.710	0.704	0.022
23	58.760	0.719	0.772	0.765	0.053
24	59.551	0.750	0.788	0.780	0.038
25	61.246	0.781	0.819	0.811	0.038
26	64.410	0.813	0.866	0.858	0.054
27	66.783	0.844	0.894	0.886	0.050
28	68.591	0.875	0.911	0.903	0.036
29	69.834	0.906	0.921	0.914	0.015
30	69.834	0.938	0.921	0.914	0.016
31	83.959	0.969	0.981	0.978	0.013

Nota: Como el delta teórico 0.0816, es menor que el delta tabular 0.2443. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

Tabla 46. *Distribución Log Gumbel.*

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	31.979	0.031	0.002	0.004	0.030
2	35.482	0.063	0.026	0.040	0.036

3	36.725	0.094	0.049	0.068	0.045
4	38.081	0.125	0.084	0.107	0.041
5	40.228	0.156	0.160	0.184	0.004
6	40.454	0.188	0.169	0.193	0.018
7	40.567	0.219	0.174	0.198	0.045
8	40.680	0.250	0.179	0.202	0.071
9	42.714	0.281	0.267	0.288	0.014
10	43.166	0.313	0.288	0.307	0.025
11	43.279	0.344	0.293	0.312	0.051
12	44.070	0.375	0.329	0.346	0.046
13	44.861	0.406	0.365	0.379	0.042
14	45.426	0.438	0.390	0.403	0.048
15	46.782	0.469	0.448	0.457	0.020
16	49.833	0.500	0.567	0.567	0.067
17	51.076	0.531	0.609	0.606	0.078
18	52.884	0.563	0.664	0.658	0.101
19	53.110	0.594	0.670	0.664	0.076
20	54.466	0.625	0.705	0.697	0.080
21	55.370	0.656	0.727	0.718	0.071
22	56.048	0.688	0.742	0.733	0.054
23	58.760	0.719	0.794	0.783	0.075
24	59.551	0.750	0.807	0.796	0.057
25	61.246	0.781	0.832	0.820	0.051
26	64.410	0.813	0.870	0.858	0.057
27	66.783	0.844	0.892	0.881	0.048
28	68.591	0.875	0.906	0.895	0.031
29	69.834	0.906	0.914	0.904	0.008
30	69.834	0.938	0.914	0.904	0.023
31	83.959	0.969	0.968	0.961	0.001

Nota: Como el delta teórico 0.1010, es menor que el delta tabular 0.2443. Los datos se ajustan a la distribución Log Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

Donde las distribuciones de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 47. *Distribuciones de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov.*

Distribución	Δ Teórico	Se Ajusta
Normal	0.12030	Sí
Log. Normal 2 Parámetros	0.09420	Sí
Log. Normal 3 Parámetros	0.08450	Sí
Gamma 2 Parámetros	0.10670	Sí
Gamma 3 Parámetros	0.08812	Sí
Log Pearson III	0.08246	Sí
Gumbel	0.08160	Sí
Log Gumbel	0.10100	Sí
Δ Tabular =	0.2443	
N° Datos =	31	
Significancia =	5%	
Menor Δ Tabular =	0.08160	

Nota: La tabla muestra que para la distribución Gumbel es la que tiene menor delta teórico a un nivel de significancia del 5%, por lo tanto, es la que más se ajusta a la estación Chota y se usó para hallar los Hietogramas.

v. Precipitación máxima en 24 horas según los periodos de retorno.

Tabla 48. *Precipitación máxima en 24 horas según los periodos de retorno.*

Tr(años)	Probabilidad excedencia	Probabilidad no excedida	Pmáx 24h (mm) Estación Chota - Hidroesta 2
50	0.0200	0.9800	83.31
100	0.0100	0.9900	90.04
135	0.0074	0.9926	92.94
185	0.0054	0.9946	95.98
285	0.0035	0.9965	100.15

Nota: En el Hidroesta 2 se halla las Precipitaciones máximas en 24 horas según el periodo de retorno, pero haciendo uso de la distribución Gumbel.

vi. Transposición y corrección de Pmáx a las microcuencas.

Tabla 49. *Transposición y corrección de Pmáx a la microcuenca río Chotano.*

Tr(años)	Pmáx 24h (mm) Estación Chota	Pmáx 24h (mm) Microcuenca del río Chotano
50	83.31	107.97
100	90.04	116.69
135	92.94	120.45
185	95.98	124.39
285	100.15	129.79

Tabla 50. *Transposición y corrección de Pmáx a la microcuenca de la quebrada S/N.*

Tr(años)	Pmáx 24h (mm) Estación Chota	Pmáx 24h (mm) Microcuenca de la quebrada S/N
50	83.31	87.61
100	90.04	94.68
135	92.94	97.73
185	95.98	100.93
285	100.15	105.32

Tabla 51. *Transposición y corrección de Pmáx a la microcuenca de la quebrada Colpamayo.*

Tr(años)	Pmáx 24h (mm) Estación Chota	Pmáx 24h (mm) Microcuenca de la quebrada Colpamayo
50	83.31	110.97
100	90.04	119.94
135	92.94	123.80
185	95.98	127.85
285	100.15	133.40

vii. Hietogramas de las microcuencas.

Tabla 52. *Hietogramas para las microcuencas del río Chotano, quebrada S/N y quebrada Colpamayo.*

Tiempo (min)	Hietogramas para la microcuenca del río Chotano					Hietogramas para la microcuenca de la quebrada S/N					Hietogramas para la microcuenca de la quebrada Colpamayo				
	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 135 años	Tr = 185 años	Tr = 285 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 135 años	Tr = 185 años	Tr = 285 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 135 años	Tr = 185 años	Tr = 285 años
10	0.320	0.346	0.357	0.369	0.385	0.260	0.281	0.290	0.299	0.312	0.329	0.356	0.367	0.379	0.396
20	0.327	0.354	0.365	0.377	0.393	0.266	0.287	0.296	0.306	0.319	0.336	0.364	0.375	0.388	0.404
30	0.335	0.362	0.373	0.385	0.402	0.272	0.293	0.303	0.313	0.326	0.344	0.372	0.384	0.396	0.413
40	0.342	0.370	0.382	0.394	0.412	0.278	0.300	0.310	0.320	0.334	0.352	0.380	0.393	0.405	0.423
50	0.351	0.379	0.391	0.404	0.421	0.284	0.307	0.317	0.328	0.342	0.360	0.389	0.402	0.415	0.433
60	0.359	0.388	0.401	0.414	0.432	0.291	0.315	0.325	0.336	0.350	0.369	0.399	0.412	0.425	0.444
70	0.368	0.398	0.411	0.424	0.443	0.299	0.323	0.333	0.344	0.359	0.379	0.409	0.422	0.436	0.455
80	0.378	0.409	0.422	0.436	0.455	0.307	0.332	0.342	0.353	0.369	0.389	0.420	0.434	0.448	0.467
90	0.388	0.420	0.433	0.448	0.467	0.315	0.341	0.352	0.363	0.379	0.399	0.432	0.445	0.460	0.480
100	0.400	0.432	0.446	0.460	0.480	0.324	0.350	0.362	0.373	0.390	0.411	0.444	0.458	0.473	0.494
110	0.411	0.445	0.459	0.474	0.494	0.334	0.361	0.372	0.385	0.401	0.423	0.457	0.472	0.487	0.508
120	0.424	0.458	0.473	0.488	0.510	0.344	0.372	0.384	0.396	0.414	0.436	0.471	0.486	0.502	0.524
130	0.438	0.473	0.488	0.504	0.526	0.355	0.384	0.396	0.409	0.427	0.450	0.486	0.502	0.518	0.541
140	0.452	0.489	0.505	0.521	0.544	0.367	0.397	0.409	0.423	0.441	0.465	0.502	0.519	0.536	0.559
150	0.468	0.506	0.522	0.539	0.563	0.380	0.411	0.424	0.438	0.457	0.481	0.520	0.537	0.554	0.578
160	0.485	0.525	0.541	0.559	0.583	0.394	0.426	0.439	0.454	0.473	0.499	0.539	0.557	0.575	0.600
170	0.504	0.545	0.562	0.581	0.606	0.409	0.442	0.456	0.471	0.492	0.518	0.560	0.578	0.597	0.623
180	0.525	0.567	0.585	0.605	0.631	0.426	0.460	0.475	0.491	0.512	0.539	0.583	0.602	0.621	0.648
190	0.547	0.592	0.611	0.631	0.658	0.444	0.480	0.496	0.512	0.534	0.563	0.608	0.628	0.648	0.676
200	0.572	0.619	0.639	0.660	0.688	0.465	0.502	0.518	0.535	0.558	0.588	0.636	0.656	0.678	0.707
210	0.600	0.649	0.670	0.692	0.722	0.487	0.527	0.543	0.561	0.586	0.617	0.667	0.688	0.711	0.742
220	0.632	0.683	0.705	0.728	0.759	0.513	0.554	0.572	0.591	0.616	0.649	0.702	0.724	0.748	0.781
230	0.667	0.721	0.744	0.769	0.802	0.541	0.585	0.604	0.624	0.651	0.686	0.741	0.765	0.790	0.824
240	0.708	0.765	0.789	0.815	0.851	0.574	0.621	0.641	0.662	0.690	0.727	0.786	0.811	0.838	0.874
250	0.754	0.815	0.842	0.869	0.907	0.612	0.662	0.683	0.705	0.736	0.775	0.838	0.865	0.893	0.932
260	0.809	0.874	0.902	0.932	0.972	0.656	0.709	0.732	0.756	0.789	0.831	0.899	0.927	0.958	0.999
270	0.874	0.944	0.975	1.007	1.050	0.709	0.766	0.791	0.817	0.852	0.898	0.970	1.002	1.035	1.079
280	0.952	1.029	1.062	1.097	1.144	0.772	0.835	0.862	0.890	0.929	0.978	1.057	1.092	1.127	1.176
290	1.049	1.134	1.170	1.208	1.261	0.851	0.920	0.949	0.981	1.023	1.078	1.165	1.203	1.242	1.296
300	1.172	1.267	1.308	1.351	1.409	0.951	1.028	1.061	1.096	1.144	1.205	1.302	1.344	1.388	1.449
310	1.336	1.444	1.491	1.540	1.607	1.084	1.172	1.210	1.249	1.304	1.374	1.485	1.532	1.583	1.651
320	1.566	1.693	1.747	1.805	1.883	1.271	1.374	1.418	1.464	1.528	1.610	1.740	1.796	1.855	1.935
330	1.917	2.071	2.138	2.208	2.304	1.555	1.681	1.735	1.792	1.869	1.970	2.129	2.198	2.269	2.368
340	2.529	2.733	2.821	2.913	3.040	2.052	2.218	2.289	2.364	2.467	2.599	2.809	2.900	2.994	3.125
350	3.954	4.274	4.411	4.555	4.753	3.208	3.468	3.579	3.696	3.857	4.064	4.392	4.534	4.682	4.886
360	**31.167**	**33.685**	**34.770**	**35.907**	**37.468**	**25.290**	**27.333**	**28.213**	**29.136**	**30.402**	**32.035**	**34.623**	**35.738**	**36.907**	**38.510**
370	5.897	6.373	6.579	6.794	7.089	4.785	5.172	5.338	5.513	5.752	6.061	6.551	6.762	6.983	7.286
380	3.059	3.306	3.412	3.524	3.677	2.482	2.682	2.769	2.859	2.984	3.144	3.398	3.507	3.622	3.779
390	2.173	2.349	2.425	2.504	2.613	1.764	1.906	1.967	2.032	2.120	2.234	2.414	2.492	2.574	2.686
400	1.721	1.860	1.920	1.983	2.069	1.396	1.509	1.558	1.609	1.679	1.769	1.912	1.973	2.038	2.126
410	1.441	1.557	1.607	1.660	1.732	1.169	1.264	1.304	1.347	1.405	1.481	1.601	1.652	1.706	1.780
420	1.248	1.349	1.393	1.438	1.501	1.013	1.095	1.130	1.167	1.218	1.283	1.387	1.431	1.478	1.542
430	1.107	1.196	1.235	1.275	1.330	0.898	0.971	1.002	1.035	1.080	1.137	1.229	1.269	1.310	1.367
440	0.998	1.078	1.113	1.149	1.199	0.810	0.875	0.903	0.933	0.973	1.025	1.108	1.144	1.181	1.233
450	0.911	0.984	1.016	1.049	1.095	0.739	0.799	0.825	0.851	0.888	0.936	1.012	1.044	1.079	1.125
460	0.840	0.908	0.937	0.968	1.010	0.681	0.736	0.760	0.785	0.819	0.863	0.933	0.963	0.994	1.038
470	0.780	0.844	0.871	0.899	0.938	0.633	0.684	0.707	0.730	0.761	0.802	0.867	0.895	0.924	0.964
480	0.730	0.789	0.814	0.841	0.878	0.592	0.640	0.661	0.683	0.712	0.750	0.811	0.837	0.865	0.902
490	0.687	0.742	0.766	0.791	0.826	0.557	0.602	0.622	0.642	0.670	0.706	0.763	0.787	0.813	0.848

500	0.649	0.701	0.724	0.748	0.780	0.527	0.569	0.587	0.607	0.633	0.667	0.721	0.744	0.768	0.802
510	0.616	0.665	0.687	0.709	0.740	0.500	0.540	0.557	0.575	0.600	0.633	0.684	0.706	0.729	0.761
520	0.586	0.633	0.654	0.675	0.705	0.476	0.514	0.531	0.548	0.572	0.602	0.651	0.672	0.694	0.724
530	0.560	0.605	0.624	0.645	0.673	0.454	0.491	0.507	0.523	0.546	0.575	0.622	0.642	0.663	0.691
540	0.536	0.579	0.598	0.617	0.644	0.435	0.470	0.485	0.501	0.523	0.551	0.595	0.614	0.634	0.662
550	0.514	0.556	0.574	0.592	0.618	0.417	0.451	0.465	0.481	0.502	0.529	0.571	0.590	0.609	0.635
560	0.495	0.534	0.552	0.570	0.595	0.401	0.434	0.448	0.462	0.482	0.508	0.549	0.567	0.586	0.611
570	0.477	0.515	0.532	0.549	0.573	0.387	0.418	0.431	0.446	0.465	0.490	0.529	0.546	0.564	0.589
580	0.460	0.497	0.513	0.530	0.553	0.373	0.403	0.416	0.430	0.449	0.473	0.511	0.527	0.545	0.568
590	0.445	0.481	0.496	0.512	0.535	0.361	0.390	0.403	0.416	0.434	0.457	0.494	0.510	0.527	0.550
600	0.431	0.465	0.480	0.496	0.518	0.349	0.378	0.390	0.403	0.420	0.443	0.478	0.494	0.510	0.532
610	0.418	0.451	0.466	0.481	0.502	0.339	0.366	0.378	0.390	0.407	0.429	0.464	0.479	0.494	0.516
620	0.405	0.438	0.452	0.467	0.487	0.329	0.355	0.367	0.379	0.395	0.417	0.450	0.465	0.480	0.501
630	0.394	0.426	0.439	0.454	0.474	0.320	0.345	0.357	0.368	0.384	0.405	0.438	0.452	0.466	0.487
640	0.383	0.414	0.427	0.441	0.461	0.311	0.336	0.347	0.358	0.374	0.394	0.426	0.439	0.454	0.473
650	0.373	0.403	0.416	0.430	0.449	0.303	0.327	0.338	0.349	0.364	0.384	0.415	0.428	0.442	0.461
660	0.364	0.393	0.406	0.419	0.437	0.295	0.319	0.329	0.340	0.355	0.374	0.404	0.417	0.431	0.449
670	0.355	0.383	0.396	0.409	0.427	0.288	0.311	0.321	0.332	0.346	0.365	0.394	0.407	0.420	0.438
680	0.346	0.374	0.386	0.399	0.416	0.281	0.304	0.314	0.324	0.338	0.356	0.385	0.397	0.410	0.428
690	0.338	0.366	0.378	0.390	0.407	0.275	0.297	0.306	0.316	0.330	0.348	0.376	0.388	0.401	0.418
700	0.331	0.358	0.369	0.381	0.398	0.268	0.290	0.300	0.309	0.323	0.340	0.368	0.379	0.392	0.409
710	0.324	0.350	0.361	0.373	0.389	0.263	0.284	0.293	0.303	0.316	0.333	0.360	0.371	0.383	0.400
720	0.317	0.342	0.354	0.365	0.381	0.257	0.278	0.287	0.296	0.309	0.326	0.352	0.363	0.375	0.392

Nota: Para ajustar el hietograma usando el método de bloques alternos para las 12 horas de la duración de tormenta registrada para Chota, al resultado de la fórmula de Dick y Peschke se ha multiplicado por un factor de 0.79 según como se indica en metodología.

Figura 67. *Hietogramas de la microcuenca del río Chotano con Tr = 50 años.*

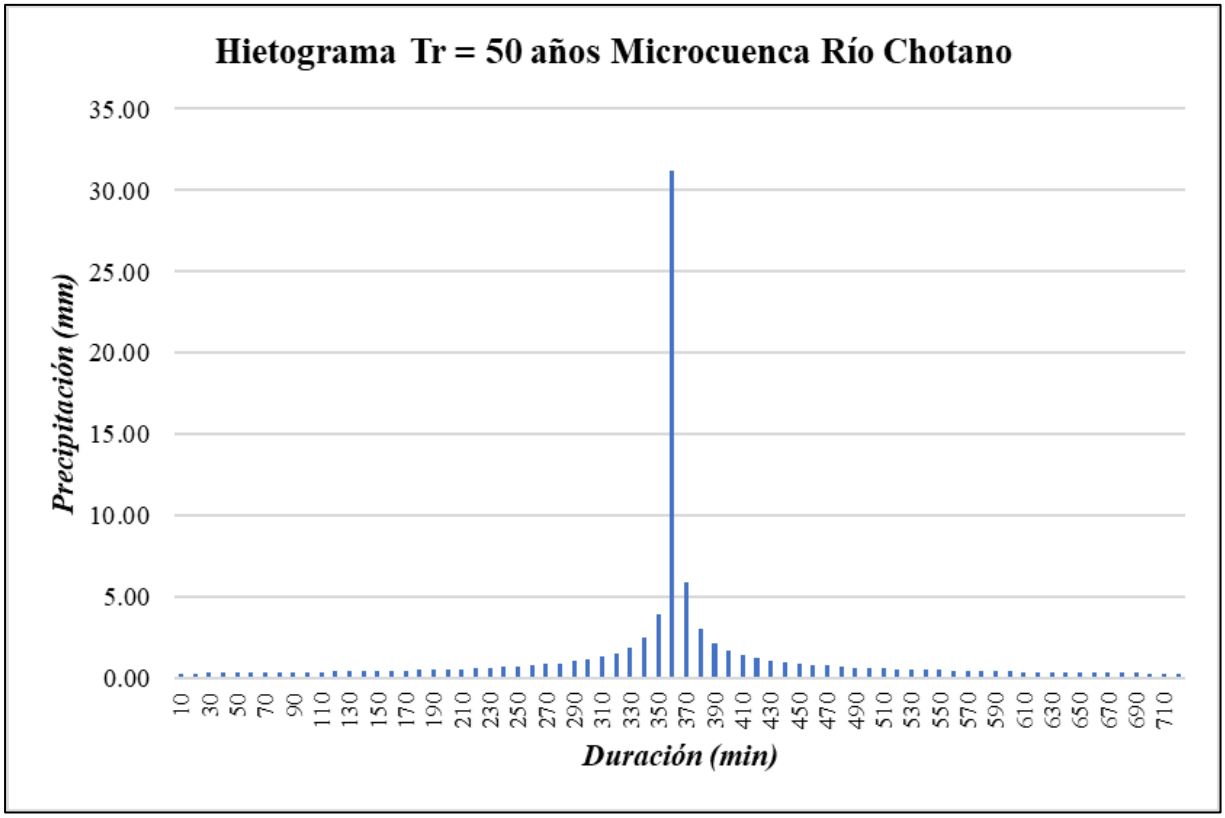


Figura 68. *Hietogramas de la microcuenca del río Chotano con Tr = 100 años.*

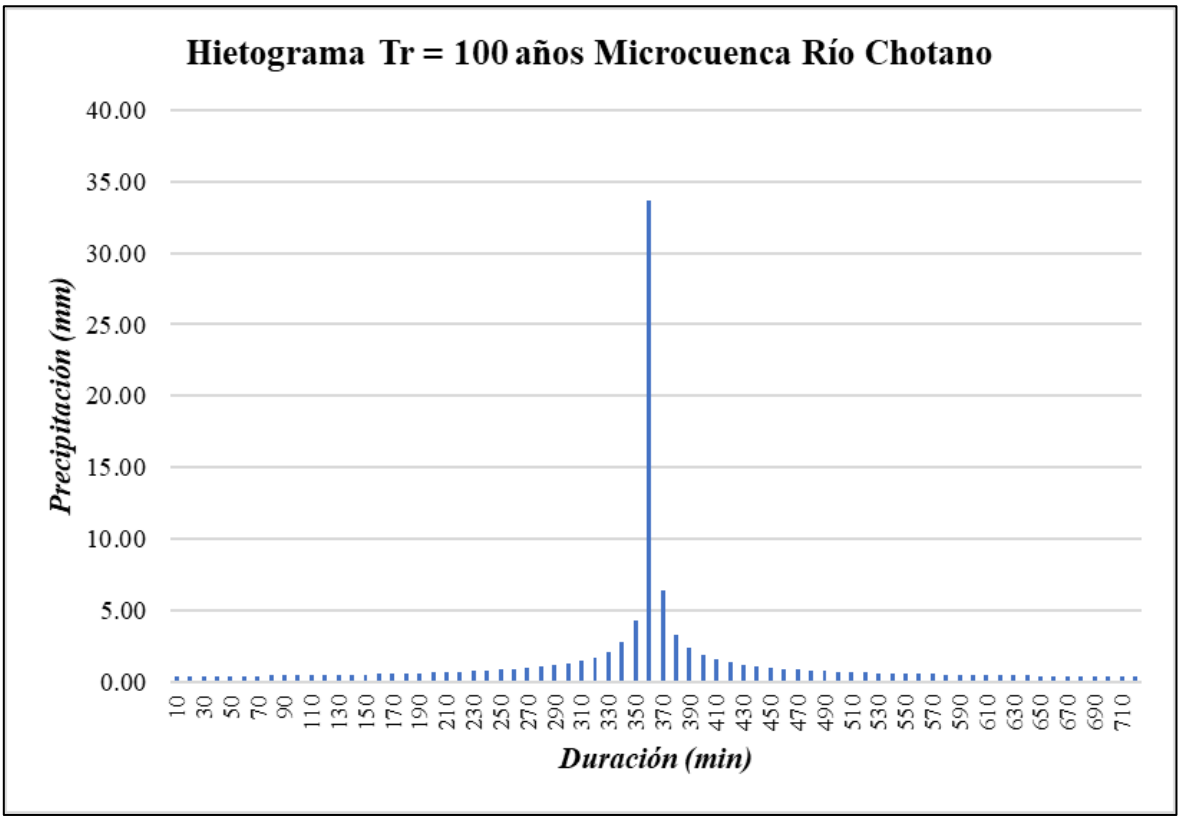


Figura 69. *Hietograma de la microcuenca del río Chotano con Tr = 135 años.*

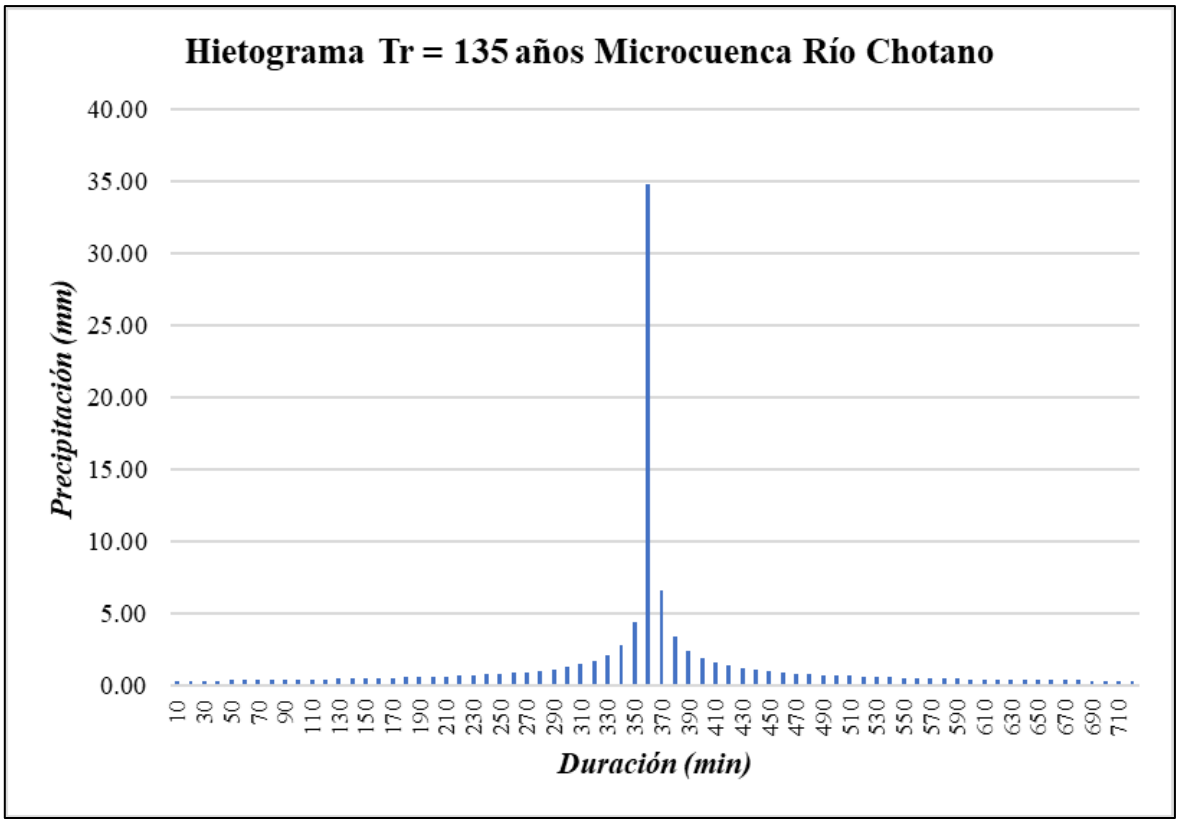


Figura 70. *Hietograma de la microcuenca del río Chotano con Tr = 185 años.*

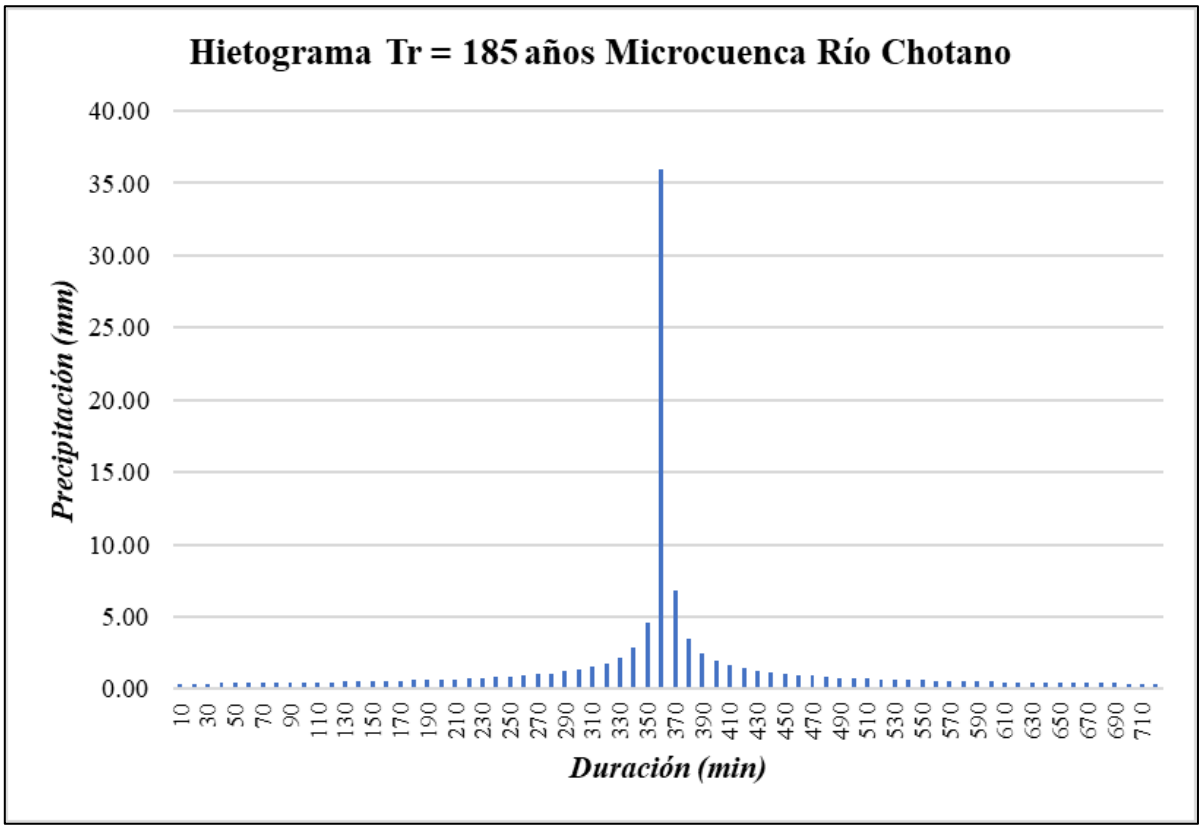


Figura 71. *Hietograma de la microcuenca del río Chotano con Tr = 285 años.*

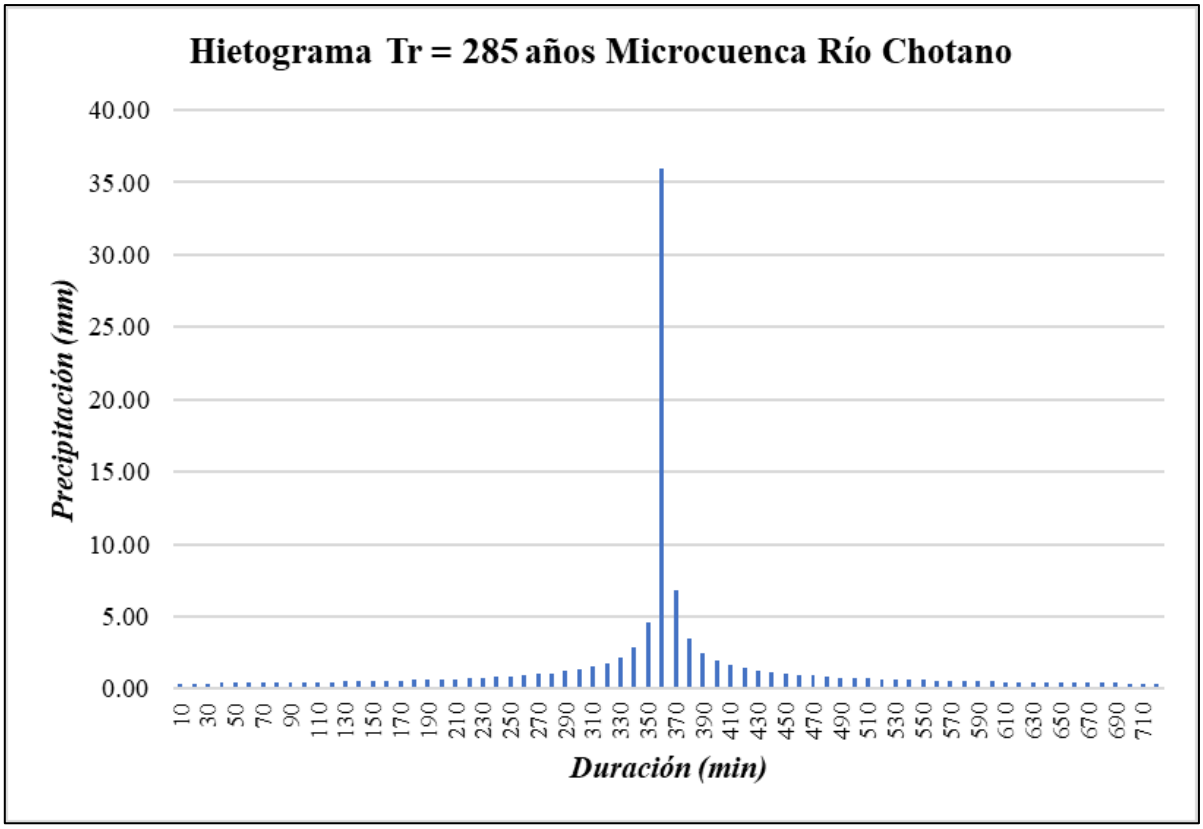


Figura 72. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada S/N para Tr = 50 años.*

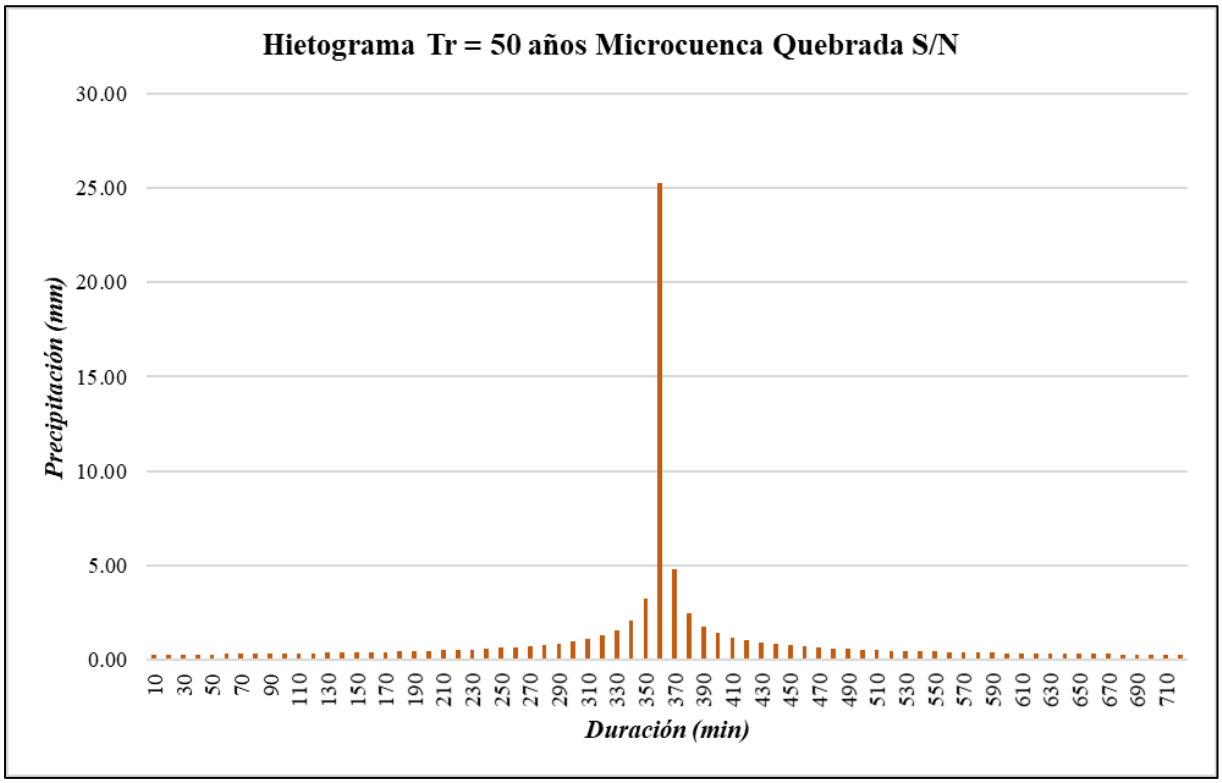


Figura 73. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada S/N para Tr = 100 años.*

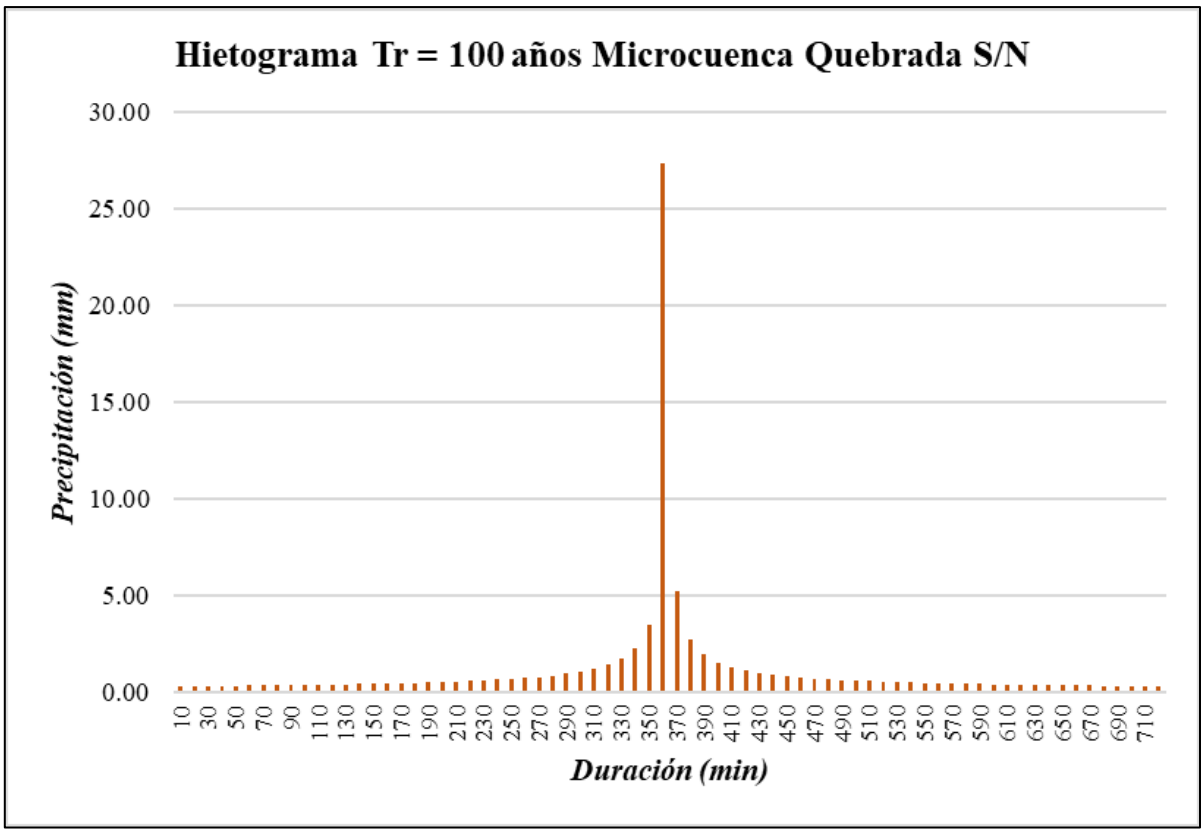


Figura 74. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada S/N para Tr = 135 años.*

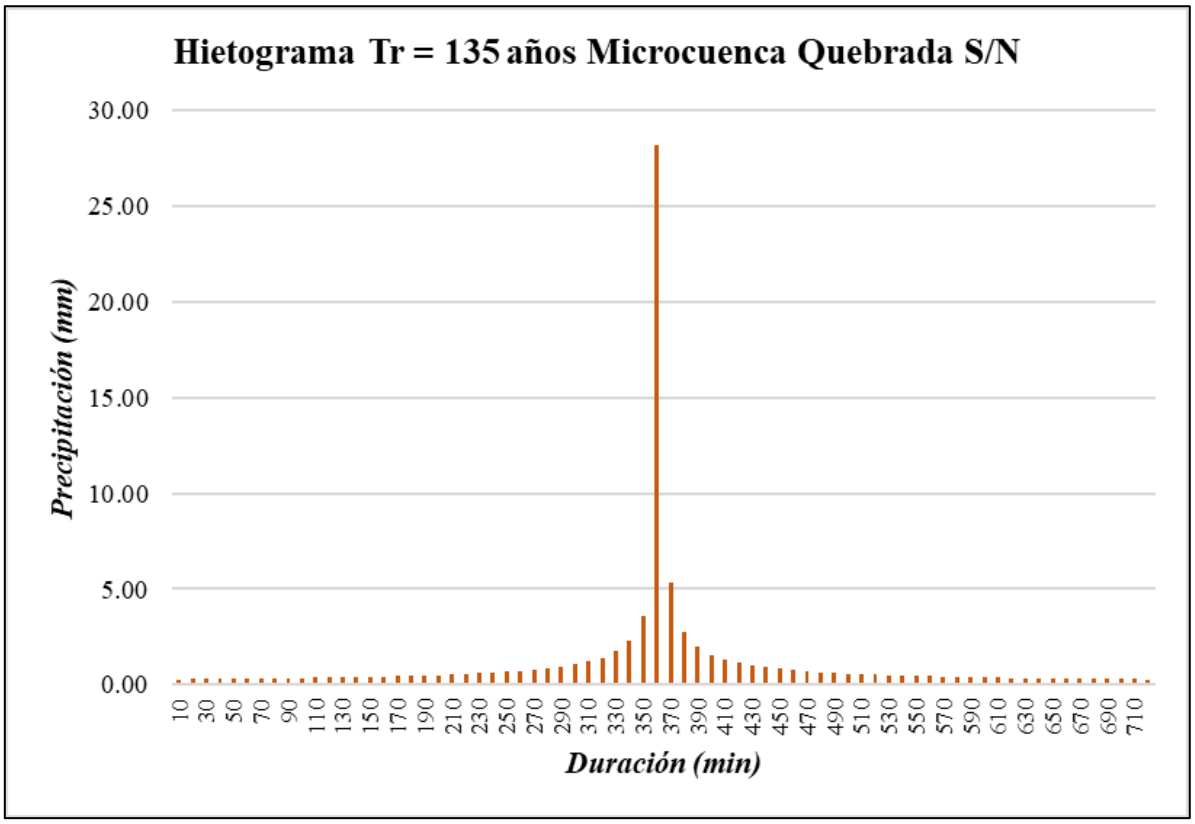


Figura 75. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada S/N para Tr = 185 años.*

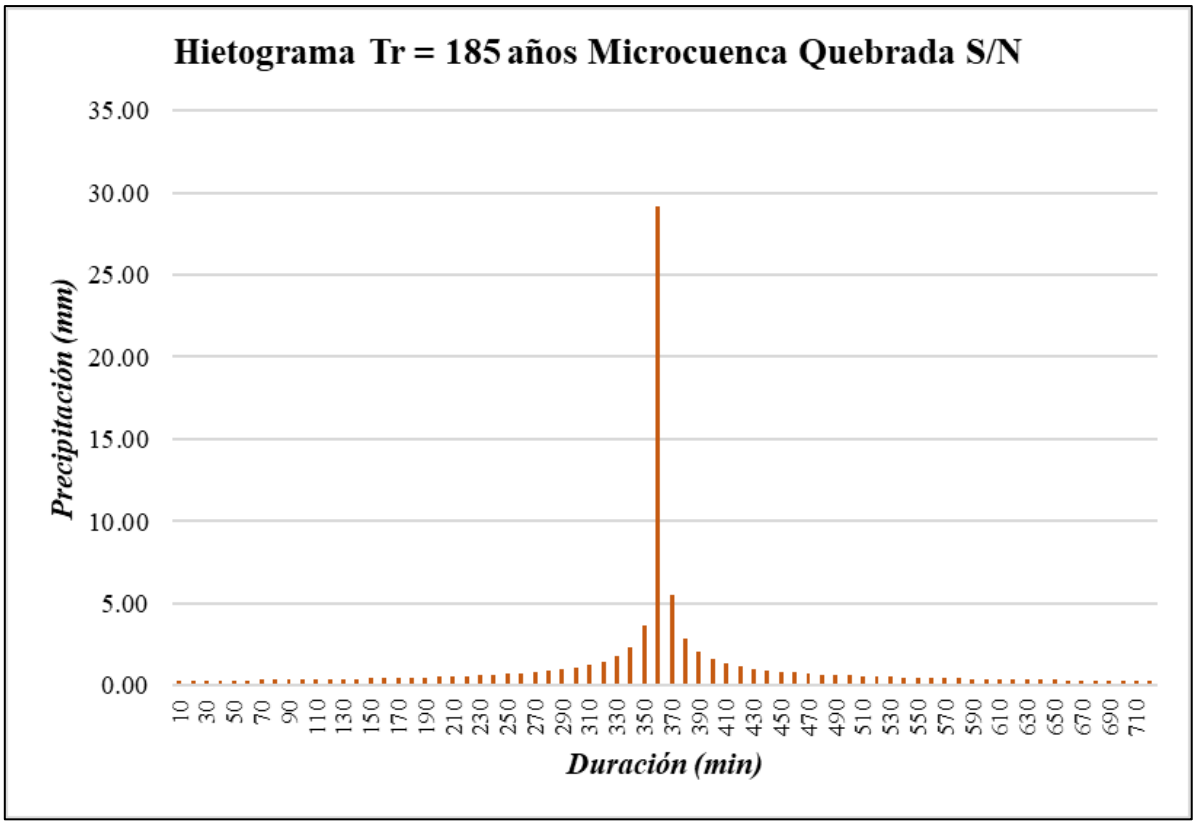


Figura 76. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada S/N para Tr = 285 años.*

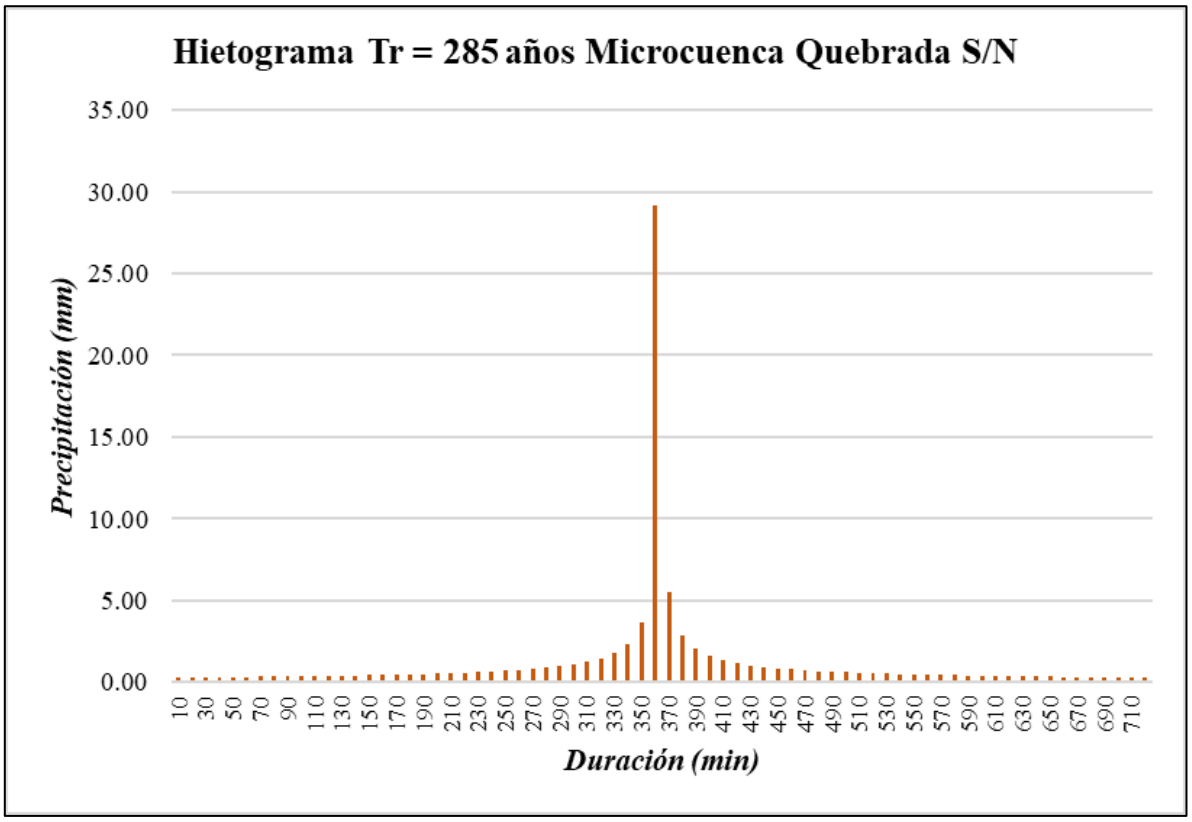


Figura 77. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para Tr = 50 años.*

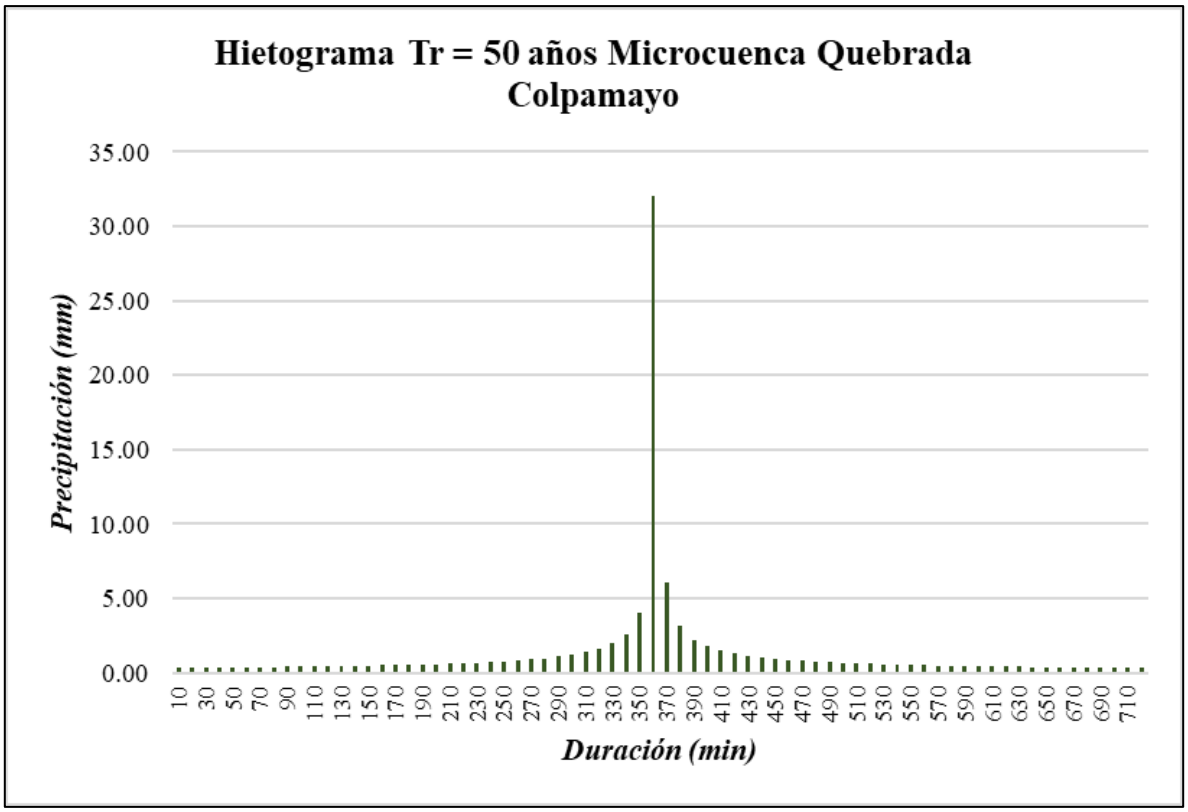


Figura 78. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para Tr = 100 años.*

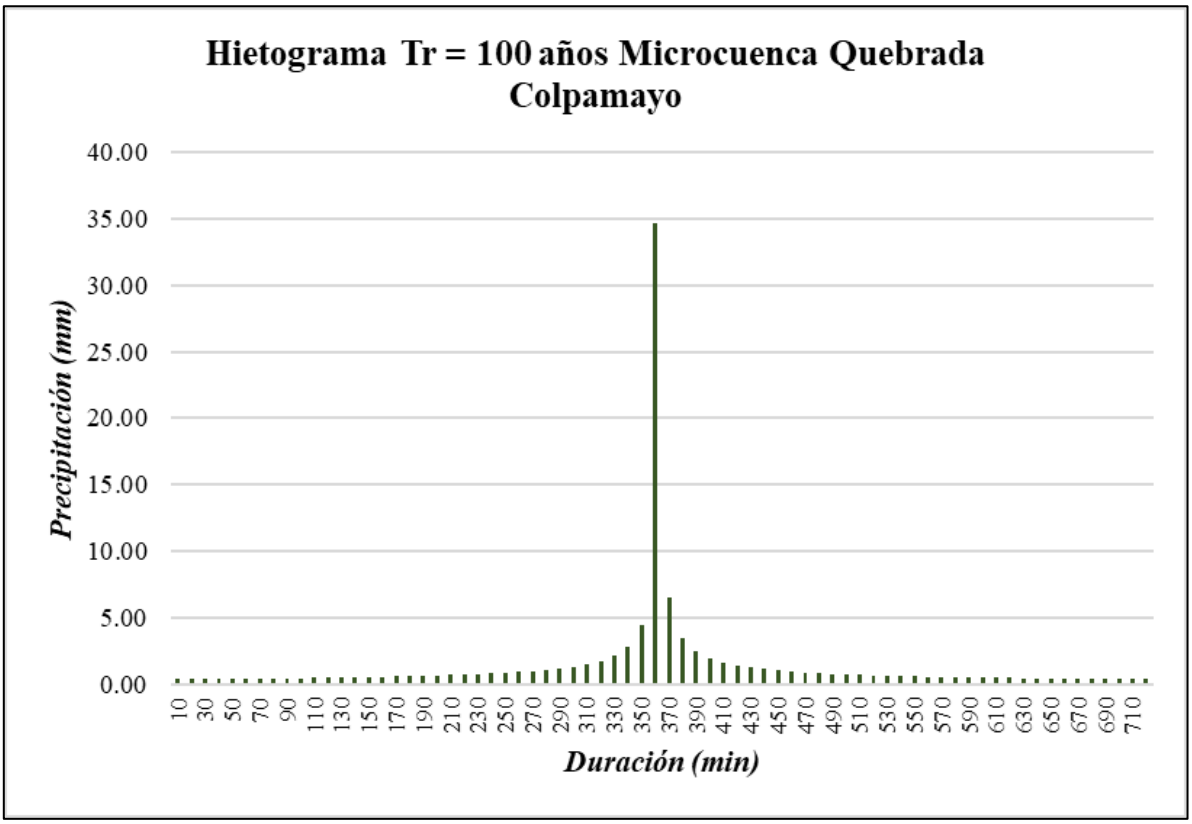


Figura 79. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para Tr = 135 años.*

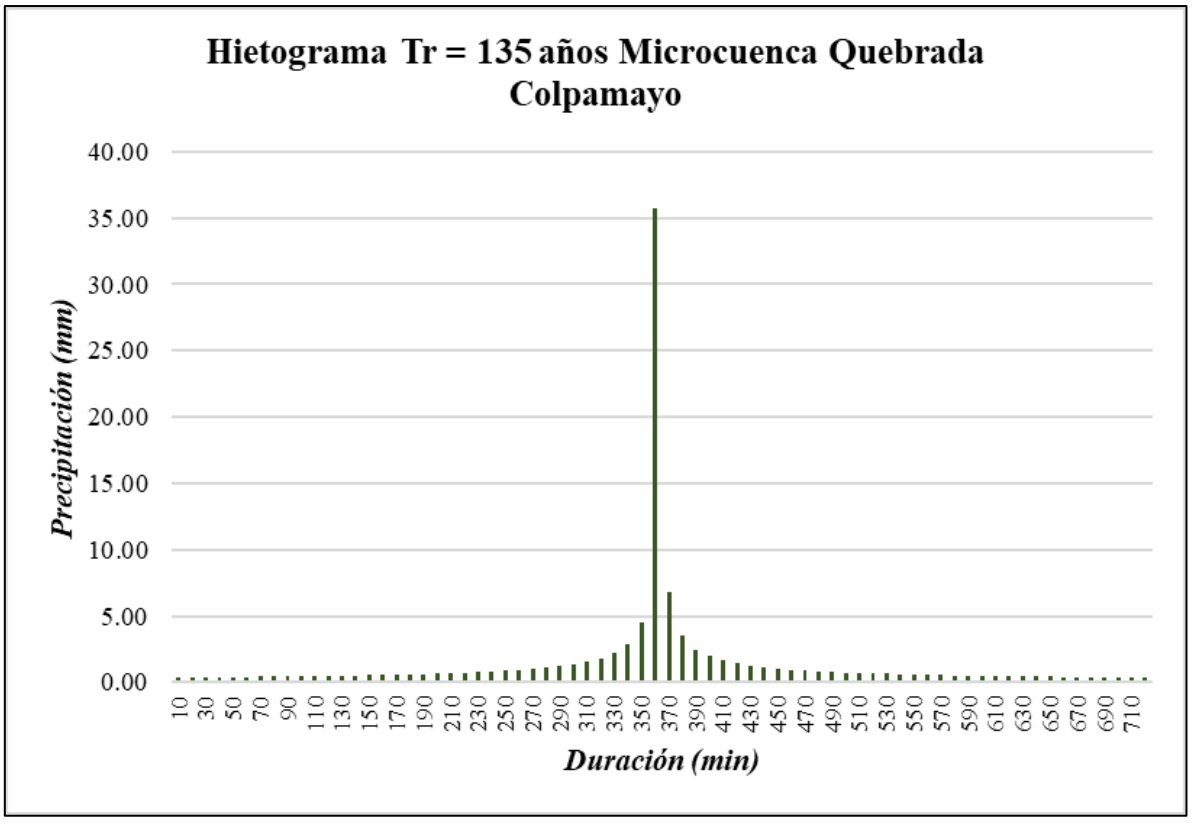


Figura 80. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para Tr = 185 años.*

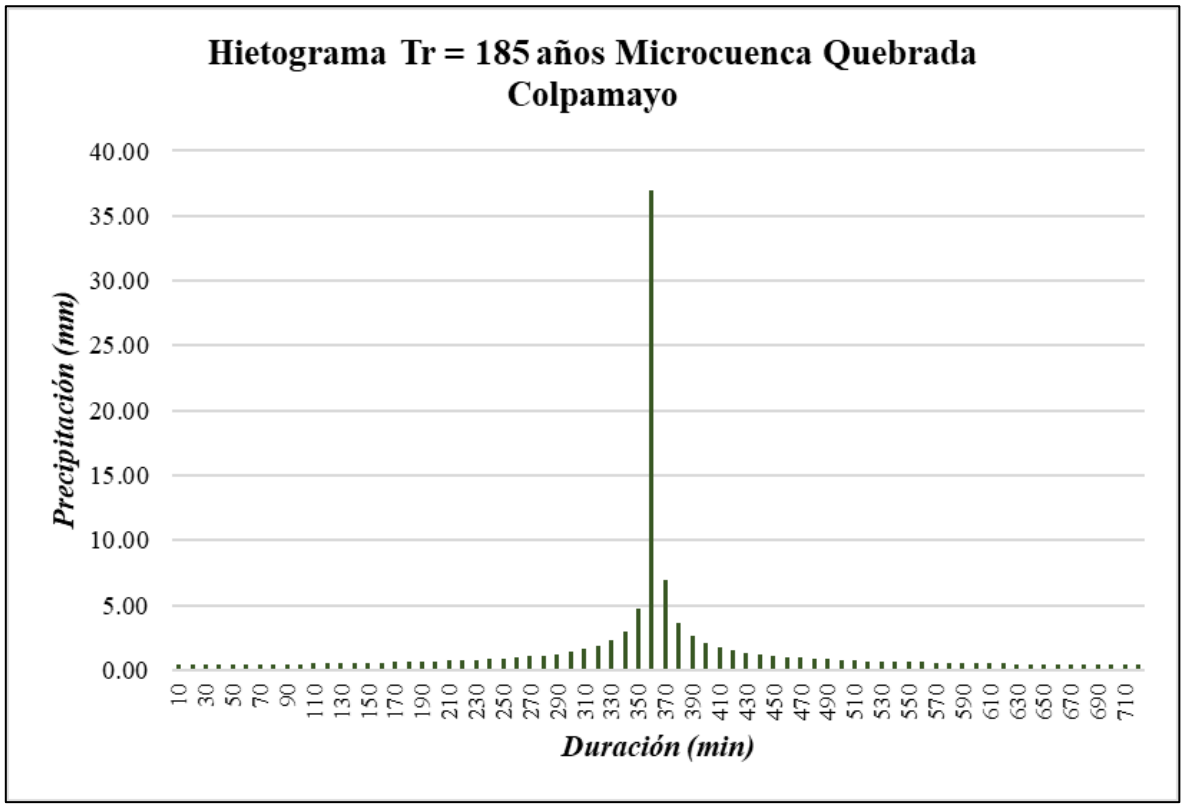
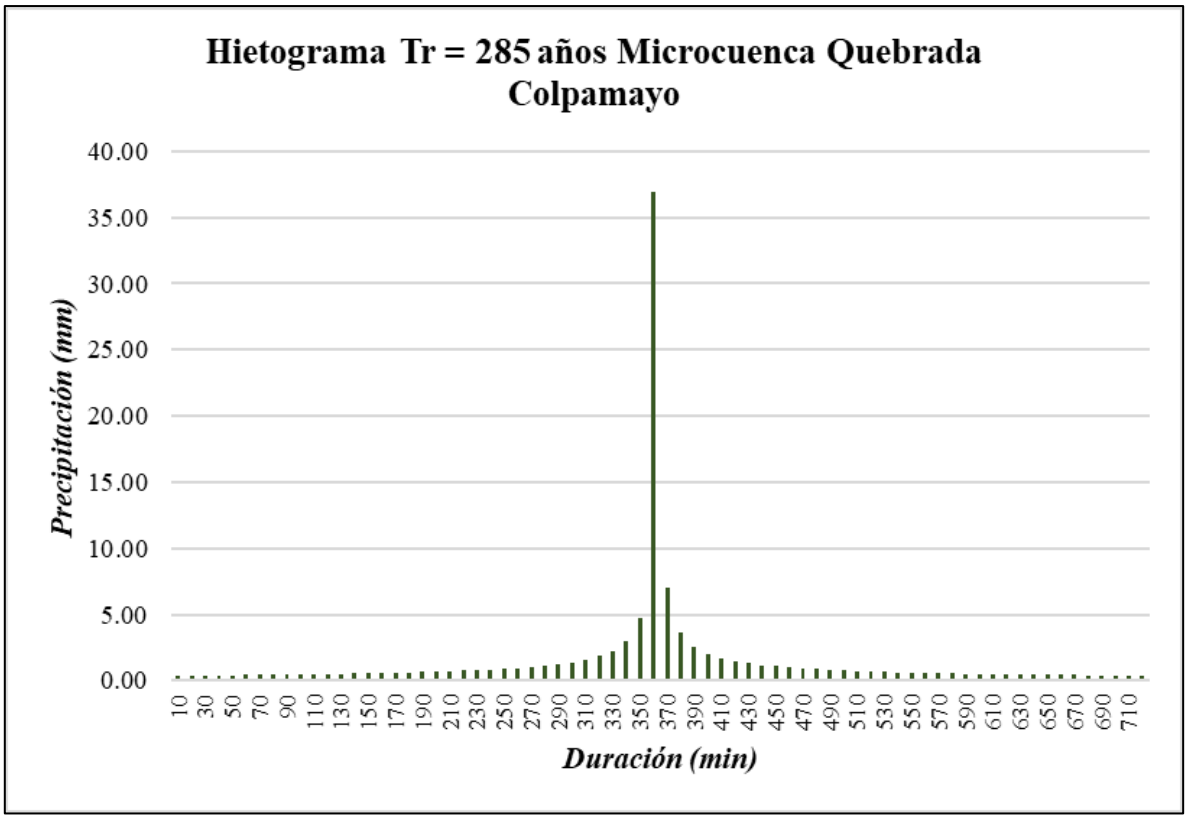


Figura 81. *Hietograma de la microcuenca de la quebrada S/N para Tr = 285 años.*



Anexo 5. Modelamiento Hidrológico en HEC-HMS 4.12.

Figura 82. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca del río Chotano para un Tr = 50 años.*

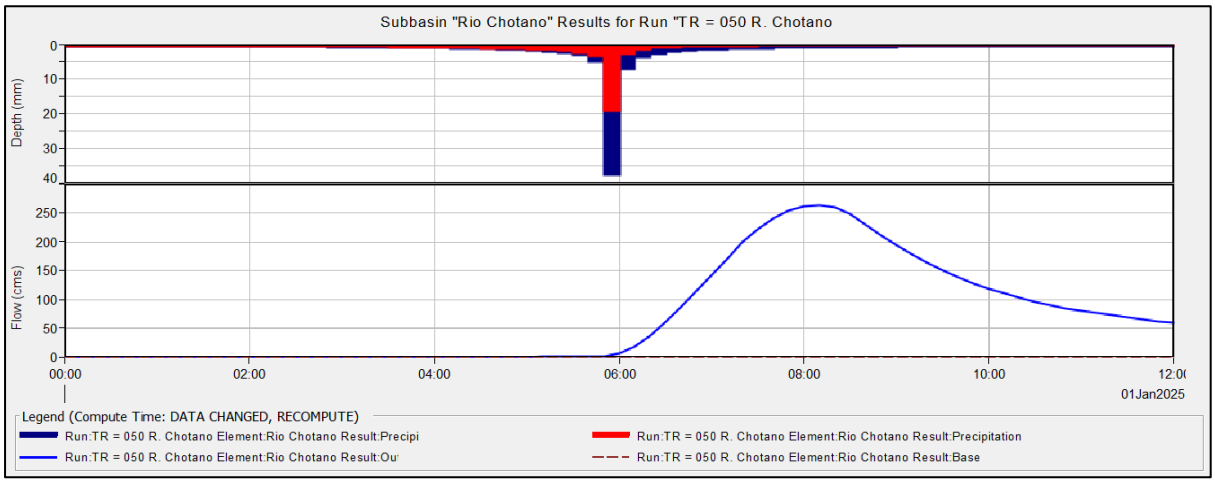


Figura 83. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca del río Chotano para un Tr = 100 años.*

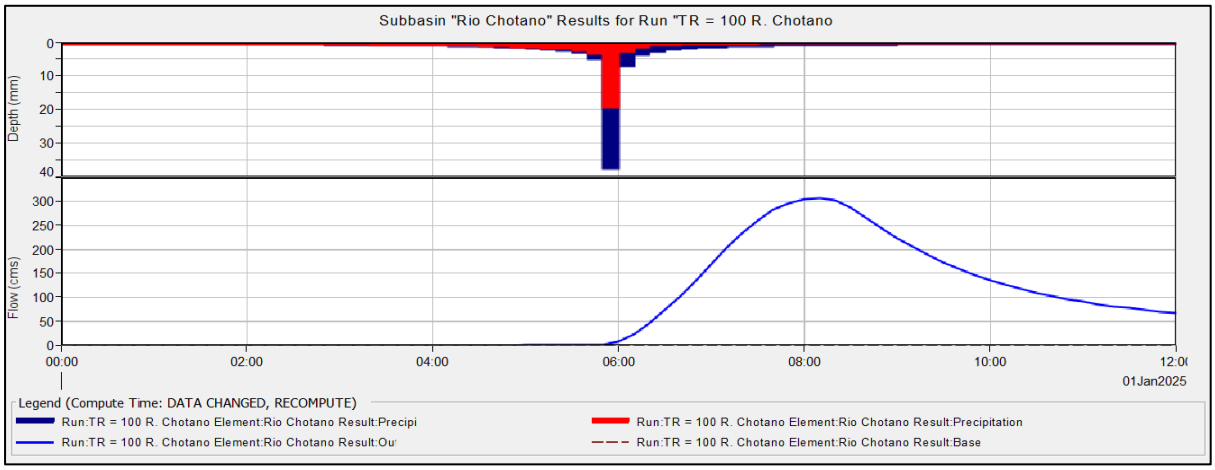


Figura 84. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca del río Chotano para un Tr = 135 años.*

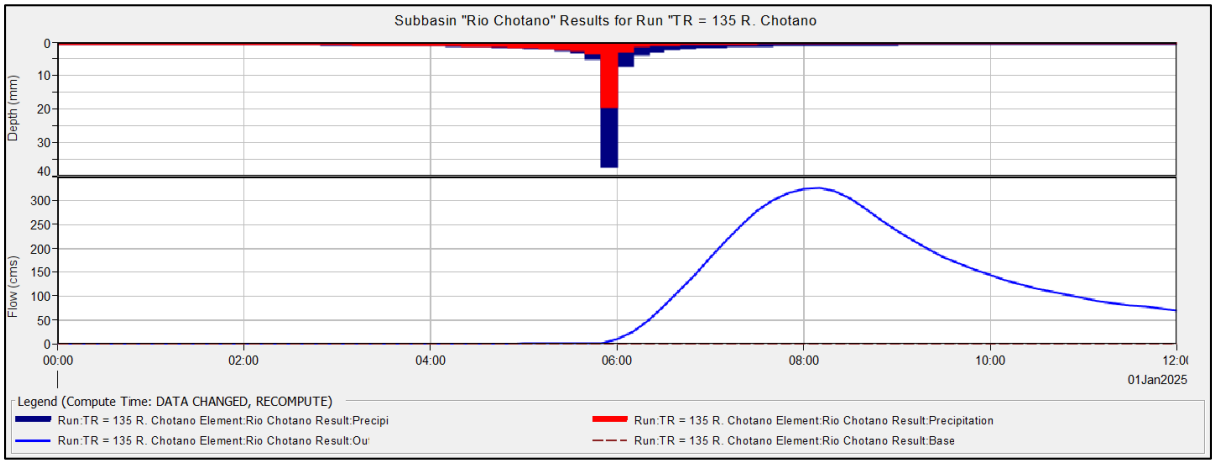


Figura 85. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca del río Chotano para un Tr = 185 años.*

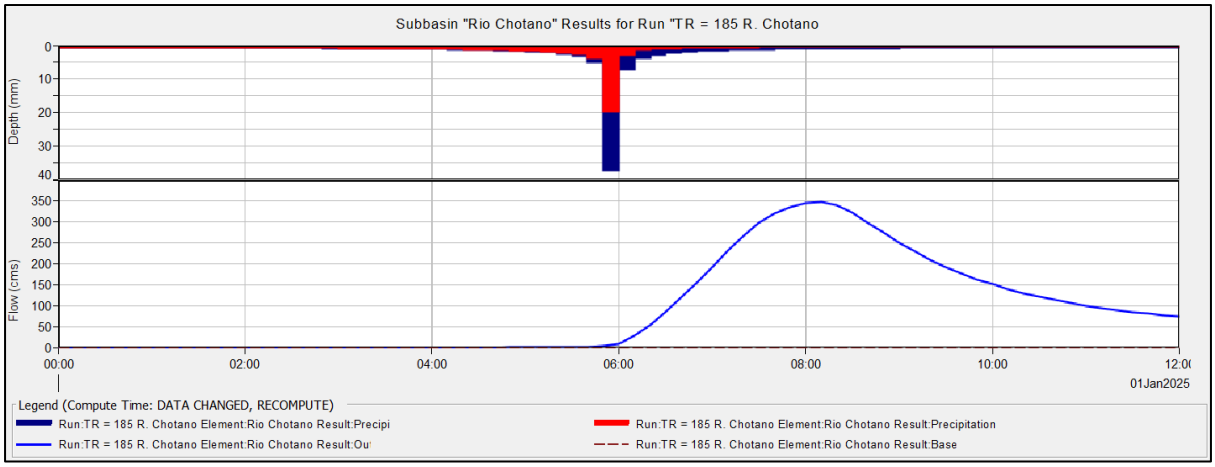


Figura 86. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca del río Chotano para un Tr = 285 años.*

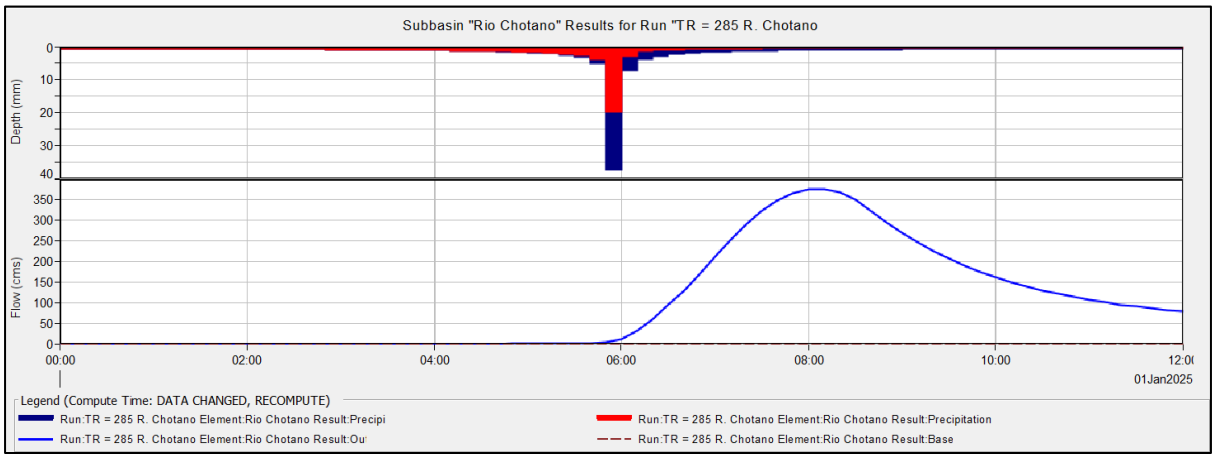


Figura 87. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada S/N para un Tr = 50 años.*

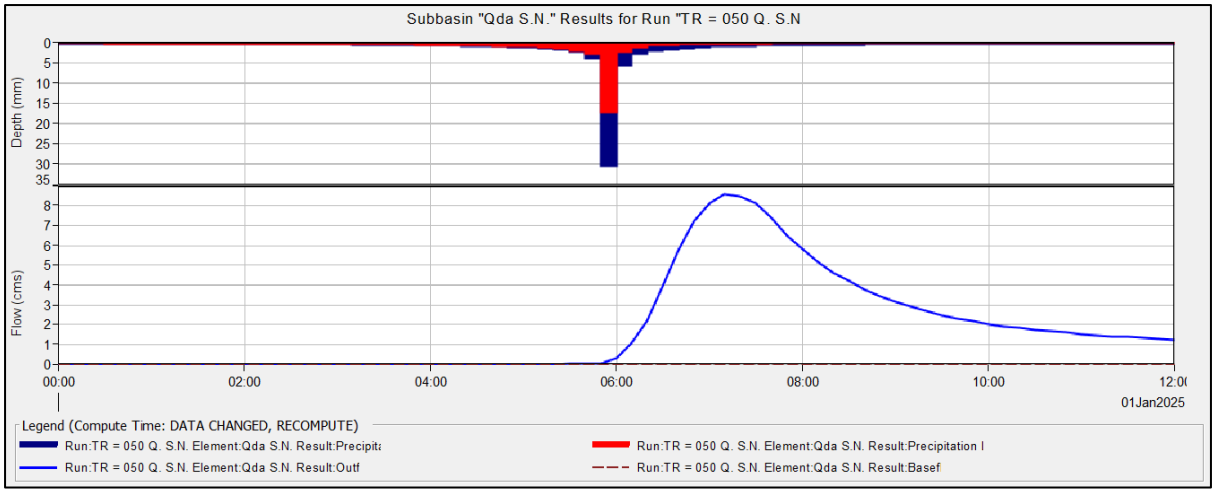


Figura 88. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada S/N para un Tr = 100 años.*

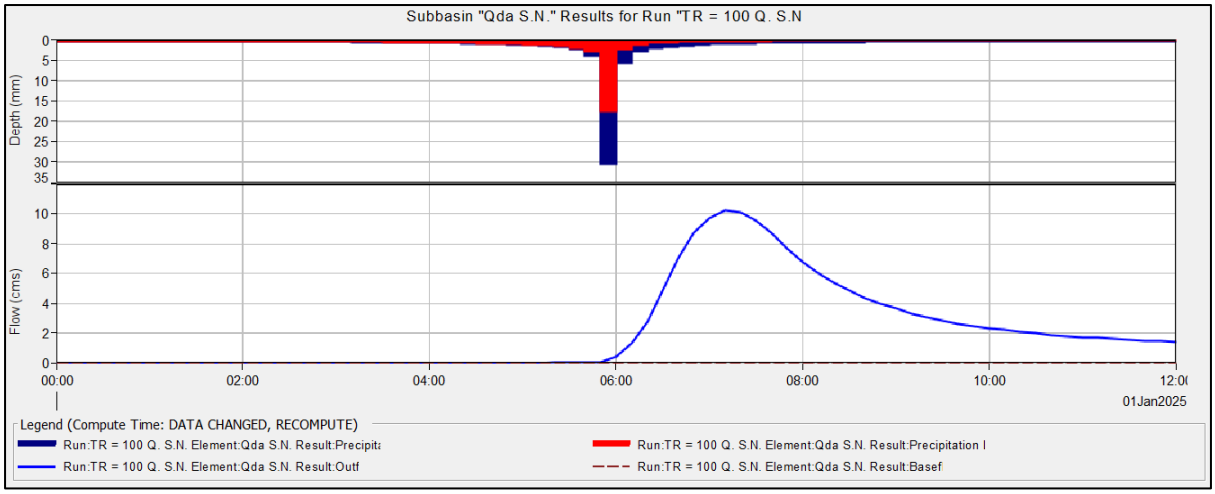


Figura 89. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada S/N para un Tr = 135 años.*

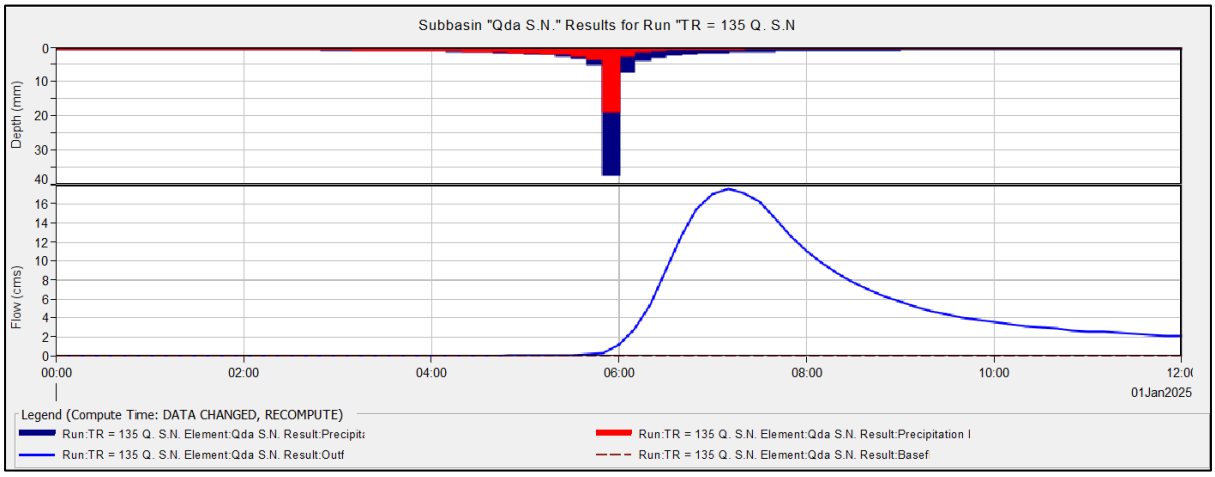


Figura 90. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada S/N para un Tr = 185 años.*

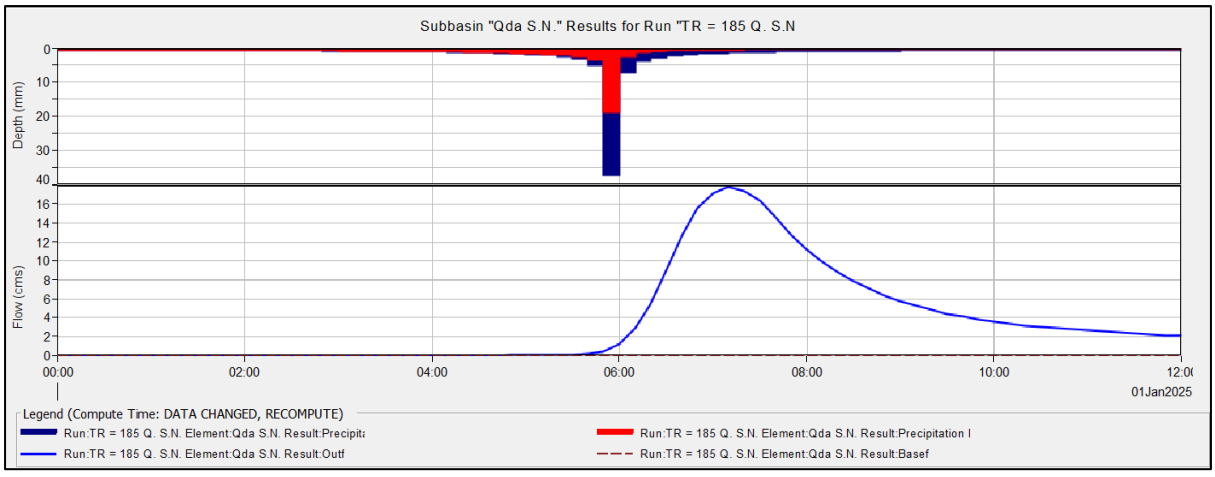


Figura 91. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada S/N para un Tr = 285 años.*

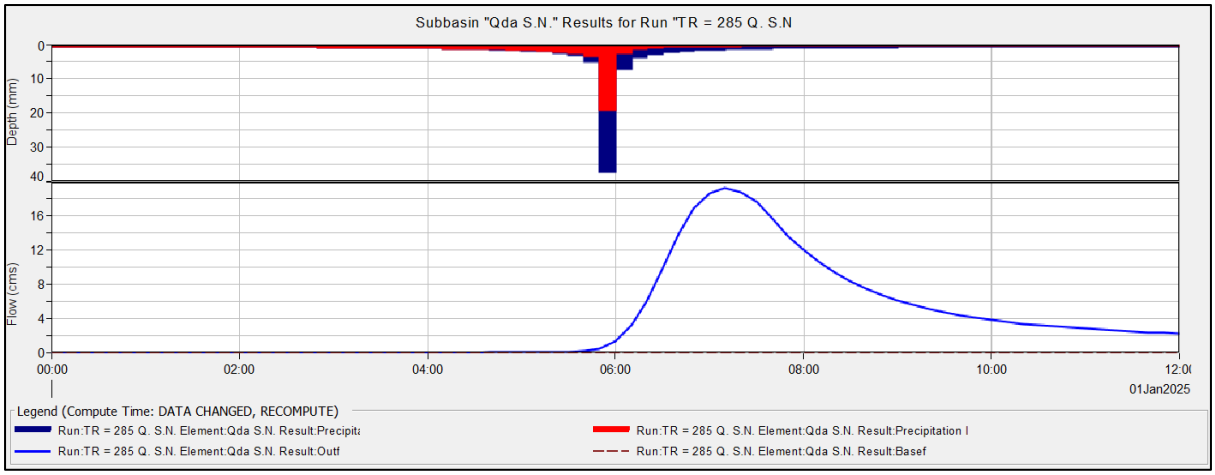


Figura 92. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para un Tr = 50 años.*

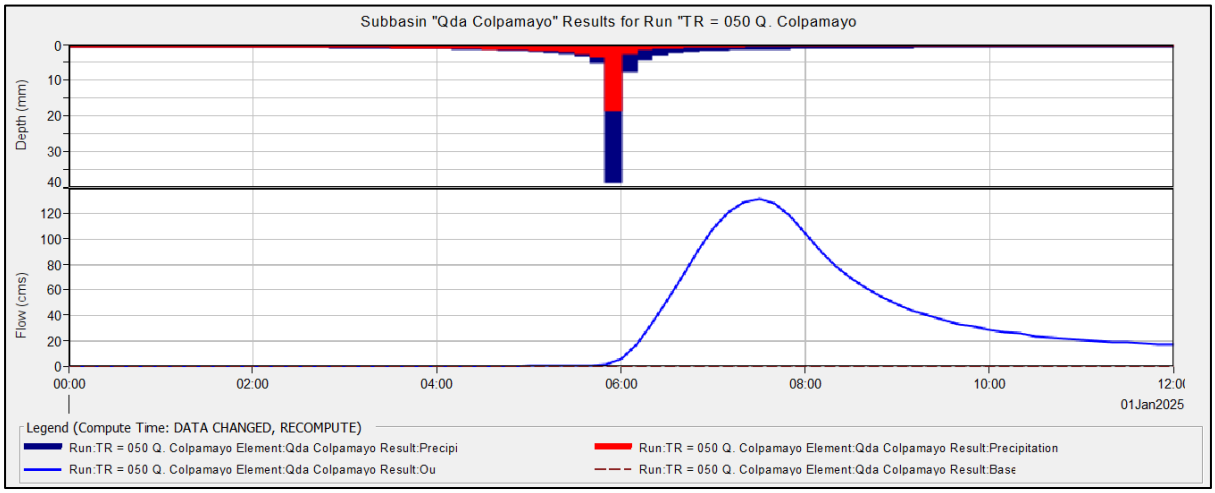


Figura 93. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para un Tr = 100 años.*

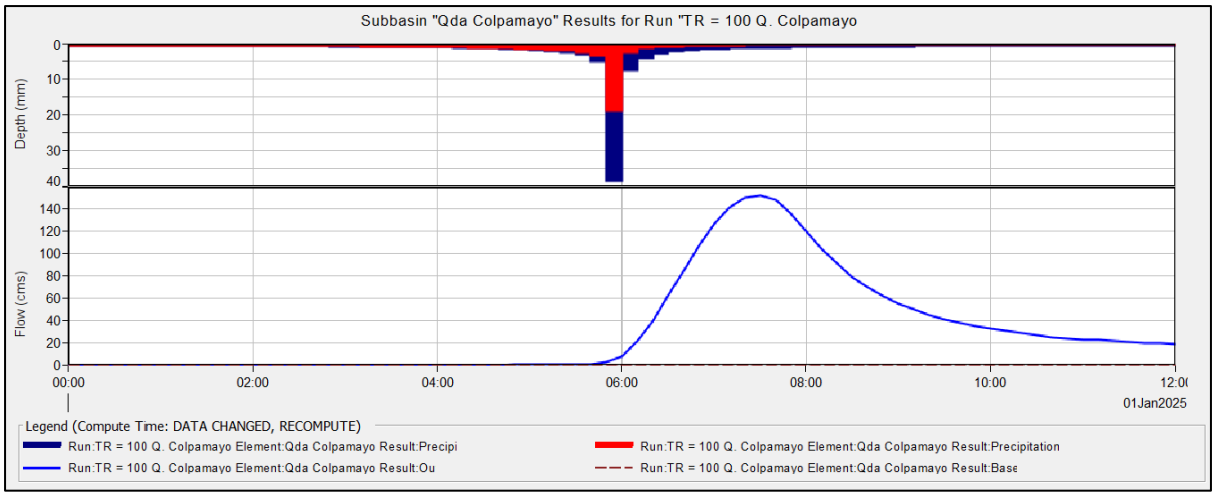


Figura 94. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para un Tr = 135 años.*

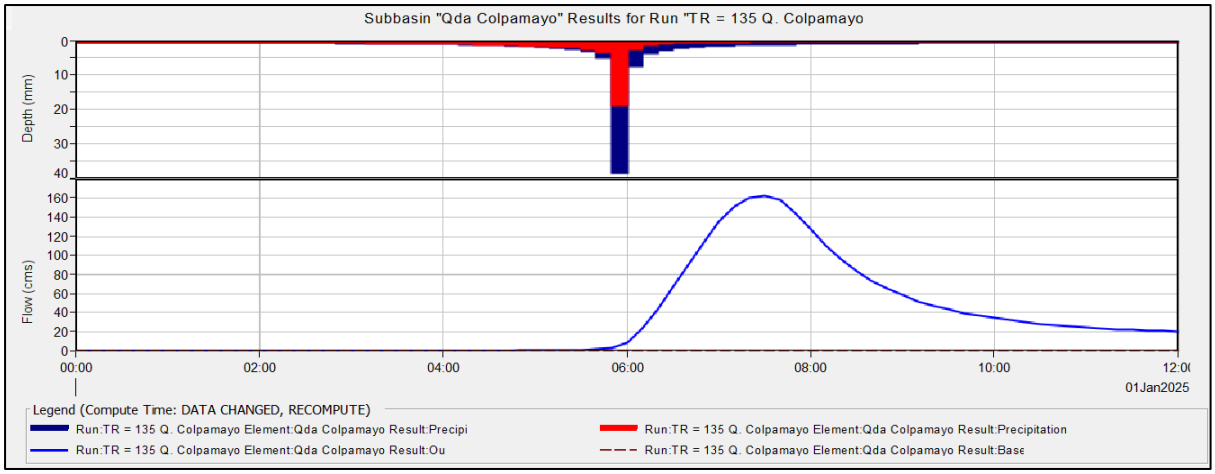


Figura 95. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para un Tr = 185 años.*

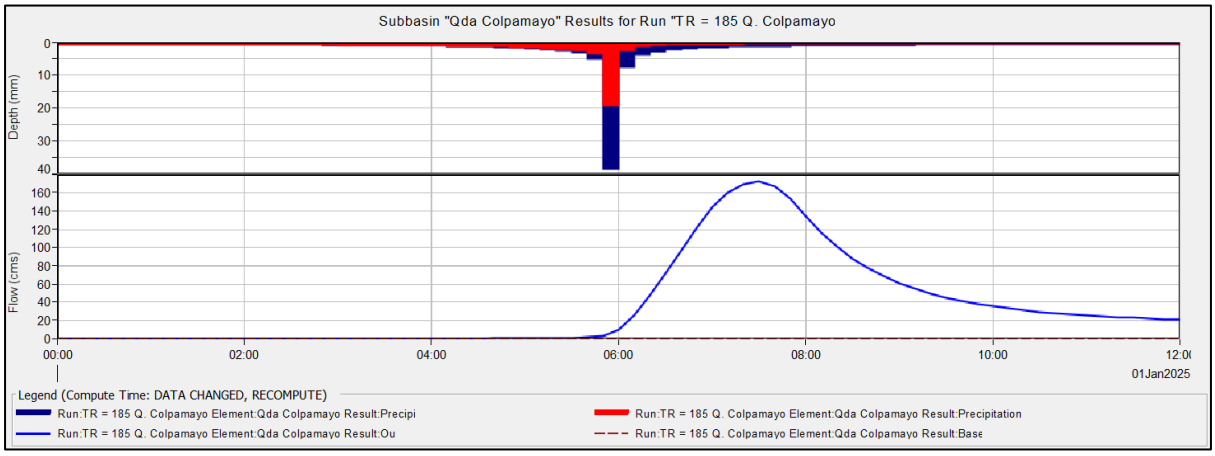


Figura 96. *Relación de hietograma e hidrograma de la microcuenca de la quebrada Colpamayo para un Tr = 285 años.*

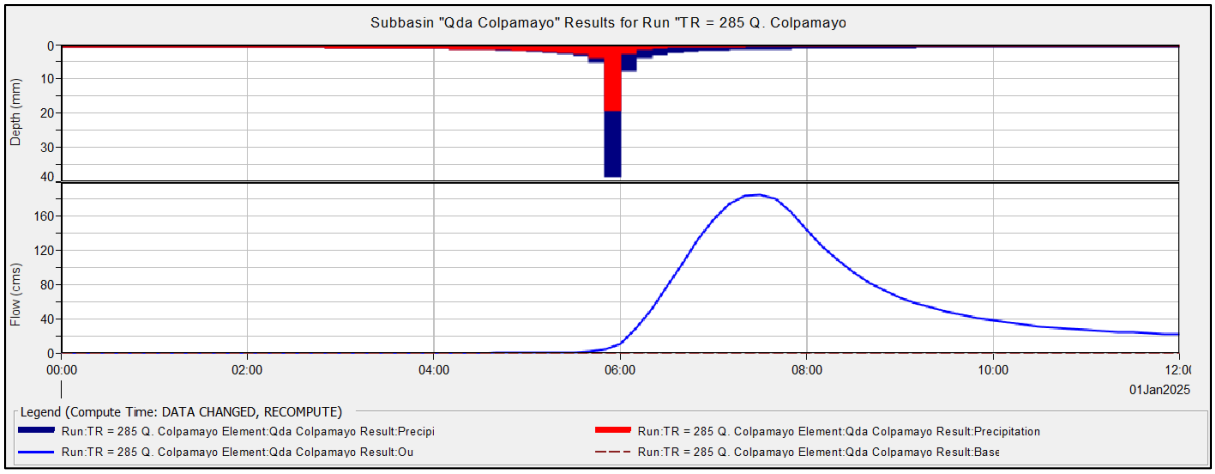


Tabla 53. *Hidrogramas para las microcuencas del río Chotano, quebrada S/N y quebrada Colpamayo.*

Hora	Caudal en m³/s del Río Chotano según el periodo de retorno					Caudal en m³/s de la quebrada S/N según el periodo de retorno					Caudal en m³/s de la quebrada Colpamayo según el periodo de retorno				
	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 135 años	Tr = 185 años	Tr = 285 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 135 años	Tr = 185 años	Tr = 285 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 135 años	Tr = 185 años	Tr = 285 años
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02
5:00	0	0	0	0.01	0.03	0	0	0	0	0.01	0	0.01	0.02	0.04	0.09
5:10	0	0.01	0.03	0.06	0.13	0	0	0.01	0.01	0.02	0.01	0.05	0.09	0.15	0.25
5:20	0.02	0.08	0.13	0.21	0.36	0	0	0.03	0.04	0.06	0.05	0.18	0.26	0.37	0.57
5:30	0.09	0.27	0.39	0.56	0.84	0	0	0.08	0.08	0.12	0.19	0.45	0.61	0.81	1.15
5:40	0.33	0.73	0.97	1.27	1.76	0	0.01	0.17	0.17	0.23	0.52	1	1.27	1.6	2.12
5:50	0.97	1.74	2.17	2.68	3.5	0.02	0.04	0.33	0.34	0.43	1.24	2.07	2.51	3.03	3.82
6:00	5.94	7.93	8.92	10.05	11.74	0.33	0.44	1.15	1.16	1.35	5.9	7.79	8.71	9.73	11.24
6:10	18.71	23.29	25.45	27.84	31.3	1.06	1.33	2.83	2.86	3.2	17.27	21.3	23.17	25.21	28.13
6:20	37.59	45.78	49.55	53.66	59.53	2.21	2.72	5.33	5.39	5.95	33.25	40.12	43.24	46.6	51.36
6:30	60.47	72.88	78.52	84.63	93.3	3.91	4.77	8.9	8.99	9.84	51.64	61.63	66.12	70.93	77.69
6:40	86.05	103.06	110.73	119.01	130.7	5.75	6.96	12.62	12.75	13.89	71.16	84.34	90.23	96.5	105.3
6:50	113.46	135.27	145.06	155.6	170.42	7.22	8.68	15.44	15.58	16.93	90.82	107.08	114.31	122	132.75
7:00	142.02	168.71	180.66	193.48	211.47	8.11	9.71	17.01	17.17	18.62	108.29	127.15	135.5	144.37	156.74
7:10	171.02	202.54	216.61	231.68	252.78	8.56	10.2	17.64	17.8	19.28	121.17	141.76	150.86	160.52	173.96
7:20	198.33	234.25	250.25	267.35	291.25	8.47	10.06	17.19	17.34	18.75	128.87	150.3	159.75	169.77	183.7
7:30	221.54	261.03	278.57	297.3	323.44	8.1	9.58	16.21	16.35	17.65	131.38	152.77	162.19	172.17	186.04
7:40	239.83	281.93	300.59	320.5	348.25	7.39	8.71	14.57	14.69	15.84	128.31	148.77	157.76	167.29	180.51
7:50	253	296.76	316.13	336.76	365.5	6.5	7.63	12.62	12.73	13.7	118.26	136.7	144.8	153.37	165.26
8:00	260.94	305.41	325.06	345.97	375.08	5.78	6.76	11.09	11.18	12.02	104.09	119.95	126.91	134.27	144.47
8:10	263.36	307.56	327.07	347.82	376.67	5.15	6.01	9.78	9.86	10.59	90.67	104.2	110.12	116.38	125.06
8:20	259.47	302.33	321.23	341.31	369.22	4.64	5.39	8.71	8.78	9.42	79.06	90.62	95.67	101.01	108.41
8:30	247.29	287.46	305.15	323.93	350.03	4.19	4.86	7.79	7.86	8.42	69.24	79.17	83.5	88.09	94.43
8:40	229.44	266.08	282.2	299.3	323.06	3.78	4.38	6.97	7.02	7.52	61.02	69.61	73.35	77.31	82.78
8:50	211.12	244.3	258.89	274.36	295.83	3.44	3.97	6.27	6.32	6.77	54.15	61.64	64.91	68.35	73.11
9:00	193.85	223.86	237.04	251.01	270.4	3.15	3.62	5.69	5.74	6.14	48.43	55.01	57.88	60.91	65.09
9:10	177.95	205.1	217.03	229.65	247.16	2.89	3.32	5.19	5.22	5.58	43.65	49.49	52.03	54.71	58.41
9:20	163.5	188.11	198.9	210.32	226.17	2.66	3.06	4.75	4.78	5.11	39.64	44.87	47.15	49.54	52.85
9:30	150.46	172.8	182.6	192.95	207.31	2.47	2.83	4.37	4.41	4.7	36.28	41	43.05	45.21	48.18
9:40	138.74	159.08	167.98	177.39	190.45	2.31	2.64	4.06	4.09	4.36	33.43	37.72	39.59	41.55	44.25
9:50	128.24	146.8	154.92	163.5	175.39	2.16	2.47	3.78	3.81	4.06	31.01	34.95	36.65	38.45	40.93

10:00	118.85	135.83	143.26	151.1	161.98	2.03	2.32	3.54	3.56	3.8	28.93	32.57	34.15	35.81	38.09
10:10	110.44	126.04	132.86	140.05	150.02	1.92	2.19	3.33	3.35	3.57	27.14	30.52	31.98	33.53	35.64
10:20	102.93	117.3	123.58	130.19	139.37	1.82	2.07	3.14	3.16	3.37	25.57	28.72	30.09	31.52	33.5
10:30	96.21	109.49	115.29	121.4	129.87	1.73	1.97	2.98	3	3.19	23.51	26.35	27.59	28.88	30.66
10:40	90.2	102.52	107.89	113.55	121.4	1.66	1.88	2.84	2.86	3.04	22.33	25.02	26.18	27.41	29.09
10:50	84.81	96.28	101.28	106.54	113.84	1.59	1.8	2.71	2.73	2.9	21.37	23.94	25.05	26.22	27.83
11:00	79.98	90.68	95.35	100.26	107.07	1.52	1.73	2.6	2.61	2.78	20.54	23	24.07	25.19	26.73
11:10	75.63	85.67	90.04	94.63	101.01	1.47	1.66	2.49	2.51	2.66	19.8	22.17	23.19	24.27	25.74
11:20	71.73	81.16	85.26	89.58	95.57	1.41	1.6	2.39	2.41	2.56	19.13	21.41	22.4	23.43	24.86
11:30	68.2	77.1	80.96	85.03	90.68	1.36	1.54	2.3	2.31	2.46	18.52	20.72	21.67	22.67	24.05
11:40	65.01	73.43	77.08	80.93	86.26	1.31	1.49	2.21	2.23	2.36	17.95	20.09	21.01	21.98	23.31
11:50	62.13	70.11	73.57	77.21	82.27	1.27	1.44	2.13	2.15	2.28	17.43	19.5	20.4	21.33	22.62
12:00	59.5	67.09	70.37	73.84	78.64	1.23	1.39	2.07	2.08	2.21	16.95	18.96	19.83	20.74	21.99
Q máximo m^3/s =	**263.36**	**307.56**	**327.07**	**347.82**	**376.67**	**8.56**	**10.2**	**17.64**	**17.8**	**19.28**	**131.38**	**152.77**	**162.19**	**172.17**	**186.04**

Anexo 6. Datos obtenidos para la calibración del modelo matemático.

Tabla 54. *Datos de sección transversal escogida en campo para calibración del modelado.*

Profundidad de agua "hi" (m)		Tramo de Sección Transversal	Área "A" (m2)	Perímetro mojado "Pm" (m)	Coeficiente de Manning "n"	Pendiente "S" (m/m)	Caudal "qi" (m3/s)
h_1 =	0.207	1	0.052	0.541	0.0983	0.0277	0.0185
h_2 =	0.349	2	0.149	0.526	0.0983	0.0277	0.1088
h_3 =	0.401	3	0.189	0.502	0.0983	0.0277	0.1668
h_4 =	0.459	4	0.220	0.503	0.0983	0.0277	0.2146
h_5 =	0.474	5	0.223	0.500	0.0983	0.0277	0.2204
h_6 =	0.527	6	0.025	0.503	0.0983	0.0277	0.0057
h_7 =	0.575	7	0.276	0.502	0.0983	0.0277	0.3136
h_8 =	0.615	8	0.297	0.501	0.0983	0.0277	0.3549
h_9 =	0.671	9	0.319	0.504	0.0983	0.0277	0.3982
h_{10} =	0.743	10	0.355	0.505	0.0983	0.0277	0.4752
h_{11} =	0.776	11	0.380	0.501	0.0983	0.0277	0.5351
h_{12} =	0.810	12	0.397	0.501	0.0983	0.0277	0.5756
h_{13} =	0.811	13	0.407	0.500	0.0983	0.0277	0.6008
h_{14} =	0.811	14	0.405	0.500	0.0983	0.0277	0.5958
h_{15} =	0.841	15	0.412	0.501	0.0983	0.0277	0.6123
h_{16} =	0.874	16	0.429	0.501	0.0983	0.0277	0.6550
h_{17} =	0.878	17	0.440	0.502	0.0983	0.0277	0.6823
h_{18} =	0.875	18	0.437	0.500	0.0983	0.0277	0.6764
h_{19} =	0.896	19	0.443	0.500	0.0983	0.0277	0.6919
h_{20} =	0.917	20	0.453	0.501	0.0983	0.0277	0.7172
h_{21} =	0.937	21	0.463	0.500	0.0983	0.0277	0.7447
h_{22} =	0.952	22	0.473	0.501	0.0983	0.0277	0.7707
h_{23} =	0.954	23	0.476	0.501	0.0983	0.0277	0.7789
h_{24} =	0.968	24	0.481	0.500	0.0983	0.0277	0.7936
h_{25} =	0.983	25	0.488	0.501	0.0983	0.0277	0.8119
h_{26} =	0.997	26	0.495	0.500	0.0983	0.0277	0.8325
h_{27} =	1.012	27	0.502	0.500	0.0983	0.0277	0.8522
h_{28} =	1.031	28	0.510	0.502	0.0983	0.0277	0.8726
h_{29} =	1.090	29	0.528	0.504	0.0983	0.0277	0.9221
h_{30} =	1.158	30	0.562	0.505	0.0983	0.0277	1.0218
h_{31} =	1.131	31	0.574	0.502	0.0983	0.0277	1.0627
h_{32} =	1.107	32	0.559	0.501	0.0983	0.0277	1.0182
h_{33} =	1.098	33	0.550	0.501	0.0983	0.0277	0.9910
h_{34} =	1.096	34	0.549	0.500	0.0983	0.0277	0.9893
h_{35} =	1.096	35	0.548	0.503	0.0983	0.0277	0.9824
h_{36} =	1.111	36	0.550	0.501	0.0983	0.0277	0.9910
h_{37} =	1.149	37	0.565	0.502	0.0983	0.0277	1.0351
h_{38} =	1.163	38	0.580	0.501	0.0983	0.0277	1.0827
h_{39} =	1.163	39	0.582	0.500	0.0983	0.0277	1.0904
h_{40} =	1.140	40	0.579	0.502	0.0983	0.0277	1.0782
h_{41} =	1.085	41	0.556	0.503	0.0983	0.0277	1.0064
h_{42} =	1.078	42	0.537	0.501	0.0983	0.0277	0.9523
h_{43} =	1.098	43	0.544	0.501	0.0983	0.0277	0.9730
h_{44} =	1.091	44	0.548	0.500	0.0983	0.0277	0.9863
h_{45} =	1.082	45	0.543	0.501	0.0983	0.0277	0.9701
h_{46} =	1.068	46	0.538	0.500	0.0983	0.0277	0.9565
h_{47} =	1.056	47	0.530	0.501	0.0983	0.0277	0.9317
h_{48} =	1.068	48	0.529	0.500	0.0983	0.0277	0.9300

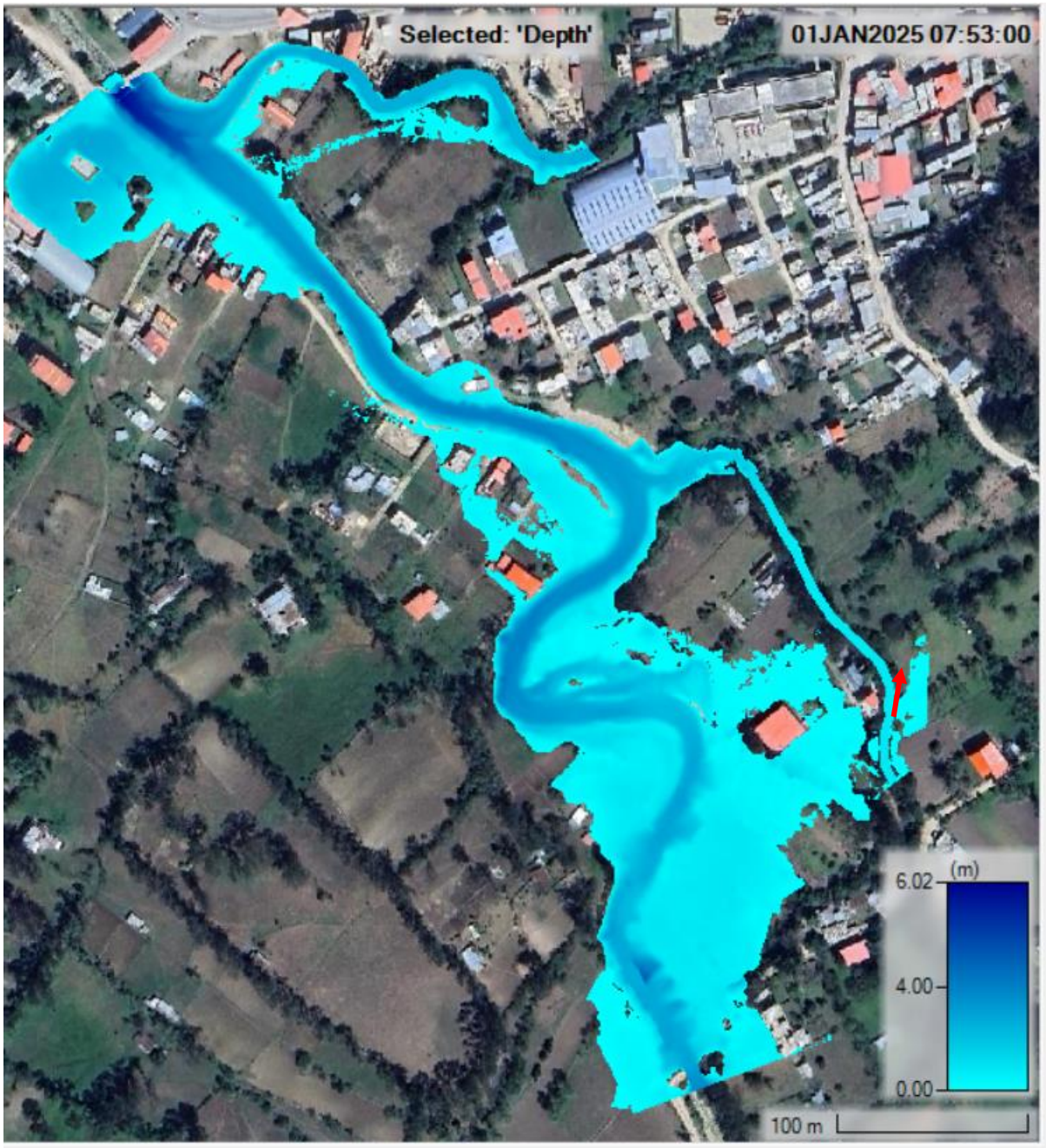
h_{49} =	1.104	49	0.543	0.501	0.0983	0.0277	0.9701
h_{50} =	1.079	50	0.553	0.505	0.0983	0.0277	0.9947
h_{51} =	1.000	51	0.520	0.506	0.0983	0.0277	0.8966
h_{52} =	0.894	52	0.474	0.512	0.0983	0.0277	0.7623
h_{53} =	0.885	53	0.443	0.501	0.0983	0.0277	0.6910
h_{54} =	0.906	54	0.444	0.501	0.0983	0.0277	0.6936
h_{55} =	0.946	55	0.467	0.503	0.0983	0.0277	0.7525
h_{56} =	0.949	56	0.475	0.500	0.0983	0.0277	0.7772
h_{57} =	0.937	57	0.474	0.500	0.0983	0.0277	0.7745
h_{58} =	0.771	58	0.436	0.535	0.0983	0.0277	0.6441
h_{59} =	0.582	59	0.427	0.541	0.0983	0.0277	0.6174
h_{60} =	0.519	60	0.272	0.505	0.0983	0.0277	0.3049
h_{61} =	0.476	61	0.249	0.502	0.0983	0.0277	0.2642
h_{62} =	0.420	62	0.225	0.503	0.0983	0.0277	0.2228
h_{63} =	0.357	63	0.194	0.504	0.0983	0.0277	0.1738
h_{64} =	0.293	64	0.163	0.504	0.0983	0.0277	0.1300
h_{65} =	0.230	65	0.131	0.505	0.0983	0.0277	0.0902
h_{66} =	0.171	66	0.099	0.504	0.0983	0.0277	0.0566
h_{67} =	0.134	67	0.076	0.502	0.0983	0.0277	0.0366
h_{68} =	0.108	68	0.059	0.501	0.0983	0.0277	0.0240
h_{69} =	0.485	69	0.096	0.696	0.0983	0.0277	0.0434
h_{70} =	1.518	70	0.512	1.149	0.0983	0.0277	0.5057
h_{71} =	2.168	71	0.942	0.828	0.0983	0.0277	1.7381
h_{72} =	2.806	72	1.261	0.820	0.0983	0.0277	2.8445
h_{73} =	3.506	73	1.532	0.890	0.0983	0.0277	3.7256
h_{74} =	4.279	74	1.963	0.923	0.0983	0.0277	5.4965
h_{75} =	4.977	75	2.334	0.865	0.0983	0.0277	7.6591
h_{76} =	5.402	76	2.590	0.658	0.0983	0.0277	10.9321
h_{77} =	5.808	77	2.822	0.663	0.0983	0.0277	12.5489
h_{78} =	5.888	78	2.924	0.506	0.0983	0.0277	15.9422
h_{79} =	5.808	79	2.938	0.517	0.0983	0.0277	15.8409
h_{80} =	5.686	80	2.859	0.527	0.0983	0.0277	14.9452
h_{81} =	5.656	81	2.836	0.502	0.0983	0.0277	15.2310
h_{82} =	5.625	82	2.820	0.501	0.0983	0.0277	15.1081
h_{83} =	5.579	83	2.803	0.503	0.0983	0.0277	14.9169
h_{84} =	5.519	84	2.772	0.504	0.0983	0.0277	14.6236
h_{85} =	5.515	85	2.756	0.500	0.0983	0.0277	14.5603
h_{86} =	5.530	86	2.763	0.501	0.0983	0.0277	14.6026
h_{87} =	5.424	87	2.744	0.508	0.0983	0.0277	14.3027
h_{88} =	5.274	88	2.683	0.532	0.0983	0.0277	13.3592
h_{89} =	5.092	89	2.592	0.533	0.0983	0.0277	12.5968
h_{90} =	4.900	90	2.496	0.538	0.0983	0.0277	11.7554
h_{91} =	4.847	91	2.439	0.503	0.0983	0.0277	11.8303
h_{92} =	4.698	92	2.384	0.523	0.0983	0.0277	11.0967
h_{93} =	4.524	93	2.307	0.530	0.0983	0.0277	10.4131
h_{94} =	4.399	94	2.224	0.518	0.0983	0.0277	9.9470
h_{95} =	4.383	95	2.198	0.501	0.0983	0.0277	9.9733
h_{96} =	4.326	96	2.177	0.503	0.0983	0.0277	9.7890
h_{97} =	4.268	97	2.149	0.503	0.0983	0.0277	9.5801
h_{98} =	4.222	98	2.121	0.502	0.0983	0.0277	9.3854
h_{99} =	4.195	99	2.104	0.501	0.0983	0.0277	9.2727
h_{100} =	4.179	100	2.093	0.500	0.0983	0.0277	9.2043
h_{101} =	4.166	101	2.086	0.500	0.0983	0.0277	9.1530
h_{102} =	4.154	102	2.080	0.501	0.0983	0.0277	9.0970
h_{103} =	4.141	103	2.074	0.500	0.0983	0.0277	9.0654
h_{104} =	4.101	104	2.065	0.503	0.0983	0.0277	8.9641
h_{105} =	4.008	105	2.027	0.508	0.0983	0.0277	8.6338
h_{106} =	3.953	106	1.989	0.503	0.0983	0.0277	8.4210
h_{107} =	3.723	107	1.917	0.553	0.0983	0.0277	7.4343
h_{108} =	3.647	108	1.837	0.508	0.0983	0.0277	7.3276
h_{109} =	3.577	109	1.811	0.507	0.0983	0.0277	7.1649
h_{110} =	3.395	110	1.749	0.536	0.0983	0.0277	6.5147
h_{111} =	3.076	111	1.615	0.593	0.0983	0.0277	5.3326
h_{112} =	2.818	112	1.476	0.563	0.0983	0.0277	4.7514
h_{113} =	2.517	113	1.336	0.584	0.0983	0.0277	3.9273
h_{114} =	2.144	114	1.175	0.627	0.0983	0.0277	3.0239
h_{115} =	1.644	115	0.947	0.707	0.0983	0.0277	1.9483
h_{116} =	1.145	116	0.697	0.707	0.0983	0.0277	1.1689
h_{117} =	0.641	117	0.447	0.709	0.0983	0.0277	0.5565
h_{118} =	0.136	118	0.194	0.711	0.0983	0.0277	0.1382
		119	0.009	0.191	0.0983	0.0277	0.0020

Ancho de sección de río =	**59.13 m**	**Caudal total para calibración del modelo numérico en m3/s**	**481.32**

Anexo 7. Modelamiento Hidráulico en HEC RAS 6.4.1.

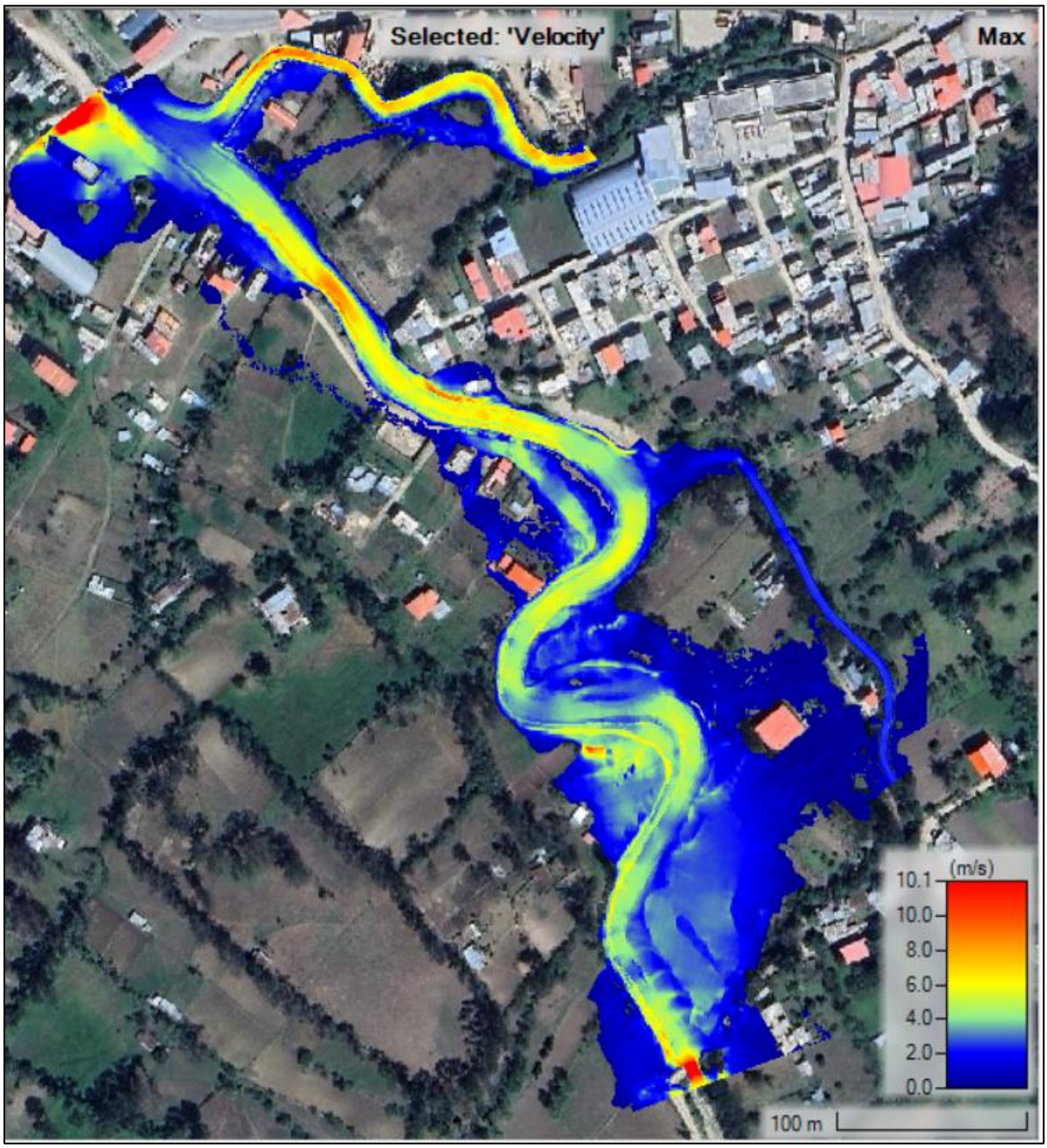
- **Escenario 1:** Periodo de retorno de 50 años:

Figura 97. *Inundación para Tr=50 años en la zona de estudio en HEC RAS 6.4.1.*



Nota: La inundación que se muestra en la imagen corresponde para el escenario para Tr=50 con 403.30 m3/s, donde el tirante máximo de la inundación se genera a la altura del puente choza con un 6.02m de altura de agua.

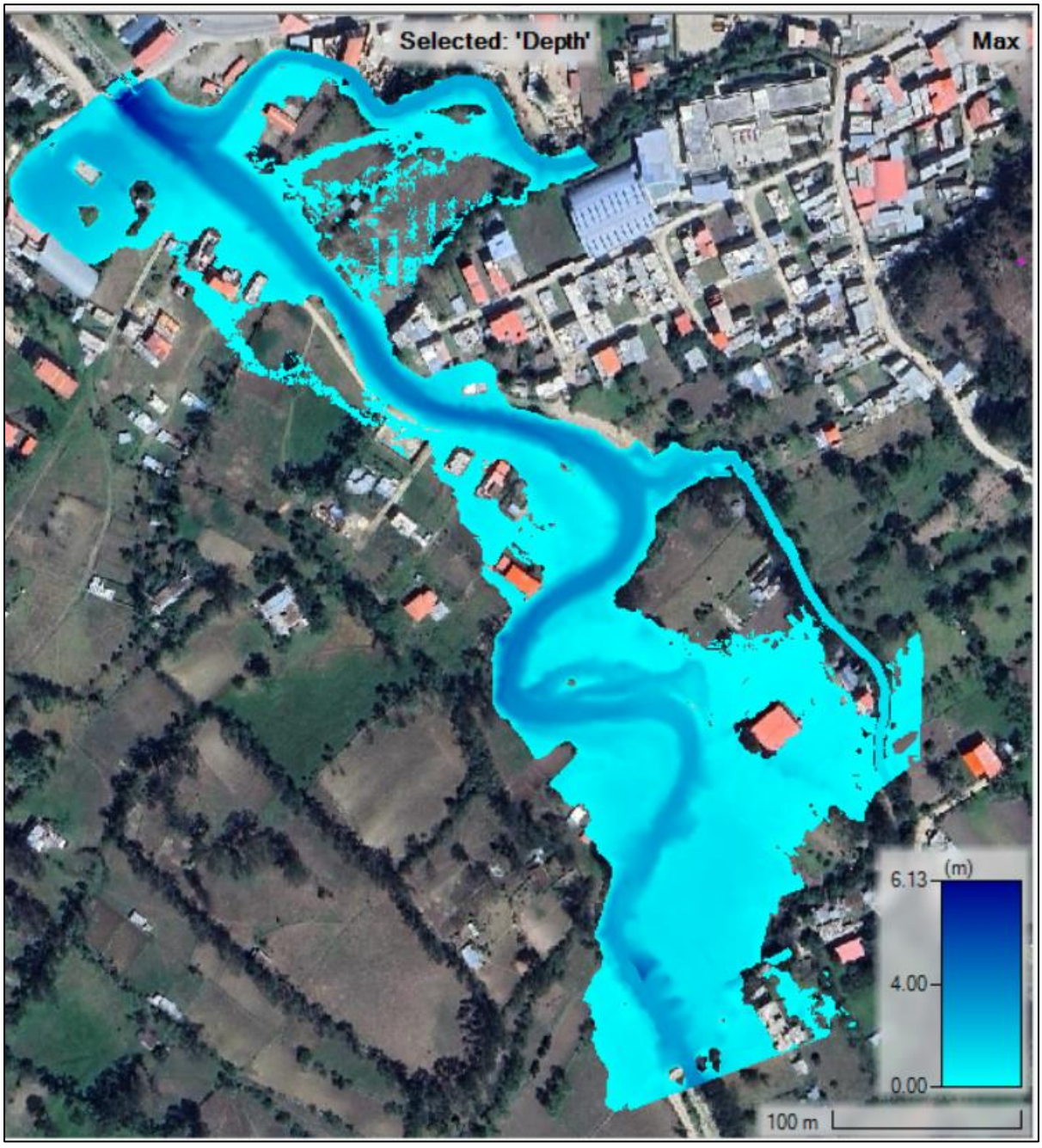
Figura 98. *Velocidades del flujo de inundación para Tr=50 años en la zona de estudio.*



Nota: Se aprecia mediante la imagen las velocidades del flujo, que corresponde a la inundación para el escenario para Tr=50 con 403.30 m3/s, donde la velocidad máxima que se calculó mediante el modelamiento hidráulico en el HEC-RAS 6.4.1 es de 10.10 m/s.

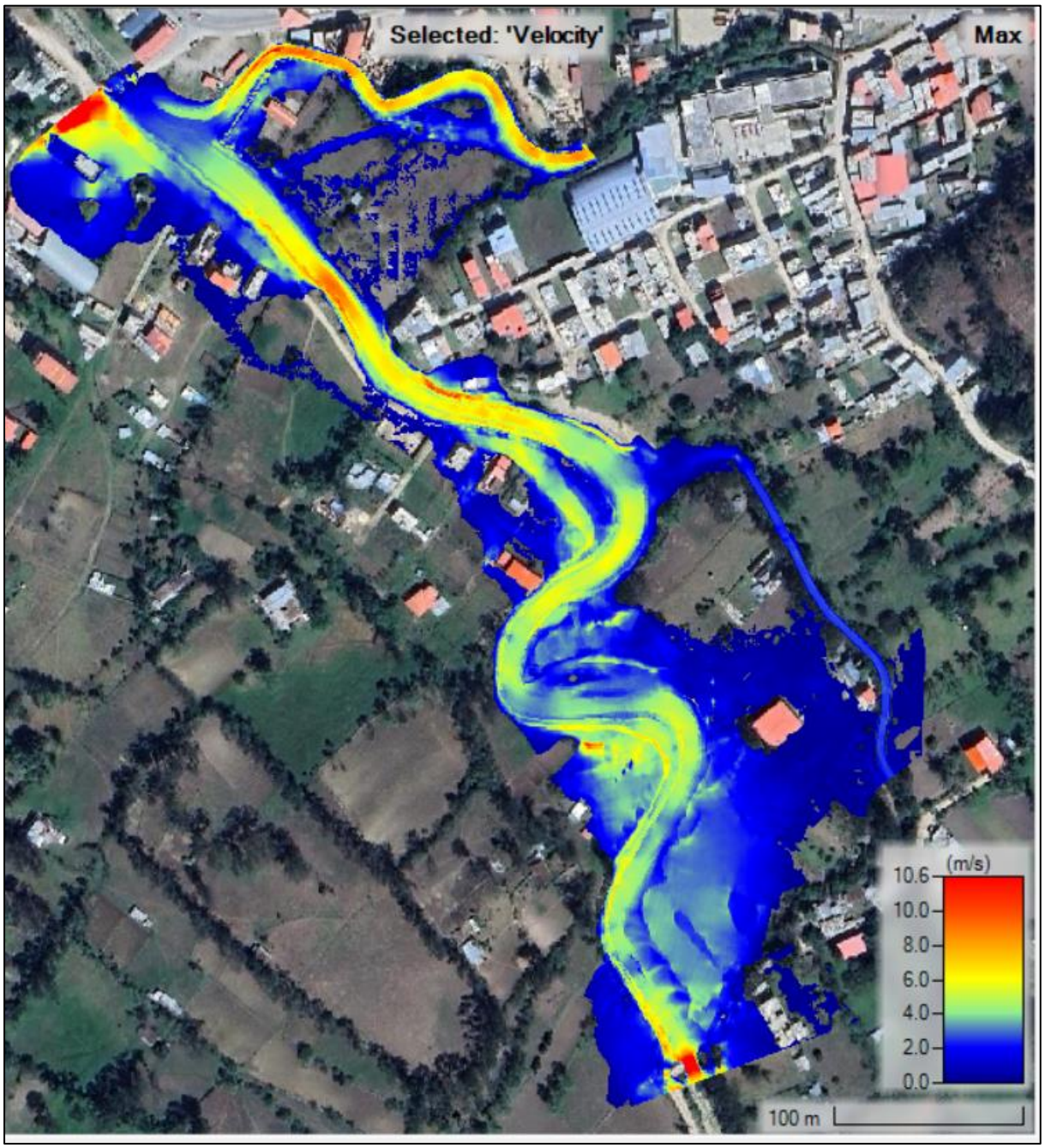
- **Escenario 2:** Periodo de retorno de 100 años:

Figura 99. *Inundación para Tr=100 años en la zona de estudio en HEC RAS 6.4.1.*



Nota: La inundación que se muestra en la imagen corresponde para el escenario para Tr=100 con 470.53 m3/s, donde el tirante máximo de la inundación se genera a la altura del puente choza con un 6.13m de altura de agua.

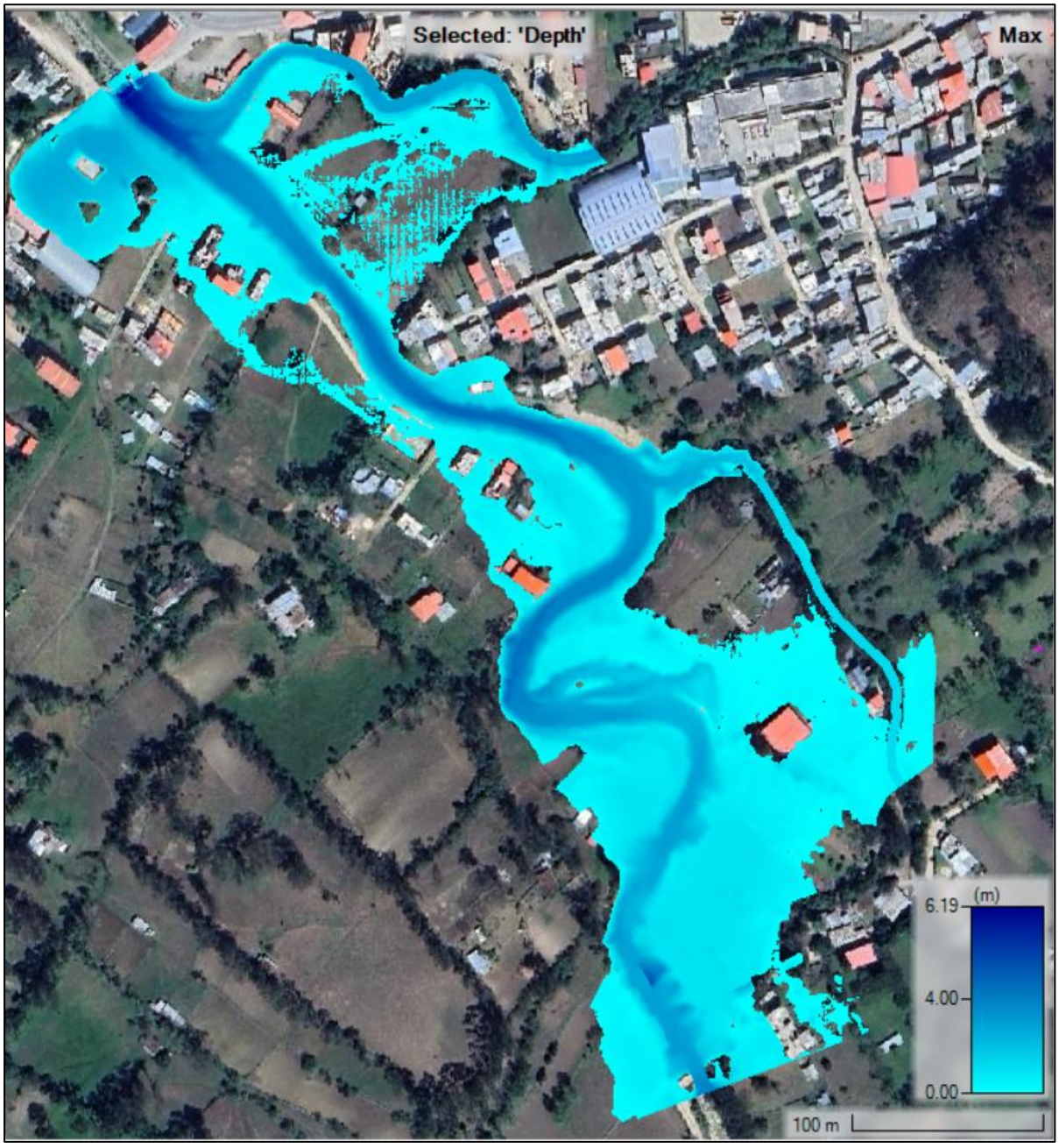
Figura 100. *Velocidades del flujo de inundación para Tr=100 años en la zona de estudio.*



Nota: Se aprecia mediante la imagen las velocidades del flujo, que corresponde a la inundación para el escenario para Tr=100 con 470.53 m3/s, donde la velocidad máxima que se calculó mediante el modelamiento hidráulico en el HEC-RAS 6.4.1 es de 10.63 m/s.

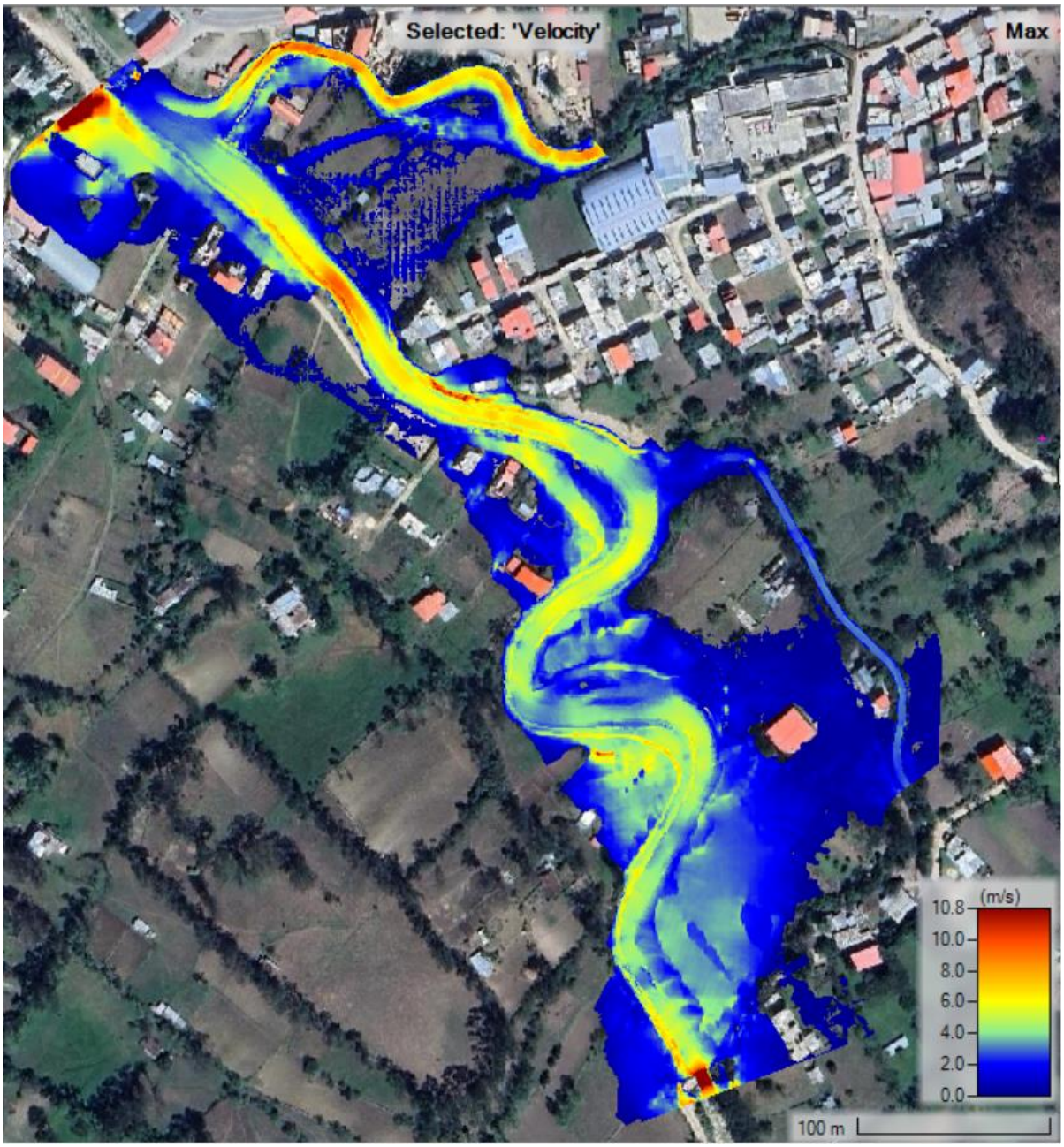
- **Escenario 3:** Periodo de retorno de 135 años:

Figura 101. *Inundación para Tr=135 años en la zona de estudio en HEC RAS 6.4.1.*



Nota: La inundación que se muestra en la imagen corresponde para el escenario para Tr=135 con 506.90 m3/s, donde el tirante máximo de la inundación se genera a la altura del puente choza con un 6.19 m de altura de agua.

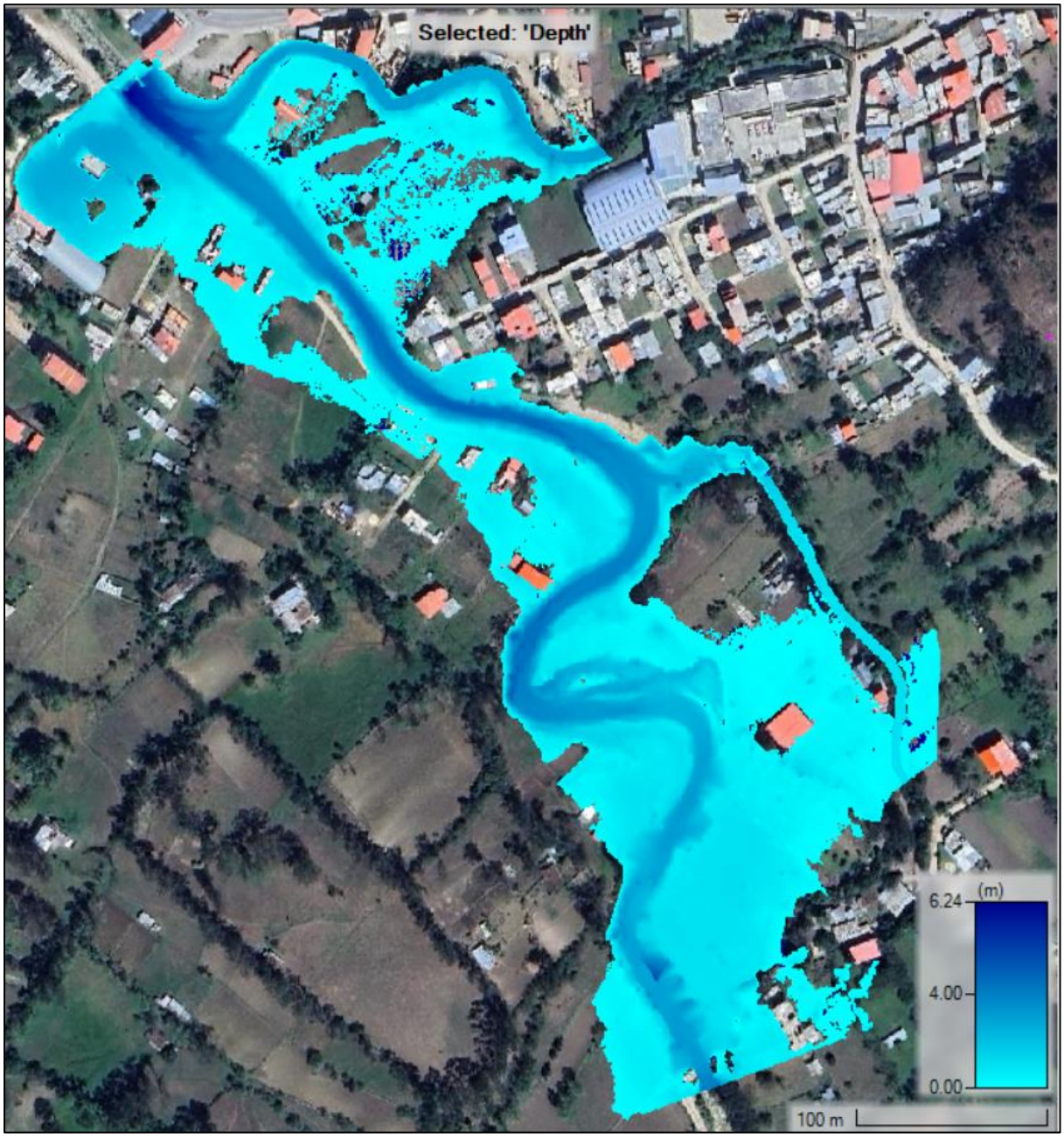
Figura 102. *Velocidades del flujo de inundación para Tr=135 años en la zona de estudio.*



Nota: Se aprecia mediante la imagen las velocidades del flujo, que corresponde a la inundación para el escenario para Tr=185 con 506.90 m3/s, donde la velocidad máxima que se calculó mediante el modelamiento hidráulico en el HEC-RAS 6.4.1 es de 10.78 m/s.

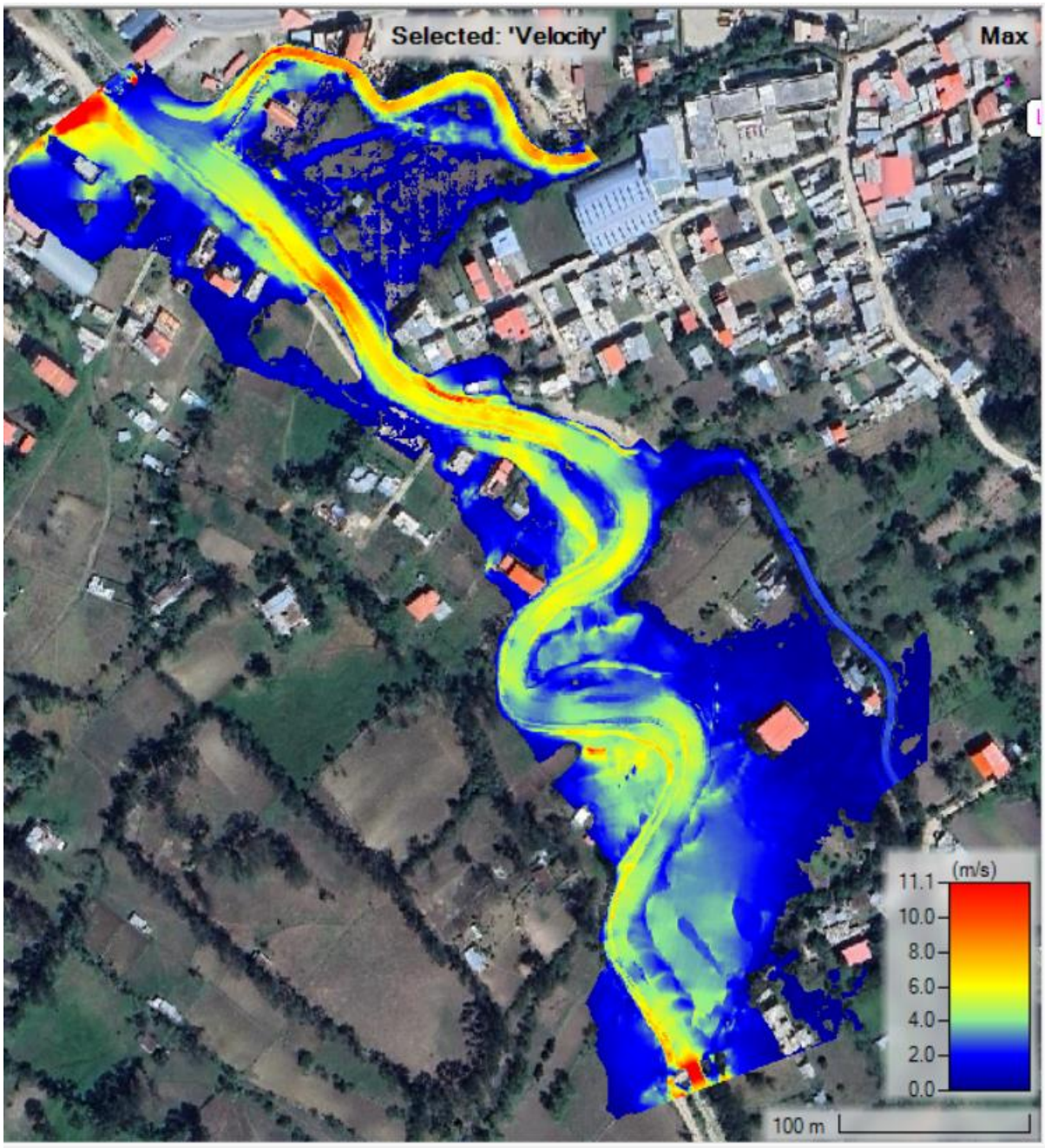
- **Escenario 4:** Periodo de retorno de 185 años:

Figura 103. *Inundación para Tr=185 años en la zona de estudio en HEC RAS 6.4.1.*



Nota: La inundación que se muestra en la imagen corresponde para el escenario para Tr=185 con 537.79 m3/s, donde el tirante máximo de la inundación se genera a la altura del puente choza con un 6.24m de altura de agua.

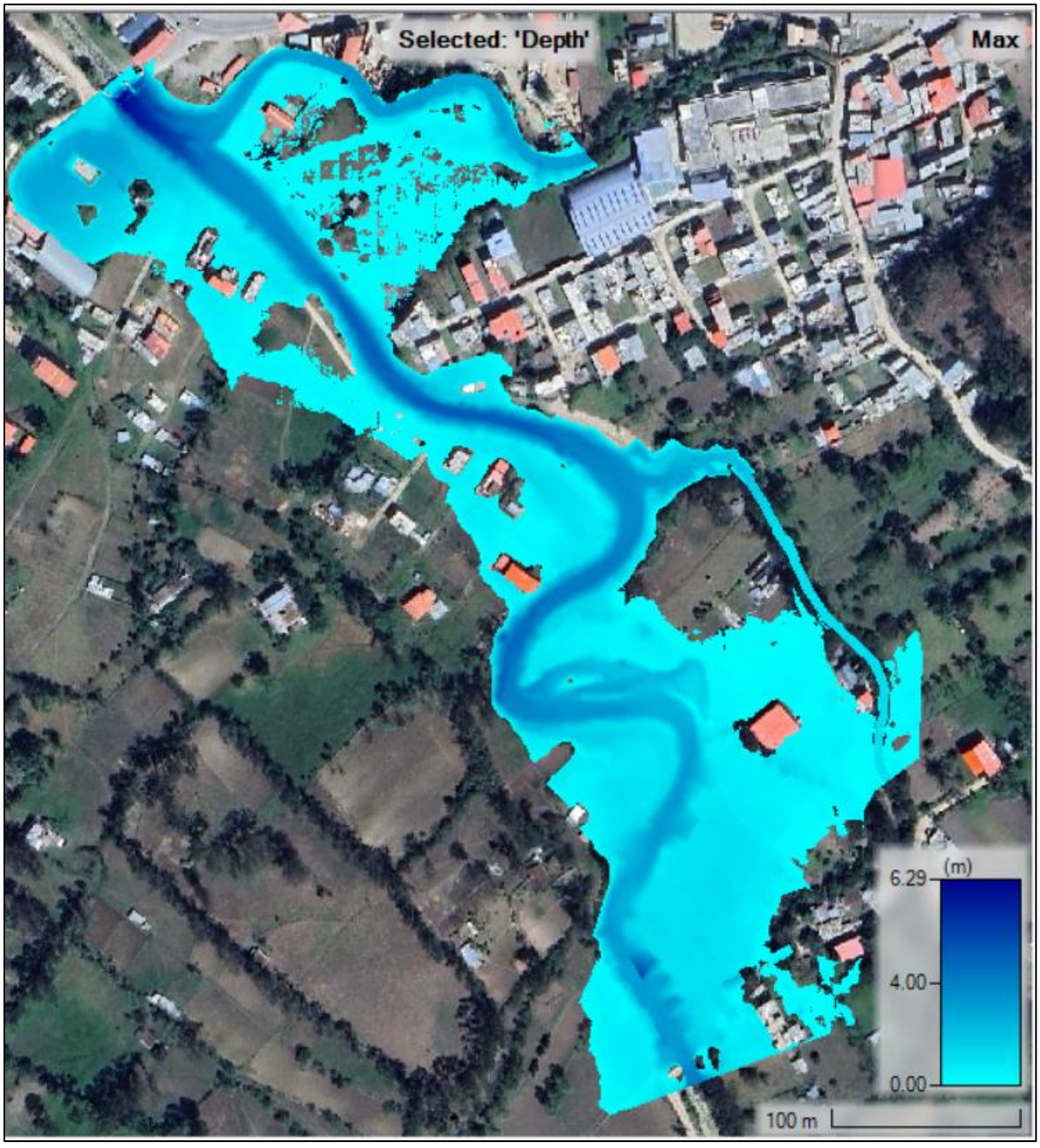
Figura 104. *Velocidades del flujo de inundación para Tr=185 años en la zona de estudio.*



Nota: Se aprecia mediante la imagen las velocidades del flujo, que corresponde a la inundación para el escenario para Tr=185 con 537.79 m3/s, donde la velocidad máxima que se calculó mediante el modelamiento hidráulico en el HEC-RAS 6.4.1 es de 11.05 m/s.

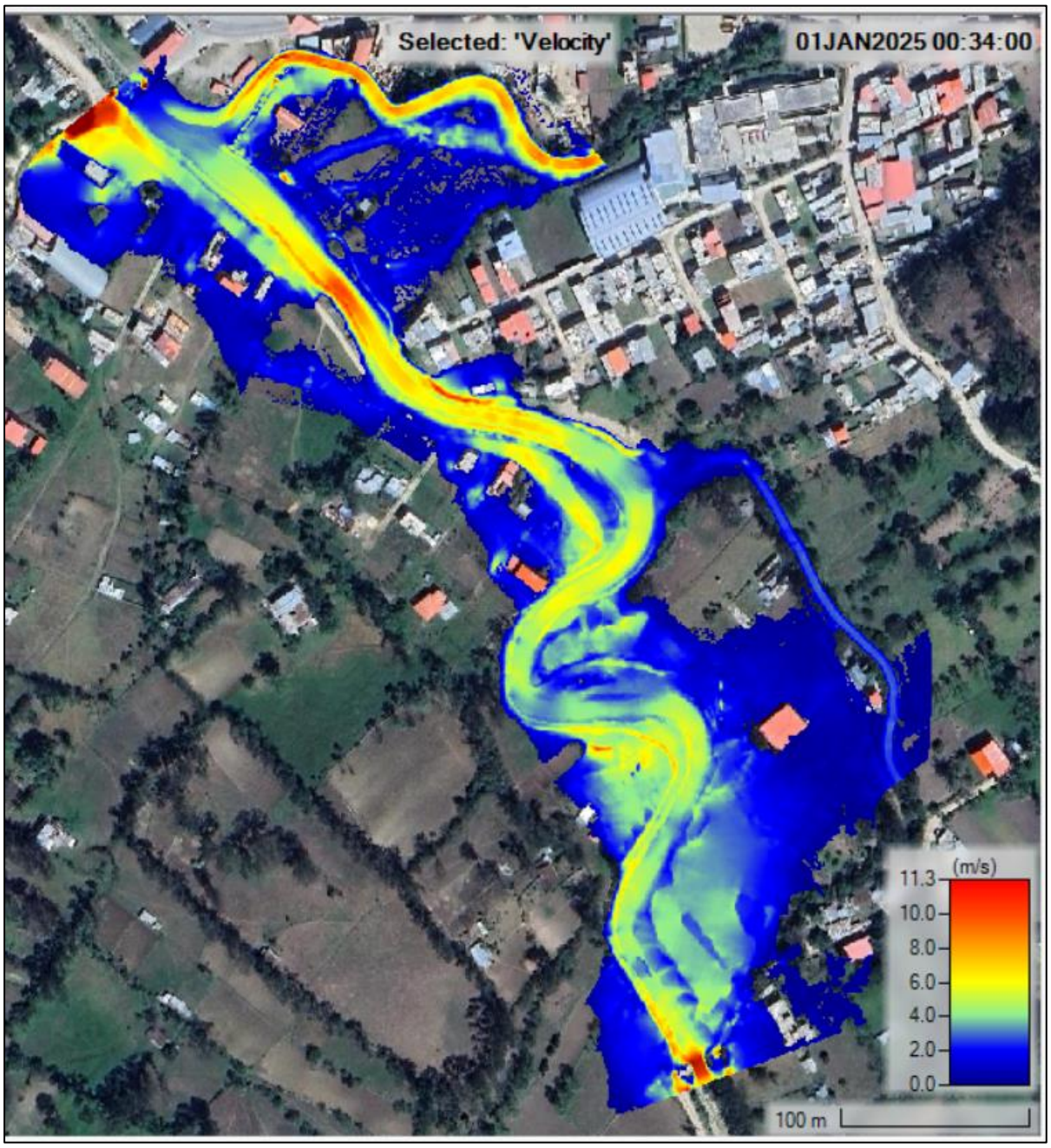
- **Escenario 5:** Periodo de retorno de 285 años:

Figura 105. *Inundación para Tr=285 años en la zona de estudio en HEC RAS 6.4.1.*



Nota: La inundación que se muestra en la imagen corresponde para el escenario para Tr=285 con 581.99 m3/s, donde el tirante máximo de la inundación se genera a la altura del puente choza con un 6.29m de altura de agua.

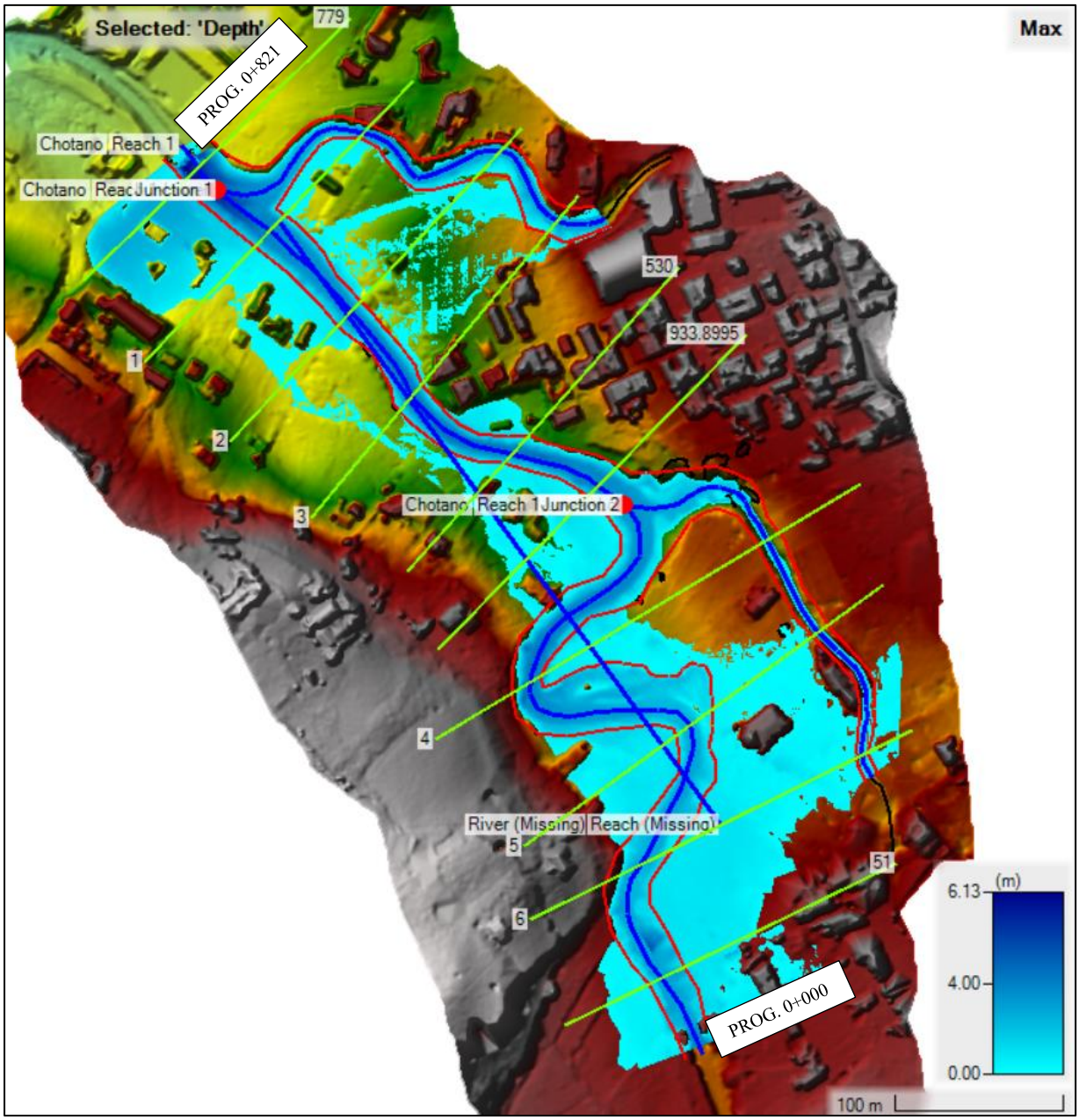
Figura 106. *Velocidades del flujo de inundación para Tr=285 años en la zona de estudio.*



Nota: Se aprecia mediante la imagen las velocidades del flujo, que corresponde a la inundación para el escenario para Tr=285 con 581.99 m3/s, donde la velocidad máxima que se calculó mediante el modelamiento hidráulico en el HEC-RAS 6.4.1 es de 11.25 m/s.

Anexo 8. Perfiles transversales del tramo de estudio para la máxima avenida observada.

Figura 107. *Vista de las proyecciones de los cortes transversales en HEC-RAS 6.4.1.*



Nota: La inundación que se observa en imagen, es la inundación para un Tr de 100 años, hallada en el software HEC-RAS 6.4.1. Para exactitud de las progresivas ver en anexo de planos.

Figura 108. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+028 m.*

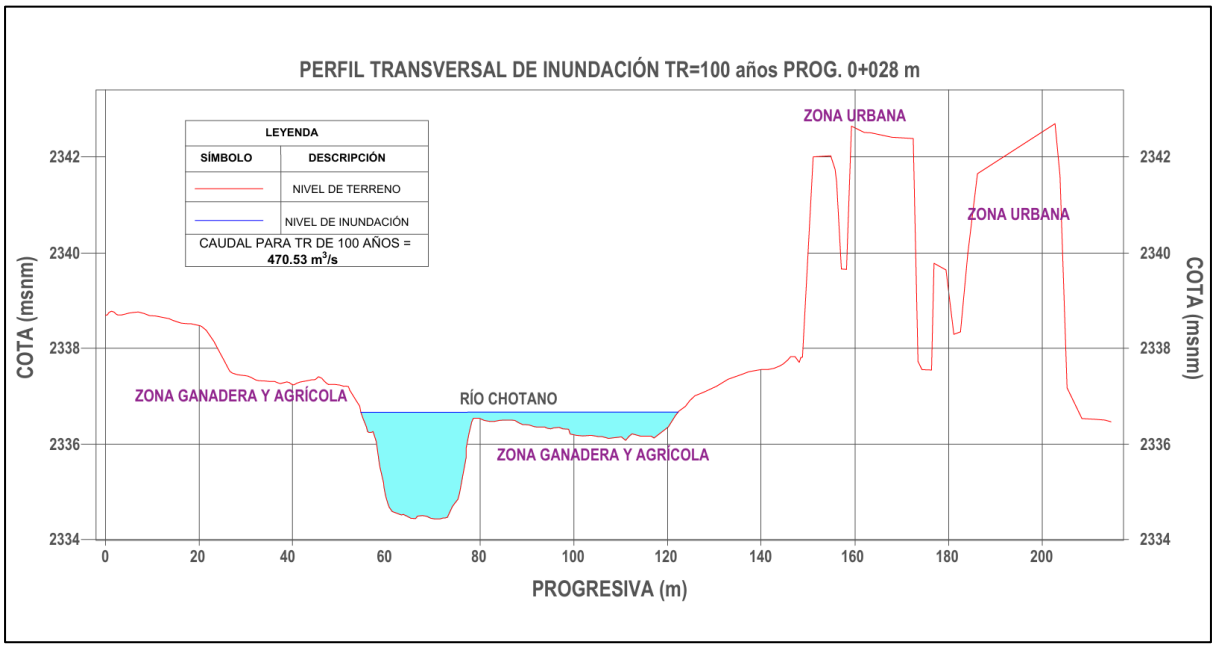


Figura 109. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+102 m.*

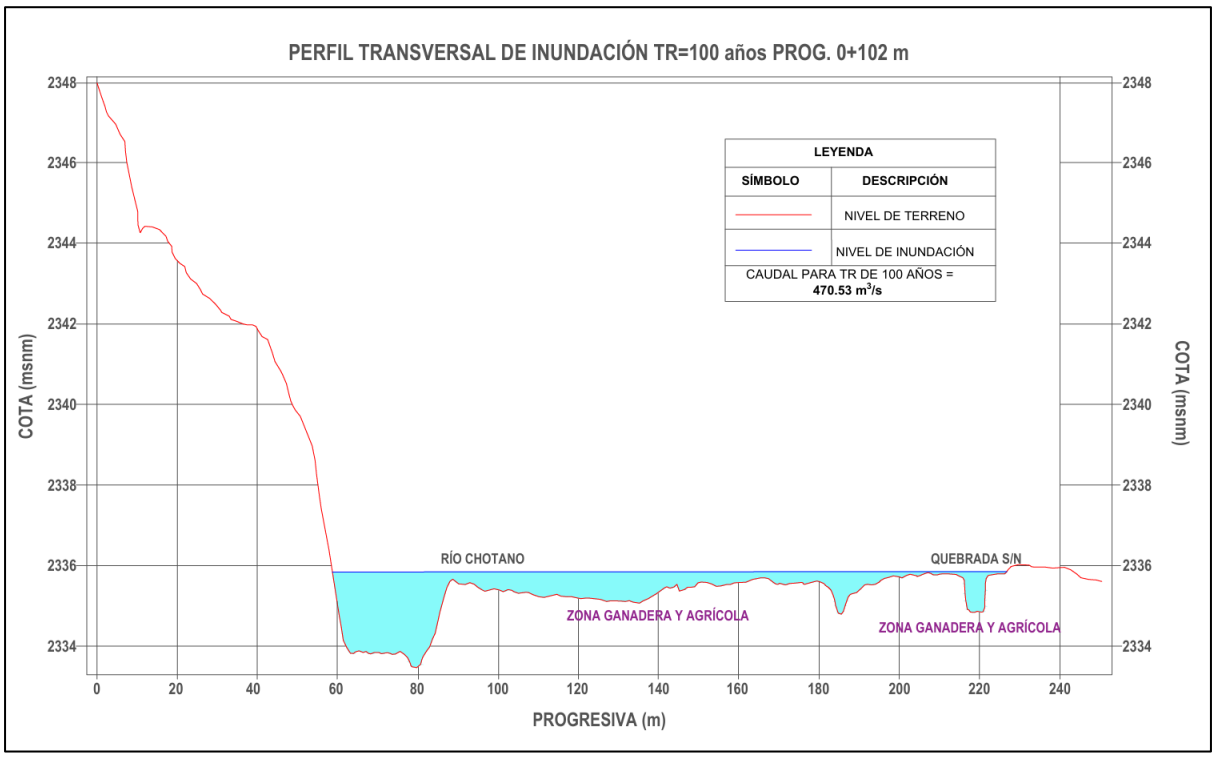


Figura 110. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+194 m.*

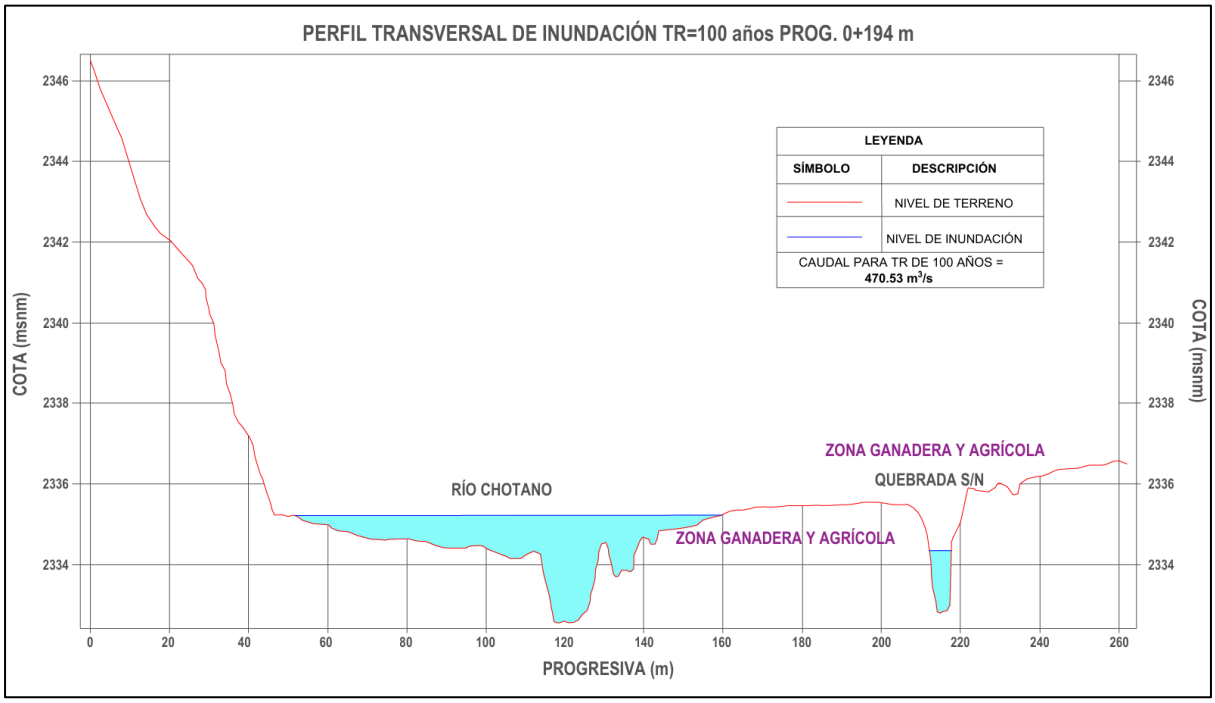


Figura 111. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+344 m.*

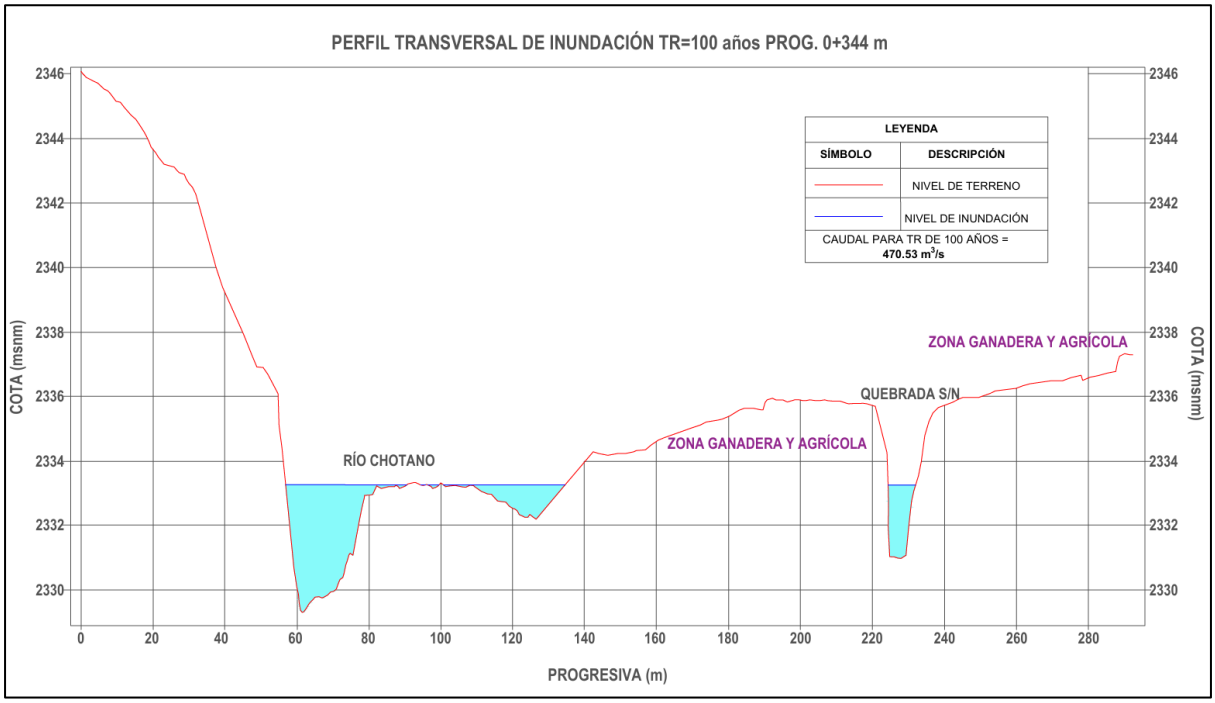


Figura 112. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+502 m.*

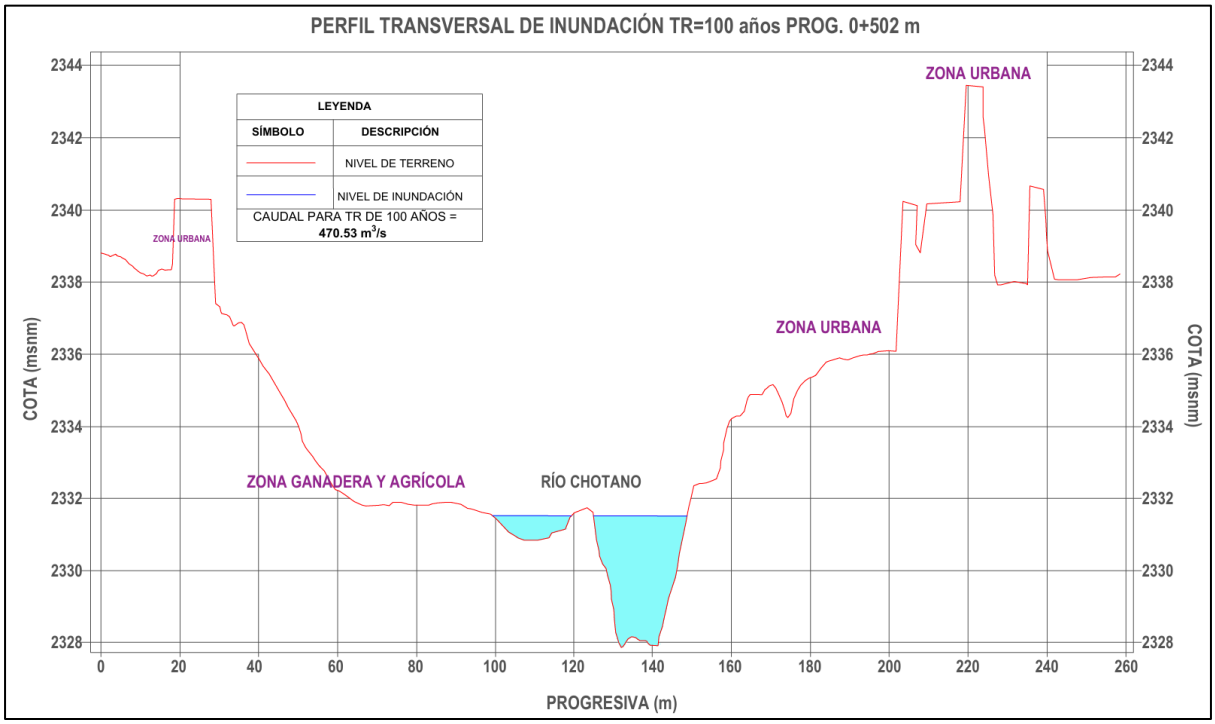


Figura 113. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+557 m.*

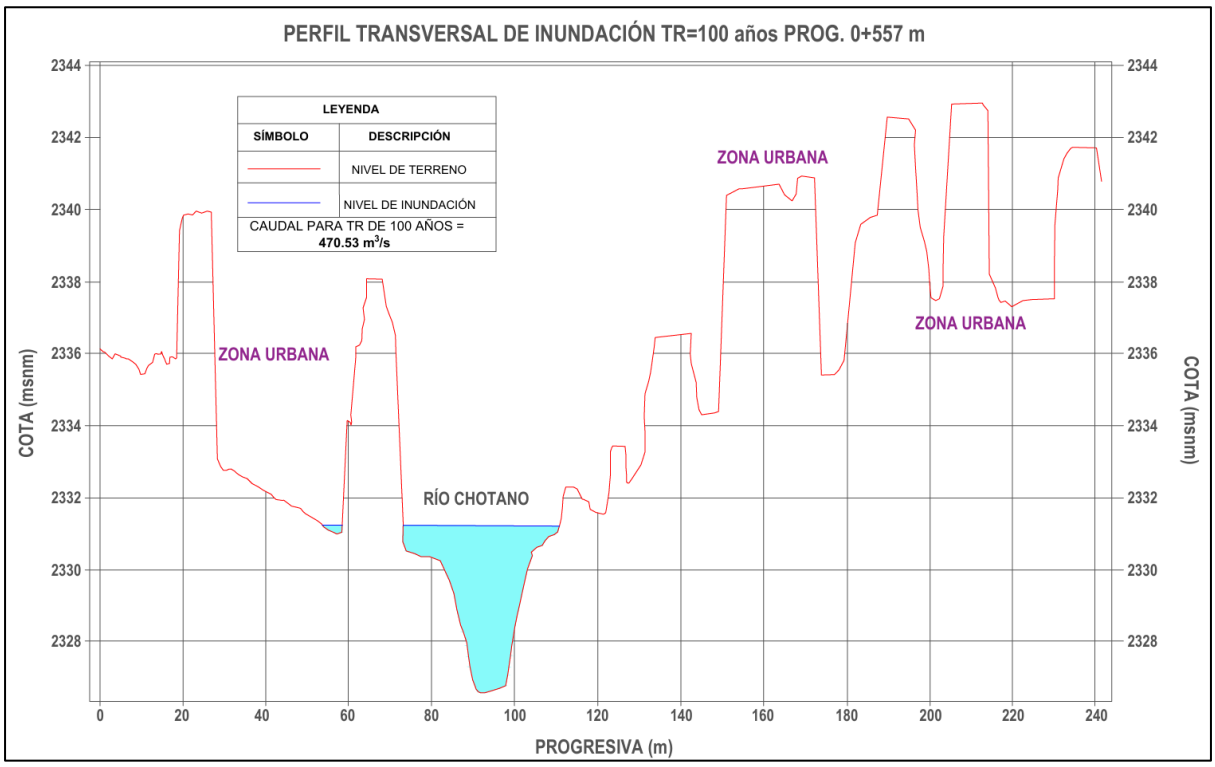


Figura 114. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+630 m.*

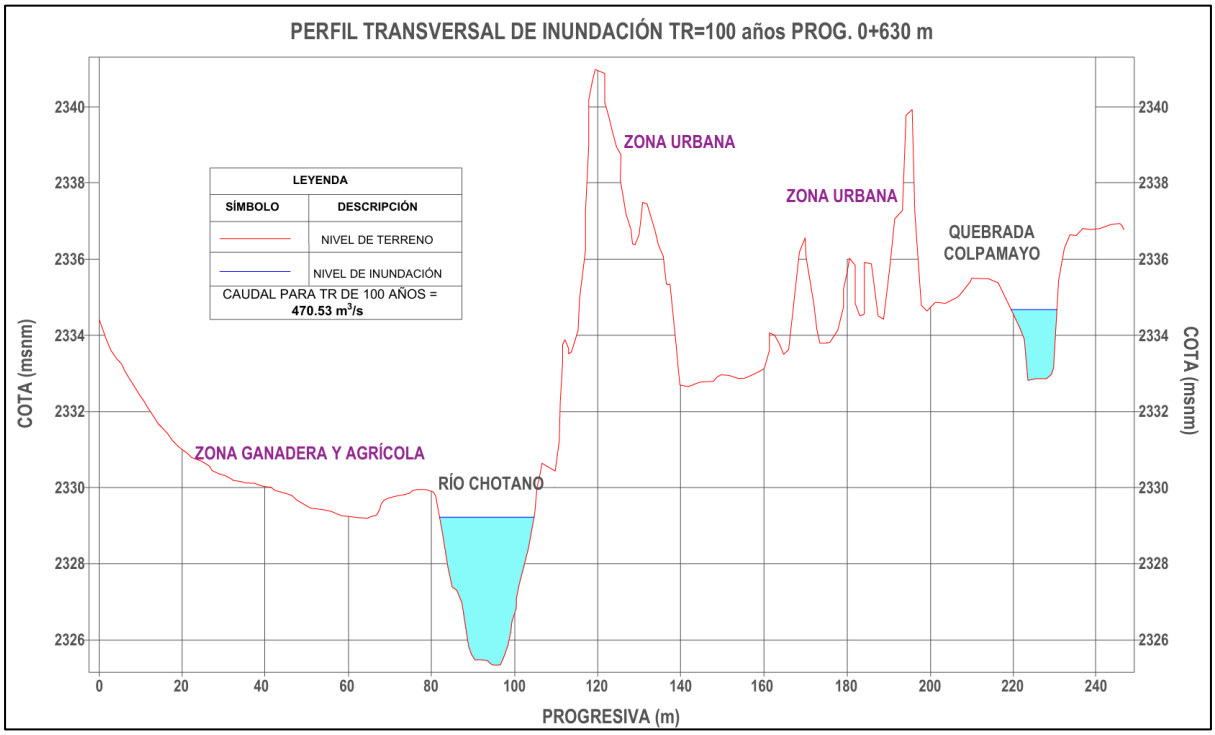


Figura 115. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+691 m.*

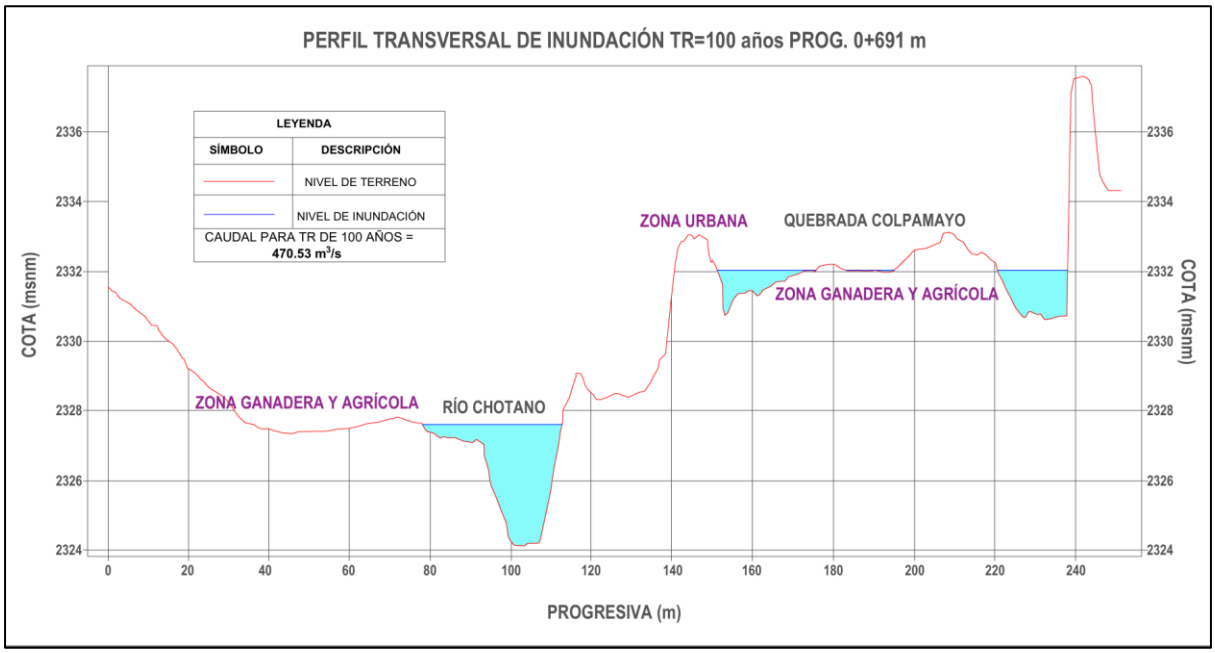


Figura 116. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+759 m.*

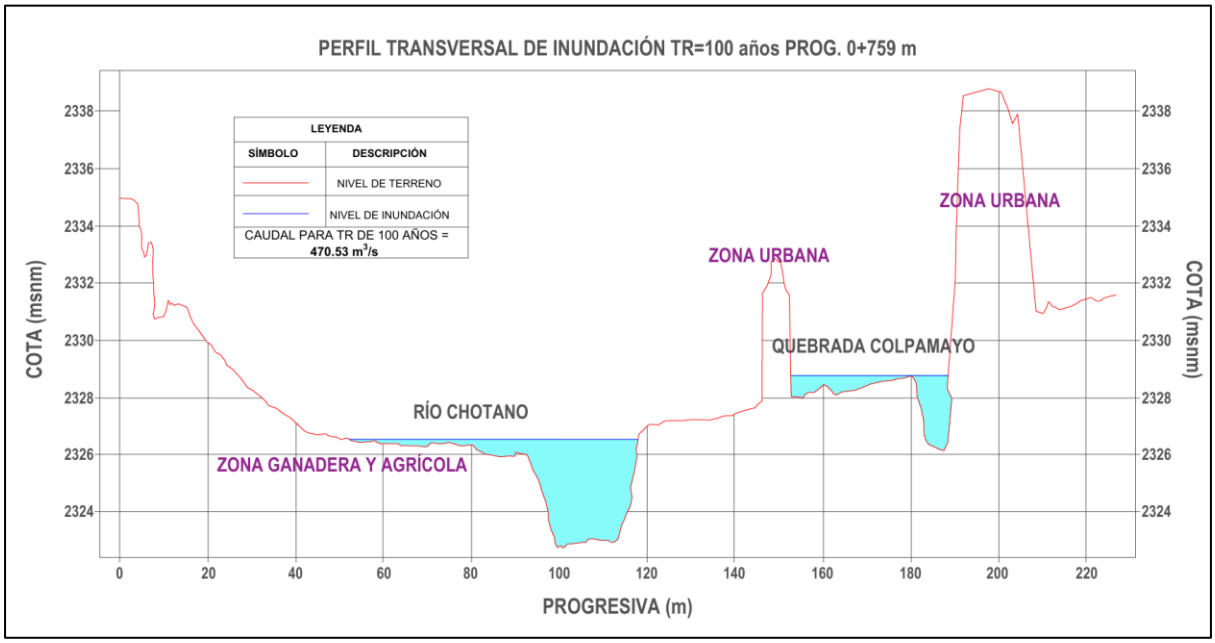
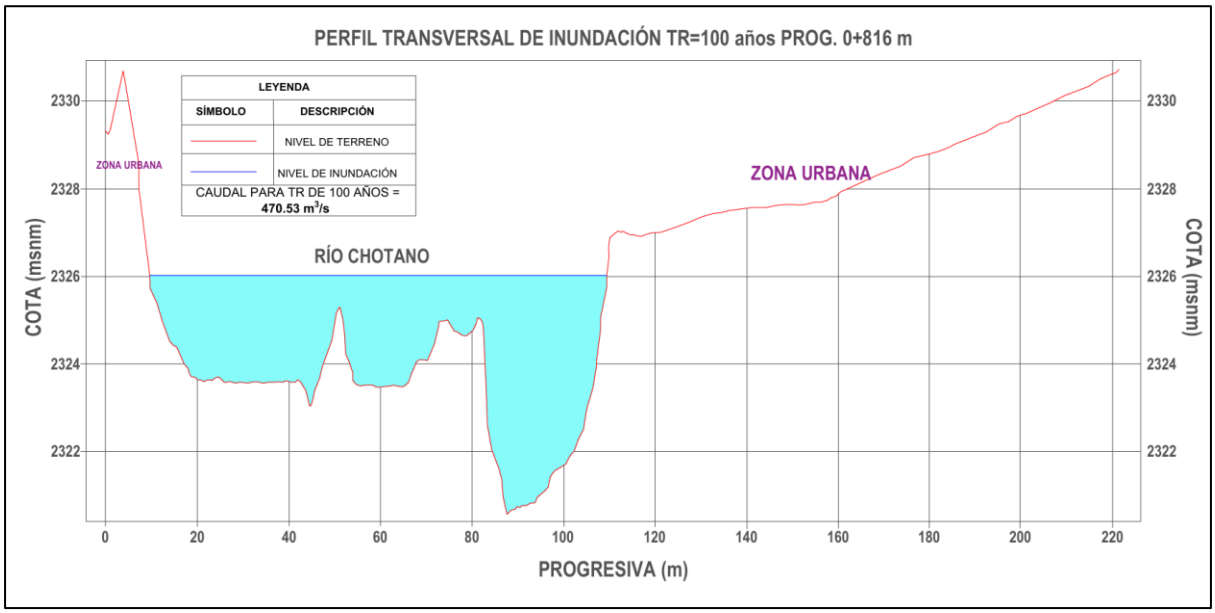


Figura 117. *Perfil Transversal Tr=100 años, progresiva 0+816 m.*



Anexo 9. Panel fotográfico.

Fotografía 8. *Reconocimiento del tramo de estudio.*

Fotografía 9. *Reconocimiento del tramo de estudio.*

Fotografía 10. *Unión de la quebrada S/N con el Río Chotano.*

Fotografía 11. *Unión de la quebrada Colpamayo con el Río Chotano.*

Fotografía 12. *BM en el punto de inicio (Puente Choza) del tramo de estudio.*

Fotografía 13. *BM en el punto de inicio (Puente Choza) del tramo de estudio.*

Fotografía 14. *BM en el tramo de estudio.*

Fotografía 15. *BM en el tramo de estudio.*

Fotografía 16. *BM en el tramo de estudio.*

Fotografía 17. *BM en el tramo de estudio.*

Fotografía 18. *BM en el punto inicial (Puente Cementerio) fin del tramo de estudio.*

Fotografía 19. *Levantamiento con GPS diferencial del tramo de estudio.*

Fotografía 20. *Levantamiento con GPS diferencial del tramo de estudio.*

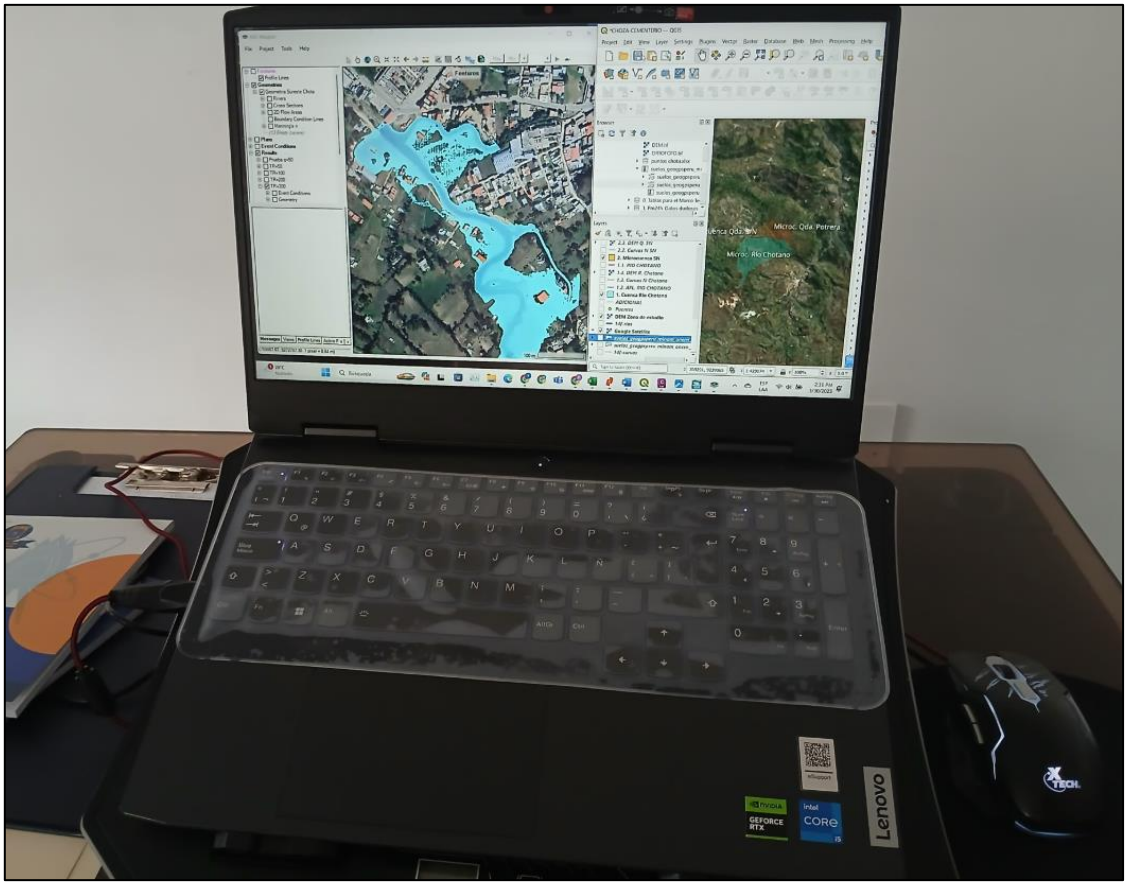
Fotografía 21. *Levantamiento con GPS diferencial del tramo de estudio.*

Fotografía 22. *Levantamiento con GPS diferencial del tramo de estudio.*

Fotografía 23. *Levantamiento con GPS diferencial del tramo de estudio.*

Fotografía 24. *Equipo del levantamiento topográfico con dron y GPS diferencial de la zona de estudio.*

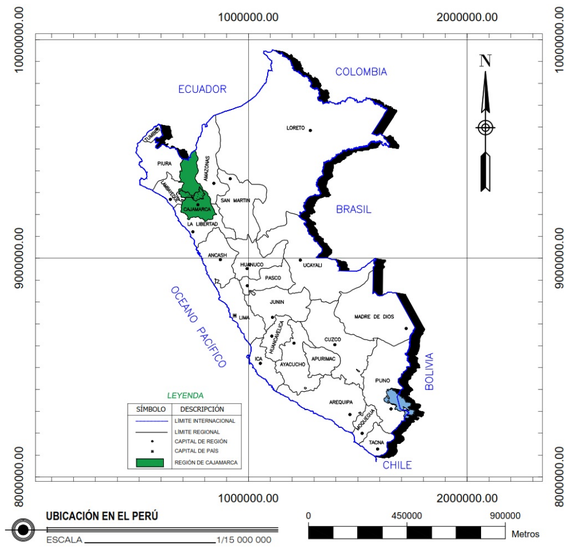
Fotografía 25. *Trabajo de Gabinete.*

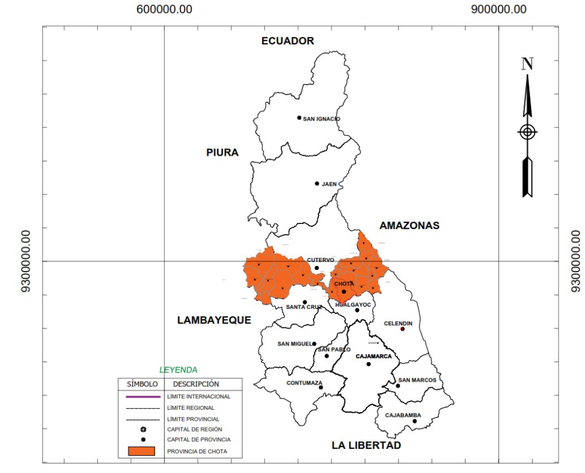


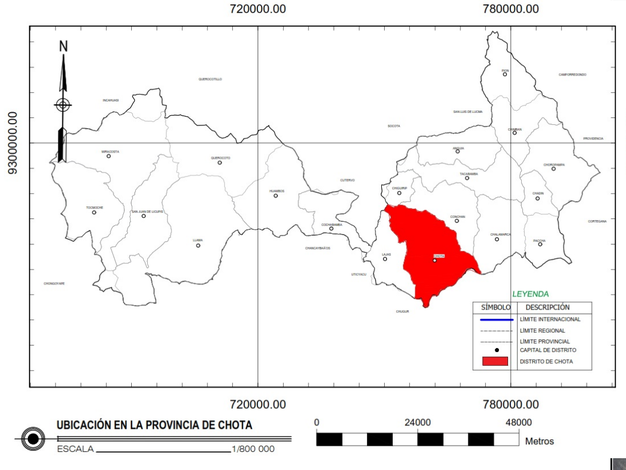
Fotografía 26. *Crecida del río Chotano, aguas arriba del puente Cementerio el 30/04/2025.*

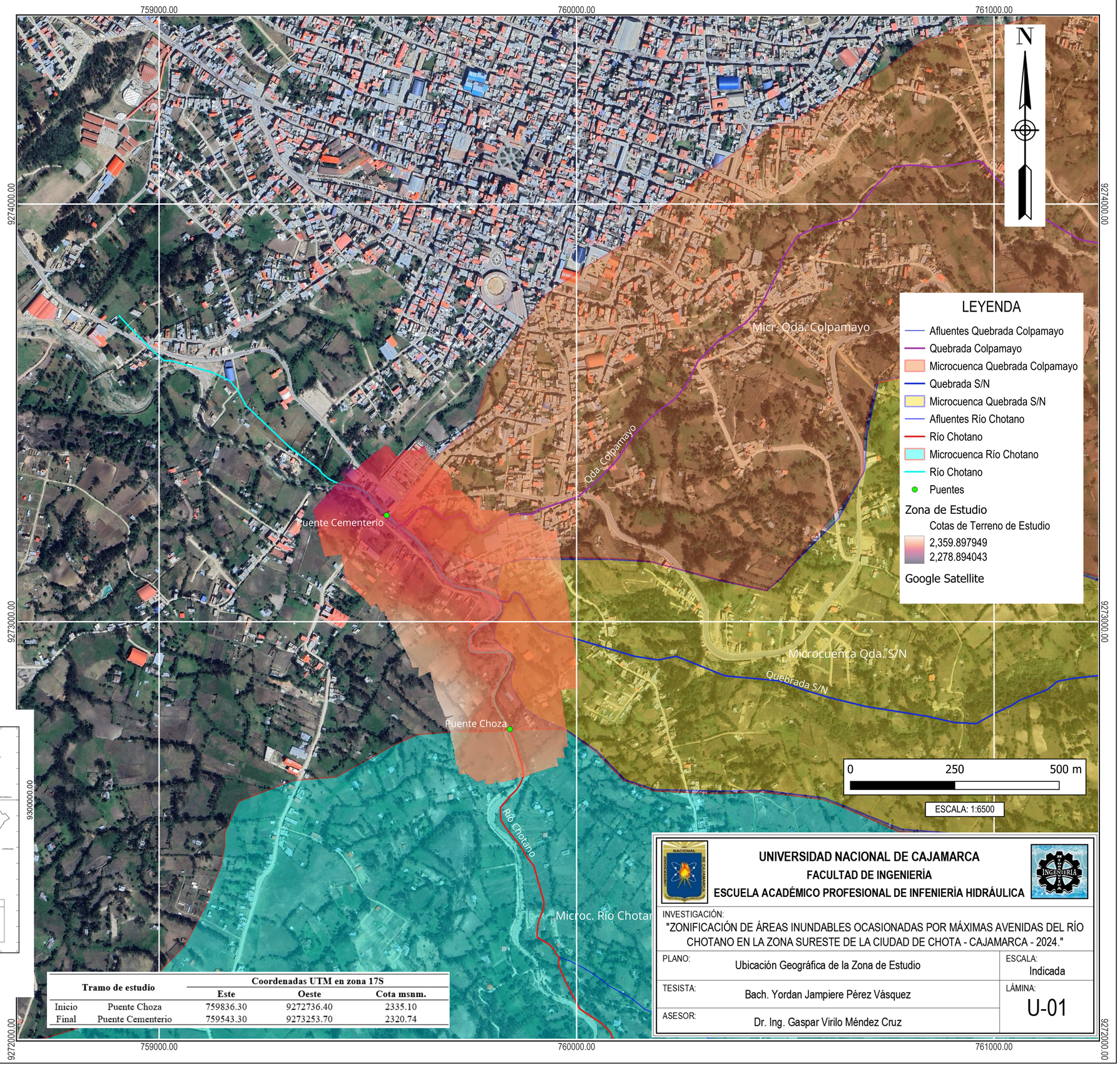
Anexo 10. Planos

1. **U-1:** Ubicación Geográfica de Zona de Estudio.
2. **U-2:** Ubicación Geográfica de Microcuencas.
3. **U-3:** Delimitación de Microcuencas.
4. **P-01:** Curva Número de las Microcuencas.
5. **P-02:** Zonificación por áreas según su uso de suelo de la zona de estudio.
6. **M.P.-01:** Mapa de Nivel de Peligrosidad de inundación para un Tr=50 años.
7. **M.P.-02:** Mapa de Nivel de Peligrosidad de inundación para un Tr=100 años.
8. **M.P.-03:** Mapa de Nivel de Peligrosidad de inundación para un Tr=135 años.
9. **M.P.-04:** Mapa de Nivel de Peligrosidad de inundación para un Tr=185 años.
10. **M.P.-05:** Mapa de Nivel de Peligrosidad de inundación para un Tr=285 años.









Tramo de estudio		Coordenadas UTM en zona 17S		
		Este	Oeste	Cota msnm.
Inicio	Puente Choza	759836.30	9272736.40	2335.10
Final	Puente Cementerio	759543.30	9273253.70	2320.74

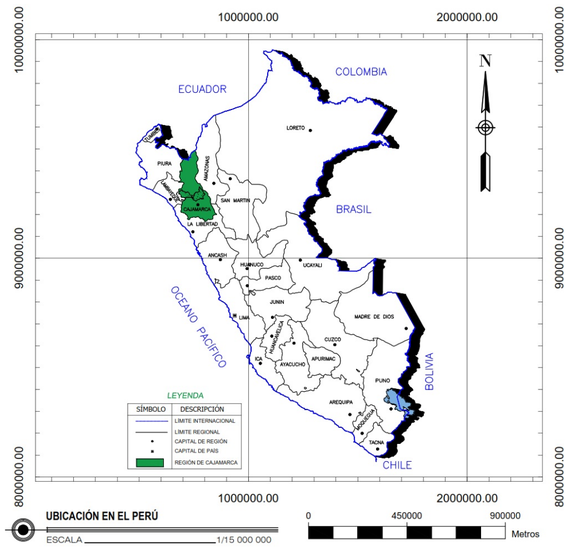
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

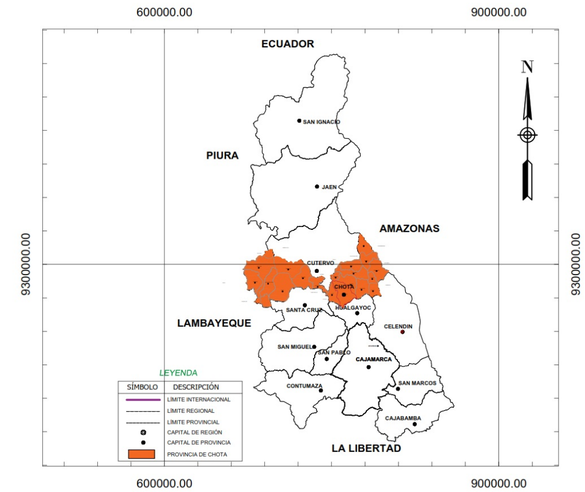
FACULTAD DE INGENIERÍA

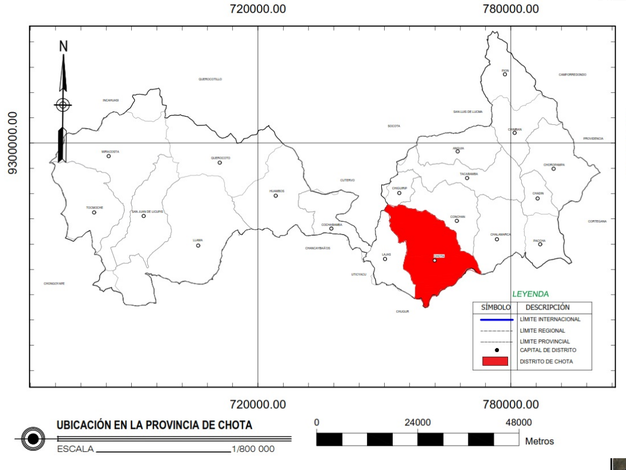
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INFENIERÍA HIDRÁULICA

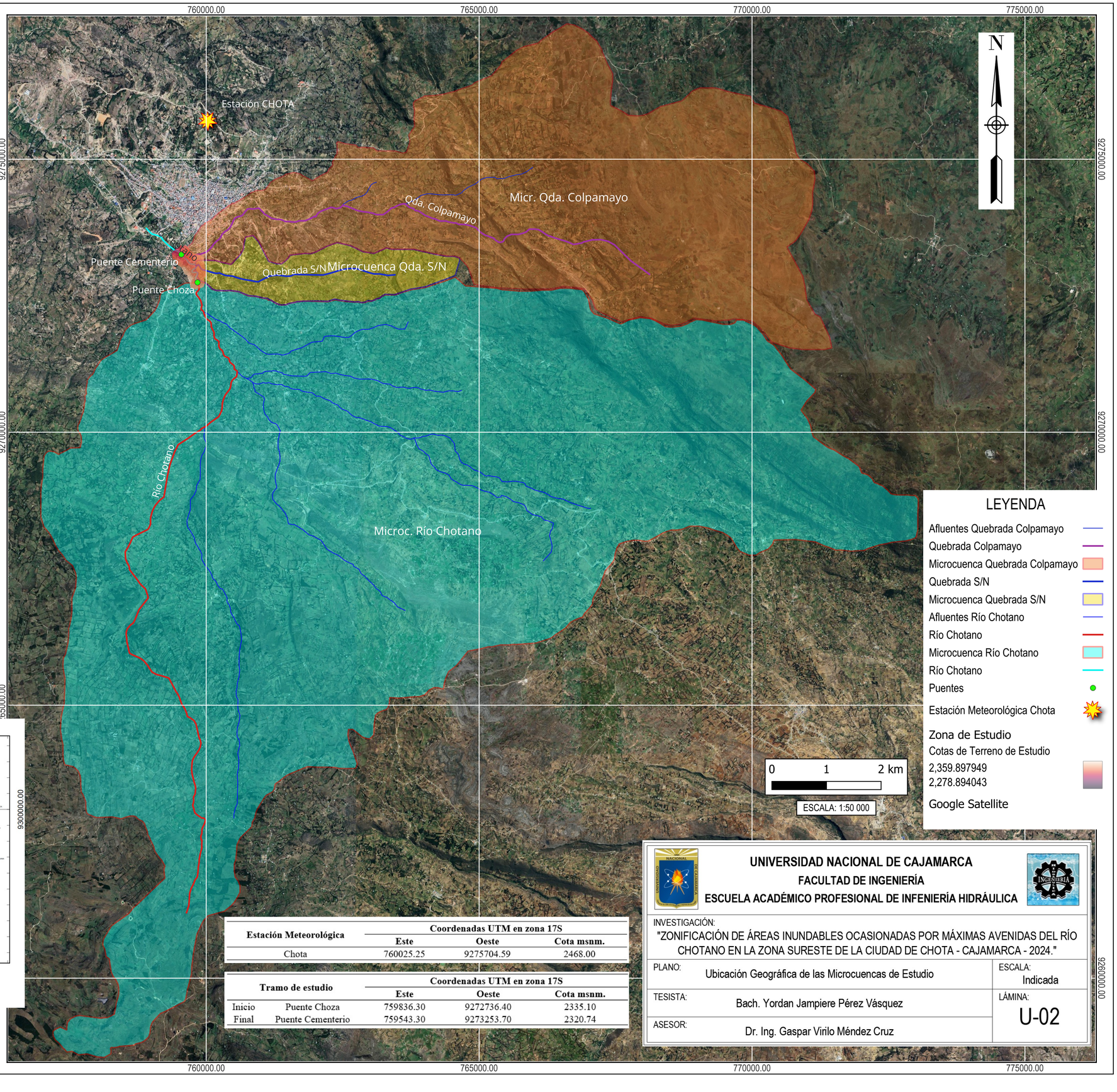
INVESTIGACIÓN:
"ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA - CAJAMARCA - 2024."

PLANO:	Ubicación Geográfica de la Zona de Estudio	ESCALA: Indicada
TESISTA:	Bach. Yordan Jampiere Pérez Vásquez	LÁMINA: U-01
ASESOR:	Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz	









Estación Meteorológica	Coordenadas UTM en zona 17S		
	Este	Oeste	Cota msnm.
Chota	760025.25	9275704.59	2468.00

Tramo de estudio		Coordenadas UTM en zona 17S		
		Este	Oeste	Cota msnm.
Inicio	Puente Choza	759836.30	9272736.40	2335.10
Final	Puente Cementerio	759543.30	9273253.70	2320.74

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

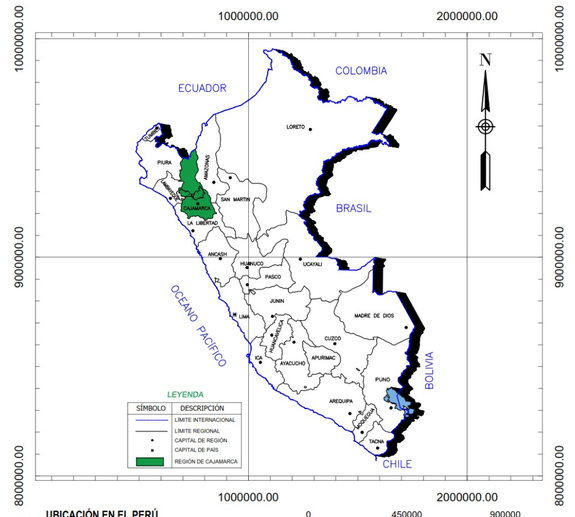
FACULTAD DE INGENIERÍA

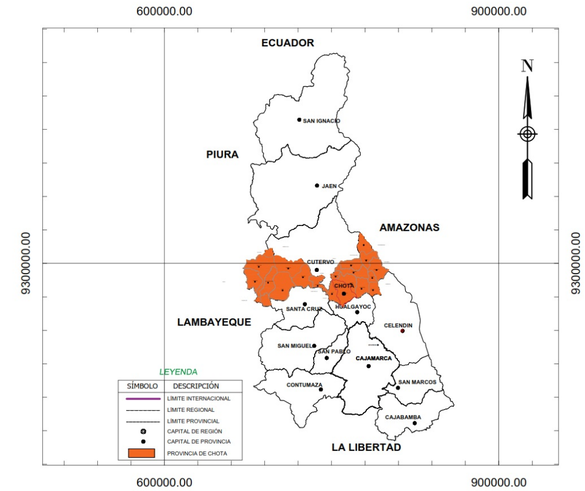
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INFENIERÍA HIDRÁULICA

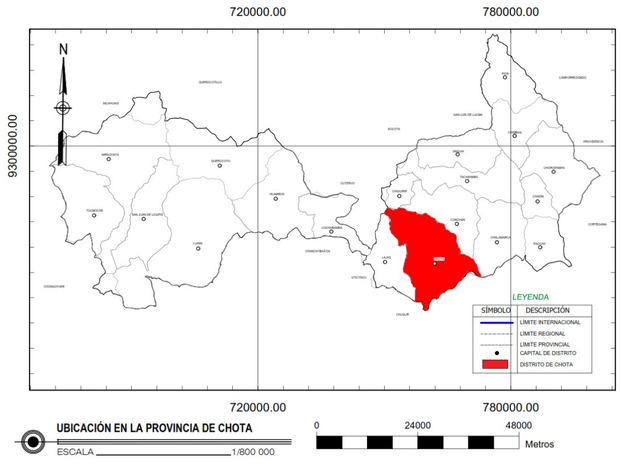
INVESTIGACIÓN:

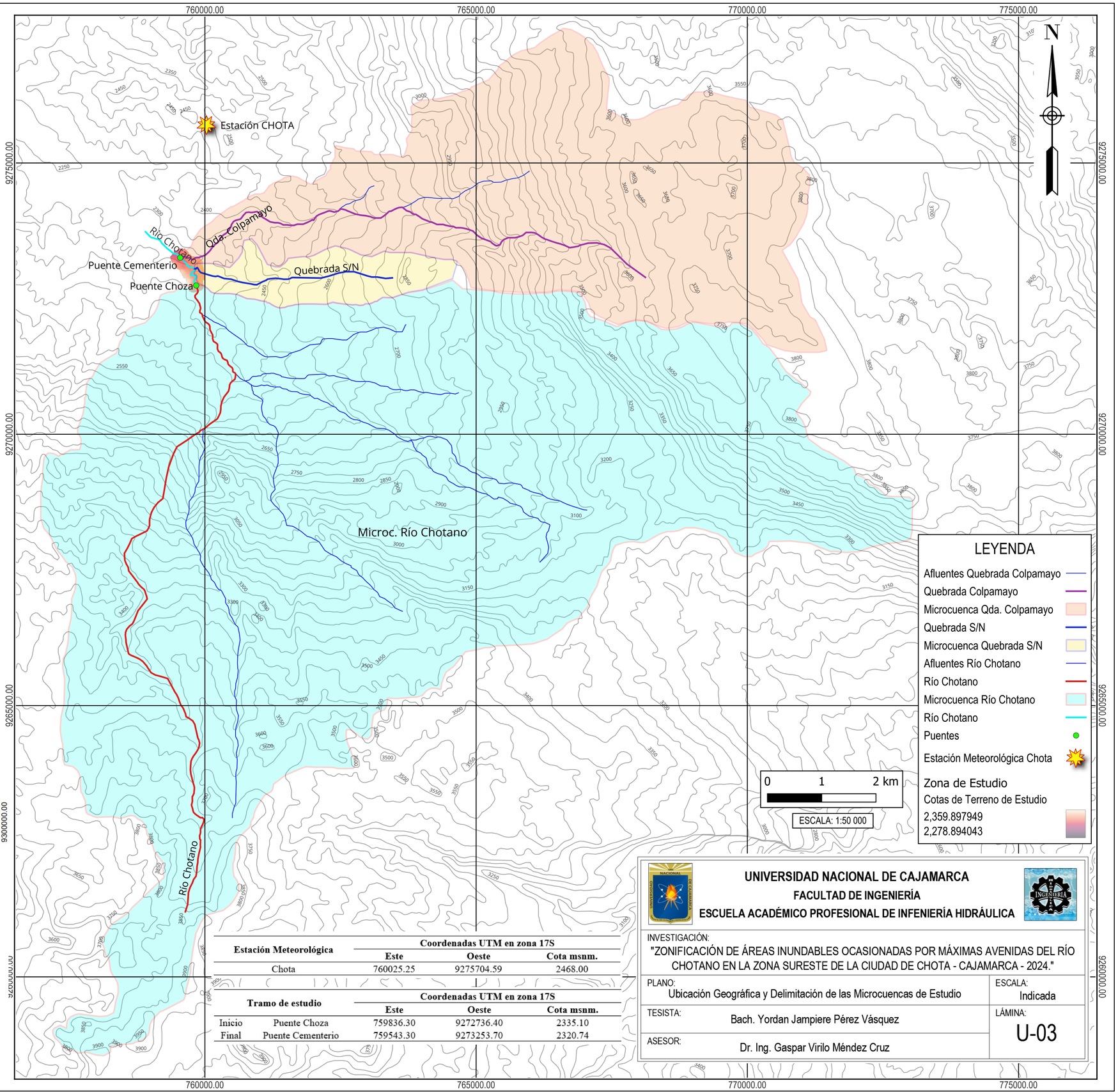
"ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA - CAJAMARCA - 2024."

PLANO:	Ubicación Geográfica de las Microcuencas de Estudio	ESCALA: Indicada
TESISTA:	Bach. Yordan Jampiere Pérez Vásquez	LÁMINA: U-02
ASESOR:	Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz	









Estación Meteorológica	Coordenadas UTM en zona 17S		
	Este	Oeste	Cota msnm.
Chota	760025.25	9275704.59	2468.00

Tramo de estudio		Coordenadas UTM en zona 17S		
		Este	Oeste	Cota msnm.
Inicio	Puente Choza	759836.30	9272736.40	2335.10
Final	Puente Cementerio	759543.30	9273253.70	2320.74

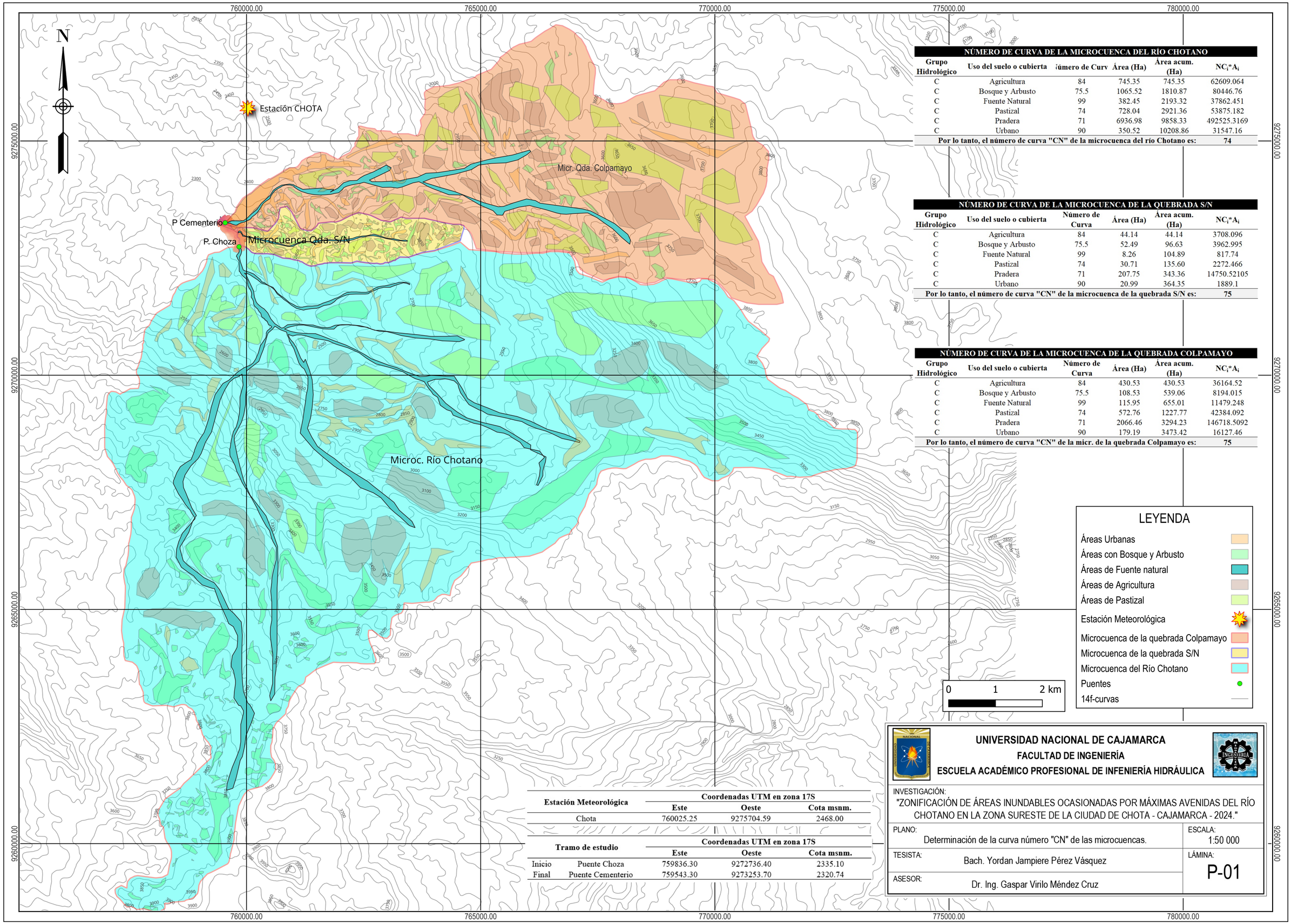
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INFENIERÍA HIDRÁULICA

INVESTIGACIÓN:
"ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA - CAJAMARCA - 2024."

PLANO: Ubicación Geográfica y Delimitación de las Microcuencas de Estudio	ESCALA: Indicada
TESISTA: Bach. Yordan Jampiere Pérez Vásquez	LÁMINA: U-03
ASESOR: Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz	



NÚMERO DE CURVA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHOTANO

Grupo Hidrológico	Uso del suelo o cubierta	Número de Curv	Área (Ha)	Área acum. (Ha)	NC_i*A_i
C	Agricultura	84	745.35	745.35	62609.064
C	Bosque y Arbusto	75.5	1065.52	1810.87	80446.76
C	Fuente Natural	99	382.45	2193.32	37862.451
C	Pastizal	74	728.04	2921.36	53875.182
C	Pradera	71	6936.98	9858.33	492525.3169
C	Urbano	90	350.52	10208.86	31547.16
Por lo tanto, el número de curva "CN" de la microcuenca del río Chotano es:					**74**

NÚMERO DE CURVA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA S/N

Grupo Hidrológico	Uso del suelo o cubierta	Número de Curva	Área (Ha)	Área acum. (Ha)	NC_i*A_i
C	Agricultura	84	44.14	44.14	3708.096
C	Bosque y Arbusto	75.5	52.49	96.63	3962.995
C	Fuente Natural	99	8.26	104.89	817.74
C	Pastizal	74	30.71	135.60	2272.466
C	Pradera	71	207.75	343.36	14750.52105
C	Urbano	90	20.99	364.35	1889.1
Por lo tanto, el número de curva "CN" de la microcuenca de la quebrada S/N es:					**75**

NÚMERO DE CURVA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA COLPAMAYO

Grupo Hidrológico	Uso del suelo o cubierta	Número de Curva	Área (Ha)	Área acum. (Ha)	NC_i*A_i
C	Agricultura	84	430.53	430.53	36164.52
C	Bosque y Arbusto	75.5	108.53	539.06	8194.015
C	Fuente Natural	99	115.95	655.01	11479.248
C	Pastizal	74	572.76	1227.77	42384.092
C	Pradera	71	2066.46	3294.23	146718.5092
C	Urbano	90	179.19	3473.42	16127.46
Por lo tanto, el número de curva "CN" de la micr. de la quebrada Colpamayo es:					**75**

LEYENDA

- Áreas Urbanas
- Áreas con Bosque y Arbusto
- Áreas de Fuente natural
- Áreas de Agricultura
- Áreas de Pastizal
- Estación Meteorológica
- Microcuenca de la quebrada Colpamayo
- Microcuenca de la quebrada S/N
- Microcuenca del Río Chotano
- Puentes
- 14f-curvas

Estación Meteorológica	Coordenadas UTM en zona 17S		
	Este	Oeste	Cota msnm.
Chota	760025.25	9275704.59	2468.00

Tramo de estudio		Coordenadas UTM en zona 17S		
		Este	Oeste	Cota msnm.
Inicio	Puente Choza	759836.30	9272736.40	2335.10
Final	Puente Cementerio	759543.30	9273253.70	2320.74

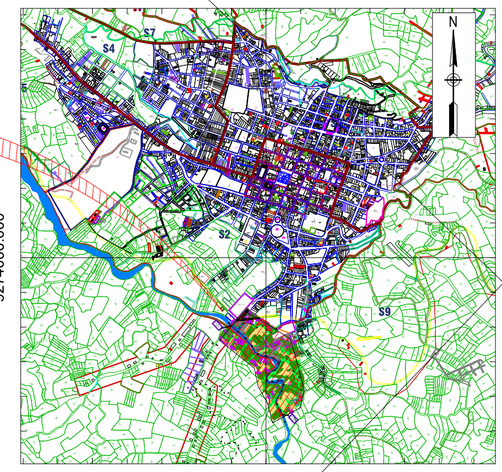
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INFENIERÍA HIDRÁULICA

INVESTIGACIÓN:
"ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA - CAJAMARCA - 2024."

PLANO: Determinación de la curva número "CN" de las microcuencas.	ESCALA: 1:50 000
TESISTA: Bach. Yordan Jampiere Pérez Vásquez	LÁMINA: P-01
ASESOR: Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz	

760000.000 760200.000 760400.000

9273800.000 9273600.000 9274000.000 9273200.000



PLANO CLAVE GEOREFERENCIADO DE CHOTA (UTM WGS84)
Escala: 1 : 25 000

PROPIEDAD DE TERCEROS
CEMENTERIO GENERAL "SAN JUAN"
JR. CELSO CARVAJAL
Pista LA VICTORIA
QUEBRADA COLPAMAYO
EXPANCIÓN URBANA
PROPIEDAD DE TERCEROS
RÍO CHOTANO
FINAL DE TRAMO DE ESTUDIO
PUENTE CEMENTERIO
ESTE= 759543.30
NORTE=9273253.70
ELEV= 2320.74
EXPANCIÓN URBANA
EXPANCIÓN URBANA
QUEBRADA S/N
RÍO CHOTANO
EXPANCIÓN URBANA
ZONA RURAL
INICIO DE TRAMO DE ESTUDIO
PUENTE CHOZA
ESTE= 759836.30
NORTE=9272736.40
ELEV= 2335.10
RÍO CHOTANO

759600.000 759800.000 760000.000

PLANO UBICACIÓN

ESCALA 1/1 500

0 45 90 METROS

Escala gráfica

LEYENDA
Zona de estudio
Áreas de Viviendas
Áreas de pastos y alfalfa
Áreas de cultivos como papa, maíz, hortalizas
Áreas de árboles y arbustos.
Área total de trochas y caminos.
Áreas de vías de cocreto y asfalto
Fuentes naturales

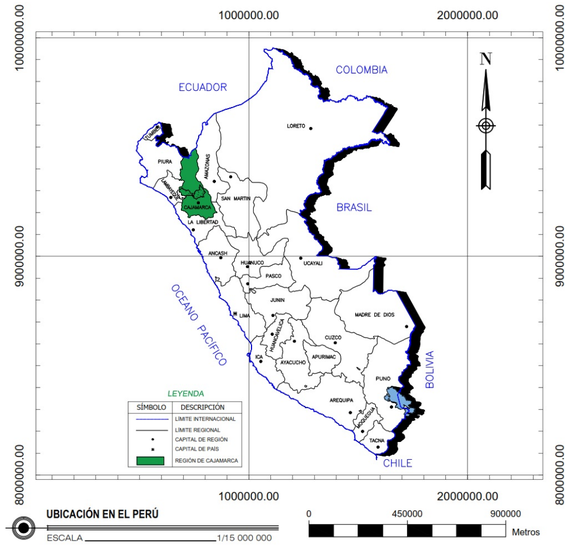
Tipo de área según su uso de suelo	Área de estudio	
	Km²	Ha
Área total urbana:	0.01809	1.81
Área total de pastos y alfalfa:	0.04742	4.74
Área total de cultivos como papa, maíz, hortalizas:	0.02224	2.22
Área total de árboles y arbustos:	0.01979	1.98
Área total de Trochas y caminos:	0.02455	2.46
Área total de vía pavimentada y asfaltada:	0.00348	0.35
Área bruta de fuentes naturales:	0.01680	1.68
Área total de zona de estudio:	**0.15237**	**15.24**

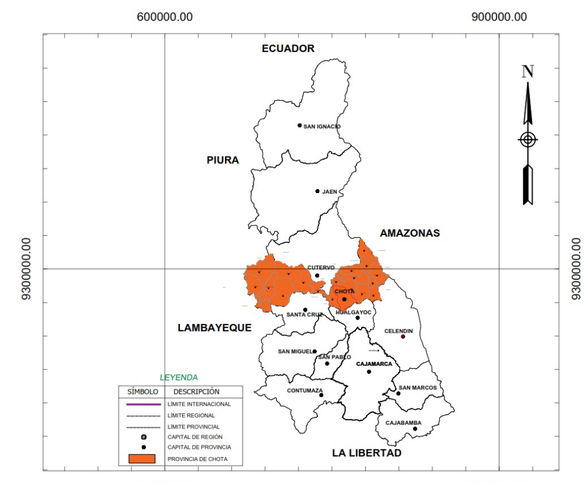
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INFENIERÍA HIDRÁULICA

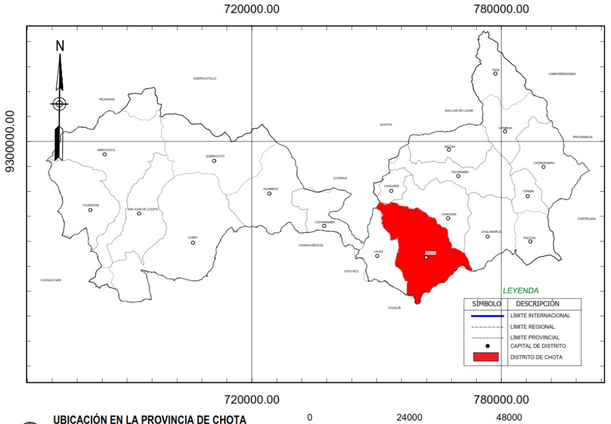
INVESTIGACIÓN:
"ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA - CAJAMARCA - 2024."

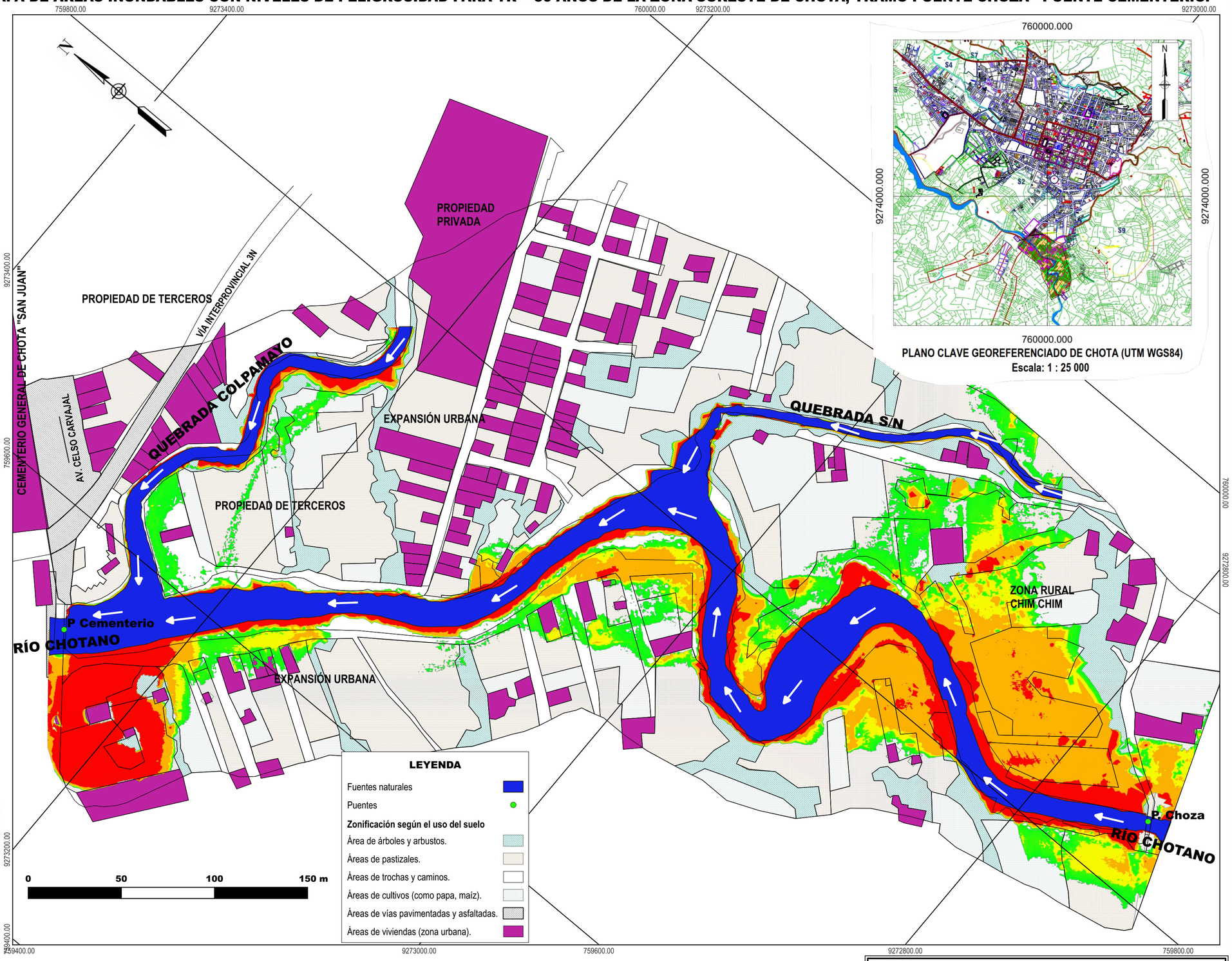
PLANO: Zonificación por áreas según su uso de suelo de la zona de estudio.
ESCALA: 1:1 500
TESISTA: Bach. Yordan Jampiere Pérez Vásquez
LÁMINA: P-02
ASESOR: Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz

MAPA DE ÁREAS INUNDABLES CON NIVELES DE PELIGROSIDAD PARA TR = 50 AÑOS DE LA ZONA SURESTE DE CHOTA, TRAMO PUENTE CHOZA - PUENTE CEMENTERIO.









PLANO CLAVE GEOREFERENCIADO DE CHOTA (UTM WGS84)
Escala: 1 : 25 000

Tramo de estudio		Coordenadas UTM en zona 17S		
		Este	Oeste	Cota msnm.
Inicio	Puente Choza	759836.30	9272736.40	2335.10
Final	Puente Cementerio	759543.30	9273253.70	2320.74

Nivel de intensidad o peligrosidad de inundación	Clasificación para inundaciones dinámicas
Muy alta	H*V >1.50 m
Alta	0.50 m < H*V <1.50 m
Media	0.25 m < H*V <0.50 m
Baja	H*V < 0.25 m

INDECI (2011)

Área que abarca las fuentes naturales:	m²	Ha
	16796.58	1.68

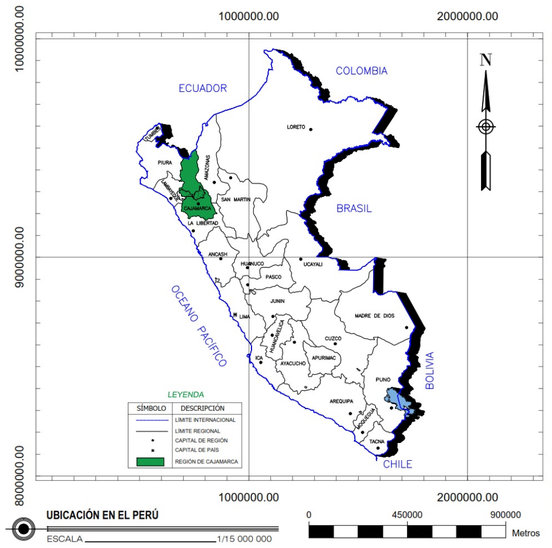
Tipo de Área según el uso de suelo	Área de estudio		Área según el nivel de intensidad o peligrosidad de inundación (m²)				Área total inundada	
	Km²	Ha	Baja	Media	Alta	Muy alta	m²	Ha
Área urbana:	0.01809	1.81	2457.30	2892.99	2917.18	434.34	8701.81	0.87
Área de pastos y alfalfa:	0.04742	4.74	1980.79	2735.67	1678.54	3739.43	10134.43	1.01
Área de cultivos como papa, maiz, hortalizas:	0.02224	2.22	2468.64	1248.60	4072.47	971.33	8761.04	0.88
Área de árboles y arbustos:	0.01979	1.98	1748.56	1259.41	2823.17	2557.36	8388.51	0.84
Área de Trochas carrozables y caminos:	0.02455	2.46	1515.62	933.96	1595.19	997.10	5041.87	0.50
Área de via pavimentada y asfaltada:	0.00348	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área total inundada de zona de estudio:	**0.13557**	**13.56**	**10170.90**	**9070.63**	**13086.55**	**8699.56**	**41027.64**	**4.10**

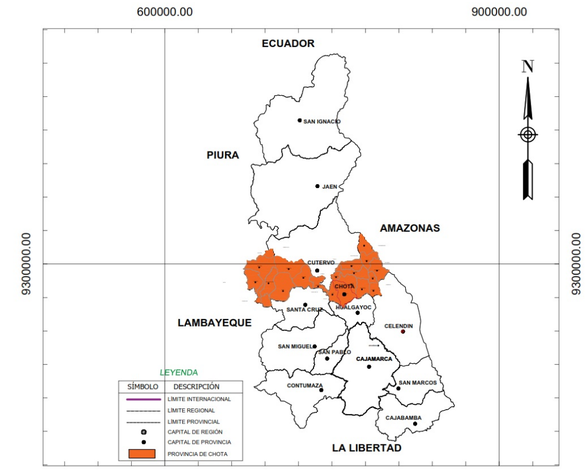
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INFENIERÍA HIDRÁULICA

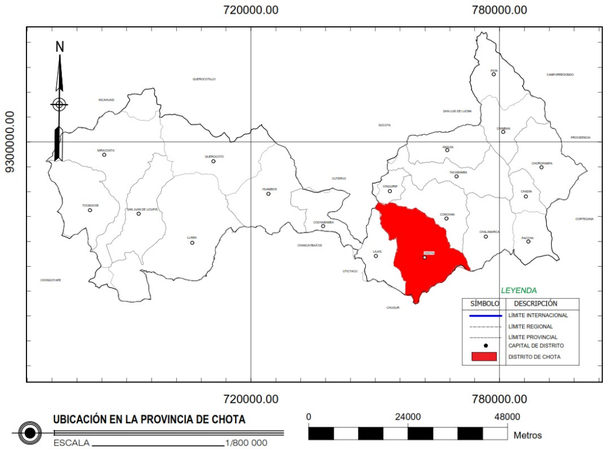
INVESTIGACIÓN:
"ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA - CAJAMARCA - 2024."

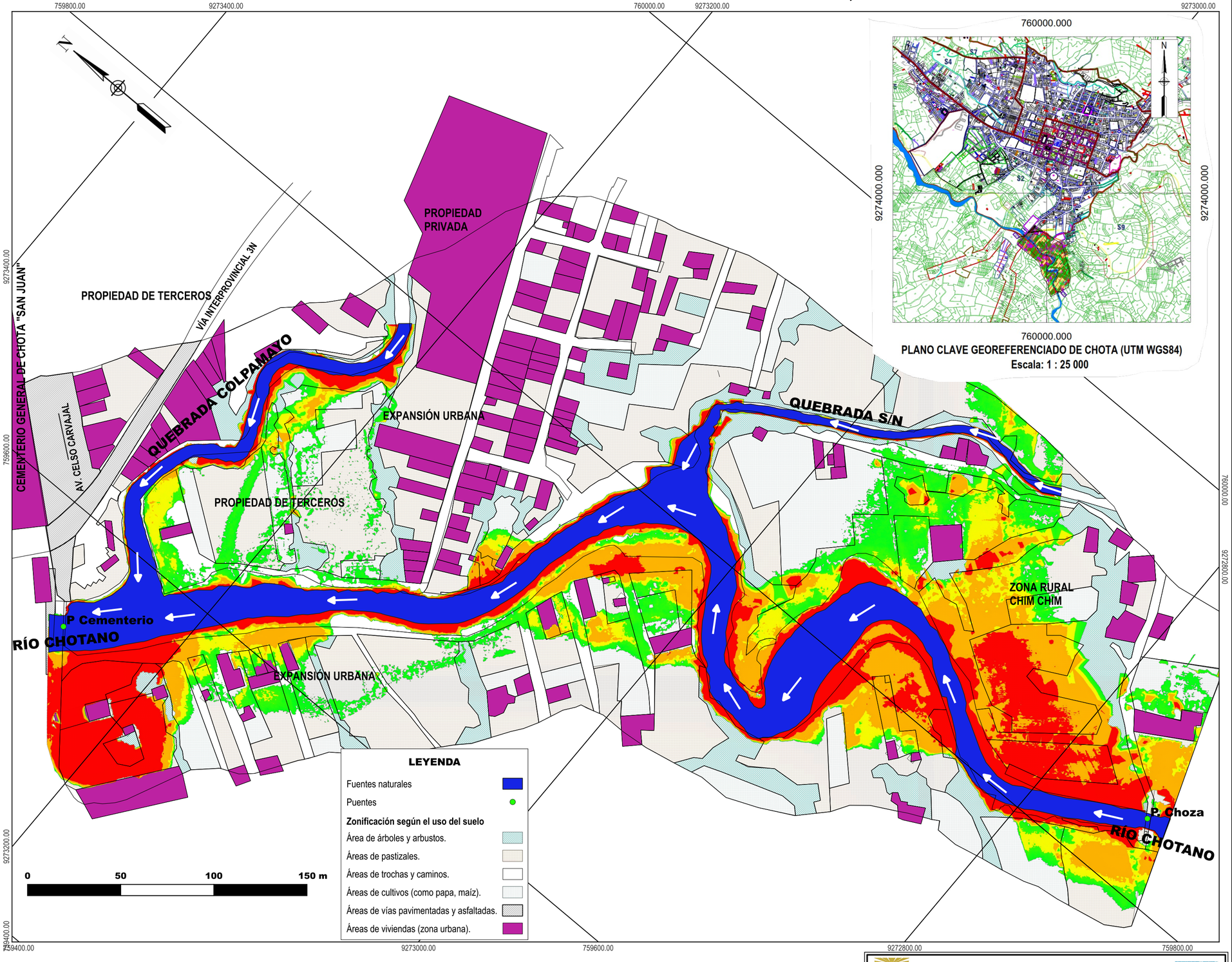
MAPA: Nivel de Peligrosidad de Inundación para un Tr=50 años.
ESCALA: 1:1500
TESISTA: Bach. Yordan Jampiere Pérez Vásquez
LÁMINA: M.P.-01
ASESOR: Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz

MAPA DE ÁREAS INUNDABLES CON NIVELES DE PELIGROSIDAD PARA TR = 100 AÑOS DE LA ZONA SURESTE DE CHOTA, TRAMO PUENTE CHOZA - PUENTE CEMENTERIO.









PLANO CLAVE GEOREFERENCIADO DE CHOTA (UTM WGS84)
Escala: 1 : 25 000

Tramo de estudio		Coordenadas UTM en zona 17S		
		Este	Oeste	Cota msnm.
Inicio	Puente Choza	759836.30	9272736.40	2335.10
Final	Puente Cementerio	759543.30	9273253.70	2320.74

Nivel de intensidad o peligrosidad de inundación	Clasificación para inundaciones dinámicas
Muy alta	H*V >1.50 m
Alta	0.50 m < H*V <1.50 m
Media	0.25 m < H*V <0.50 m
Baja	H*V < 0.25 m

INDECI (2011)

Área que abarca las fuentes naturales:	m²	Ha
	16796.58	1.68

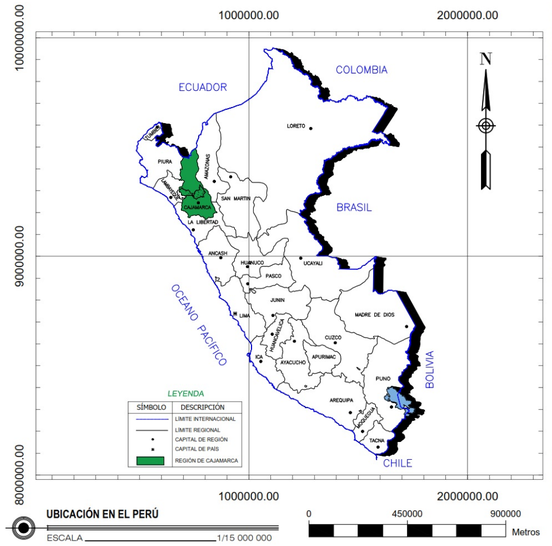
Tipo de Área según el uso de suelo	Área de estudio		Área según el nivel de intensidad o peligrosidad de inundación (m²)				Área total inundada	
	Km²	Ha	Baja	Media	Alta	Muy alta	m²	Ha
Área urbana:	0.01809	1.81	1360.28	1123.96	2782.45	525.70	5792.39	0.58
Área de pastos y alfalfa:	0.04742	4.74	2311.41	2795.56	5050.42	4131.21	14288.60	1.43
Área de cultivos como papa, maiz, hortalizas:	0.02224	2.22	2718.80	1781.21	2557.91	2713.18	9771.10	0.98
Área de árboles y arbustos:	0.01979	1.98	1872.52	1017.68	2686.85	3919.25	9496.30	0.95
Área de Trochas carrozables y caminos:	0.02455	2.46	1760.73	1124.40	1893.86	1535.63	6314.62	0.63
Área de via pavimentada y asfaltada:	0.00348	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área total inundada de zona de estudio:	**0.13557**	**13.56**	**10023.74**	**7842.82**	**14971.49**	**12824.97**	**45663.02**	**4.57**

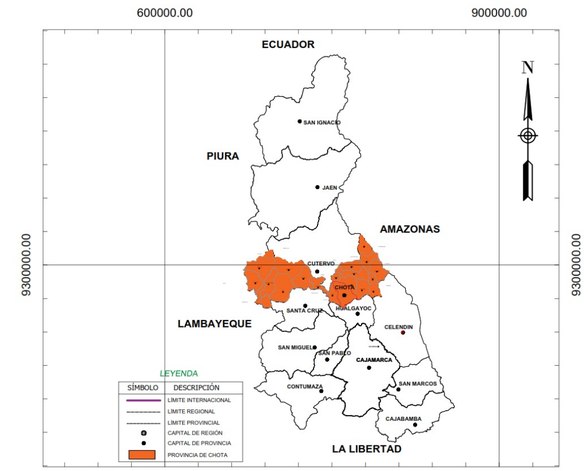
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INFENIERÍA HIDRÁULICA

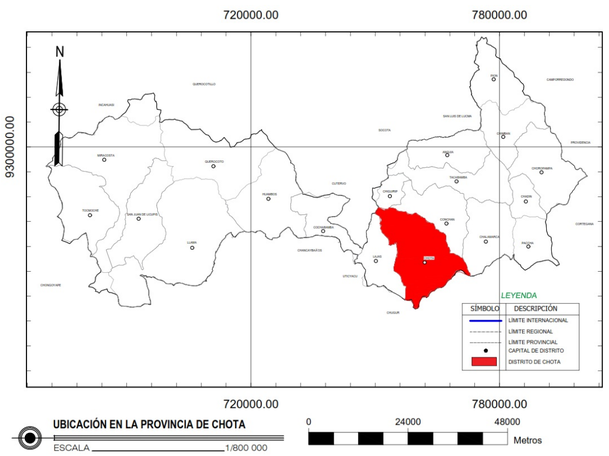
INVESTIGACIÓN:
"ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA - CAJAMARCA - 2024."

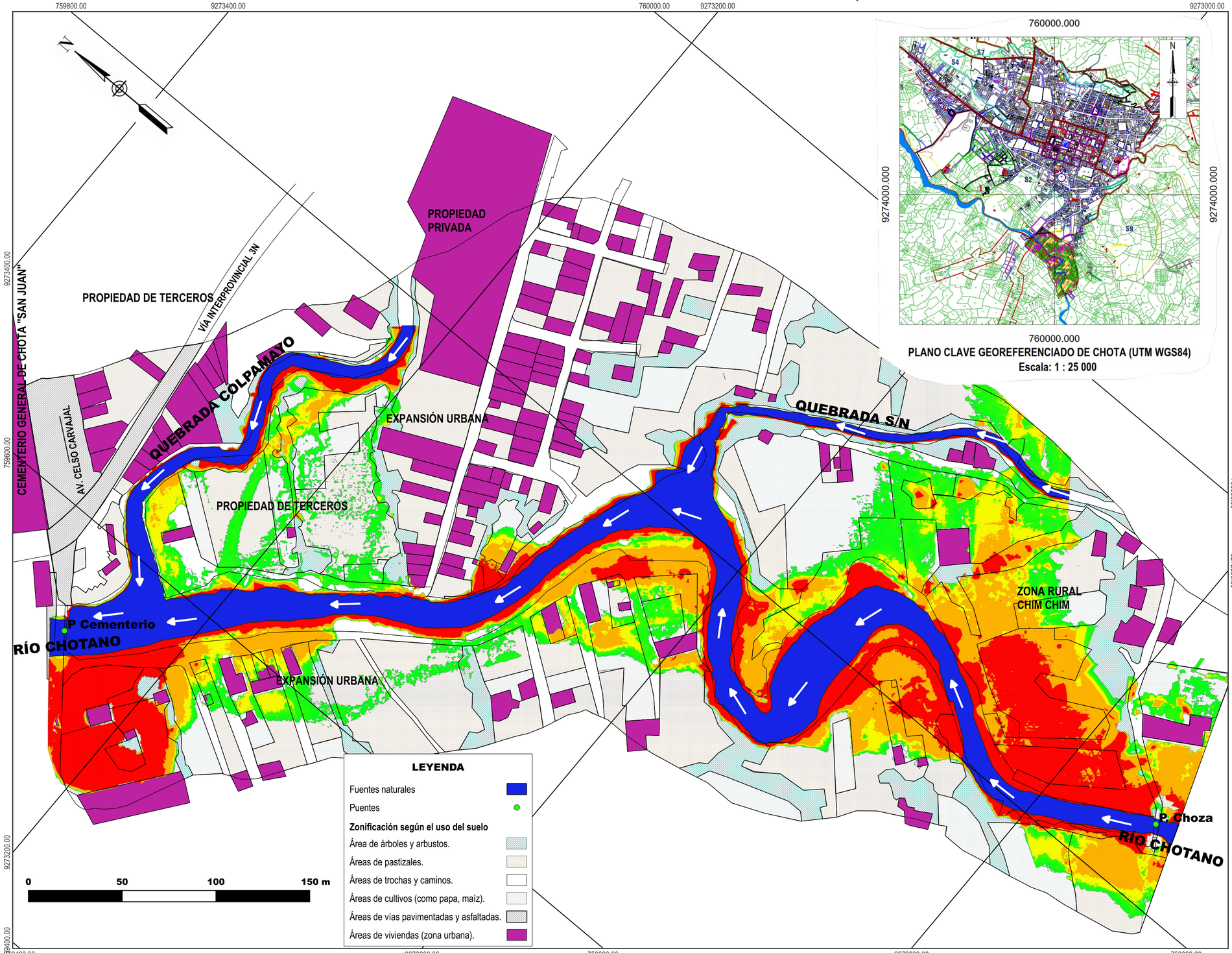
MAPA: Nivel de Peligrosidad de Inundación para un Tr=100 años.
ESCALA: 1:1500
TESISTA: Bach. Yordan Jampiere Pérez Vásquez
LÁMINA: M.P.-02
ASESOR: Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz

MAPA DE ÁREAS INUNDABLES CON NIVELES DE PELIGROSIDAD PARA TR = 135 AÑOS DE LA ZONA SURESTE DE CHOTA, TRAMO PUENTE CHOZA - PUENTE CEMENTERIO.









Nivel de intensidad o peligrosidad de inundación	Clasificación para inundaciones dinámicas
Muy alta	H*V >1.50 m
Alta	0.50 m < H*V <1.50 m
Media	0.25 m < H*V <0.50 m
Baja	H*V < 0.25 m

INDECI (2011)

Tramo de estudio		Coordenadas UTM en zona 17S		
		Este	Oeste	Cota msnm.
Inicio	Puente Choza	759836.30	9272736.40	2335.10
Final	Puente Cementerio	759543.30	9273253.70	2320.74

Área que abarca las fuentes naturales:	m^2	Ha
	16796.58	1.68

Tipo de Área según el uso de suelo	Área de estudio		Área según el nivel de intensidad o peligrosidad de inundación (m^2)				Área total inundada	
	Km^2	Ha	Baja	Media	Alta	Muy alta	m^2	Ha
Área urbana:	0.01809	1.81	1467.28	1313.73	3006.78	576.27	6364.05	0.64
Área de pastos y alfalfa:	0.04742	4.74	2694.99	3050.42	5520.89	4413.72	15680.01	1.57
Área de cultivos como papa, maiz, hortalizas:	0.02224	2.22	2835.81	1853.40	2625.41	3114.45	10429.07	1.04
Área de árboles y arbustos:	0.01979	1.98	1801.39	1129.70	2892.68	4125.00	9948.78	0.99
Área de Trochas carrozables y caminos:	0.02455	2.46	2106.01	1284.91	1996.03	1525.57	6912.53	0.69
Área de via pavimentada y asfaltada:	0.00348	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área total inundada de zona de estudio:	**0.13557**	**13.56**	**10905.48**	**8632.16**	**16041.78**	**13755.02**	**49334.44**	**4.93**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INFENIERÍA HIDRÁULICA

INVESTIGACIÓN:
"ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA - CAJAMARCA - 2024."

MAPA: Nivel de Peligrosidad de Inundación para un Tr=135 años.

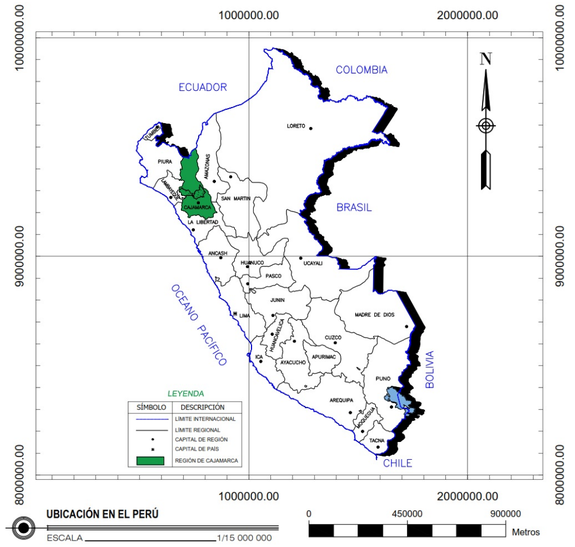
ESCALA: 1:1500

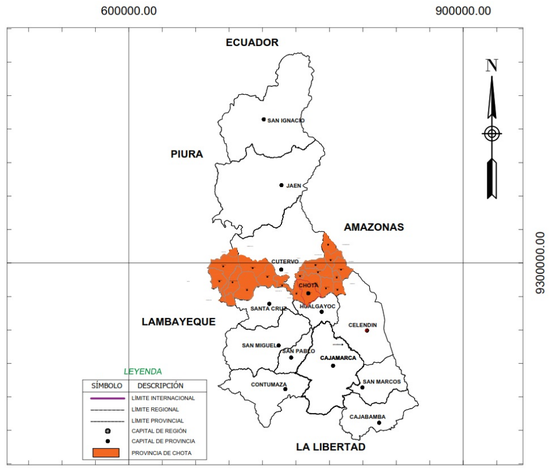
TESISTA: Bach. Yordan Jampiere Pérez Vásquez

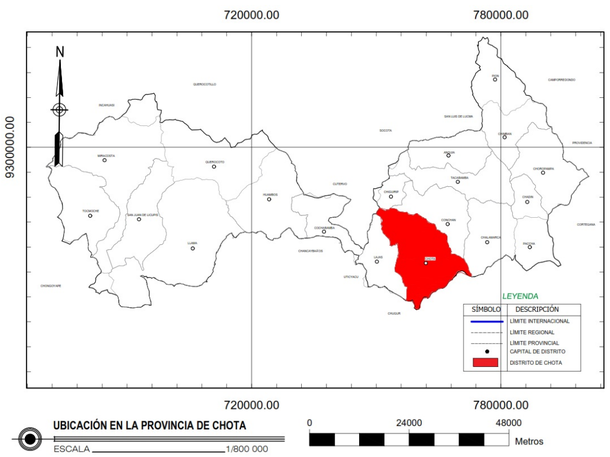
ASESOR: Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz

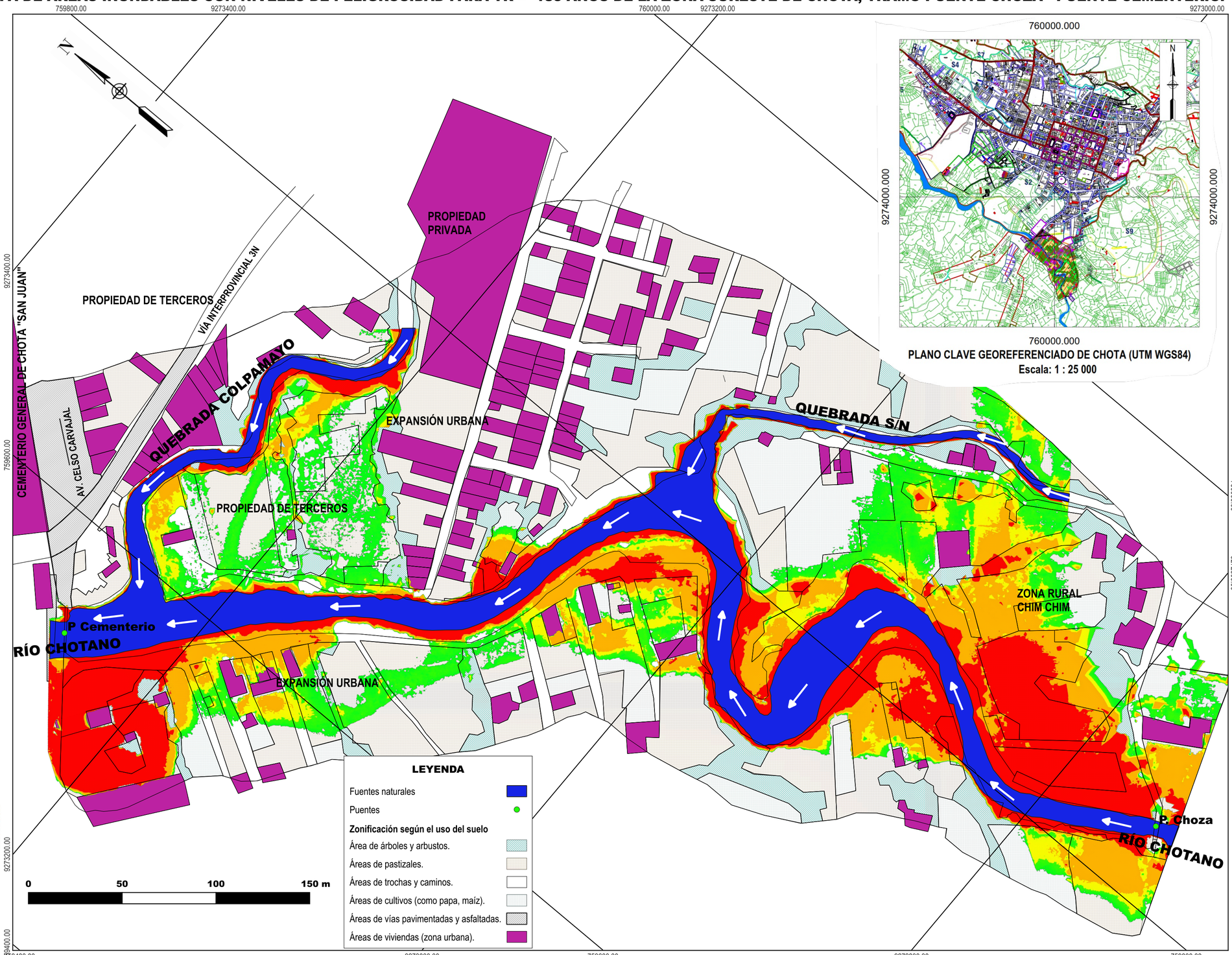
LÁMINA: M.P.-03

MAPA DE ÁREAS INUNDABLES CON NIVELES DE PELIGROSIDAD PARA TR = 185 AÑOS DE LA ZONA SURESTE DE CHOTA, TRAMO PUENTE CHOZA - PUENTE CEMENTERIO.









PLANO CLAVE GEOREFERENCIADO DE CHOTA (UTM WGS84)
Escala: 1 : 25 000

Tramo de estudio		Coordenadas UTM en zona 17S		
		Este	Oeste	Cota msnm.
Inicio	Puente Choza	759836.30	9272736.40	2335.10
Final	Puente Cementerio	759543.30	9273253.70	2320.74

Nivel de intensidad o peligrosidad de inundación	Clasificación para inundaciones dinámicas
Muy alta	H*V >1.50 m
Alta	0.50 m < H*V <1.50 m
Media	0.25 m < H*V <0.50 m
Baja	H*V < 0.25 m

INDECI (2011)

Área que abarca las fuentes naturales:	m²	Ha
	16796.58	1.68

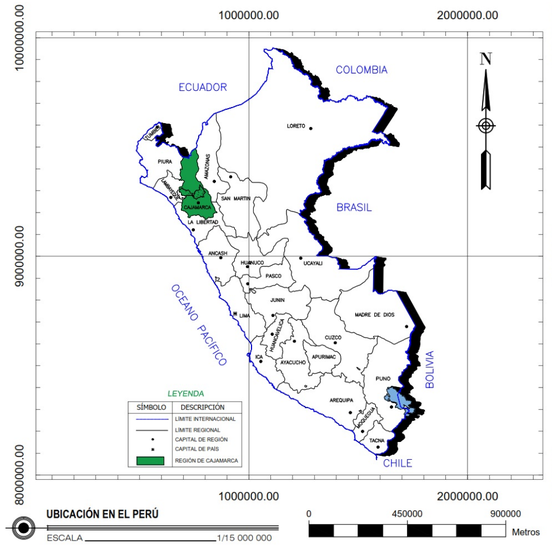
Tipo de Área según el uso de suelo	Área de estudio		Área según el nivel de intensidad o peligrosidad de inundación (m²)				Área total inundada	
	Km²	Ha	Baja	Media	Alta	Muy alta	m²	Ha
Área urbana:	0.01809	1.81	1536.61	1469.77	3153.94	612.05	6772.37	0.68
Área de pastos y alfalfa:	0.04742	4.74	3009.40	3226.98	5849.65	4582.94	16668.98	1.67
Área de cultivos como papa, maiz, hortalizas:	0.02224	2.22	2880.04	1878.01	2625.53	3435.78	10819.37	1.08
Área de árboles y arbustos:	0.01979	1.98	1684.03	1212.73	3024.26	4224.88	10145.90	1.01
Área de Trochas carrozables y caminos:	0.02455	2.46	2397.24	1412.45	2046.96	1476.36	7333.01	0.73
Área de via pavimentada y asfaltada:	0.00348	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área total inundada de zona de estudio:	**0.13557**	**13.56**	**11507.32**	**9199.94**	**16700.34**	**14332.02**	**51739.62**	**5.17**

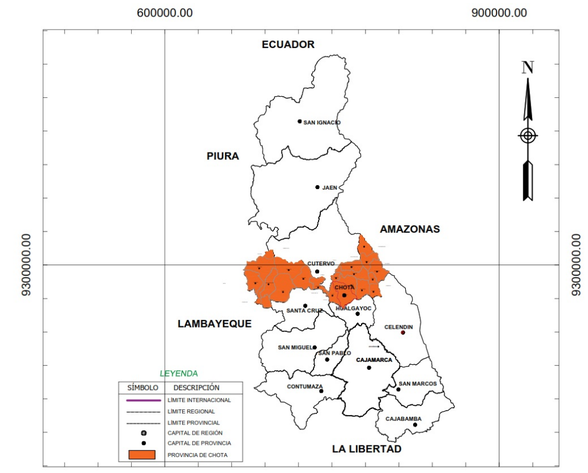
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INFENIERÍA HIDRÁULICA

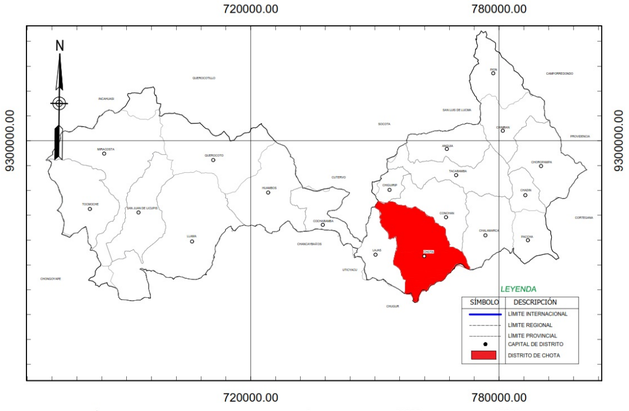
INVESTIGACIÓN:
"ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA - CAJAMARCA - 2024."

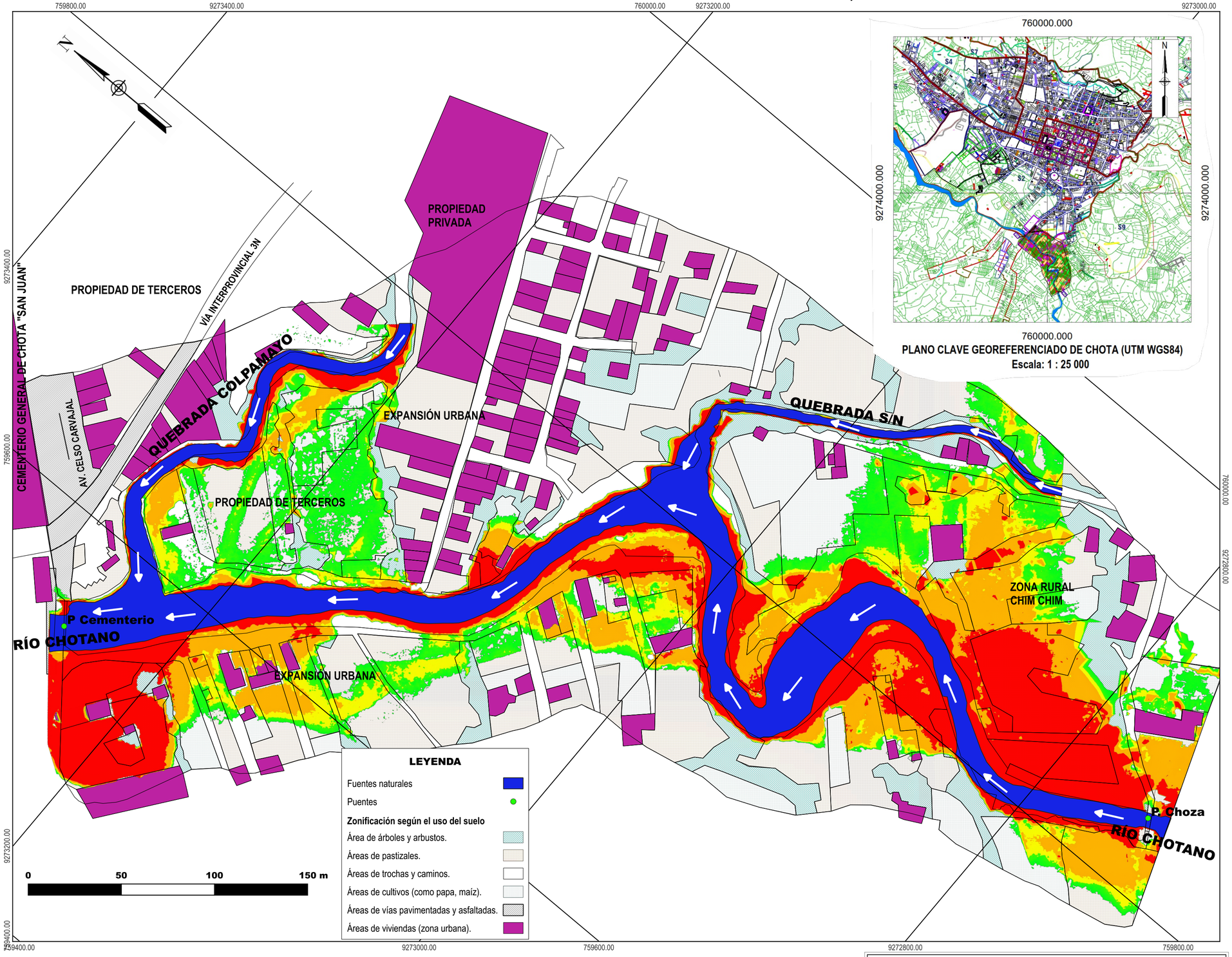
MAPA: Nivel de Peligrosidad de Inundación para un Tr=185 años.
ESCALA: 1:1500
TESISTA: Bach. Yordan Jampiere Pérez Vásquez
LÁMINA: M.P.-04
ASESOR: Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz

MAPA DE ÁREAS INUNDABLES CON NIVELES DE PELIGROSIDAD PARA TR = 285 AÑOS DE LA ZONA SURESTE DE CHOTA, TRAMO PUENTE CHOZA - PUENTE CEMENTERIO.









PLANO CLAVE GEOREFERENCIADO DE CHOTA (UTM WGS84)
Escala: 1 : 25 000

Nivel de intensidad o peligrosidad de inundación	Clasificación para inundaciones dinámicas
Muy alta	H*V >1.50 m
Alta	0.50 m < H*V <1.50 m
Media	0.25 m < H*V <0.50 m
Baja	H*V < 0.25 m

INDECI (2011)

Tramo de estudio		Coordenadas UTM en zona 17S		
		Este	Oeste	Cota msnm.
Inicio	Puente Choza	759836.30	9272736.40	2335.10
Final	Puente Cementerio	759543.30	9273253.70	2320.74

Área que abarca las fuentes naturales:	m²	Ha
	16796.58	1.68

Tipo de Área según el uso de suelo	Área de estudio		Área según el nivel de intensidad o peligrosidad de inundación (m²)				Área total inundada	
	Km²	Ha	Baja	Media	Alta	Muy alta	m²	Ha
Área urbana:	0.01809	1.81	1476.65	1786.89	3652.56	772.34	7688.44	0.77
Área de pastos y alfalfa:	0.04742	4.74	2656.25	3756.18	6103.63	5141.40	17657.45	1.77
Área de cultivos como papa, maiz, hortalizas:	0.02224	2.22	2691.79	1890.43	2949.29	3824.85	11356.37	1.14
Área de árboles y arbustos:	0.01979	1.98	1992.97	1128.33	2846.58	4725.09	10692.98	1.07
Área de Trochas carrozables y caminos:	0.02455	2.46	2503.60	1265.81	1899.41	1709.93	7378.75	0.74
Área de via pavimentada y asfaltada:	0.00348	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área total inundada de zona de estudio:	**0.13557**	**13.56**	**11321.26**	**9827.65**	**17451.47**	**16173.62**	**54773.99**	**5.48**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INFENIERÍA HIDRÁULICA

INVESTIGACIÓN:
"ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES OCASIONADAS POR MÁXIMAS AVENIDAS DEL RÍO CHOTANO EN LA ZONA SURESTE DE LA CIUDAD DE CHOTA - CAJAMARCA - 2024."

MAPA: Nivel de Peligrosidad de Inundación para un Tr=285 años.
ESCALA: 1:1500
TESISTA: Bach. Yordan Jampiere Pérez Vásquez
LÁMINA: M.P.-05
ASESOR: Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz