UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES DE LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA YARINACOCHA UTILIZANDO HEC-HMS, HEC-GEORAS Y HEC-RAS EN EL DISTRITO DE YARINACOCHA, PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO DEL DEPARTAMENTO DE UCAYALI

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO CIVIL

PEJE SOTO, ERICK BLAS

POMALAYA CURITIMA, SHIRLEY CAROL

PUCALLPA – PERU

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 15-2025

GRADUANDO : PEJE SOTO, Erick Blas
POMALAYA CURITIMA, Shirley Carol

TEMA : ***"MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES DE LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA YARINACOCHA UTILIZANDO HEC-HMS, HEC–GEORAS Y HEC-RAS EN EL DISTRITO DE YARINACOCHA, PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO DEL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"***

ASESOR : **Mg. Devyn Omar DONAYRE HERNANDEZ**

CRITERIOS	PUNTAJE			
	3	2	1	0
I- PRESENTACION				
* MOTIVACION		X		
* TONO DE VOZ		X		
* CALIDAD DE MATERIAL AUDIOVISUAL		X		
II- DESARROLLO DE CONTENIDO				
* SECUENCIA		X		
* DOMINIO DE VOZ		X		
* USO ADECUADO DEL MATERIAL		X		
* VALIDEZ DE LOS HALLAZGOS			X	
III- ABSOLUCION DE PREGUNTAS				
* RESPONDE A LAS PREGUNTAS FORMULADAS POR EL JURADO		X		
IV- APORTE CIENTIFICO Y TECNOLOGICO				
* AL DESARROLLO DE LA COMUNIDAD			X	
* A LA PROFESION		X		

EVALUACION

- EXCELENCIA — 26 A 30 PUNTOS
- UNANIMIDAD — 21 A 25 PUNTOS
- MAYORIA — 16 A 20 PUNTOS
- DESAPROBADO — 15 A MENOS

CALIFICACION FINAL:
PUNTAJE : **18** / 30

CONCLUSIONES:
APROBADO POR : **MAYORIA**
DESAPROBADO POR :

JURADO EVALUADOR

Dr. David Abel GONZALEZ MANRIQUE DE LARA
PRESIDENTE

Mg. Eleuterio PEREZ SAGASTEGUI
MIEMBRO

Dr. Walter Gilberto ROMAN CLAROS
MIEMBRO

M.SC. CLOTILDE RIOS HIDALGO DE CERNA
SECRETARIA ACADÉMICA

PUCALLPA, 08 DE MAYO DEL 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

TESIS TITULADO: "MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES DE LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA YARINACOCHA UTILIZANDO HEC-HMS, HEC-GEORAS Y HEC-RAS EN EL DISTRITO DE YARINACOCHA, PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO DEL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

ELABORADO POR: Bach. ERICK BLAS PEJE SOTO

Bach. SHIRLEY CAROL POMALAYA CURITIMA

APROBADO POR :

Dr. DAVID ABEL GONZÁLEZ MANRIQUE DE LARA
PRESIDENTE

MG. ELEUTERIO PÉREZ SAGÁSTEGUI
MIEMBRO

Dr. WALTER GILBERTO ROMÁN CLAROS
MIEMBRO

Mg. DEVYN OMAR DONAYRE HERNÁNDEZ
ASESOR DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº **V/0562-2024**.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"**MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES DE LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA YARINACOCHA UTILIZANDO HEC-HMS, HEC-GEORAS Y HEC-RAS EN EL DISTRITO DE YARINACOCHA, PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO DEL DEPARTAMENTO DE UCAYALI**"

Autor(es)	:	**PEJE SOTO, ERICK BLAS**
		POMALAYA CURITIMA, SHIRLEY CAROL
Facultad	:	**INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL**
Escuela	:	**ING. CIVIL**
Asesor(a)	:	**Mg. DONAYRE HERNANDEZ, DEVYN OMAR**

Presenta un **porcentaje de similitud de 5%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 16/10/2024

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, ERICK BLAS PEJE SOTO

Autor de la tesis titulada : MODELAMIENTO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA EL ANALISIS DE INUNDACIONES DE LA SUBCUENCA HIDROGRAFICA YARINACOCHA UTILIZANDO HEC-HMS, HEC-GEORAS Y HEC-RAS EN EL DISTRITO DE YARINACOCHA, PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO DEL DEPARTAMENTO DE UCAYALI

Sustentada el año 2025

Asesor(a): MG. DEUYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ

Facultad: DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

Escuela Profesional: DE INGENIERIA CIVIL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 08 / 05 / 2025

Email: blasser20@gmail.com Firma:

Teléfono: 996291428 DNI: 46819046

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, SHIRLEY CAROL POMALAYA CURITIMA

Autor de la tesis titulada : "MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES DE LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA YARINACOCHA UTILIZANDO HEC-HMS, HEC-GEORAS Y HEC-RAS EN EL DISTRITO DE YARINACOCHA, PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO DEL DEPARTAMENTO DE UCAYALI".

Sustentada el año: 2025

Asesor(a): Mg. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ

Facultad: DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

Escuela Profesional: DE INGENIERÍA CIVIL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 08/05/2025

Email: spomalaya93@gmail.com Firma:

Teléfono: 971867511 DNI: 48125715

DEDICATORIA

Agradezco a mis padres por su amor sin condiciones y por confiar en mí desde el inicio. Sus esfuerzos y apoyo inquebrantable han sido los elementos fundamentales que han impulsado mi logro.

Erick Blas

A Dios, fuente de sabiduría y guía, por haberme brindado la fuerza y el coraje para alcanzar este logro. A mi mamá, mi constante fuente de fortaleza, quien con su afecto y dedicación ha sido mi apoyo inquebrantable. A mi hijo, mi razón de ser y mi inspiración constante, tú eres mi mayor tesoro, que nunca falte el deseo de aprender y perseguir tus sueños. A Carlos por presionarme y animarme a la vez. A mis amigos, quienes han sido mi red de apoyo, mis cómplices, gracias por estar siempre presentes, sus ánimos y aliento me han impulsado a seguir adelante, incluso cuando las dificultades parecían insuperables. Y, por supuesto, a mi familia, cuyo amor incondicional y respaldo han sido fundamentales en cada paso de mi vida. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento. Que este logro sea un testimonio del amor y la dedicación que he recibido, y que inspire a otros a perseguir sus sueños con valentía y convicción.

Con gratitud eterna,

Shirley Carol

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a mis padres siempre han sido la fuerza que impulsa mis deseos y aspiraciones, acompañándome incansablemente en los momentos desafiantes de estudio, tanto de día como de noche. Siempre han sido mis más valiosos mentores. Al finalizar mis estudios, les dedico este logro querido padres, como un nuevo objetivo alcanzado. Me enorgullece haberlos tenido como mis padres y contar con su apoyo en este momento tan significativo.

Erick Blas

A mi amada Universidad Nacional de Ucayali, gracias por brindarme un espacio de aprendizaje enriquecedor y una plataforma para desarrollar mis habilidades y conocimientos. Siempre llevaré con orgullo el nombre de esta institución que ha dejado una huella indeleble en mi vida.

A mis queridos docentes, quienes con dedicación y pasión han guiado mi camino educativo, les agradezco por compartir su sabiduría y experiencia conmigo.

A todos aquellos que siempre nos han apoyado en todo, desde mi familia hasta mis amigos más cercanos, quiero expresar mi más profundo agradecimiento. Su aliento inquebrantable, palabras de ánimo y comprensión han sido el combustible que me ha mantenido firme en mi camino. Gracias por estar a mi lado en los triunfos y desafíos. Con gratitud en el corazón, llevo conmigo cada enseñanza, cada palabra de aliento y cada gesto de apoyo que han compartido conmigo.

Con sincera gratitud,

Shirley Carol

RESUMEN

Investigación cuyo objetivo principal fue determinar el modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis óptimo de inundaciones de la Sub Cuenca hidrográfica Yarinacocha utilizando HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali, modelamiento hidrológico e hidráulico que comprende a la determinación de los parámetros geomorfológicos, la delimitación de las coberturas de usos de suelo, los caudales máximos, y finalizando con la obtención de los perfiles hidráulicos de la Sub Cuenca hidrográfica Yarinacocha para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años. De tipo aplicada cuantitativa, del Nivel Explicativo, cuyo diseño fue pre - experimental, donde la población de estudio la constituye a la Cuenca hidrográfica Yarinacocha y la muestra fue obtenida mediante el método de muestreo no probabilística, la cual comprende a la subcuenca hidrográfica Yarinacocha, delimitada mediante el programa informático ArcGis versión 10.6, a partir de las cartas nacionales 17n, 17ñ, 16n y 16ñ otorgada por el portal web de GEO GPS PERÚ. Como resultados de la investigación se determinó los parámetros geomorfológicos indispensables para simular los modelos hidrológicos e hidráulico, las coberturas de usos de suelo, los caudales máximos para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años mediante el modelamiento hidrológico de la unidad hidrográfica, y finalizando el trabajo con la determinación de los perfiles hidráulicos para los periodos de 5,10,25,50,100 años de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha. A partir de ello se evidencian que las zonas urbanas localizadas colindantes al flujo de corriente del Lago Yarinacocha se encuentran sujetas a riegos bajos de inundaciones por el incremento del caudal del Lago. Estos riesgos bajos de inundación se evidencian en detalle en los espectros de inundaciones para cada periodo de retorno, teniéndose a partir del período de retorno del año 5 incrementos poco significativos del volumen de agua que se almacenara en el lago Yarinacocha, presentándose inundaciones poco significativas en las

áreas urbanas y de cultivo de los Centro Poblado de Yarinacocha, San José de Yarinacocha, el Puerto Callao, San Pablo de Juantia y Nueva Requena.

Palabras claves: Modelamiento hidrológico e hidráulico, Análisis de inundaciones, parámetros geomorfológicos, coberturas de usos de suelo, caudales máximos y perfiles hidráulicos.

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the hydrological and hydraulic modeling for the optimal flood analysis of the Yarinacocha sub-basin using HEC-HMS, HEC-GeoRAS and HEC-RAS in the Yarinacocha District, Coronel Portillo Province, Ucayali Department, hydrological and hydraulic modeling that includes the determination of geomorphological parameters, the delimitation of land use cover, maximum flows, and ending with the obtaining of hydraulic profiles of the Yarinacocha sub-basin for return periods of 5,10,25,50,100 years. Of quantitative applied type, of the Explanatory Level, whose design was pre-experimental, where the study population constitutes the Yarinacocha watershed and the sample was obtained through the non-probabilistic sampling method, which includes the Yarinacocha sub-watershed, delimited by the ArcGis software version 10.6, from the national charts 17n, 17ñ, 16n and 16ñ granted by the GEO GPS PERU web portal. As results of the research, the geomorphological parameters essential to simulate the hydrological and hydraulic models, land use coverages, maximum flows for return periods of 5, 10, 25, 50, 50, 100 years were determined through hydrological modeling of the hydrographic unit, and the work ended with the determination of the hydraulic profiles for periods of 5, 10, 25, 50, 100 years for the Yarinacocha sub-basin. From this it is evident that the urban areas located adjacent to the current flow of Lake Yarinacocha are subject to low flood risks due to the increased flow of the lake. These low risks of flooding are shown in detail in the flood spectra for each return period, with little significant increases in the volume of water that will be stored in Lake Yarinacocha from the year 5 return period onwards, with insignificant flooding in the urban and agricultural areas of the Yarinacocha, San José de Yarinacocha, Puerto Callao, San Pablo de Juantia and Nueva Requena population centers.

KEY WORDS: Hydrological and hydraulic modeling, Flood Analysis, Geomorphological parameters, land use coverages, maximum flows and hydraulic profiles.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA ..... **vii**

AGRADECIMIENTOS ..... **viii**

RESUMEN…..... **ix**

ABSTRACT.. ..... **xi**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **xvi**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xviii**

INTRODUCCIÓN ..... **xxii**

CAPITULO I… **1**

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **1**

1.1. Descripción y Fundamentación del Problema 1

1.2. Formulación del Problema 4

1.2.1. Problema General 4

1.2.2. Problemas Específicos 5

1.3. Objetivos 5

1.3.1. Objetivo General 5

1.3.2. Objetivos Específicos 6

1.4. Justificación e Importancia 6

1.5. Limitaciones y Alcances 7

1.6. Hipótesis 7

1.6.1. Hipótesis General 7

1.6.2. Hipótesis Específicas 8

1.7. Sistema de Variables, Dimensiones e Indicadores 8

1.7.1. Variables Independientes 8

1.7.2. Variable Dependiente 9

CAPITULO II..... **11**

MARCO TEÓRICO **11**

2.1. Antecedentes y revisión de estudios realizados 11

2.1.1. Antecedentes 11

2.1.1.1. Antecedentes Internacionales. 11

2.1.1.2. Antecedentes nacionales. 14

2.1.1.3. Antecedentes locales. 17

2.2. Bases Teóricas 17

2.2.1. Infraestructura natural 17

2.2.2. Servicios ecosistémicos hídricos 18

2.2.3. Geofísica 18

2.2.4. Ciclo hidrológico 18

2.2.5. Cuenca hidrográfico 19

2.2.6. Hietograma 19

2.2.7. Inundaciones 20

2.2.8. Tipo de inundaciones 20

2.2.9. Modelado hidrológico de eventos 21

2.2.10. Modelamiento hidrológico 21

2.2.11. Modelamiento hidráulico 22

2.2.12. Importancia de un modelo hidráulico 22

2.3. Definición de términos básicos 23

CAPITULO III. 29

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 29

3.1. Metodología y técnicas utilizadas 29

3.1.1. Ubicación geográfica 29

3.1.2. Limites 31

3.1.3. Tipo de investigación 31

3.1.4. Nivel de investigacion 31

3.1.5. Diseño de investigación 31

3.2. Población y muestra 32

3.2.1. Población 32

3.2.2. Muestra 33

CAPITULO IV. 34

RESULTADOS 34

4.1. Parámetros geomorfológicos de la subcuenta Hidrográfica 34

4.1.1. Delimitación de la sub cuenca Yarinacocha 34

4.1.2. Procedimiento para la delimitación de la subcuenca 35

4.1.2.1. Generación de áreas de drenaje (cuencas de captación) o Watersheds 36

4.1.2.2. Generación Vectorial de Cuencas 47

4.1.3. Cálculo de parámetros geomorfológicos de la sub Cuenca Yarinacocha 56

4.1.3.1. Hidrografía de la Subcuenca YARINACOCHA 63

4.2. Coberturas de usos de suelo de la subcuenca hidrográfica Yarinacocha ..68

4.3. Cálculo de coeficiente de escorrentía de la sub cuenca Yarinacocha 77

4.4. Caudales máximos de la subcuenca hidrográfica Yarinacocha 81

4.4.1. Datos mensuales de precipitación máxima en 24 hrs. (mm) 81

4.4.2. Análisis de datos dudosos (Outlier) en precipitaciones máxima de 24 horas….. 84

4.4.3. Prueba de bondad de ajuste - Método gráfico y Smirnov – Kolmogorov 90

4.4.4. Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel 98

4.4.4.1. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias…. 101

4.4.4.2. Intensidad máxima de precipitación 102

4.4.4.3. Curvas IDF de la sub cuenca Yarinacocha para diferentes periodos de retorno "T" 104

4.4.4.4. Expresión matemática de intensidad para la zona en estudio 118

4.4.5. Cálculo caudal máximo de la sub cuenca Yarinacocha.....123

4.4.5.1. Tiempo de concentración de la Sub Cuenca Yarinacocha.....123

4.4.5.2. Hietograma para periodo retorno T años en escenarios del caso de estudio.. 125

4.4.5.3. Caudal máximo por precipitación de la Sub cuenca Yarinacocha 139

4.5. Perfiles hidráulicos de la subcuenca hidrográfica Yarinacocha 143

4.5.1. Determinación de la geometría de los canales 143

4.5.2. Modelamiento del flujo 144

4.5.3. Simulación de inundación del Lago Yarinacocha 146

4.5.3.1. Espectros de inundación.....146

4.6. Análisis e interpretación.....156

CAPITULO V. 157

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....157

5.1. Discusión de los resultados del estudio hidrológico de la Sub Cuenca Yarinacocha.....157

5.2. Discusión de los resultados del estudio hidráulico Subcuenca Yarinacocha.....159

CONCLUSIONES 161

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS.....164

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 167

ANEXOS…….....173

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 .*Definición Operacionalización de Variables, Dimensiones e Indicadores* ... **10**

Tabla 2. *Datos de la Sub-Cuenca Yarinacocha* **56**

Tabla 3. *Pendiente de la Sub-Cuenca Yarinacocha* **57**

Tabla 4. *Parámetros Geomorfológicos de la subcuenca Yarinacocha* **59**

Tabla 5. *Cálculos para la obtención de la Curva hipsométrica* **60**

Tabla 6. *Hidrografía de la subcuenca Yarinacocha* **63**

Tabla 7. *Coberturas de Usos - Región Ucayali* **69**

Tabla 8.*Coberturas de Usos de Suelo de Región Ucayali* **71**

Tabla 9. *Cobertura de Uso - Subcuenca Yarinacocha* **73**

Tabla 10. *Caracterización de la cobertura* **75**

Tabla 11. *Coeficiente de Escorrentía según clasificación de uso de suelo* **77**

Tabla 12. *Datos Estación Pluviométrica* **81**

Tabla 13. *Datos Mensual de Precipitación en 24 Hrs (mm)* **82**

Tabla 14. *Registro de precipitación máxima de 24 horas* **85**

Tabla 15. *Parámetros Estadísticos* **86**

Tabla 16. *Valores de datos dudosos* **86**

Tabla 17. *Valores Kn para la prueba de datos dudosos* **87**

Tabla 1*8.* Umbral de datos dudosos **87**

Tabla 19. Prueba estadística de Kolmogrov-Smirnov **91**

Tabla 20. *Criterio de decisión de ajuste de la distribución Normal* **92**

Tabla 21. *Criterios de decisión de ajustes de la distribución LogNormal* **93**

Tabla 22. *Criterios de decisión de ajustes de la distribución Gamma* **94**

Tabla 23. *Criterios de decisión de ajustes de la distribución Pearson III* **95**

Tabla 24. *Criterio de decisión de ajustes de la distribución Log Pearson III* **96**

Tabla 25. *Criterios de decisión de ajustes de la distribución EV1-Max(Gumbel)* **97**

Tabla 2*6.* Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel.....98

Tabla 27. Variables probabilísticas.....100

Tabla 28. *Cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables*.....100

Tabla 29. Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas.....101

Tabla 30. *Precipitación máxima por tiempos de duración*.....101

Tabla 3*1*. Intensidad máxima de precipitación.....102

Tabla 32. *Precipitaciones Máximas probables para distintos periodos de retorno*.103

Tabla 33. *Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración*.....105

Tabla 34. *Intensidades de lluvia a partir de Pmax.*.....106

Tabla 35. *Periodo de retorno para T=2 años*.....107

Tabla 36. *Periodo de retorno para T=5 Años*.....108

Tabla 37. *Periodo de retorno para T=10 años*.....109

Tabla 38. Periodo de retorno para T=25 años.....110

Tabla 39. *Periodo de retorno para T=50 años*.....111

Tabla 40. *Periodo de retorno para T=100 años*.....112

Tabla 41. *Periodo de retorno para T=105 años*.....113

Tabla 42. *Periodo de retorno para T=500 años*.....114

Tabla 43. *Periodo de retorno para T=1000 años*.....115

Tabla 44. *Resumen de aplicación de regresión potencial*.....116

Tabla 45. *Regresion potencial*.....117

Tabla 46. *Coeficientes de regresión*.....117

Tabla 47. *Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración*.....119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Modelación hidrológica para seleccionar y usar modelos hidrológicos 21

Figura 2: Sub Cuenta Yarinacocha 30

Figura 3: Ríos en la Sub Cuenca Yarinacocha 32

Figura 4: Lagos Sub Cuenca Yarinacocha 33

Figura 5: Información de acumulación de flujo de la misma parte de la subcuenca mostrada tal como ArcGis lo presenta originalmente 37

Figura 6: Presentación "Classified", establece dos rangos de clasificación, como se ilustra en la figura. 38

Figura 7: El primer valor de "Break Values" se empleará para llevar a cabo las pruebas. En cada ensayo, confirma los cambios con "OK" 39

Figura 8: El primer rango se representará con un color "invisible", y al segundo se le asignará cualquier color 40

Figura 9: Al primer rango se le aplicará un color "invisible" y al segundo, cualquier color…. 41

Figura 10: Determinación del valor del umbral de acumulación e introduce nuevos valores para cada rango "0" y "1", según se muestra en la figura. Después, confirma con "OK" para crear el nuevo tema. 42

Figura 11: Uso del comando Reclass of en ArcGis. Conformado por los cursos de agua determinados por el umbral de acumulación 43

Figura 12: Generación de Stream Link, herramienta dentro de ArcTollBox 44

Figura 13: Stream Link generado 45

Figura 14: Ubicación de la herramienta Watershed 46

Figura 15: Interface de ingreso de la herramienta Watershed 47

Figura 16: Interface Raster to Features 49

Figura 17: Interface Raster to Features 50

Figura 18: Mapa Sub Cuenca Yarinacocha 51

Figura 19: Ríos en la Sub Cuenca Yarinacocha 52

Figura 20: Lagos en la Sub Cuenca Yarinacocha..... 53

Figura 21: Curvas de nivel en la Sub Cuenca Yarinacocha 54

Figura 22: Áreas características en la Sub Cuenca Yarinacocha..... 55

Figura 23: Red Hídrica la Sub Cuenca Yarinacocha 58

Figura 24: Curva Hipsométrica – Polígono de Frecuencia..... 61

Figura 25: Curva Hipsométrica – Polígono de Frecuencia..... 62

Figura 26: Dirección de Flujo de la Sub Cuenca Yarinacocha..... 64

Figura 27: Acumulación de Flujo de la Sub Cuenca Yarinacocha..... 65

Figura 28: Orden de la Red Hídrica de la Sub Cuenca Yarinacocha 66

Figura 29: Red Hídrica de la Sub Cuenca Yarinacocha..... 67

Figura 30: Coberturas de Usos – Región Ucayali..... 70

Figura 31: Coberturas de Usos de Suelo de Región Ucayali 72

Figura 32: Caudal para los períodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 años..... 74

Figura 33: Uso de cuenca 76

Figura 34: Coeficiente de Escorrentía según clasificación de uso de suelo 79

Figura 35: Coeficiente de Escorrentía Ponderado de la Sub Cuenca Yarinacocha..... 80

Figura 36: Histograma de precipitación máxima en 24 Horas - Estación Pucallpa..... 83

Figura 37: Análisis de datos dudosos (Outlier) en precipitaciones máxima de 24 Horas - Outlier Pucallpa..... 89

Figura 38: Ajustes de la Distribución Normal..... 92

Figura 39: Ajustes de la Distribución LogNormal 93

Figura 40: Ajustes de la Distribución Gamma 94

Figura 41: Ajustes de la distribución Pearson III..... 95

Figura 42: Ajustes de la Distribución Log Pearson III..... 96

Figura 43: Ajustes de la Distribución EV1-Max (Gumbel) 97

Figura 44: Distribución de Precipitación..... 99

Figura 45: Precipitación Max Diferentes "T"..... 104

Figura 46: Periodo de retorno T=2 108

Figura 47: Periodo de retorno T=5 109

Figura 48: Periodo de retorno para T= 10 años 110

Figura 49: Periodo de retorno para T = 25 años 111

Figura 50: Periodo de retorno para T = 50 años 112

Figura 51: Periodo de retorno para T = 100 años 113

Figura 52: Periodo de retorno para T = 105 años 114

Figure 53: Periodo de retorno T = 500 años 115

Figura 54: Periodo de retorno para T = 1000 años 116

Figura 55: Relación constante d vs T 118

Figure 56: Curvas IDF para diferentes "T" 120

Figura 57: Curva IDF T5 126

Figura 58: Hietograma precipitación T5 126

Figura 59: Distribución intensidades precipitación T5 127

Figura 60: Curva IDF T10 129

Figura 61: Hietograma precipitación T10 129

Figura 62: Distribución intensidades precipitación T10 130

Figura 63: Curva IDF T25 132

Figura 64: Hietograma precipitación T25 132

Figura 65: Distribución intensidades precipitación T25 133

Figura 66: Curva IDF T50 135

Figura 67: Hietograma precipitación T50 135

Figura 68: Distribución intensidades precipitación T50 136

Figura 69: Curva IDF T100 138

Figura 70: Hietograma precipitación T100 138

Figura 71: Distribución intensidades precipitación T100 139

Figura 72: Caudal máximo por precipitaciones de la Sub Cuenca Yarinacocha para 5 años….. 141

Figura 73: Caudal máximo por precipitaciones de la Sub Cuenca Yarinacocha para 10 años….. 141

Figura 74: Caudal máximo por precipitaciones de la Sub Cuenca Yarinacocha para 25 años….. 142

Figura 75: Caudal máximo por precipitaciones de la Sub Cuenca Yarinacocha para 50 años….. 142

Figura 76: Caudal máximo por precipitaciones de la Sub Cuenca Yarinacocha para 100 años….. 143

Figura 77: Secciones transversales del Lago Yarinacocha. 144

Figura 78: Geometría del flujo del Lago Yarinacocha. 145

Figura 79: Caudal para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años 146

Figura 80: Espectros de Inundación para 5 años. 147

Figura 81: Espectros de Inundación para 10 años 148

Figura 82: Espectros de Inundación para 25 años. 149

Figura 83: Espectros de Inundación para 50 años. 150

Figura 84: Espectros de Inundación para 100 años. 151

Figura 85: Espectros de Inundación para 5, 10, 25, 50 Y 100 años. 152

Figura 86: Modelamiento Hidrológico e Hidráulico para 5, 10, 25, 50 Y 100 años 153

Figura 87: Caudal para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años y Caudal del Rio Ucayali 154

Figura 88: Espectros de Inundación para Caudal Río Ucayali 155

Figura 89: Curvas IDF para “T” 177

Figura 90: Patrón Tormenta Curva “S” 177

Figura 91: Tormenta de Diseño para T años 180

Figura 92: Curvas IDF para “T” 181

Figura 93: Patrón Tormenta Curva “S” 181

Figura 94: Patrón Tormenta Curva “S” 184

INTRODUCCIÓN

Uno de los fenómenos naturales más dañinos que ha sufrido la humanidad son las inundaciones. Casi todas las grandes civilizaciones se extendieron viviendo en lugares sujetos a inundaciones, ya que estar cerca de un río importante les ofrecía muchas ventajas. La más importante era disponer de un suministro fiable de agua, esencial para el avance de la ganadería y la agricultura tal y como las conocemos hoy en día. Utilizar los ríos como medio de comunicación permitió el crecimiento de las interacciones comerciales entre otras culturas, que fue el segundo beneficio importante. Todas estas cosas ayudaron a la humanidad a desarrollar la capacidad de convivir con este tipo de catástrofes naturales. A medida que avanzaba la ciencia, se fueron implantando técnicas de protección y gestión de las inundaciones, en un esfuerzo por limitar la pérdida de vidas humanas y las pérdidas económicas de los bienes.

Las inundaciones representan un desafío significativo en regiones donde constituyen uno de los desastres naturales más recurrentes, ocasionando pérdidas humanas y económicas considerables. En países como Estados Unidos y Costa Rica, así como en algunos ríos, se ha observado una disminución en la frecuencia de inundaciones, como en el caso del río Corredor, debido a factores de origen humano, como actividades agrícolas, expansión urbana, deforestación y contaminación, entre otros. En Ecuador, la problemática de las inundaciones es compleja, ya que involucra múltiples elementos, incluyendo la fisiografía y morfología de las cuencas de drenaje, así como la respuesta del agua a las condiciones climáticas locales. Por otro lado, en Argentina, el crecimiento demográfico sostenido en los últimos años ha generado un desequilibrio significativo entre el entorno ambiental y el desarrollo urbano. En Bolivia, las inundaciones extremas se caracterizan por niveles de agua elevados, mientras que, en Colombia, se hace evidente la necesidad de emplear herramientas informáticas para prever y anticipar estos eventos.

Esto implica analizar y consolidar datos topográficos, hidrológicos, hidráulicos e incluso de calidad, para crear escenarios que consideren diversas condiciones y facilitar la toma de decisiones de ingeniería basadas en información técnica sólida. Esta necesidad se acentúa particularmente en áreas urbanas y comunidades habitadas.

En el contexto del Perú, según Oyola & Medina (2019), desde que civilizaciones preincaicas como la Moche y la Inca se asentaron en las costas del antiguo Perú, donde la geomorfología, las investigaciones sobre sedimentos y la paleontología revelan que este fenómeno se viene produciendo desde hace al menos 40.000 años, el fenómeno de El Niño es conocido como tal. Cada año, el Perú enfrenta el desafío recurrente de las inundaciones debido a la naturaleza estacional de las lluvias en la región andina. Esta área experimenta una estación lluviosa claramente definida, que se extiende desde diciembre hasta marzo, y durante este período, se producen desbordes en distintas zonas del país, incluyendo la selva, la costa y la sierra. Estos eventos de inundación suelen iniciarse en las épocas de mayor precipitación. Teniendo en cuenta que los datos del INDECI muestran que hubo aproximadamente 5,000 emergencias provocadas por inundaciones entre 2003 y 2018, lo que sugiere que hubo 300 inundaciones en total por año en todo el territorio, esta estadística representa un número impresionante, con los efectos más desastrosos de las lluvias e inundaciones que se producen en presencia del fenómeno de El Infante. (Muñoz & Quinde, 2021).

Entonces, como lo afirma Villalobos (2021), las inundaciones han sido una constante a lo largo de la historia humana. Lo que convierte a las inundaciones en situaciones de desastre es la tendencia del ser humano a establecerse cerca de cursos de agua o masas de agua debido a la conveniencia para la vida cotidiana y atractivos que ofrecen. Esta ocupación de áreas propensas a inundaciones es lo que agrava la situación. En este contexto, se puede observar que el Centro Poblado San José forma parte de las áreas afectadas por el fenómeno El Niño Costero 2017, como se menciona en el Decreto

de Declaratorias de Emergencia. Además, la Ley N° 30556 del Programa Nacional de Viviendas Rurales (PNVR) del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento también involucra a esta comunidad.

Como nuestra nación está en la zona norte y la región amazónica experimenta frecuentemente inundaciones, deslizamientos, desbordes y otros fenómenos naturales, especialmente en los meses de invierno en la región amazónica de enero a abril, donde los ríos crecen por encima del nivel esperado en la ciudad de Iquitos, a nivel local, los impactos de los fenómenos naturales en Ucayali se deben a la temporada de lluvias, por las posibles implicaciones derivadas de la canalización de estas aguas, y estos fenómenos han sido más frecuentes en los últimos años.

Conscientes de la problemática real relacionada con posibles riesgos de inundaciones de localidades en el Distrito de Yarinacocha, la investigación se encargó de modelar hidrológico e hidráulico para analizar óptimo inundaciones en la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha. Este proceso se basó en el uso de herramientas como HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS en el Distrito de Yarinacocha, que se encuentra en la Provincia de Coronel Portillo, en el Departamento de Ucayali. En consecuencia, se planteó una hipótesis que sugiere que mediante el modelamiento hidrológico e hidráulico se podrían analizar eficazmente las inundaciones en la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha.

Respecto al proceso del desarrollo de la investigación, el desarrollo del modelamiento hidrológico e hidráulico de la Sub Cuenca Yarinacocha, la constituyen, determinar los parámetros geomorfológicos indispensables para simular modelos hidrológicos e hidráulico; las coberturas de usos de suelo; los caudales máximos para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años mediante el modelamiento hidrológico de la unidad hidrográfica; y finalizando con la determinación de los perfiles hidráulicos para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años de la Sub Cuenca hidrográfica Yarinacocha.

Finalmente, se concluye que, mediante la modelación hidrológica de la unidad hidrográfica y la determinación de los perfiles hidráulicos para los periodos de 5,10,25,50,100 años de la subcuenca Yarinacocha, se determinaron los parámetros geomorfológicos esenciales para simular los modelos hidrológicos e hidráulicos, las coberturas de uso del suelo y los caudales máximos para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años. Esto demuestra que las zonas urbanas cercanas al caudal actual del lago Yarinacocha no corren riesgo de inundación por el aumento del caudal del lago. Los espectros de inundación para cada período de retorno muestran en detalle estos bajos riesgos de inundación, con incrementos poco o nada significativos en la cantidad de agua que se almacenará en el lago Yarinacocha a partir del período de retorno del año 5, e inundaciones mínimas en las zonas urbanas y agrícolas de los centros poblados de Yarinacocha, San José de Yarinacocha, Puerto Callao, San Pablo de Juantia y Nueva Requena.

CAPITULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y Fundamentación del Problema

En la contemporaneidad, en México, las inundaciones se han convertido en un asunto de fondo, ya que se sitúan entre los fenómenos naturales más recurrentes y de mayor impacto en términos tanto económicos como humanos. Aproximadamente un 41% del territorio nacional y alrededor de 31 millones de personas se encuentran en situaciones de vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos (Bocanegra, 2021). De manera similar, en Estados Unidos, las inundaciones se erigen como el desastre natural más perjudicial y peligroso, según los datos proporcionados por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Entre los desastres relacionados con el agua, las inundaciones representan el 50%, superando a otras amenazas como hambrunas, sequías y epidemias (Hernández et al., 2017).

En Costa Rica, algunos ríos han experimentado una disminución en la periodicidad de las inundaciones, tal es el caso del río Corredor. Este fenómeno se atribuye a factores antropogénicos como actividades agrícolas, desarrollo urbano, deforestación y contaminación, que han ocasionado una reducción en la sección hidráulica del río, provocando su desbordamiento y causando pérdidas tanto humanas como económicas. En este contexto, las ciudades más propensas a verse afectadas por estos eventos en el río Corredor son Rafael y Ciudad Neily (Gómez & Monge, 2019).

En Ecuador, las inundaciones son muy complejas, ya que involucran diversos elementos, siendo relevantes los vinculados a la fisiografía y la configuración de la cuenca de drenaje, así como cómo el sistema hídrico responde a las condiciones climáticas características de la región (Cartaya & Mantuano, 2017). Por otro lado, en

Argentina, el incremento demográfico de los últimos años ha generado un desequilibrio significativo entre el entorno ambiental y el desarrollo urbano, en el que elementos como la expansión, consolidación y densificación han puesto en tela de juicio las dinámicas medioambientales de la ciudad (Belén, 2019).

En Bolivia, las crecidas extremas representan un fenómeno hidrológico distinguido por su capacidad para causar daños considerables por las fluctuaciones en los caudales, lo que pone en peligro tanto vidas humanas como bienes materiales. Es importante destacar que el crecimiento territorial sin una planificación adecuada amplifica el impacto de estos desastres naturales (Bladés & López, 2020). En Colombia, para abordar los riesgos relacionados con inundaciones, especialmente en áreas urbanas y asentamientos poblacionales, se ha vuelto imprescindible utilizar herramientas computacionales que permitan prever y anticipar estos eventos mediante análisis detallados. Esto implica la recopilación y consolidación de información topográfica, hidrológica, hidráulica e incluso de calidad del agua, para generar escenarios con distintas condiciones. De esta manera, se puede tomar decisiones de ingeniería fundamentadas en datos técnicos y bien fundamentados. (Orduz, 2022).

El fenómeno de El Niño ha sido conocido desde las épocas preincaicas, cuando civilizaciones como los Moche e Inca se establecieron en las costas del antiguo Perú. Estudios geomorfológicos, de sedimentos y paleontológicos indican que este fenómeno ha ocurrido durante al menos los últimos 40,000 años. En Perú, las inundaciones son un problema recurrente cada año debido a la estacionalidad de las precipitaciones en la región andina. Esta área tiene una época seca y una época de lluvias claramente diferenciadas, siendo esta última de diciembre a marzo. (Oyola & Medina, 2019).

Los desbordamientos ocurren en la selva, costa y sierra, originados en épocas de avenida, dado que los datos registrados en INDECI indican que alrededor de 5 mil

emergencias se produjeron por inundación en el lapso 2003 – 2018, lo que implica que se produjeron 300 inundaciones al año en el territorio, donde se simboliza una estadística imponente, siendo los efectos más catastróficos por lluvias e inundaciones y presencia del Fenómeno El Infante (Muñoz & Quinde, 2021).

Las inundaciones han sido un fenómeno presente a lo largo de la historia de la humanidad. Sin embargo, lo que transforma estas inundaciones en verdaderas situaciones de desastre es la interacción del ser humano con su entorno. La comodidad en la vida cotidiana y los atractivos que ofrecen los cuerpos de agua llevan a las personas a establecerse en proximidad a ellos, incluso en zonas propensas a inundaciones. En consecuencia, muchas veces se ocupan terrenos ubicados en las llanuras de inundación, lo que aumenta la vulnerabilidad ante este tipo de eventos (Villalobos, 2021).

El Centro Poblado San José, se encuentra comprendida en el Decreto de las Declaratorias de Emergencia por el fenómeno El Niño Costero 2017 y la Ley N° 30556 del Programa Nacional de Viviendas Rurales – PNVR del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (Evar, 2019).

En el ámbito local de Ucayali, los efectos de los fenómenos naturales y sus impactos están relacionados con la temporada de lluvias, ya que el país está en una región geográfica propensa a experimentar eventos adversos, como inundaciones, desbordes de ríos y huaicos. Estos fenómenos naturales, en su mayoría, se presentan durante la época de invierno en la región amazónica, que abarca desde enero hasta abril. Se examinó un período específico entre 2003 y 2012, cuando hubo daños por las intensas lluvias y las consecuentes inundaciones.

Las cifras reflejan la magnitud de los impactos sufridos durante estos eventos naturales en Ucayali. En este periodo, un 4,3 % de la población resultó afectada,

equivalente a 687,820 personas, y 66,943 viviendas quedaron dañadas o destruidas por inundaciones y precipitaciones extremas (Tineo, 2021).

En la ciudad de Iquitos, se ha experimentado un aumento en el nivel de los ríos, incluso por encima de los niveles esperados. Por ejemplo, el río Amazonas superó la cota de 117.00 metros sobre el nivel del mar, lo que llevó a que se declarara una Alerta Roja Hidrológica por parte del SENAMHI. En los últimos años, estos fenómenos se están presentando con mayor frecuencia, lo que causa una gran preocupación entre los residentes que viven cerca de las avenidas o calles con un sistema de drenaje insuficiente para las aguas pluviales. Esto puede tener graves consecuencias en el encauzamiento y manejo de estas aguas, generando malestar y riesgos para la población (Condezo & Reshea, 2019).

En un distrito de Ucayali mantienen un gran potencial de inundación en épocas de avenidas por el aumento del caudal, por las enormes precipitaciones que recibe el rio no puede soportar el cauce, donde esto genera desborde del río y afecta a los pobladores que moran en los márgenes del mismo (Rojas, 2019).

El estudio actual tuvo lugar en el Centro Poblado San Lorenzo y la Comunidad Nativa San Francisco, ubicados en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo en el Departamento de Ucayali. El propósito es realizar la modelación hidrológica e hidráulica para obtener los hidrogramas pico, considerando el caudal para un período de retorno. Estos resultados podrán ser empleados inmediatamente para el diseño y planificación de futuras estructuras y obras, lo que contribuirá al control de las inundaciones en la zona.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

- ¿El modelamiento hidrológico e Hidráulico utilizando HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS permite el análisis óptimo de inundaciones de la

Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los parámetros geomorfológicos indispensables para simular modelos hidrológicos e hidráulicos de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali?
- ¿Cuál es la delimitación de las coberturas de usos de suelo de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, mediante una clasificación supervisada para obtener la Curva Número en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali?
- ¿Cuáles son los caudales máximos de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años mediante el modelamiento hidrológico de la unidad hidrográfica en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali?
- ¿Cuáles son los perfiles hidráulicos para los periodos 5,10,25,50,100 años de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar el modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis óptimo de inundaciones de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha utilizando HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros geomorfológicos indispensables para simular modelos hidrológicos e hidráulico de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.
- Determinar las coberturas de usos de suelo de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, mediante una clasificación supervisada para obtener la Curva Número en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.
- Determinar los caudales máximos de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años mediante el modelamiento hidrológico de la unidad hidrográfica en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.
- Determinar los perfiles hidráulicos para los periodos 5,10,25,50,100 años de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.

1.4. Justificación e Importancia

1.4.1. A nivel práctico

Los resultados del presente estudio, permitirá plantear alternativas de prevención de desastres catastrófico a efectos de las posibles inundaciones en las áreas urbanas colindantes al lago Yarinacocha, áreas urbanas de San Lorenzo, San José, San Juan, Santa Rosa del Centro Poblado San Lorenzo y la CC.NN. San Francisco en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali,

debido que las últimas inundaciones quedaron domicilios y poblaciones en situación de gran pobreza.

1.4.2. A nivel social

Frente a lo mencionado, el objetivo es llevar a cabo la modelación de las zonas de inundación que abarcan las áreas urbanas adyacentes al lago Yarinacocha, incluyendo las áreas urbanas de San Lorenzo, San José, San Juan, Santa Rosa del Centro Poblado San Lorenzo y la CC.NN. San Francisco, ubicadas en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo en el Departamento de Ucayali. Este proceso se realizará tomando en cuenta los registros históricos de varios años, lo que permitirá estimar los caudales y los hidrogramas pico, focalizándose en el caudal para un período de retorno de 100 años. Estos resultados podrían ser empleados de manera inmediata para la planificación y diseño de futuras infraestructuras.

1.5. Limitaciones y Alcances

El desarrollo de la investigación tuvo las siguientes limitantes:

- ✓ La información de la sub cuenca hidrográfica Yarinacocha se tomó de referencias a partir de la información digital proporcionada por la página web ASTER.
- ✓ Se empleó la herramienta informática del Sistema de Información Geográfica ArcGIS como herramienta de apoyo para lograr la delimitación de la cuenca del área de estudio.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

- El modelamiento hidrológico e hidráulico permitirá el análisis óptimo de inundaciones de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha utilizando

HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.

1.6.2. Hipótesis Específicas

- Los parámetros geomorfológicos indispensables permiten simular los modelos hidrológicos e hidráulico de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.
- Se lograrán delimitar las coberturas de usos de suelo de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, mediante una clasificación supervisada para obtener la Curva Número en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.
- Los caudales máximos de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años mediante el modelamiento hidrológico de la unidad hidrográfica, no representan riesgos en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.
- Los perfiles hidráulicos para los periodos 5,10,25,50,100 años de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, son óptimos en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.

1.7. Sistema de Variables, Dimensiones e Indicadores

1.7.1. Variables Independientes

El Modelamiento hidrológico e hidráulico utilizando HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS, está la constituyen las siguientes dimensiones:

- Precipitación

- Estudio topográfico
- Características hidrológicas
- Parámetros hidráulicos

1.7.2. Variable Dependiente

El análisis óptimo de inundaciones de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.

Tabla 1 .Definición Operacionalización de Variables, Dimensiones e Indicadores

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Escala de medición
Modelamiento hidrológico e Hidráulico	Un modelado hidrológico, consta de la representación simplificada de un sistema real complejo, que representa el sistema físico de una cuenca hidrográfica. Asimismo, un modelamiento hidráulico es la construcción digital de una red de distribución de agua (Hidrología, 2020).	El modelamiento hidrológico e hidráulico nos va permitir determinar las diferentes zonas de riesgo de inundación, a través de la recolección de data histórica de precipitación de la quebrada del Centro Poblado San José.	Precipitación	Período de retorno	Razón
				Tiempo	Razón
				Intensidad	Razón
			Estudio topográfico	Curvas de nivel	Intervalo
				Pendiente	Razón
				Longitud	Intervalo
				de la quebrada	Razón
			Características hidrológicas	Datos de precipitación	Razón
				Caudal	Razón
				Datos históricos	Razón
				Cauce del río	Razón
			Parámetros hidráulicos	Secciones topográficas	Razón
				Caudales	Razón
				Perfiles del río	Razón
				Data geométrica	Razón
				Coeficiente de rugosidad	Razón

Fuente. Elaboración propia

CAPITULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes y revisión de estudios realizados

En esta tesis, la revisión de la literatura y los antecedentes se estructurará teniendo en cuenta los niveles internacional, nacional y local, asegurando una comprensión completa y contextualizada del tema investigado.

2.1.1. Antecedentes

2.1.1.1. Antecedentes Internacionales.

Amaya y Estupiñan (2021), en su tesis titulada "Estudio de inundación en el Río Apulo en el sector de San Antonio en el municipio de Anapoima, Cundinamarca, mediante un modelo hidráulico-hidrológico en el software HEC-RAS", concluyeron al afirmar que llevaron a cabo un análisis hidráulico y hidrológico en el área de estudio, con el propósito de evaluar la inundación fluvial en la zona de expansión urbana. Para lograr esto, llevaron a cabo la caracterización hidrológica de la zona de interés, calculando los caudales para los periodos de retorno de 50 y 100 años. Utilizando el software HEC-HMS, obtuvieron un caudal de 235.6 m3/s para un período de retorno de 50 años y un caudal de 348.7 m3/s para un período de retorno de 100 años. También emplearon la distribución de valor extremo tipo Gumbel para estimar los caudales.

Carpio (2018), en su tesis “Generación del modelo de áreas de inundación del Río Catarama mediante el uso de los softwares HEC - RAS y ARC-GIS” se trazó como objetivo Correr un modelo hidráulico mediante la implementación del software HEC-RAS para determinar zonas de inundación, con el uso de

hidrogramas de diferentes periodos de retorno comprendido entre las coordenadas (664014,52 E; 9801679,41S) hasta (665598 E; 9802399 S), del río Catarama considerada como área piloto de este estudio. Los resultados del estudio revelaron que los mapas de inundación son una herramienta altamente valiosa para identificar las áreas potencialmente afectadas por el desbordamiento de ríos, así como para determinar la altura del agua que podría alcanzar las zonas cercanas a los desbordamientos. El estudio llegó a la conclusión de que los hidrogramas generados con el software HEC-HMS son de suma importancia, ya que proporcionan información sobre los caudales máximos esperados. Estos datos resultan muy útiles para realizar la modelación en HEC-RAS, lo que permite recrear condiciones muy cercanas a la realidad. Esta precisión en la modelación es esencial para una efectiva gestión y prevención de inundaciones.

Guzmán (2021), en su tesis titulada "Simulación hidráulica del río Las Vacas usando el software HEC-RAS, en un tramo de Santa Luisa, municipio de Chinautla, Guatemala", se pretende evaluar el comportamiento del río Las Vacas mediante simulaciones hidráulicas en el segmento correspondiente a la Colonia Santa Luisa. El enfoque metodológico utilizado en este estudio fue descriptivo con un diseño no experimental. Los resultados obtenidos por Guzmán abordaron las características morfométricas y biofísicas de la cuenca del río Las Vacas, incluyendo un área de 392,76 km², una longitud de cauce principal de 44,83 km, una pendiente media del área de 25,57 % y un tiempo de concentración de 6,04 o 362,4 minutos. En sus conclusiones, el autor destacó que la zona de estudio en el río se

localiza en la Colonia Santa Luisa, Municipio de Chinautla, en un tramo que se extiende 300 metros río arriba y 300 metros río abajo del puente Santa Marta. Este tramo fue simulado en el software HEC-RAS para diferentes períodos de retorno. Los resultados revelaron la presencia de diversas inundaciones en esta sección del río, lo que representa un riesgo para las comunidades cercanas.

Rosales (2021), en su investigación “Modelación hidrológica e hidráulica para la identificación de zonas inundables en un tramo del Río Sardinal, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica”, el cual tiene como objetivo del estudio fue utilizar la modelación hidrológica para identificar las áreas más vulnerables y propensas a riesgos de inundación en un tramo específico del río Sardinal, empleando la metodología de tipo aplicada. Entre los resultados, con cotas de inundación, se estableció que el tramo puente Sardinal es vulnerable a caudales máximos superiores a 20 años de recurrencia, ya que se sobrepasa la capacidad del puente Sardina y, por ende, se da el desbordamiento del río Sardinal. Concluyó identificando las zonas más vulnerables ante el desborde del río Sardinal, por las inundaciones, siendo ambas márgenes, aunque se afecta más al margen izquierdo correspondiente a zonas donde hay viviendas colindantes.

Salazar et al.,(2018), en su artículo titulado "Modelación hidrológica e hidráulica de un río intraurbano en una cuenca transfronteriza con el apoyo del análisis regional de frecuencias", los autores presentaron un enfoque integrado que tenía como objetivo desarrollar una combinación entre un modelo hidrológico

e hidráulico para diferentes intervalos de recurrencia. Este enfoque se basó en la utilización de un análisis regional de frecuencias mediante la técnica de L-momentos. Para llevar a cabo este proceso, se emplearon los programas HEC-HMS y HEC-RAS. Los resultados obtenidos en este estudio revelaron áreas de inundación que variaban desde 190.55 hasta 237.83 hectáreas, así como profundidades que oscilaban entre 0.10 y 6.0 metros en la ciudad. Estos niveles de inundación afectaron la infraestructura urbana de manera significativa. Los autores concluyeron que los hallazgos obtenidos en su investigación podrían ser valiosos para las entidades encargadas de la planificación urbana, ya que proporcionan información útil para la mitigación de los riesgos asociados a las inundaciones.

2.1.1.2. Antecedentes nacionales.

Bolívar (2020) en su tesis titulada "Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del Río Marañón sector Puente Tingo Chico. Carretera Huánuco – Conococha" estableció como objetivo principal llevar a cabo el modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del río Marañón con el propósito de realizar un pre-dimensionamiento del puente Tingo Chico. Entre los resultados de la fase hidráulica, se realizó el preproceso de los modelos HEC-RAS 2D e IBER y se modeló el flujo en dos dimensiones, y se estimó la profundidad de socavación en general y localizada. Como conclusión, se destaca que aguas abajo del puente, se observan velocidades más elevadas y niveles de agua más bajos en áreas donde el régimen fluvial es superestricto. Además, se menciona que uno de los aspectos notables sobre los modelos HEC-RAS 2D es que carecen de la

capacidad para modelar puentes dentro de una zona de flujo en dos dimensiones.

Janampa (2022), en su tesis titulada "Estudio Hidrológico e Hidráulico para la Protección Frente a Inundaciones y Socavación del Río Ccollaymayu, Luis Carranza, La Mar, Ayacucho" el autor llevó a cabo un análisis hidrológico e hidráulico con el propósito de abordar la protección contra inundaciones y el problema de socavación en el río Ccollaymayu. A partir de su investigación, Janampa concluyó que el problema más crítico del río radica en el arrastre de material. Este fenómeno se atribuye a la actividad de movimiento de masas de suelo y rocas en las áreas elevadas de la microcuenca. El alta pendiente del río contribuye al arrastre de material fino y grueso, lo que impacta negativamente en la situación.

Muñoz y Quinde (2021) en su tesis titulada "Modelamiento hidrológico e hidráulico de la Quebrada San Idelfonso para localizar áreas de inundación en Trujillo usando HEC-HMS y HEC-RAS" pretenden modelar hidrológico e hidráulico de la quebrada San Idelfonso para identificar las zonas propensas a inundaciones, con una metodología descriptiva. En relación a los resultados, mencionan que llevaron a cabo el modelamiento hidráulico y el análisis de las áreas de inundación en la ciudad de Trujillo utilizando el software Hec – Ras, lo que les permitió generar un mapa de inundación para un período de retorno de 2 años, con un caudal de 99.3 m3/s. Finalmente, concluyeron que basándose en los parámetros geomorfométricos de la quebrada San Idelfonso, emplearon un Modelo Digital de Elevación con una resolución de 12.5 x 12.5 metros, el cual fue

descargado del servidor Alaska Satellite Facility y procesado utilizando la herramienta ArcMap.

Orellana (2021) en su tesis titulada "Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS" tuvo como objetivo principal llevar a cabo el desarrollo del modelamiento hidrológico e hidráulico en la cuenca del río Piura con el fin de analizar y comprender las inundaciones en las áreas urbanas, y proponer medidas para mitigar los daños ocasionados por estas inundaciones. En relación con los resultados obtenidos, indican que, durante los últimos 50 años, en 12 ocasiones el caudal máximo del río Piura no superó los 100 m3/s durante los períodos de posibles crecidas, mientras que en siete años diferentes se registraron caudales máximos de hasta 2000 m3/s para el mismo período. Concluyeron que los eventos hidrológicos extremos que ocurren en la cuenca del río Piura presentan una alta variabilidad, especialmente en lo que respecta a las precipitaciones y aportes anuales del río.

Sequeiros y Farfán (2019) en su investigación titulada "Evaluación hidrológica e hidráulica con el modelo Iber para determinar el riesgo por inundación en la población ribereña al río Qochoq, provincia Calca - región Cusco 2017" plantearon como objetivo principal el fortalecimiento de la capacidad de gestión del riesgo frente a eventos meteorológicos extremos, con el propósito de reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de adaptación de la población urbana en Calca. Como conclusión, se determinó que el riesgo de inundación surge de la interacción entre el peligro y la vulnerabilidad. Para un periodo de retorno (Tr) de 50 años,

las áreas adyacentes al río Qochoq en la ciudad de Calca presentan un nivel medio de riesgo de inundación. Sin embargo, en el caso de periodos de retorno de 100 y 500 años, el riesgo se clasifica como alto debido a su impacto en infraestructuras significativas, como los colegios Humberto Luna, Nuestra Señora de Belén, Cesar Vallejo, la Plaza Principal, Comisaría, Municipalidad Provincial y la Gobernatura.

2.1.1.3. Antecedentes locales.

Según la revisión de investigaciones en el contexto local, relacionados a las variables de la presente investigación en los diferentes repositorios académicos como lo son Google Académico, Alicia Concytec, repositorio@unu.edu.pe, etc., no se localizaron estudios recientes en el ámbito local, localizando si el documento denominado Evaluación Hidrológica y Pluviométrica en la Cuenca Amazónica Peruana, estudio desarrollado en el año 2012 por SENAMHI.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Infraestructura natural

Es la red de espacios naturales, tales como agua, suelos, vegetación, subsuelo, biodiversidad, que conservan los valores y funciones de los ecosistemas, proveyendo servicios ecosistémicos, conforme son regulación climática e hidrológica, captura de carbono, purificación del aire, entre otros. La red de espacios naturales como el conjunto ecosistemas recuperados y conservados, ya sea con acciones tangibles, como intangibles donde sus componentes pueden ser parte de ecosistemas naturales, así como de ecosistemas con diferentes grados de alteración, paisajes manejados y otros espacios intervenidos (Ochoa & Cuadros, 2022).

2.2.2. Servicios ecosistémicos hídricos

Los servicios ecosistémicos relacionados con el agua engloban los beneficios que los ecosistemas terrestres aportan a los seres humanos en términos de agua. Esto abarca desde la regulación del ciclo hidrológico y el suministro de agua hasta el mantenimiento de su calidad y la recarga de acuíferos. Estos servicios se distinguen de los servicios ecosistémicos acuáticos, que se generan específicamente en ecosistemas de agua dulce.

2.2.3. Geofísica

Analiza el comportamiento como la circulación, distribución, ocurrencia y sus propiedades físicas, mecánicas, así como químicas, estando relacionados con el entorno ambiental, abarcando tanto los elementos naturales como los seres vivos que lo componen. Además, tiene un impacto positivo en la selección adecuada de sitios para construir infraestructuras civiles y en la prevención de desastres naturales, lo que facilita una mejora en los procesos de exploración y extracción de minerales, agua y energía (Gob, 2017).

2.2.4. Ciclo hidrológico

Se trata de un ciclo en el que el agua se desplaza entre los diversos elementos que componen la biosfera, conocido como sistema climático, también reconocido como un proceso biogeoquímico. En este proceso, el agua se traslada a diferentes ubicaciones debido a transformaciones físicas o influencias químicas sutiles.

Proceso de circulación del agua entre los distintos compartimentos de la hidrosfera, que concierne al ciclo biogeoquímico en el que hay una intervención de reacciones químicas y el agua se traslada de uno lugares a otros o cambia de esta físico (Ordoñez, 2012).

2.2.5. Cuenca hidrográfico

La región o territorio geográfico donde se reúne el agua procedente de las precipitaciones, formando una única corriente, que a su vez está delimitada por divisiones naturales del agua en tres segmentos: cuenca alta, cuenca media y cuenca baja. En cada parte de este recorrido, el manejo y uso del agua varían según las características del terreno o la intervención humana (Hidrología, 2022).

Es el área de terreno que contribuye al flujo de agua en un río o quebrada, también denominado que es conocida como la cuenca hidrográfica o área de drenaje, la región de la cual provienen las aguas que alimentan un río, quebrada, lago, laguna, humedal, estuario, embalse, acuífero, manantial o pantano (Dombeck, 2018). Consta de las crecidas, estos fenómenos ocasionan impactos tanto en la salud de las personas como en los bienes materiales de la población. Cada vez más, se ha vuelto común utilizar sistemas de alerta temprana que permiten prever la evolución de los niveles de agua en sincronía con la llegada de eventos de lluvia que provocan inundaciones (Gerardo et al., 2013).

2.2.6. Hietograma

Un gráfico ascendente que ilustra las variaciones de intensidad en términos de mm/h durante un período determinado, mientras que los hidrogramas representan la evolución de los caudales a lo largo del tiempo, permitiendo visualizar los caudales máximos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Estos diagramas ilustran la cantidad de lluvia medida en intervalos de tiempo específicos y son característicos de una tormenta particular. Reflejan la intensidad de la lluvia a lo largo de su duración total, y su utilidad se extiende a los programas informáticos que necesitan

comprender cómo se desarrolla o evoluciona la lluvia a lo largo del tiempo (Hidrología, 2020).

2.2.7. Inundaciones

Las inundaciones simples son situaciones en las que el agua ocupa una superficie en un lugar y momento específicos, donde su presencia y cantidad no son habituales, que por su parte el Glosario Internacional de Hidrología, desarrollado por la Organización Meteorológica Mundial, establece una serie de términos y definiciones relacionados con el campo de la hidrología.

2.2.8. Tipo de inundaciones

Las inundaciones se pueden categorizar según su magnitud y su origen. En términos de magnitud, estas categorías se relacionan con intervalos de recurrencia como semestral, anual, cada 100 años e incluso en ocasiones en una escala geológica de varios millones de años (Rodríguez, 2012).

a) Las inundaciones pluviales son aquellas en las que el agua acumulada proviene exclusivamente de las precipitaciones y no de otras fuentes. Se producen cuando el suelo está saturado y el exceso de agua de lluvia comienza a acumularse, lo que puede durar horas o incluso días.

b) Las inundaciones fluviales ocurren cuando el agua de los ríos se desborda y se extiende sobre áreas cercanas a sus márgenes. Estas inundaciones son el resultado de la incapacidad del cauce para contener un caudal específico y pueden ser controladas mediante intervenciones de ingeniería.

c) Las inundaciones costeras ocurren cuando el nivel del mar se eleva debido a la marea, lo que permite que el agua penetre en las áreas

cercanas a la costa y provoque inundaciones en extensas áreas de tierra.

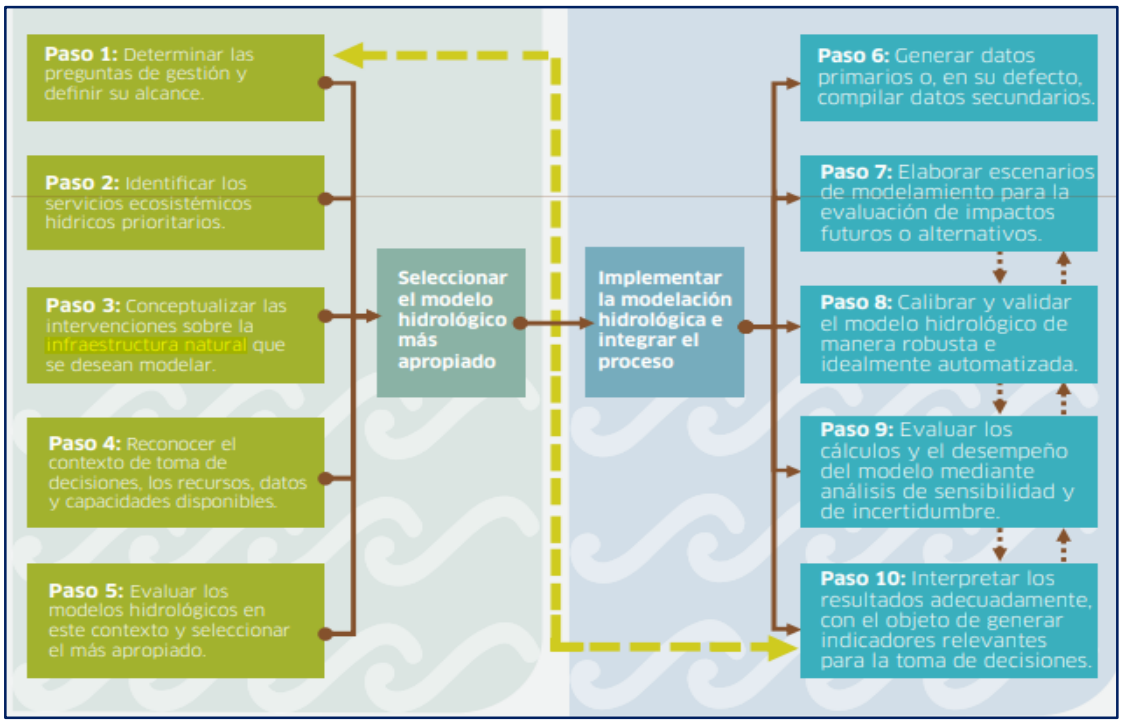
2.2.9. Modelado hidrológico de eventos

Esta capacidad permite abordar situaciones de lluvia específicas, utilizando modelos físicos consolidados que han sido utilizados para simular procesos hidrológicos en diversas cuencas hidrográficas, como se detalla. Por otra parte, los métodos hidrológicos e hidráulicos estiman los caudales generados en una cuenca o corriente, así como el cálculo de velocidades y niveles de agua para un tramo fluvial dado (Duque y otros, 2019).

2.2.10. Modelamiento hidrológico

Un modelo hidrológico es una versión simplificada de un sistema complejo en la realidad, conocido como prototipo, que puede adoptar una forma física o matemática. En su formulación matemática, el sistema realse representa mediante una expresión analítica (Ochoa & Cuadros, 2022).Fuente. (Ochoa & Cuadros, 2022).

Figura 1 : Modelación hidrológica para seleccionar y usar modelos hidrológicos



2.2.11. Modelamiento hidráulico

Un modelo hidráulico consiste en la representación digital de una red de distribución de agua, con el propósito de simular y anticipar su comportamiento con el fin de llevar a cabo análisis y determinar soluciones. La utilidad práctica de un software hidráulico radica en su capacidad para realizar simulaciones de situaciones hipotéticas, lo que posibilita la evaluación de escenarios "¿qué sucedería si..." sin requerir inversiones significativas de tiempo y recursos financieros.

2.2.12. Importancia de un modelo hidráulico

Una vez realizado un modelo, una empresa de agua tendrá una herramienta con muchas ventajas que crea sinergias por toda la empresa, tales como:

- Gestión de redes sin la necesidad de amplios conocimientos en mecánica de fluidos.
- Posibilidad de tomar decisiones relacionadas con operaciones, mantenimiento y expansiones con un menor riesgo, lo que resulta en una mayor seguridad de éxito.
- Mejora en la robustez de la red, evitando instalaciones y desinstalaciones repetitivas al determinar la ubicación de depósitos, válvulas y bombas.
- Funciona como una herramienta para comprender los cambios en la red.
- Habilita el análisis de la red en modalidades de simulación estática o extendida.
- Facilita la evaluación de la calidad del agua (GTZ, 2018).

2.3. Definición de términos básicos

Acumulación de Flujo (Flow Accumulation)

La acumulación de flujo se muestra como una matriz, donde se determina para cada celda un valor de peso acumulado proveniente de todas las celdas que drenan hacia ella. Ruiz, R., & Torres, H. (2008)

Cuenca hidrográfica:

Las áreas más altas de las montañas, colinas y laderas se limitan a una zona geográfica. En este espacio, el agua de la lluvia forma un sistema de drenaje único que desemboca en un río principal, que puede conectarse con el mar, un lago o un río más grande.

Cálculo del área de una cuenca

Debido a la irregularidad de la forma de la cuenca, no es posible calcular su área utilizando fórmulas geométricas. No obstante, hay métodos disponibles para este cálculo, como el uso de la balanza analítica, el planímetro y los sistemas de información geográfica (SIG). Béjar, M. V. (2022)

Cálculo del perímetro de una cuenca

Dado que la cuenca tiene una forma muy irregular, no es posible calcular su perímetro utilizando fórmulas geométricas. Sin embargo, hay métodos disponibles para este cálculo, como el uso de un mecate, un curvímetro y los sistemas de información geográfica (SIG). Béjar, M. V. (2022)

Curva hipsométrica

Es una curva que, al situarse en un sistema de coordenadas rectangulares, muestra la relación entre la altitud y la superficie de la cuenca que se encuentra por encima de dicha altitud. Para construir la curva hipsométrica, se utiliza un mapa con curvas de nivel, el cual puede obtenerse manualmente o mediante el uso de áreas parciales con los sistemas de información geográfica (SIG). Béjar, M. V. (2022)

Curva de frecuencia de altitudes

Es la representación gráfica que muestra la distribución porcentual de las superficies ocupadas a distintas altitudes. Béjar, M. V. (2022)

Curvas intensidad-duración-frecuencia:

La intensidad hace referencia a la medida de agua en relación con una unidad de tiempo (horas o minutos). Además, es posible utilizar la intensidad instantánea o la intensidad promedio, siendo esta última la que se emplea con mayor frecuencia. (Chow et al, 1994)

Distribución de frecuencia Gumbel:

También denominada como Distribución General de Valores Extremos Tipo I, esta distribución se basa en la selección de los valores máximos o mínimos dentro de un conjunto de datos, los cuales representan los valores extremos. (Chow et al, 1994)

Escorrentía o escurrimiento

Es la fracción de la lluvia que se desplaza sobre la superficie del suelo, siguiendo un curso definido o penetrando en él. Gamez Morales, W. R. (2010)

Espectro de Potencia:

Un espectro de potencia es una representación gráfica que muestra los niveles relativos de potencia en distintas frecuencias. Consiste en el cuadrado medio de la densidad espectral en función de su frecuencia. (SENAMHI, GLOSARIO DE TÉRMINOS, 2022)

El ciclo hidrológico:

Esto es el enfoque principal de la hidrología. La mayoría del agua presente en la superficie terrestre y en los océanos se evapora hacia la atmósfera, para luego condensarse y precipitar nuevamente sobre la superficie terrestre o en los océanos. (SENAMHI, GLOSARIO DE TÉRMINOS, 2022)

Delimitación de la parte de agua de una cuenca

La cuenca está delimitada por una línea imaginaria conocida como divisoria de aguas, que es el conjunto de puntos de mayor altitud que separa el flujo entre cuencas vecinas**.** Gamez Morales, W. R. (2010)

Dirección de Flujo (Flow Direction)

La dirección del flujo se determina por la pendiente de descenso más inclinada en cada celda o píxel. Ruiz, R., & Torres, H. (2008)

Funciones de distribución de probabilidad

Una distribución de probabilidad es una función matemática que describe la probabilidad de que ocurra una determinada variable aleatoria. (Chow et al, 1994).

Hidrología

Es la disciplina científica que se enfoca en el estudio del agua y sus diversas formas en la atmósfera, así como sobre y debajo de la superficie terrestre. También aborda el análisis de las propiedades físicas y químicas del agua, y cómo interactúa con el entorno ambiental. (SENAMHI, GLOSARIO DE TÉRMINOS, 2022)

Hietograma de precipitación:

Es un gráfico de barras que muestra la cantidad de precipitación caída (en milímetros) a lo largo del tiempo para una estación meteorológica particular. Esto permite visualizar la máxima precipitación registrada en un período de 24 horas en diferentes años. (SENAMHI, GLOSARIO DE TÉRMINOS, 2022)

Infiltración

Es el desplazamiento del agua sobre y dentro de la superficie del suelo, impulsado por fuerzas gravitacionales y capilares. Gamez Morales, W. R. (2010)

Inundaciones:

Una inundación se refiere a la condición en la cual el agua se extiende sobre una región en la que su presencia y volumen no son habituales en un tiempo y espacio particulares. De acuerdo al Glosario Internacional de Hidrología, desarrollado por la Organización Meteorológica Mundial, una inundación se

caracteriza por el desbordamiento del agua más allá de los niveles normales de un río u otra fuente acuática (WMO y UNESCO, 2012).

Modelamiento Hidráulico:

Los modelos hidráulicos se emplean para resolver una variedad de situaciones relacionadas con estructuras hidráulicas, procesos de infiltración en suelos, control de ríos y transporte de sedimentos. Estos modelos pueden clasificarse en físicos, analógicos y matemáticos. Específicamente, los modelos matemáticos se subdividen en determinísticos, estocásticos y modelos de simulación numérica, que hacen uso de ecuaciones diferenciales y condiciones iniciales de frontera. (Ramos, 2010).

Modelamiento Hidrológico:

La finalidad de los modelos matemáticos hidrológicos es anticipar las salidas del sistema, es decir, calcular los hidrogramas de avenida (que se asemejen al comportamiento real) en diferentes puntos de la cuenca bajo análisis. Estos modelos se categorizan según varios enfoques. (Ramos, 2010).

Modelo Digital del Terreno

Un Modelo Digital del Terreno (MDT) es una estructura numérica que representa la distribución espacial de una variable continua y cuantitativa, como la temperatura, la altitud o la presión atmosférica. Cuando esta variable es la elevación del terreno, se llama Modelo Digital de Elevación. Ruiz, R., & Torres, H. (2008)

Modelo Digital de Elevación

Un Modelo Digital de Elevación (MDE) es una variante del Modelo Digital del Terreno que almacena datos específicos de altitud. Hoy en día, estos modelos son útiles para caracterizar la superficie y, en particular, para delimitar cuencas hidrográficas. Estos modelos son simbólicos porque establecen correspondencias con el objeto real utilizando algoritmos matemáticos, los cuales son procesados por programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). No son meras colecciones

de cifras; tienen una estructura interna que facilita la interpretación de los datos. Ruiz, R., & Torres, H. (2008)

Pendiente de la cuenca

La pendiente de una cuenca es un parámetro crucial en su estudio, ya que tiene una relación significativa y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores que influye en el tiempo de escurrimiento y la concentración de la lluvia en los canales de drenaje, y tiene una importancia directa en la magnitud de las crecidas. Béjar, M. V. (2022)

Periodo de Retorno:

Período medio de tiempo entre eventos que alcancen o superen una magnitud particular, como por ejemplo, el caudal máximo de una crecida. (SENAMHI, GLOSARIO DE TÉRMINOS, 2022)

Precipitación:

Toda variedad de partículas de agua, ya sean en estado líquido o sólido, que descienden desde la atmósfera y alcanzan la superficie terrestre. (SENAMHI, GLOSARIO DE TÉRMINOS, 2022).

Pruebas de bondad de ajuste:

El proceso de calibración de la función de probabilidad pretende identificar cuál de las funciones de distribución de probabilidad se adapta a un conjunto de datos específicos. Para lograr esto, se emplean diversos métodos de evaluación de ajuste de probabilidad. Entre los más reconocidos en la estadística, se destacan la prueba de Chi-cuadrado y la prueba de Kolmogórov-Smirnov. Estos enfoques permiten analizar y comparar la conveniencia de distintas funciones de distribución con respecto a los datos empíricos observados (Chow et al., 1994).

Red de drenaje

La red de drenaje de una cuenca se refiere a las rutas y la disposición de los cauces de las corrientes naturales dentro de ella. Es otra característica crucial al

estudiarla, ya que indica la eficiencia del sistema de drenaje en la escorrentía resultante, es decir, la rapidez con la que puede evacuar el agua recibida. Béjar, M. V. (2022)

Stream Link

Asigna valores únicos a las secciones de una red de drenaje lineal en formato matricial, ubicadas entre intersecciones. Los enlaces (links) son las partes de la red que conectan dos confluencias (junctions) sucesivas, una confluencia y la desembocadura, o un punto de inicio (naciente) y una confluencia. Ruiz, R., & Torres, H. (2008)

Tiempo de concentración:

El período de tiempo de concentración se define como la duración requerida para que una gota de lluvia viaje desde el punto más alejado hasta la salida de la cuenca, asumiendo que se genera una escorrentía directa. Esta medida está influenciada por diversos factores, como la configuración y dimensiones de la cuenca, la inclinación del terreno, el tamaño del área de drenaje, las características del suelo y la vegetación, entre otros elementos (Chow et al., 1994).

Watershed

Determina el área de contribución sobre un conjunto de celdas en una matriz. Un "watershed" es una región donde el agua drena hacia un colector común o principal. Otros términos para "watershed" incluyen cuenca de captación o zona de contribución. Esta región se define generalmente como la superficie total que drena hacia un punto de salida específico o "pour point". El borde entre dos cuencas se llama divisoria de aguas o frontera de drenaje. Ruiz, R., & Torres, H. (2008)

CAPITULO III.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Metodología y técnicas utilizadas

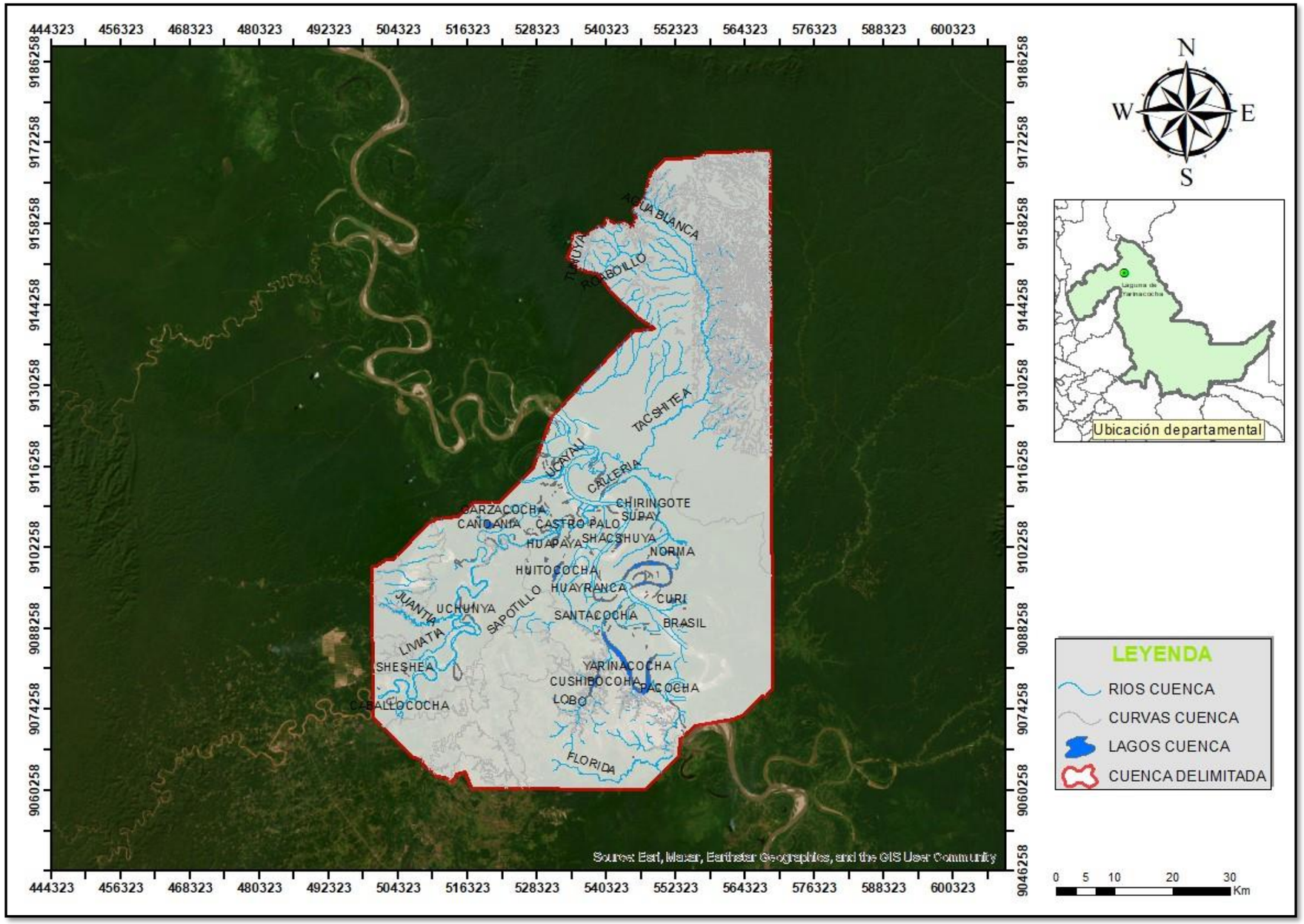
El estudio se enfoca en la realización de la modelación hidrológica e hidráulica con el propósito de analizar las inundaciones en la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, empleando herramientas como HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS. Este enfoque abarca las zonas urbanas y tiene como objetivo proponer medidas que disminuyan los impactos en las áreas cercanas al lago Yarinacocha. Esto incluye las áreas urbanas de San Lorenzo, San José, San Juan, Santa Rosa en el Centro Poblado San Lorenzo y la Comunidad Nativa San Francisco en la Región Ucayali.

3.1.1. Ubicación geográfica

Continente	:	América del Sur
País	:	Perú
Región	:	Ucayali
Cuenca	:	Yarinacocha
Subcuenca	:	Yarinacocha

Coordenadas UTM	
Zona 18 Sur	Coordenada Este: 543893.36 m E
Cuadrante L	Coordenada Norte: 9081623.81 m S

Figura 2: Sub Cuenta Yarinacocha



Fuente: https://www.geogpsperu.com (CARTAS NACIONALES 17n, 17ñ, 16n y 16ñ)

Herramienta: ArcGIS versión 10.6

Elaboración: De propiedad de la tesis.

3.1.2. Limites

El proceso de modelado hidrológico e hidráulico abarca las zonas urbanas y busca proponer estrategias para disminuir los impactos en las áreas adyacentes al lago Yarinacocha, incluyendo las localidades urbanas de San Lorenzo, San José, San Juan, Santa Rosa en el Centro Poblado San Lorenzo, y la Comunidad Nativa San Francisco en la Región Ucayali.

3.1.3. Tipo de investigación

Se trata de una metodología aplicada de enfoque cuantitativo, ya que la investigación aplicada se realiza con la finalidad de resolver problemas concretos de la realidad social, educativa, económica o de otra índole (Hernández 2014).

3.1.4. Nivel de investigacion

Investigación de nivel Explicativo.

Del Nivel Explicativo, implica la formulación conceptual que abarca la explicación de fenómenos, conceptos o variables, así como el establecimiento de conexiones y vínculos destinados a abordar las razones subyacentes de los eventos (Hernández & Mendoza, 2018).

3.1.5. Diseño de investigación

Diseño pre - experimental, porque su grado de control es mínimo, al compararse con un diseño real (Hernández & Mendoza, 2018).

$O_1 \quad X \quad O_2$

Donde:

X = Variable independiente

O1 = Medición pre experimental de la variable independiente

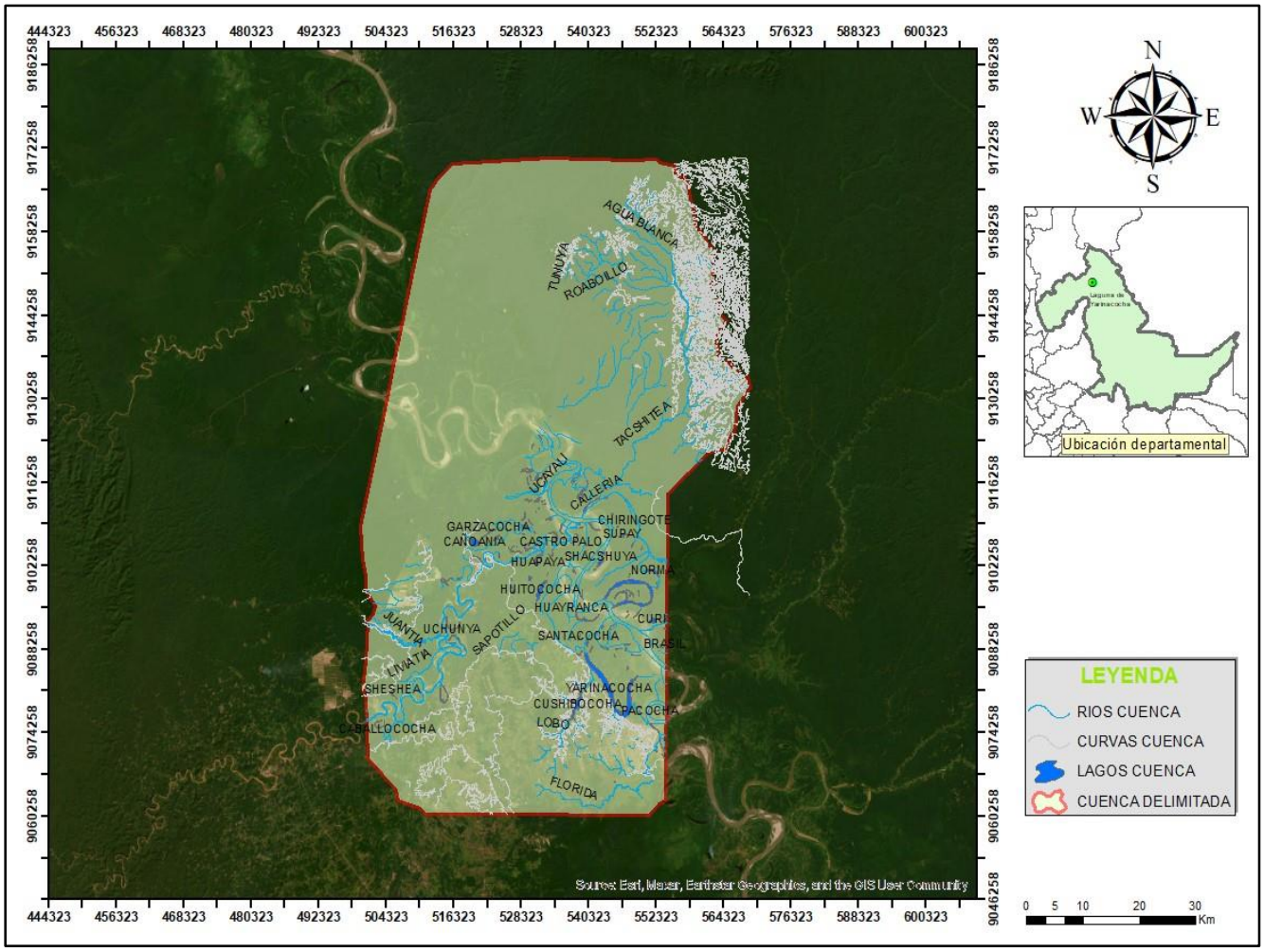
O2 = Medición post experimental de la variable independiente

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población de estudio estará conformada por la Cuenca hidrográfica Yarinacocha, delimitada mediante el programa informático ArcGis versión 10.6, a partir de las cartas nacionales 17n, 17ñ, 16n y 16ñ otorgada por el portal web de GEO GPS PERÚ.

Figura 3: Ríos en la Sub Cuenca Yarinacocha



Fuente: https://www.geogpsperu.com (CARTAS NACIONALES 17n, 17ñ, 16n y 16ñ)

Elaboración: ArcGIS versión 10.6

3.2.2. Muestra

Muestra obtenida mediante el método de muestreo no probabilístico, la cual comprende a la sub cuenca hidrográfica Yarinacocha, delimitada mediante el programa informático ArcGis versión 10.6, a partir de las cartas nacionales 17n, 17ñ, 16n y 16ñ otorgada por el portal web de GEO GPS PERÚ, la cual comprende a las áreas urbanas colindantes al lago Yarinacocha, áreas urbanas de San Lorenzo, San José, San Juan, Santa Rosa del Centro Poblado San Lorenzo y la CC.NN. San Francisco en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.

Figura 4: Lagos Sub Cuenca Yarinacocha



Fuente: https://www.geogpsperu.com (CARTAS NACIONALES 17n, 17ñ, 16n y 16ñ)

Elaboración: ArcGIS versión 10.6

CAPITULO IV.

RESULTADOS

4.1. Parámetros geomorfológicos de la subcuenta Hidrográfica

Se procedió a la caracterización de los parámetros geomorfológicos de la subcuenca Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo, en el Departamento de Ucayali. Estos parámetros abarcaban diversos aspectos, como el área, el perímetro, la longitud del cauce principal, el coeficiente de compacidad, el factor de forma, el grado de ramificación y la densidad de drenaje, así como la altitud y la pendiente medias. Para realizar esta caracterización, se hizo uso de información proveniente de las cartas proporcionadas por el Instituto Geográfico Nacional, así como de datos obtenidos de la plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center. Todo este conjunto de información fue procesado mediante el software ArcMap de ArcGis versión 10.6.

4.1.1. Delimitación de la sub cuenca Yarinacocha

A partir de la información cartográfica satelital, se procedió con la delimitación de la sub cuenca de estudio, para ello primero se generó el modelo digital del terreno (*MDT*), seguido por el archivo *RASTER TIN*, este último paso por un proceso de corrección de puntos, obteniendo el archivo *RASTER FIIL*, luego de ello se emplearon las funciones de hidrología (*HIDROLOGY*) del software para generar la dirección del flujo, acumulación de flujo, localización del punto de desfogue, para finalmente aplicar la función *WATERSHED* para generar la delimitación de la sub cuenca YARINACOCHA en estudio, generando la conversión del archivo de la cuenca en formato RASTER a POLIGONO, de las cuales se obtuvo los siguientes resultados.

4.1.2. Procedimiento para la delimitación de la subcuenca

Existen varios métodos para delimitar cuencas hidrográficas, cada uno utilizado según el propósito específico que se quiera lograr. Estos métodos pueden ser manuales, como los realizados sobre un plano topográfico o directamente en pantalla, o digitales de manera semiautomática, utilizando herramientas SIG y datos geoespaciales. Aunque todos los métodos persiguen el mismo objetivo, la diferencia radica en la precisión; el método y la información base determinarán la calidad del resultado final.

En el presente trabajo, se ha decidido utilizar información raster con una resolución espacial de 15 segundos de arco, acorde con los objetivos del trabajo, que son la delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Sudamérica a una escala de 1:1,000,000. Los datos raster del proyecto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA, con una resolución espacial de 90 metros, se han convertido en el MDT (Modelo Digital del Terreno) más usado en el mundo. Esta información base fue utilizada por el proyecto HydroSHED para generar las capas de dirección y acumulación de flujo de Sudamérica, con una resolución espacial de 15 segundos; y es la misma información base utilizada en el presente proyecto.

El proceso de delimitación de unidades hidrográficas se ha realizado mediante dos subprocesos:

- Generación de áreas de drenaje (cuencas de captación) o watersheds
- Generación vectorial de unidades hidrográficas.

4.1.2.1. Generación de áreas de drenaje (cuencas de captación) o Watersheds

Este proceso se ha centrado en identificar áreas de drenaje o watersheds utilizando el sistema de delimitación Pfafstetter, basado en datos de dirección y acumulación de flujo en Sudamérica. Este método, familiar para los especialistas en SIG, se emplea para generar unidades hidrográficas de distintos tamaños, ajustándose a los valores de acumulación de flujo. En esta ocasión, se han implementado algunas variantes debido al sistema de codificación escogido.

Para este trabajo, se ha utilizado la información del Proyecto HydroSHED, disponible en internet, que cuenta con una resolución espacial de 15 segundos de arco, aproximadamente 460 metros. La disponibilidad y calidad de los datos del Proyecto HydroSHED han sido cruciales para el desarrollo de este trabajo, permitiendo un ahorro significativo de tiempo y asegurando una alta calidad del producto final.

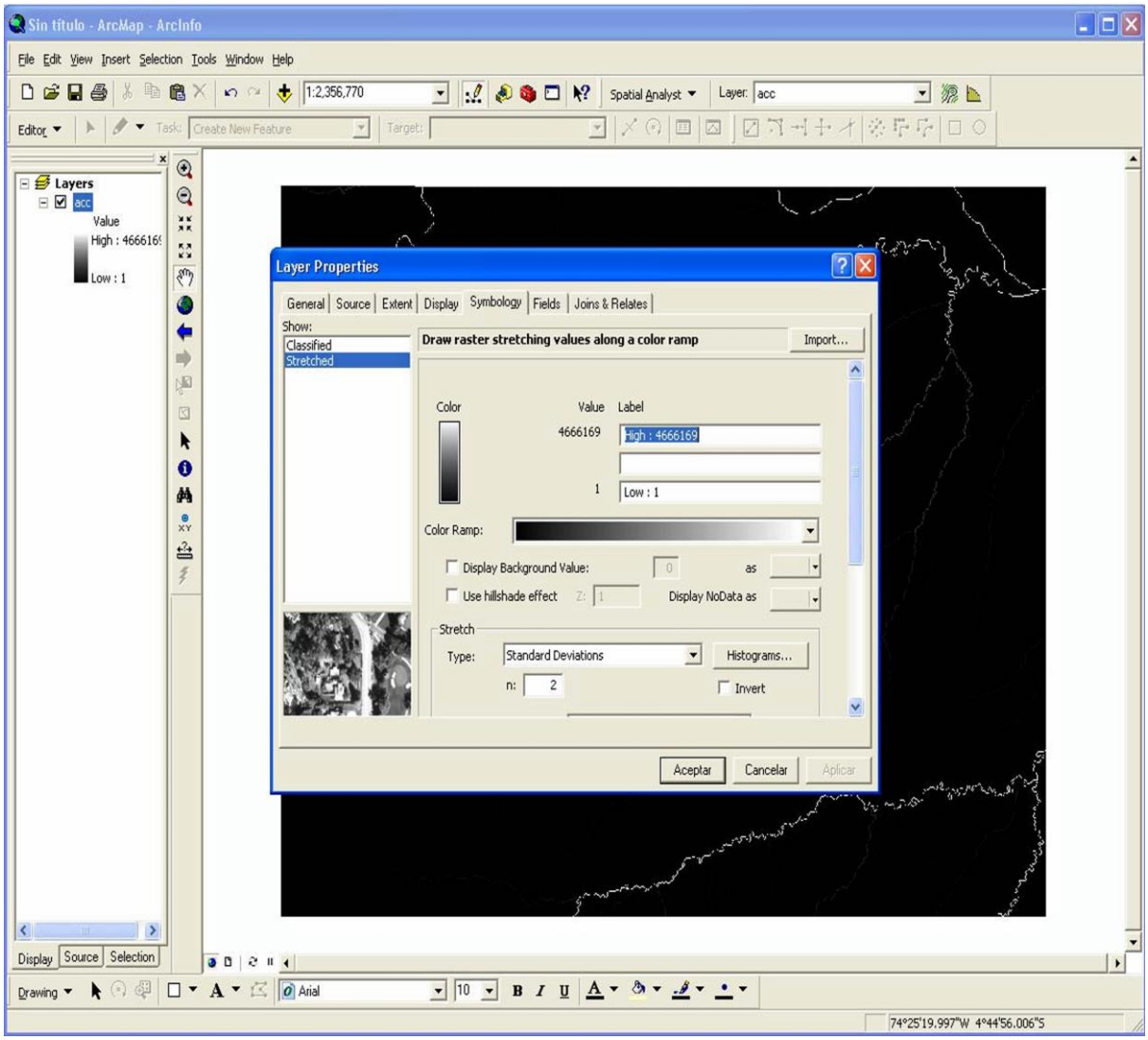
Dada la gran extensión cubierta por estos datos (Sudamérica) y para facilitar su manejo, es necesario extraer la región de interés en ambas temáticas (dirección de flujo y acumulación de flujo).

Determinación del umbral de acumulación

Este procedimiento es iterativo y de ensayo y error, siendo la manera más sencilla de determinar el umbral de acumulación adecuado para identificar los tributarios necesarios. Es importante que la acumulación de flujo seleccionada sea suficiente para visualizar el flujo principal y los cuatro tributarios, sin importar su tamaño; basta con que un píxel se muestre como tributario para

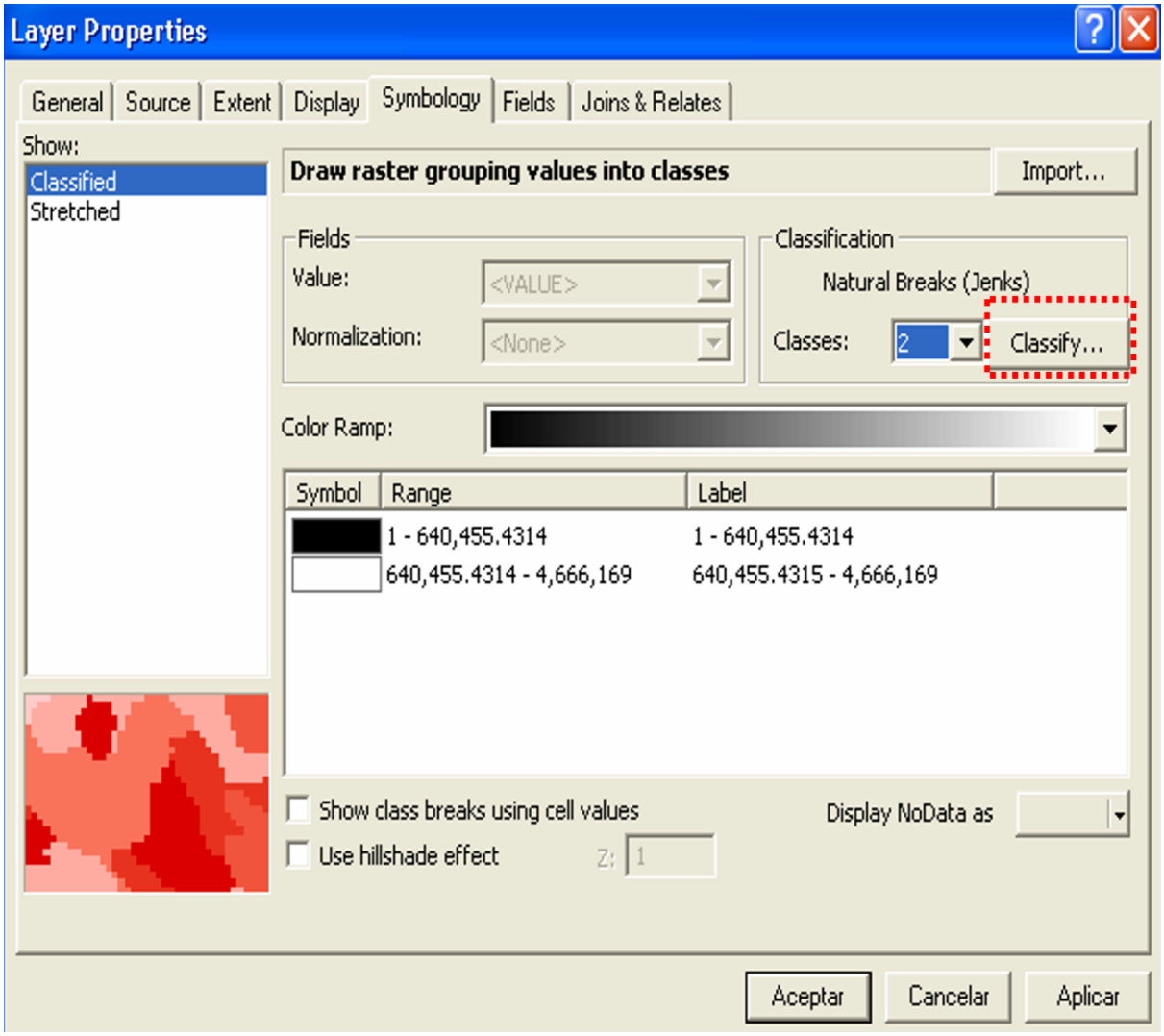
ser considerado. En ArcGis, este proceso se realiza en la ventana "Layer Properties", seleccionando el tema que contiene la información de acumulación de flujo, y luego eligiendo la pestaña "Symbology" y la presentación "Classified", para clasificar en dos rangos.El primer rango va de 1 a un número "N" (valor calculado por el sistema según el método de clasificación empleado, por defecto "Natural Breaks" - Jenks) y el segundo, del número "N" al número máximo que alcanza la acumulación de flujo.

Figura 5: Información de acumulación de flujo de la misma parte de la subcuenca mostrada tal como ArcGis lo presenta originalmente



Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

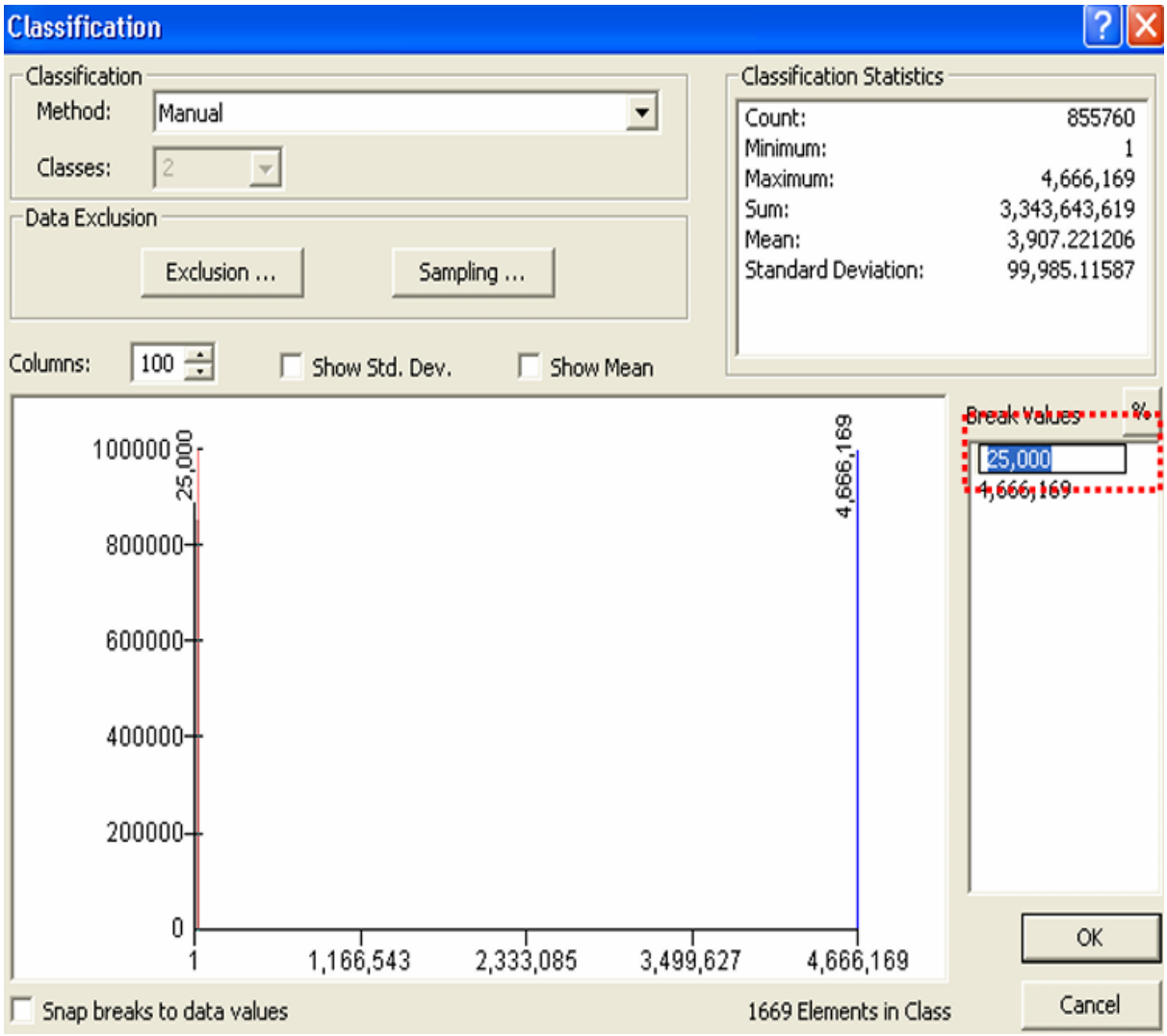
Figura 6: Presentación "Classified", establece dos rangos de clasificación, como se ilustra en la figura.



Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

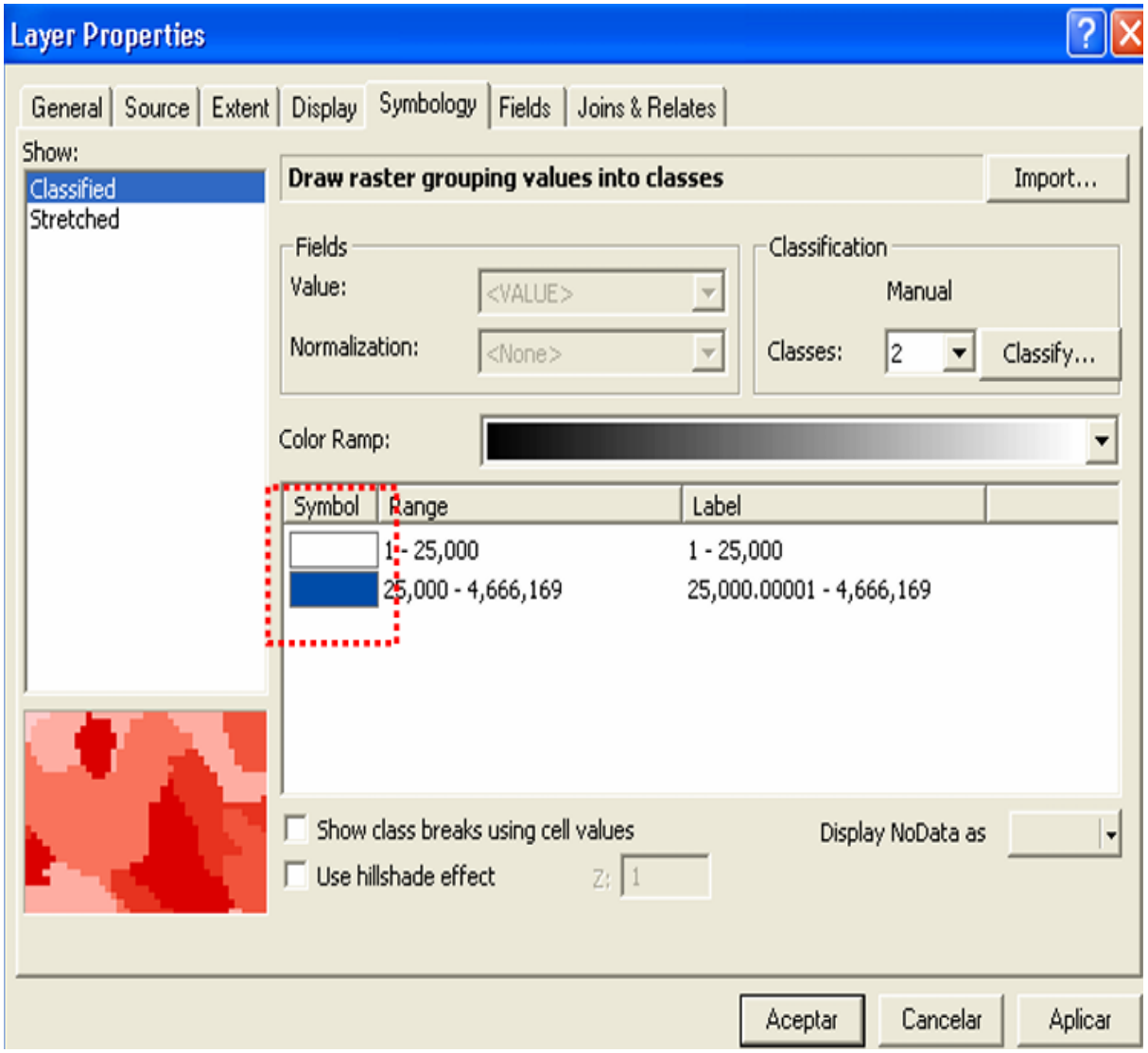
El valor “N” se emplea para llevar a cabo los ensayos. Este proceso se realiza utilizando la opción "Classify…" modificando el primer "Break Value" y confirmando los cambios con el botón "OK" cada vez Para visualizar los cambios en la vista, se asigna el color "invisible" (sin color) al primer rango, que no debería aparecer, y un color cualquiera, como el azul por convención, al segundo rango.

Figura 7: El primer valor de "Break Values" se empleará para llevar a cabo las pruebas. En cada ensayo, confirma los cambios con "OK"



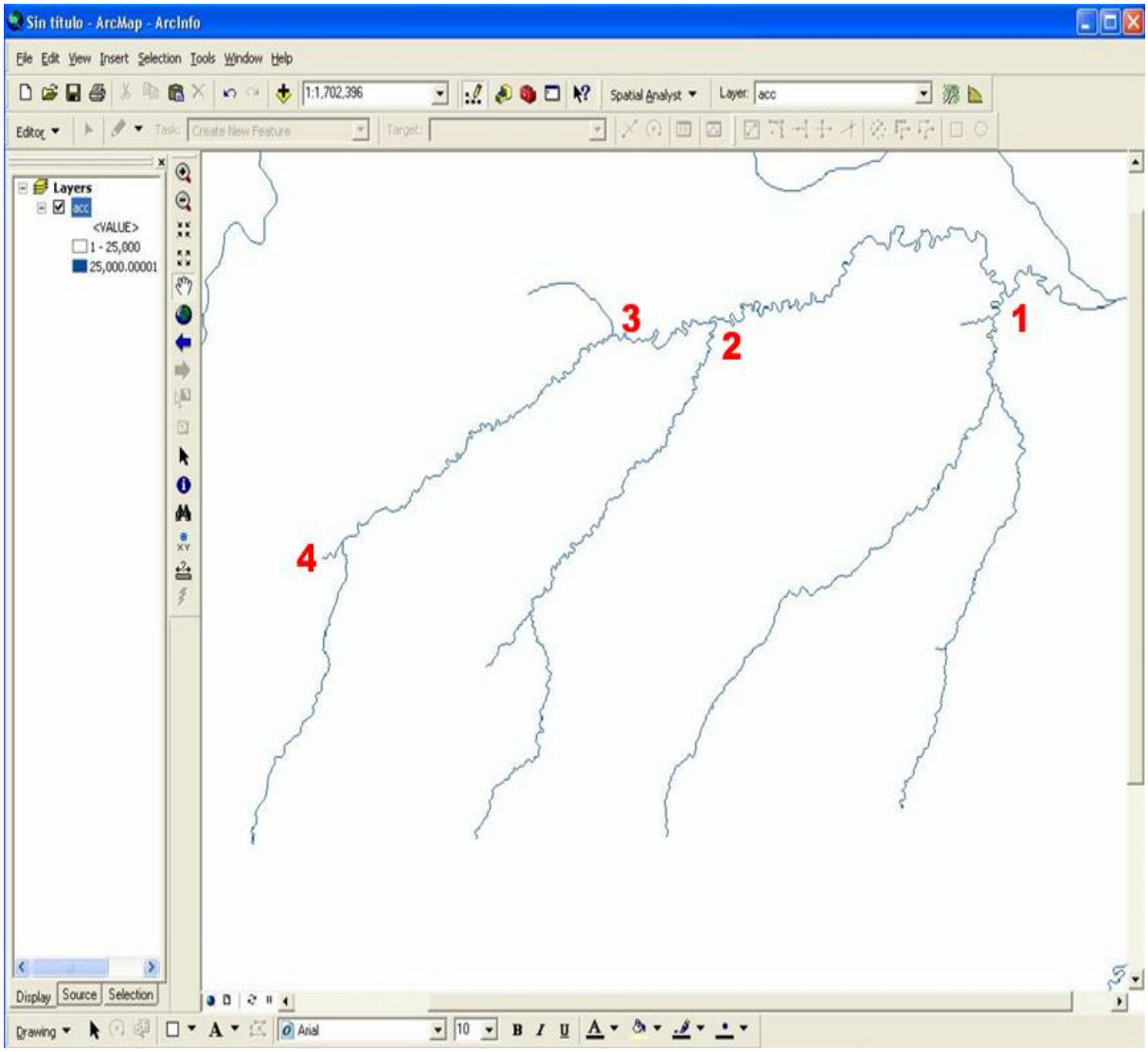
Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

Figura 8: El primer rango se representará con un color "invisible", y al segundo se le asignará cualquier color



Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

Figura 9: Al primer rango se le aplicará un color "invisible" y al segundo, cualquier color



Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

Con la clasificación adecuada que permite identificar los cuatro principales tributarios, se continúa con el siguiente subproceso.

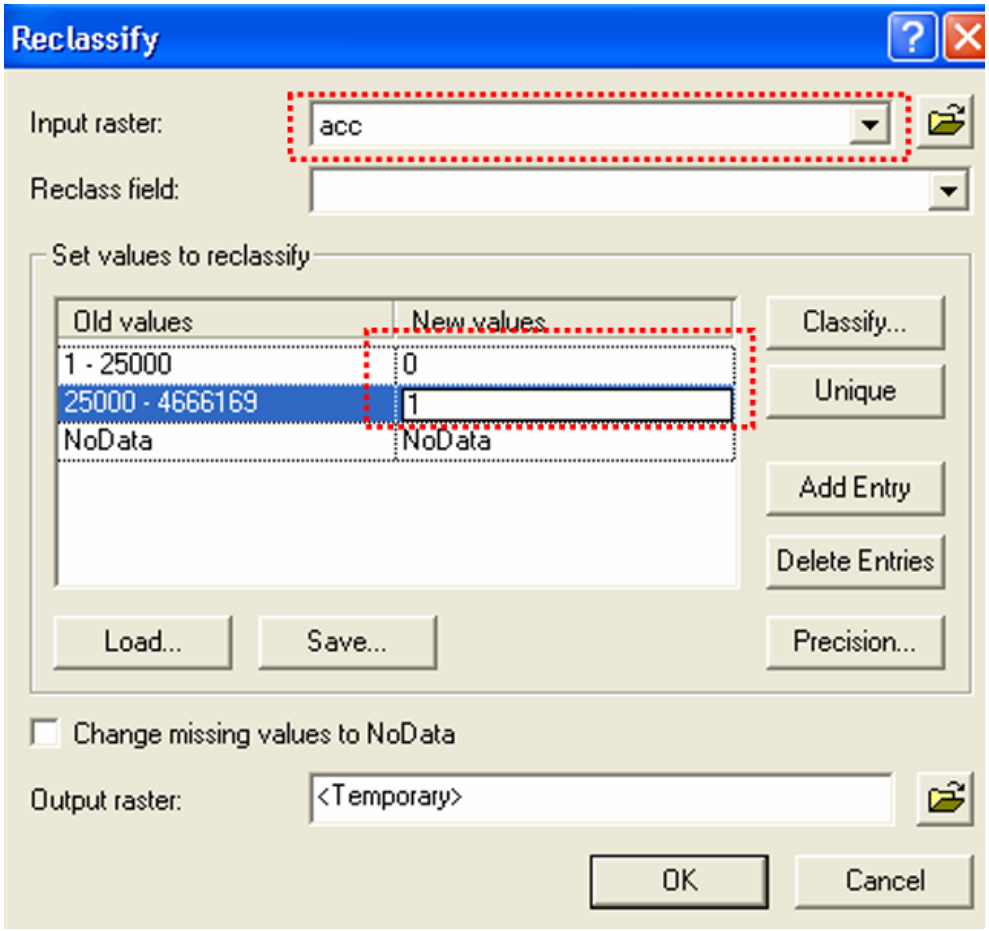
Obtención de un tema de reclasificación

Una vez determinado el umbral de acumulación, es necesario almacenar estos rangos en un nuevo tema temporal para capturar los valores relevantes en una nueva clase. En ArcGis, este proceso se lleva a cabo seleccionando la opción “Reclassify” del menú de la extensión “Spatial Analyst”. En “Input Raster”, se elige el tema donde se

calculó el umbral de acumulación y en la columna “New Values”, se asignan “0” al primer rango y “1” al segundo. Luego, se presiona “OK” para aceptar los cambios y crear el nuevo tema.

Este tema, cuyo nombre empieza con las palabras “Reclass of…”, presenta dos categorías: “0” y “1”. La primera categoría corresponde a valores irrelevantes, por lo tanto, se ignoran, mientras que la segunda categoría agrupa los cursos de agua obtenidos del umbral de acumulación, cuyos unidades de drenaje o cuencas serán generadas.

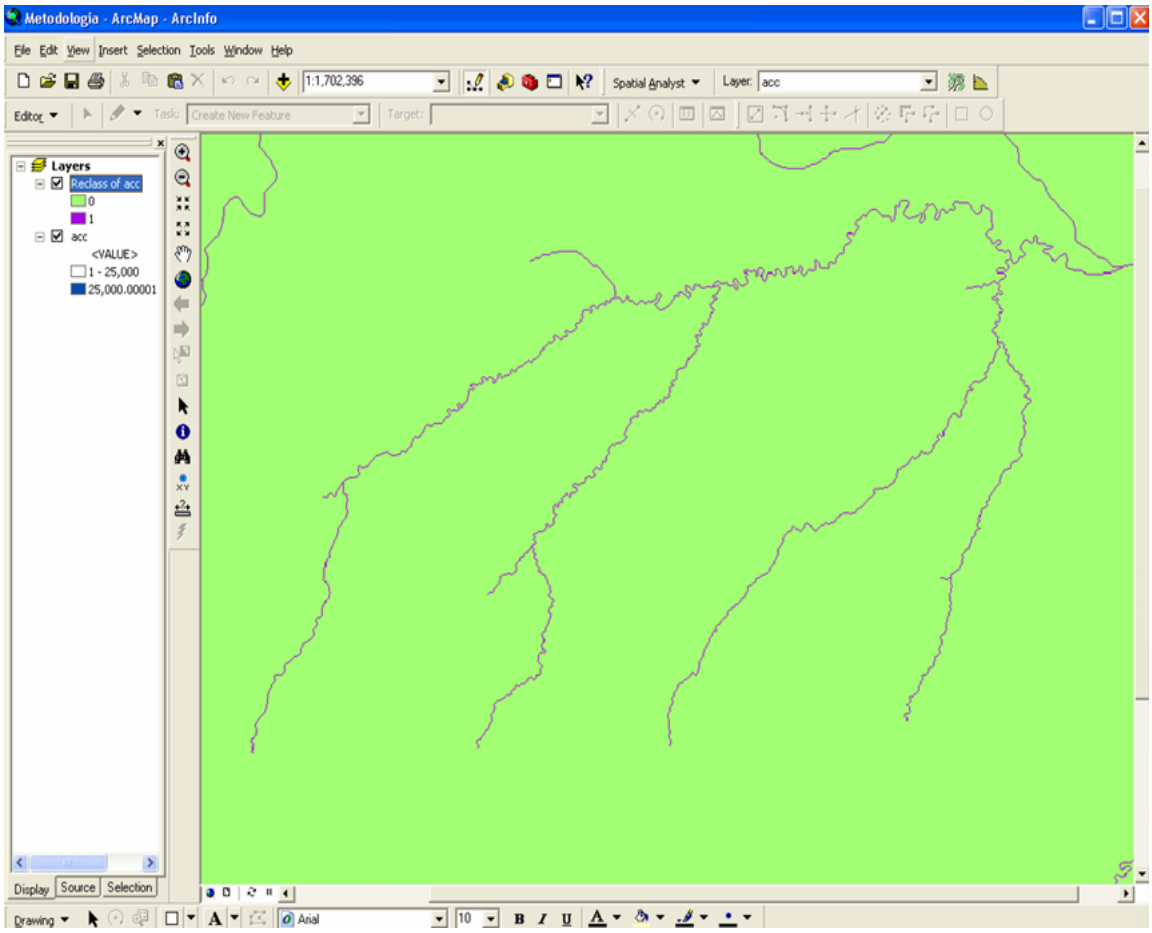
Figura 10: Determinación del valor del umbral de acumulación e introduce nuevos valores para cada rango "0" y "1", según se muestra en la figura. Después, confirma con "OK" para crear el nuevo tema.



Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

Figura 11: Uso del comando Reclass of en ArcGis. Conformado por los cursos de agua determinados por el umbral de acumulación

.



Elaboración: ArcGIS versión 10.6

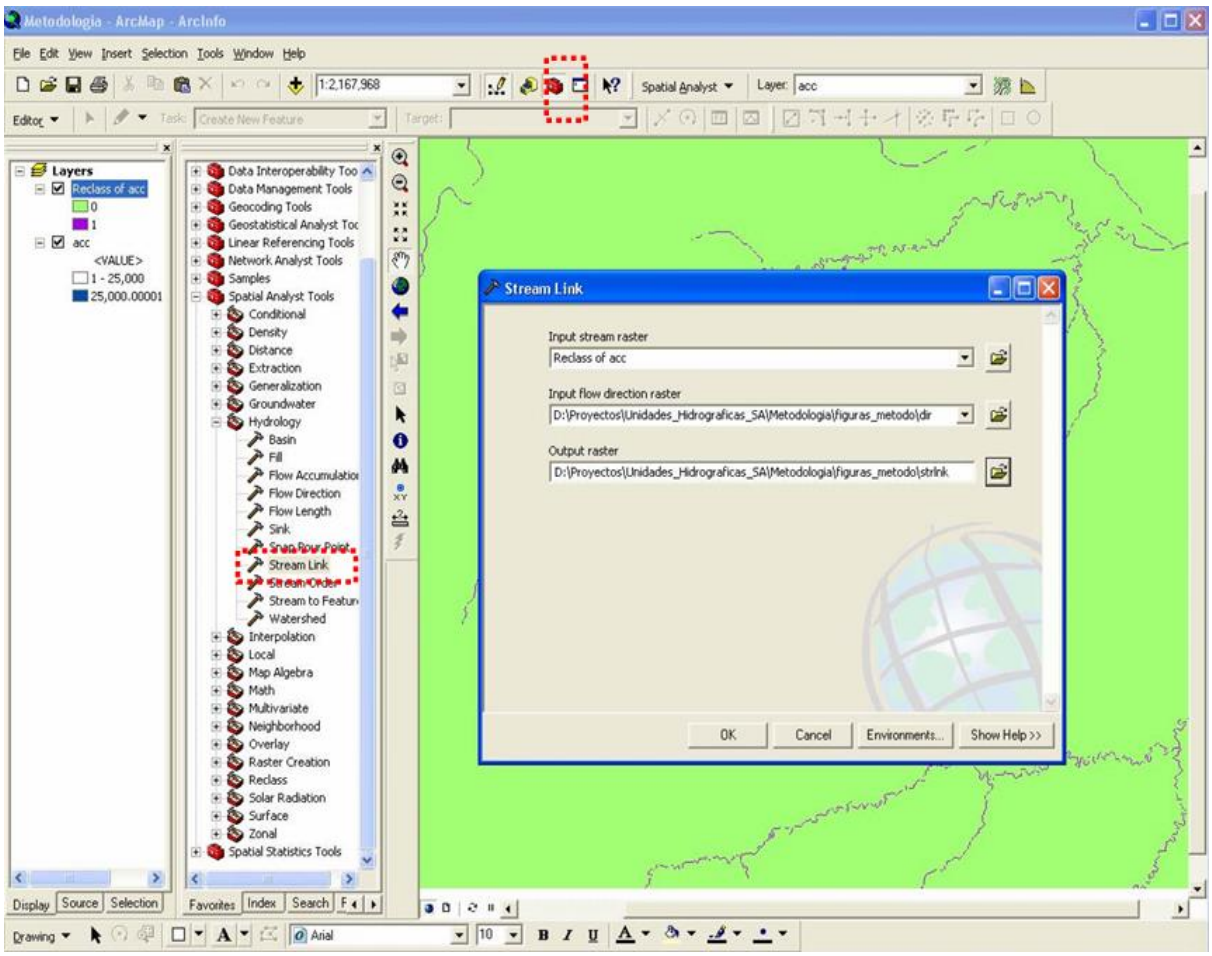
Generación de la red de drenaje relevante

El objetivo de este procedimiento es obtener un nuevo tema que contenga únicamente los cursos de agua de la categoría "1" del tema resultante de la reclasificación. Este nuevo tema es crucial porque, a partir de la red de drenaje identificada en él, se generarán las unidades de drenaje, cuencas o watersheds.

En ArcGis, el proceso implica crear un tema de tipo "Stream Link", que se encuentra en "ArcToolbox" dentro de las herramientas de "Spatial Analyst", en la

categoría "Hydrology". En la opción "Input stream raster", se ingresa el nombre del tema de reclasificación creado en el paso anterior; en la opción "Input flow direction raster", se introduce el nombre del tema con la información de la dirección de flujo; y finalmente, en "Output raster", se ingresa el nombre del tema de salida.

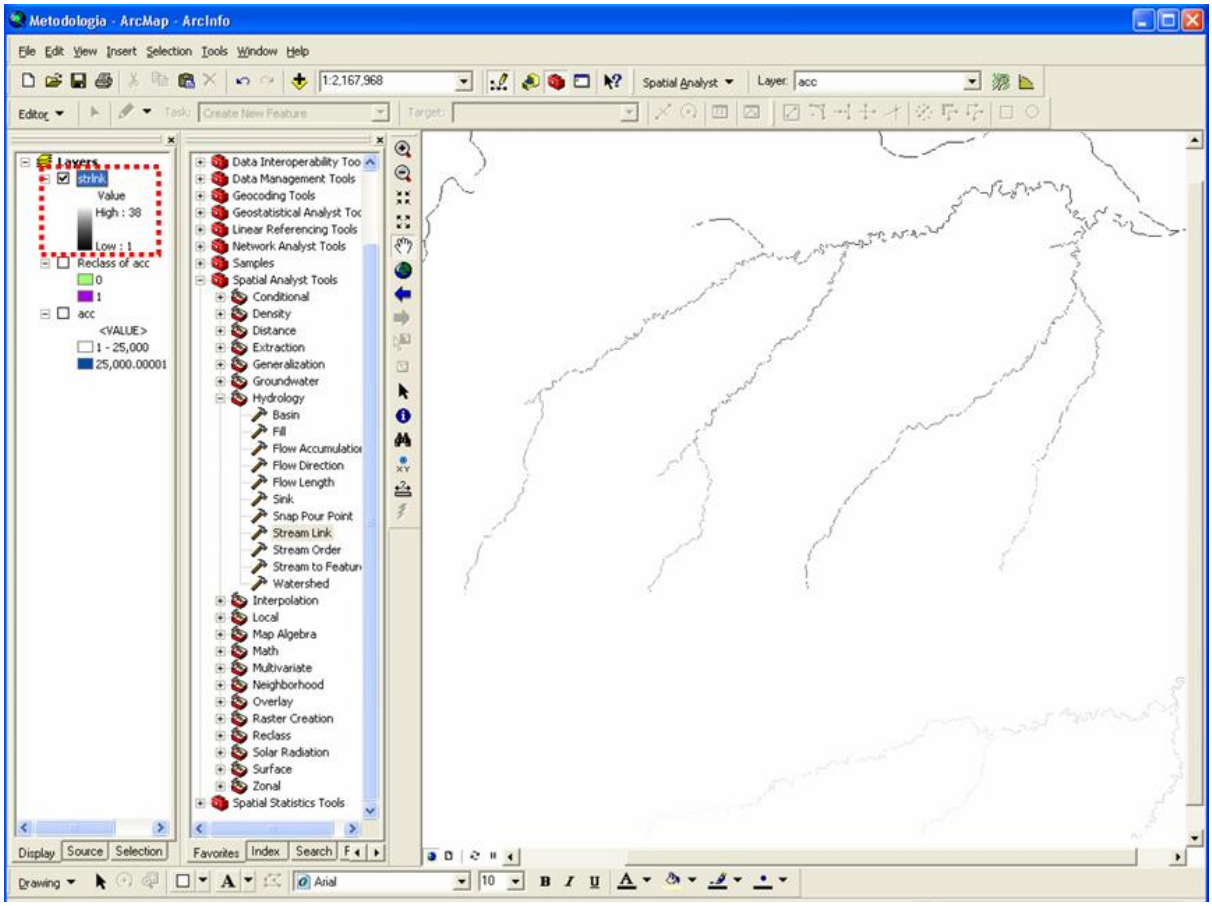
Figura 12: Generación de Stream Link, herramienta dentro de ArcTollBox



Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

El tema resultante contiene únicamente la información de la categoría "1", que abarca los cursos de agua identificados mediante la determinación del umbral de acumulación.

Figura 13: Stream Link generado



Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

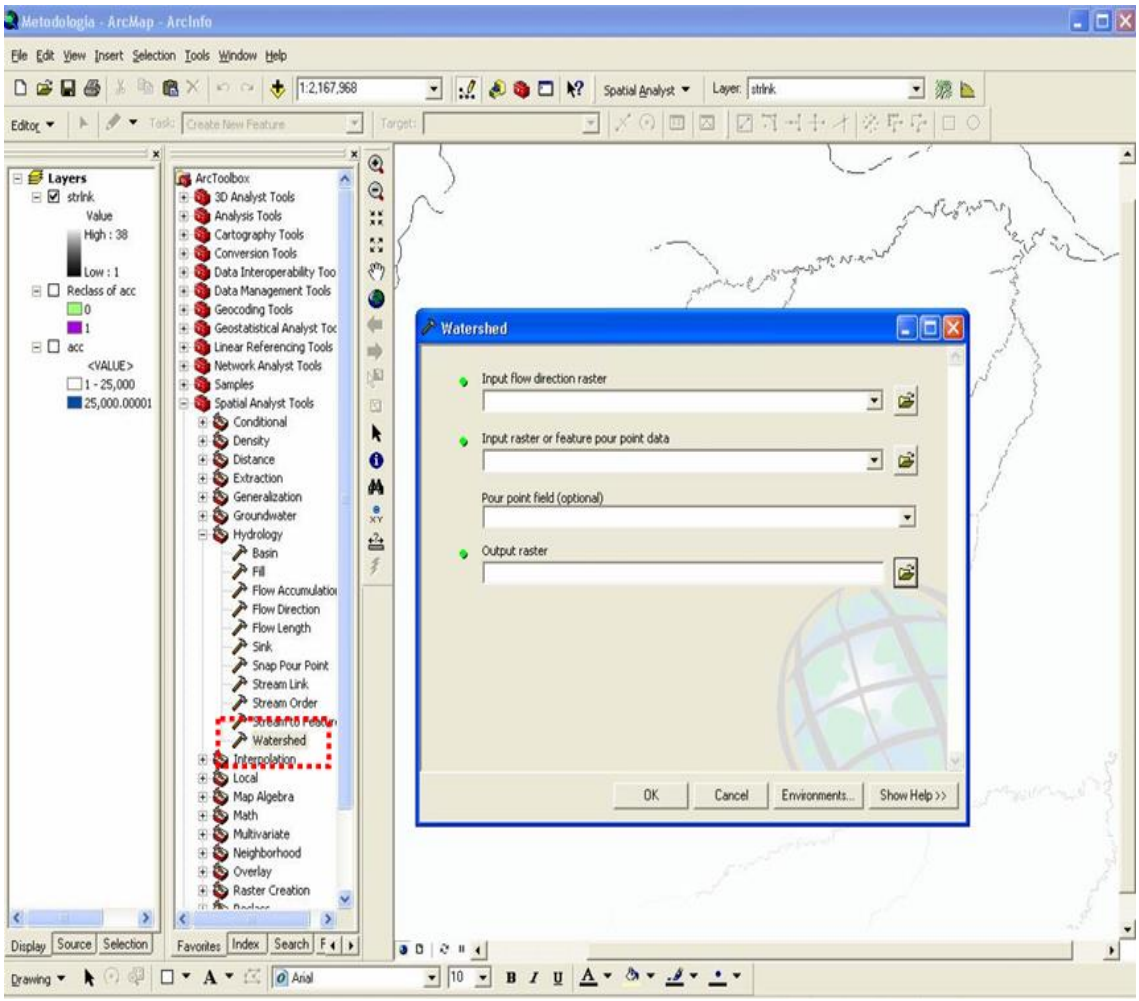
Generación de Watersheds

Para generar automáticamente cuencas hidrográficas (watersheds), se necesita principalmente la dirección de flujo y el enlace de cursos ("stream link"). No obstante, existen otras técnicas para generar unidades de drenaje, como el uso de puntos de desembocadura ("pour points"), que permiten al usuario generar unidades de drenaje de manera controlada.

En ArcGis, este proceso se realiza con la herramienta "Watershed" de "ArcToolbox", en la categoría "Hydrology" de "Spatial Analyst". Esta herramienta requiere como datos de entrada la dirección de flujo y los cursos de agua ("stream link") generados en pasos anteriores. En la opción "Input flow direction raster", se introduce el nombre del tema que contiene la información de dirección de flujo, y en "Input raster

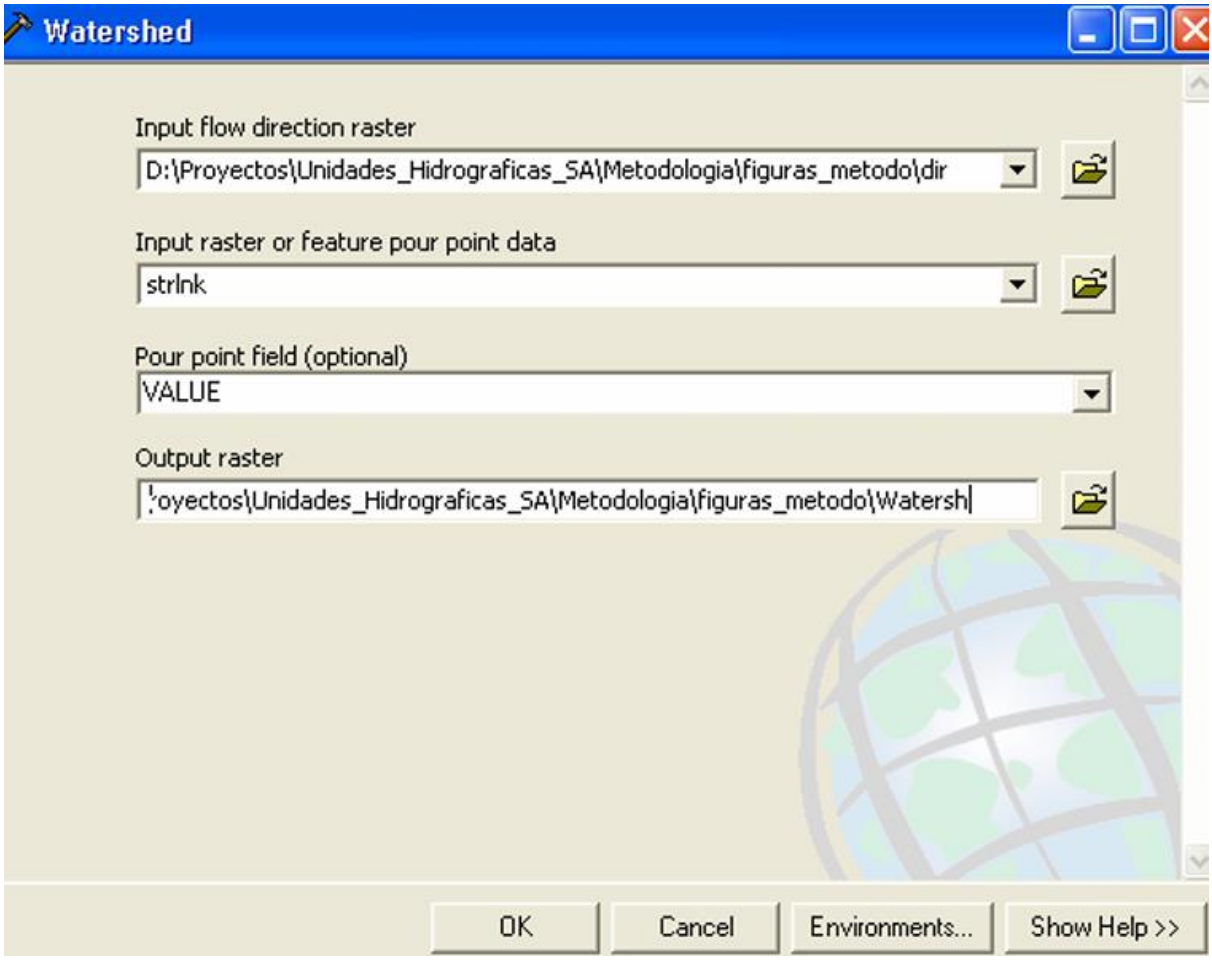
or feature pour point data", se selecciona el tema "stream link". Por último, se especifica el nombre del tema de salida, que contendrá las unidades de drenaje necesarias.

Figura 14: Ubicación de la herramienta Watershed



Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

Figura 15: Interface de ingreso de la herramienta Watershed



Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

El resultado es un raster donde las cuencas se representan como agrupaciones de píxeles con el mismo valor. Esto se puede destacar asignando diferentes colores a las cuencas mediante la ventana "Layer Properties" del tema y cambiando el modo de presentación a "Unique Values".

4.1.2.2. Generación Vectorial de Cuencas

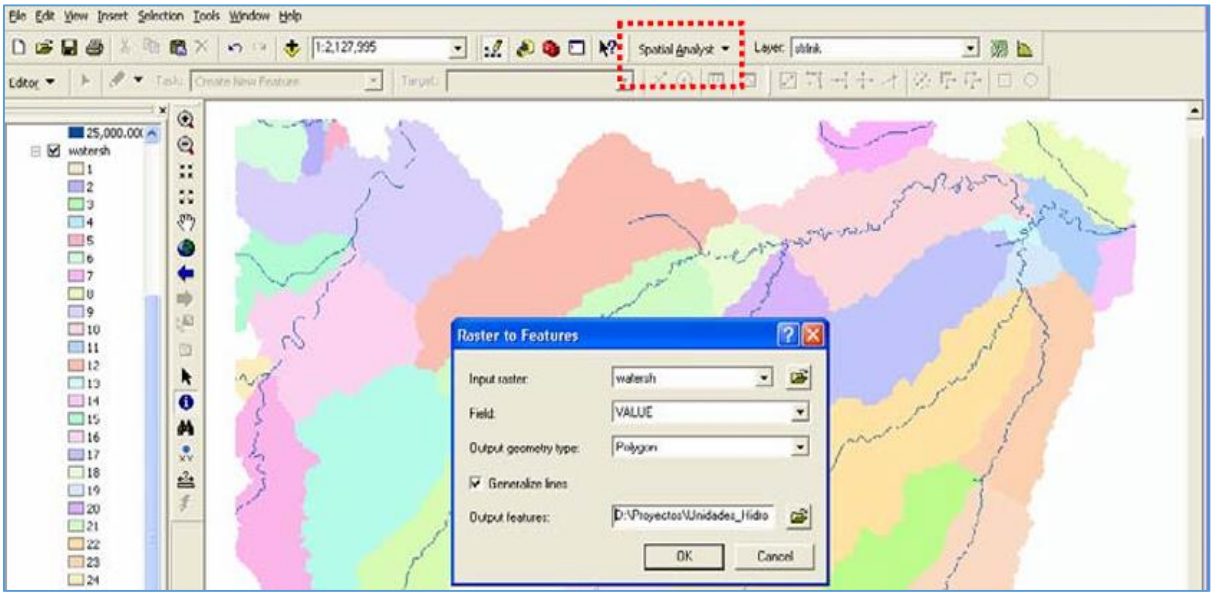
Este proceso implica convertir las unidades hidrográficas o watersheds obtenidos al formato vectorial de tipo polígono. En algunos casos, esta conversión puede ser simple y directa. No obstante, dependiendo de la complejidad y la cantidad de cuencas que se deseen delimitar simultáneamente, puede ser

necesario convertirlas primero al formato lineal, es decir, de polígonos a líneas, lo que facilita y agiliza la edición. Después de la edición lineal, se reconvierten al formato polígono, dejándolos listos para llenar la tabla de atributos con los códigos correspondientes.

Conversión de raster a polígono

En ArcGIS, este procedimiento se realiza con la herramienta “Raster to Features…” que se encuentra en la opción “Convert” del menú del módulo “Spatial Analyst”. Primero, selecciona el tema raster que deseas convertir, en este caso, el que contiene los watersheds. Configura las opciones “Field” y “Output Geometry Type” como “Value” y “Polygon”, respectivamente. Puedes decidir si deseas activar o desactivar la opción “Generalize Lines” (Generalización de líneas). Finalmente, asigna un nombre de salida para el nuevo tema vectorial. En la Figura Nº 3.3.7, se muestra el tema vectorial superpuesto a la información raster de los watersheds, con los elementos innecesarios eliminados e integrados adecuadamente.

Figura 16: Interface Raster to Features



Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

Cuando la opción "Generalize lines" está activada (marcada), se suavizan los contornos poligonales, evitando que estos bordes lineales presenten segmentos "aserrados" debido a la forma de los píxeles (cuando está desmarcada). Lo que hace "Generalize lines" es aumentar el tamaño de los segmentos que conforman los arcos y, como resultado, disminuir el número de vértices.

Conversión de polígonos a líneas

Si es necesario realizar ajustes en la delimitación de las unidades hidrográficas, se recomienda incorporar este proceso al trabajo de edición, ya que la edición de líneas es mucho más versátil y rápida debido a la amplia gama de herramientas disponibles.

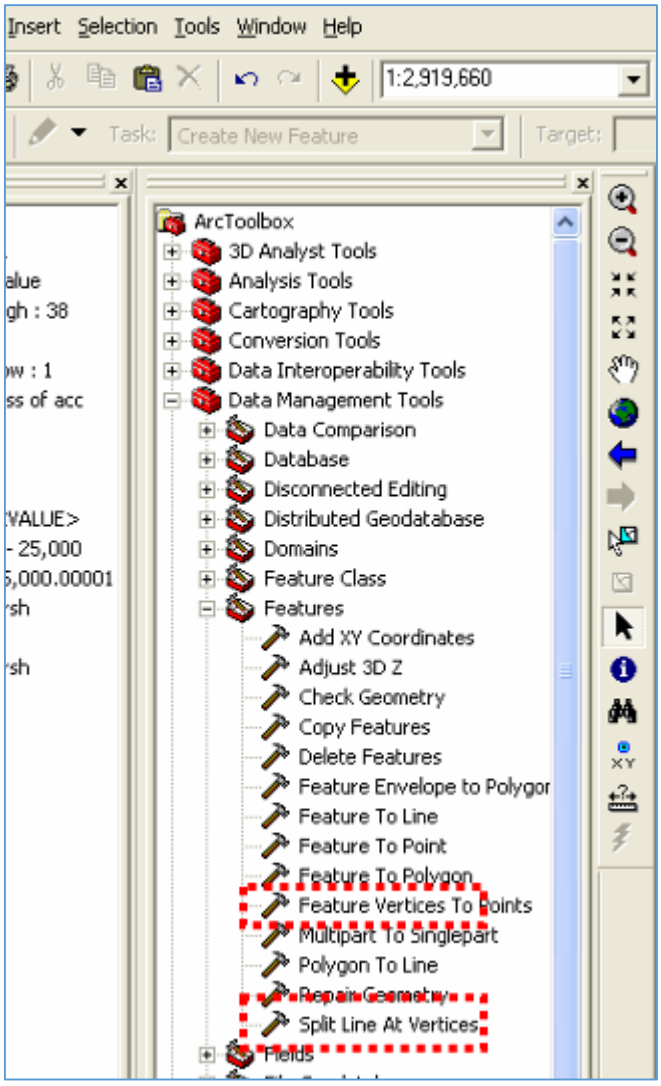
En ArcGis, este proceso se realiza utilizando la herramienta "Polygon to Line" dentro de la categoría "Features" de la sección "Data Management Tools" en "ArcToolbox".

Reconversión de líneas a polígonos

Después de completar el tema de líneas, se generan los polígonos correspondientes. Esta herramienta se encuentra en una ubicación similar a la anterior

en ArcGis. Está en "ArcToolbox", dentro de la sección "Data Management Tools", en la categoría "Features", bajo el nombre: "Features to Polygon".

Figura 17: Interface Raster to Features



Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

Figura 18: Mapa Sub Cuenca Yarinacocha



Fuente: Plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center

Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

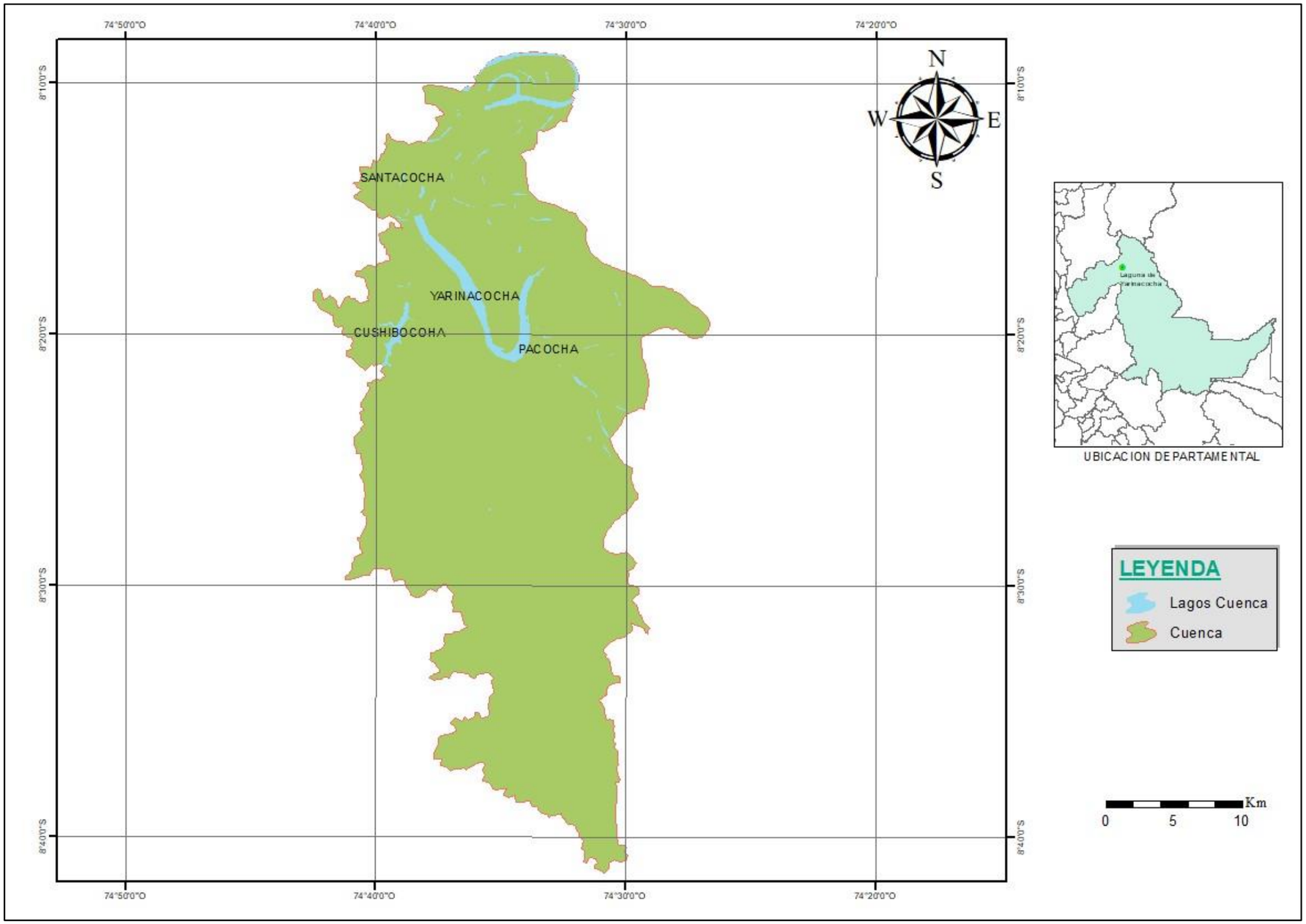
Figura 19: Ríos en la Sub Cuenca Yarinacocha



Fuente: Plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center

Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

Figura 20: Lagos en la Sub Cuenca Yarinacocha

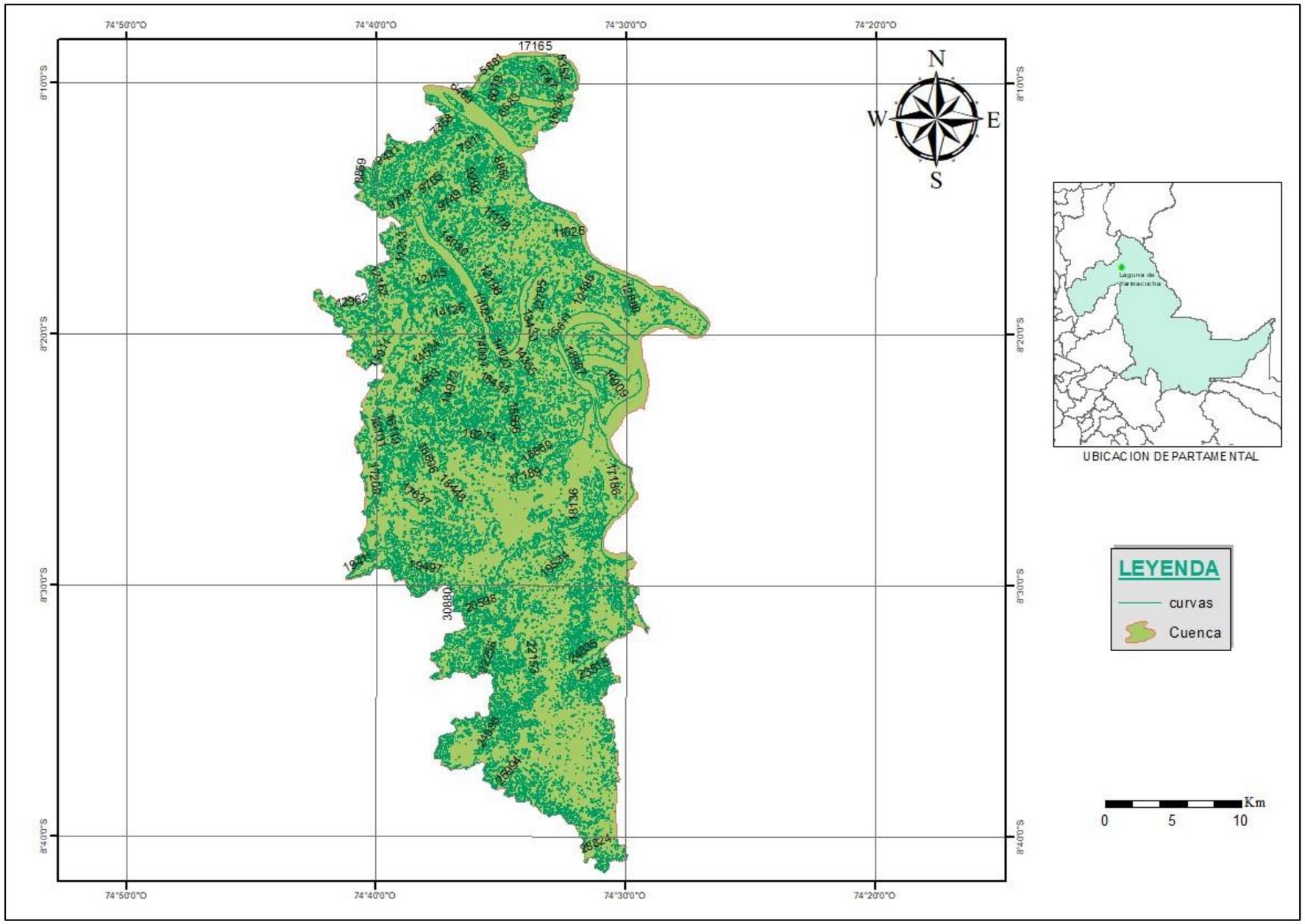


Fuente: Plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center

Herramienta: ArcMap de ArcGis versión 10.6

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 21: Curvas de nivel en la Sub Cuenca Yarinacocha

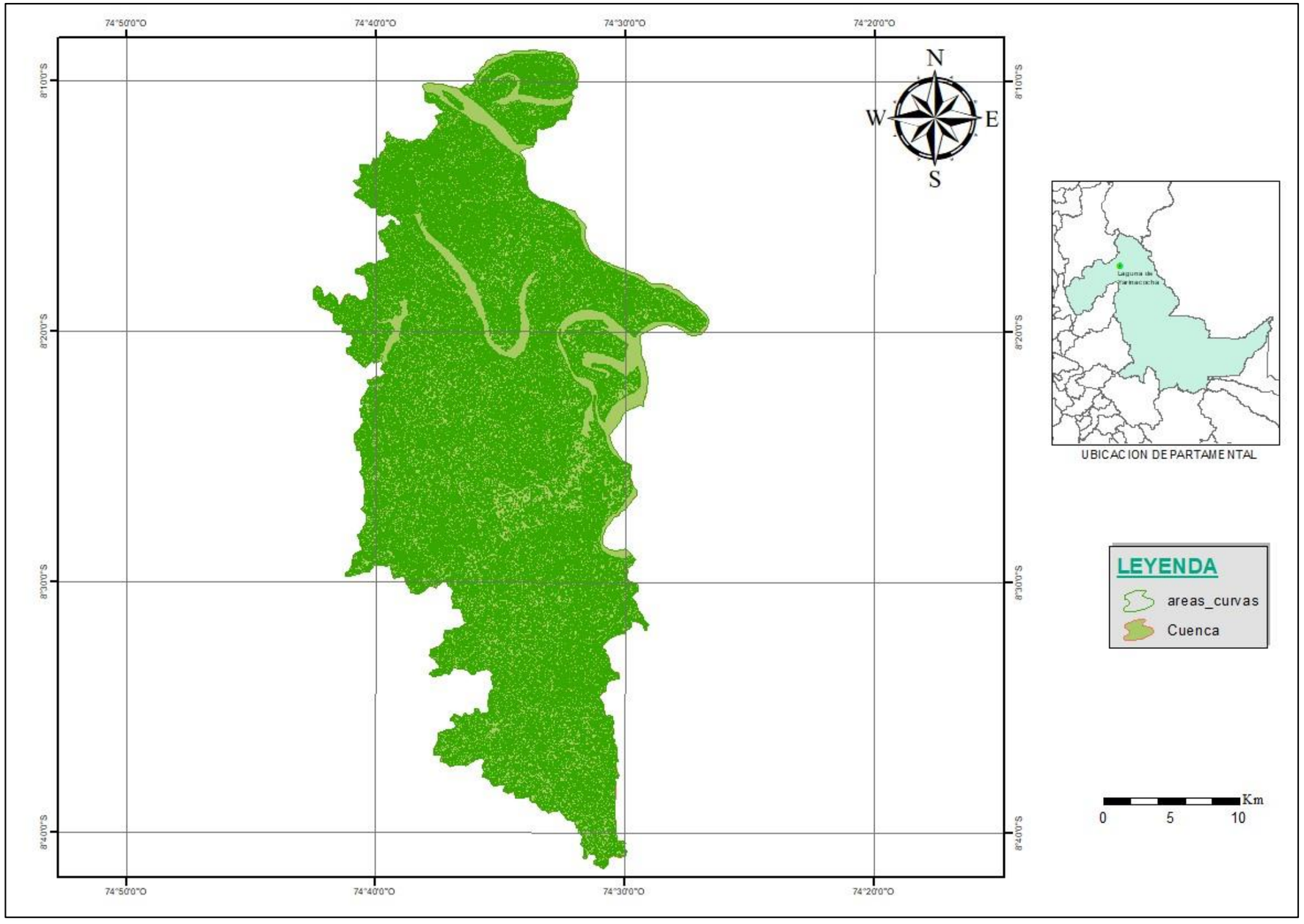


Fuente: Plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center

Herramienta: ArcMap de ArcGis versión 10.6

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 22: Áreas características en la Sub Cuenca Yarinacocha



Fuente: Plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center

Herramienta: ArcMap de ArcGis versión 10.6

Elaboración: Propiedad de la tesis

4.1.3. Cálculo de parámetros geomorfológicos de la sub Cuenca Yarinacocha

A partir de la delimitación digital de la subcuenca en estudio, se procedió con los cálculos de los parámetros geomorfológicos, de ello se tienen los siguientes:

Tabla 2. Datos de la Sub-Cuenca Yarinacocha

GEOMETRIA		
Área	Km²	857.04
Perímetro	km	230.737222
Ancho	km	29.26
Largo	km	60.54493422
VALORES DE LAS COTAS		
Cota mínima	msnm	129
Cota Máxima	msnm	241
COORDENADAS		
Centroide X	m	546199.46
Centroide Y	m	9071562.27
Centroide Z	msnm	169.527719
ALTITUDES DE LA SUB CUENCA		
Altitud Media	msnm	169.527719
Altitud más frecuente	msnm	4999.5
Altitud de frecuencia (1/2)	msnm	168.37
PENDIENTE DE LA CUENCA		
Pendiente de la cuenca	%	7.41
HIDROGRAFÍA		
Longitud del Cauce Principal	km	43.06
Orden de la red Hídrica	Adimensional	4
Longitud de la red Hídrica	km	477.39
pendiente promedio de la red hídrica	%	16.69

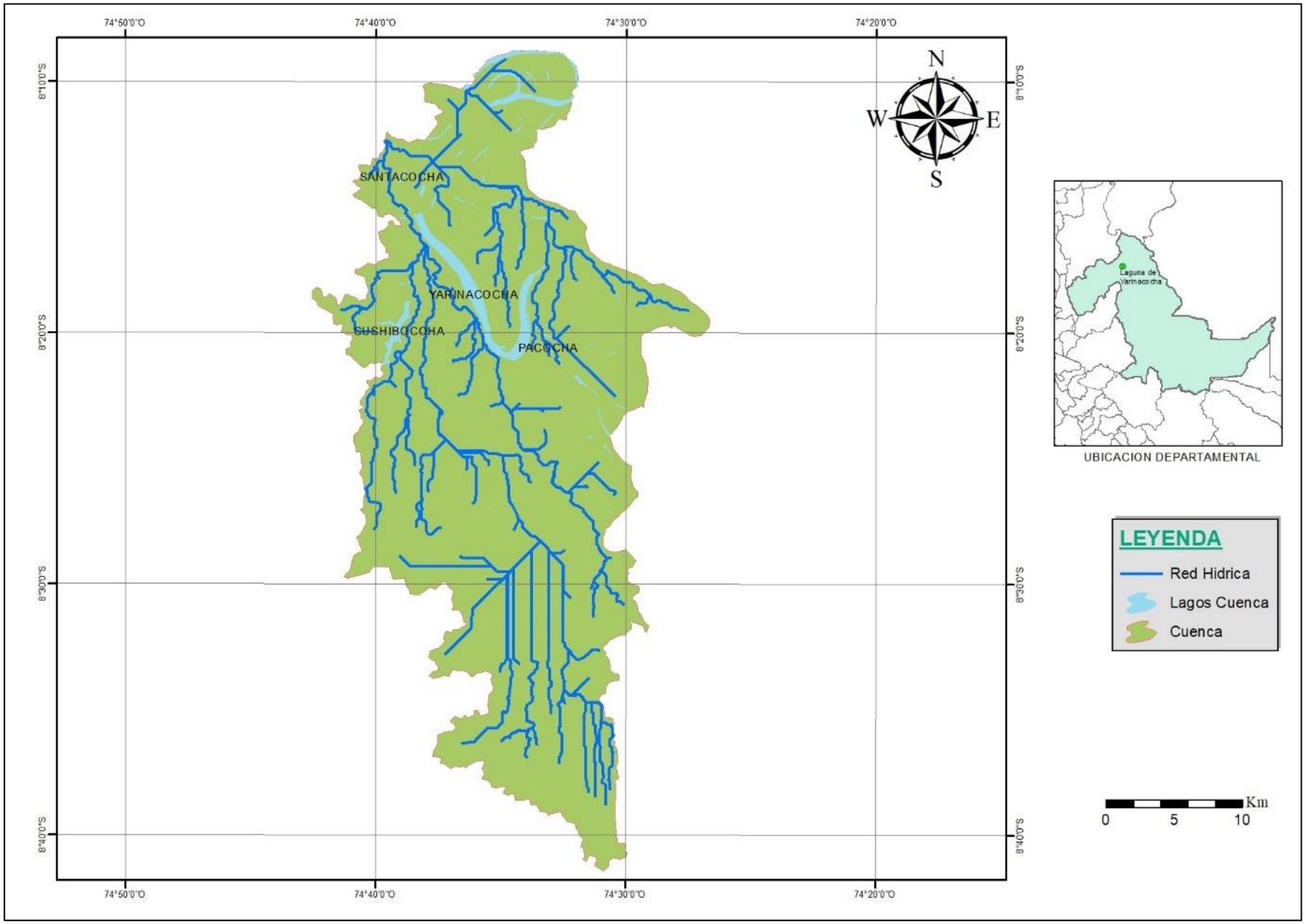
Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 3. Pendiente de la Sub-Cuenca Yarinacocha

Pendientes (%)		Promedio (A)	Ocurrencia (B)	A * B
Min	**Max**			
0	10	5	4280384	21401920
10	20	15	1079121	16186815
20	30	25	91513	2287825
30	40	35	13567	474845
40	50	45	2885	129825
50	60	55	778	42790
60	70	65	193	12545
70	80	75	40	3000
80	90	85	11	935
90	100	95	4	380
Total			5468496	40540880
Pendiente promedio de la Cuenca			7.413533813	

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 23: Red Hídrica la Sub Cuenca Yarinacocha



Fuente: Plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center

Herramienta: ArcMap de ArcGis versión 10.6

Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 4. Parámetros Geomorfológicos de la subcuenca Yarinacocha

Nombre del Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Factor Forma	F	0.48	S/N
Índice de Gravelius (Compacidad)	K	2.21	S/N
Rectángulo Equivalente (Lado Mayor)	L	107.39	km
Rectángulo Equivalente (Lado Menor)	l	7.98	km
Densidad de Drenaje	Dd	0.56	u/km²
Índice de pendiente	Ip	0.27	S/N

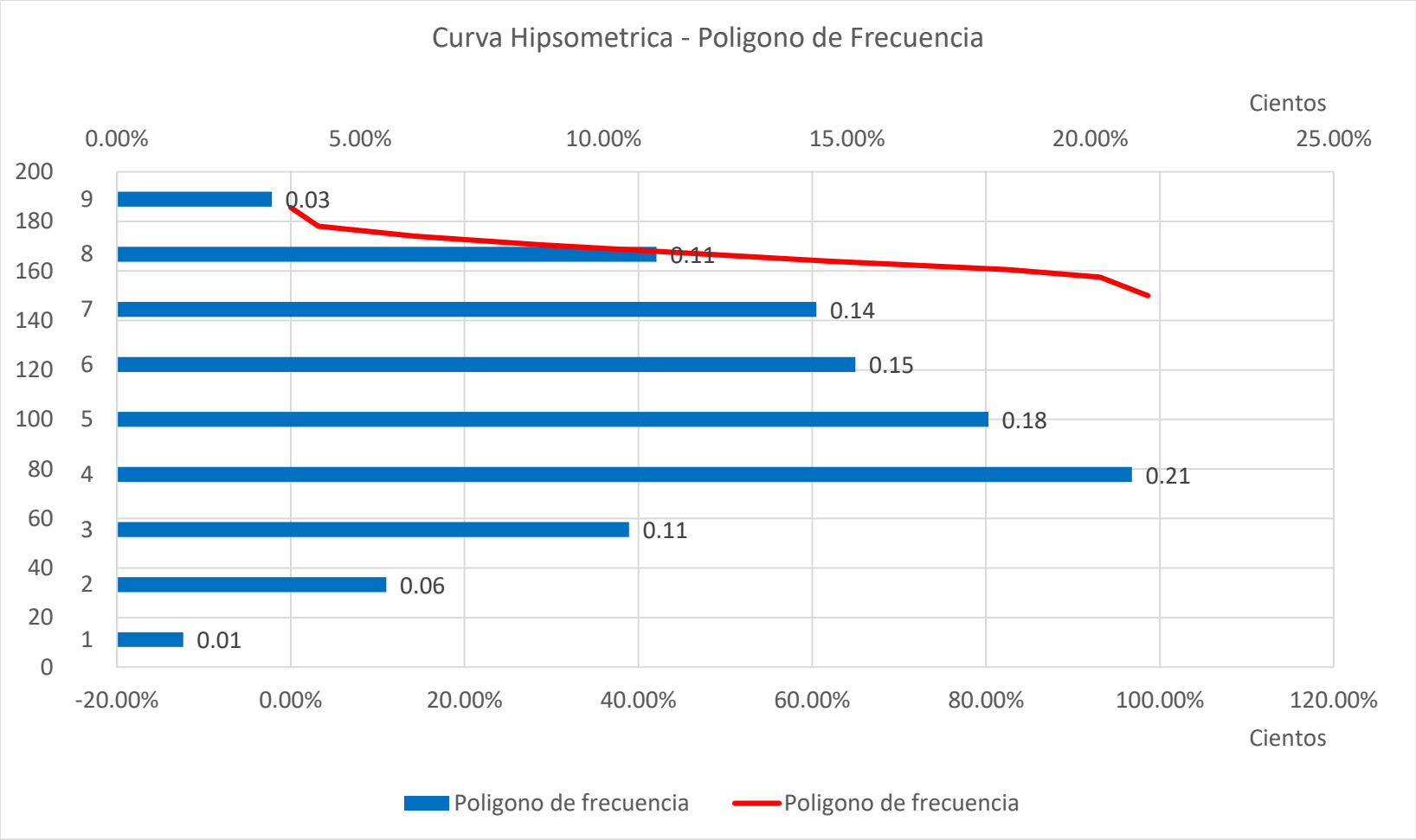
Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 5. Cálculos para la obtención de la Curva hipsométrica

Mín	Max	Promedio	Áreas (Km²)	Área Acumulada	Área Sobre la Curva	Áreas en %	Área Sobre la Curva (%)
144	156	150	11.68	11.68	856.99	1.36	100.00
156	159	157.5	47.45	59.13	797.86	5.54	93.10
159	162	160.5	90.19	149.32	707.67	10.52	82.58
162	166	164	178.74	328.06	528.93	20.86	61.72
166	169	167.5	153.44	481.50	245.49	17.90	43.81
169	172	170.5	130.02	611.52	245.47	15.17	28.64
172	176	174	123.18	734.70	122.29	14.37	14.27
176	180	178	95.02	829.72	27.27	11.09	3.18
180	191	185.5	27.27	856.99	0.00	3.18	0.00
				856.99			100.00

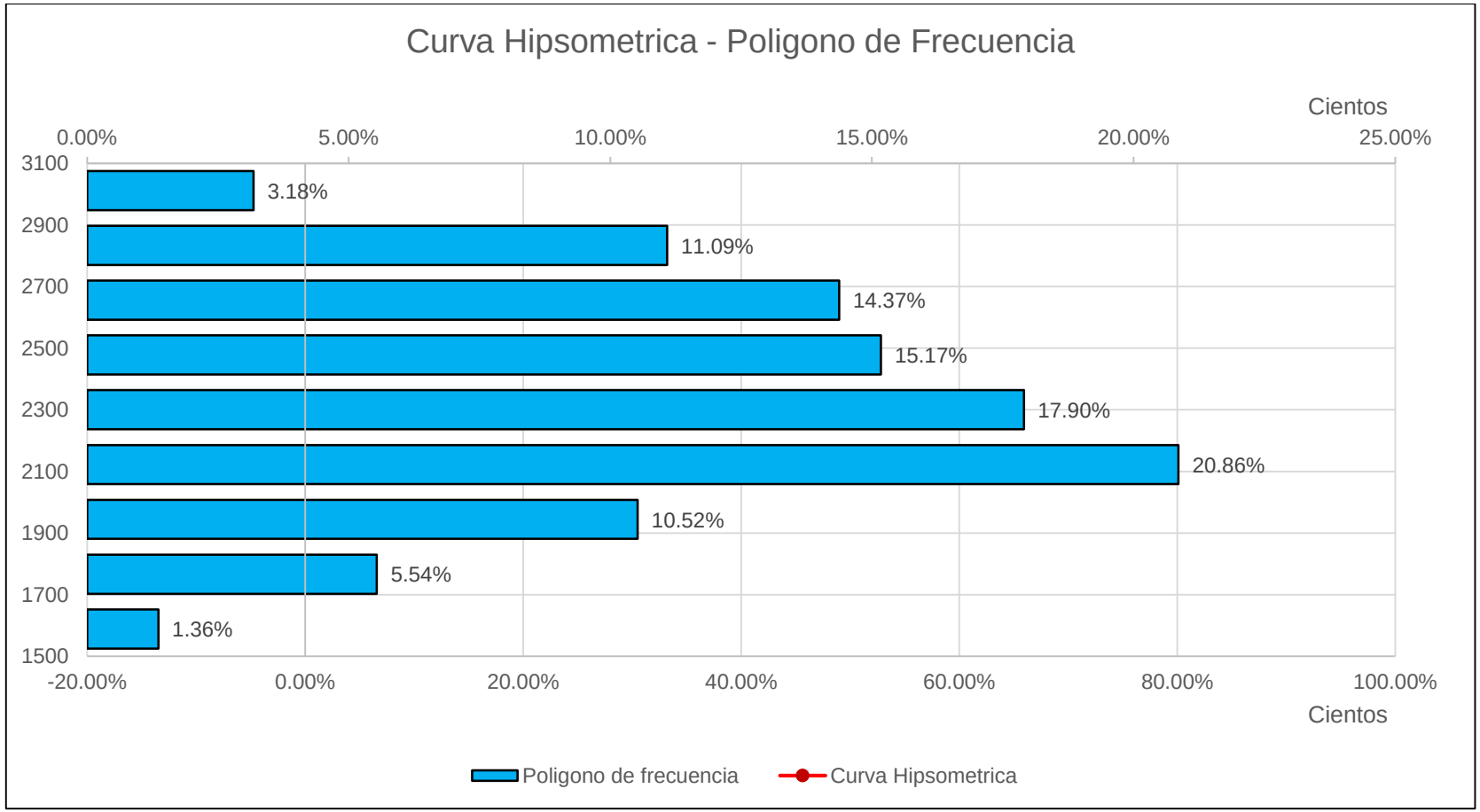
Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 24: Curva Hipsométrica – Polígono de Frecuencia



Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 25: Curva Hipsométrica – Polígono de Frecuencia



Elaboración: Propiedad de la tesis

4.1.3.1. Hidrografía de la Subcuenca YARINACOCHA

Del procesamiento de los datos, la subcuenca tiene las siguientes características hidrográficas.

Tabla 6. Hidrografía de la subcuenca Yarinacocha

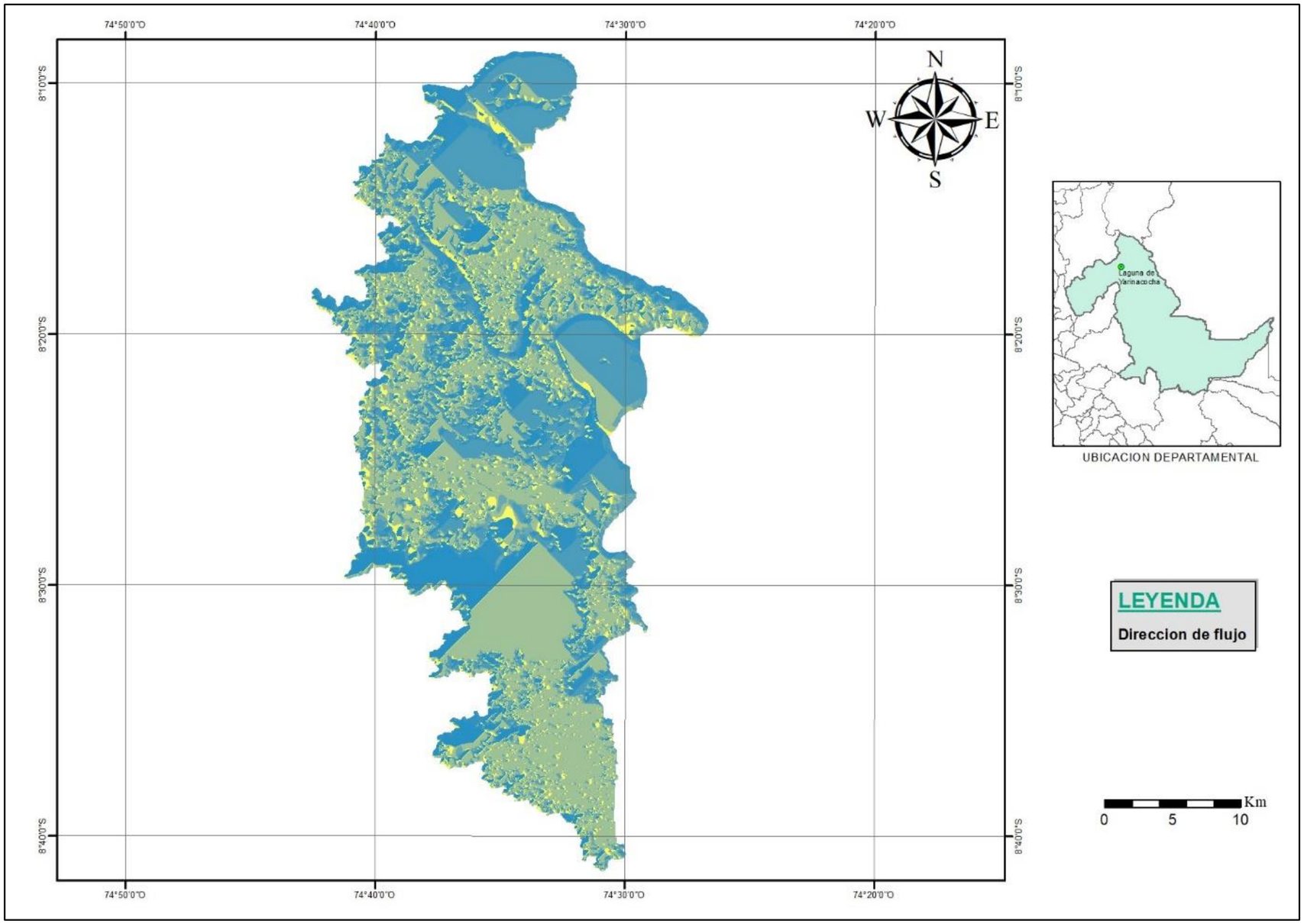
Orden	Cantidad	Longitud (Km)	Coincidencias (A)	Pendiente prom (B)	A *B
1	91	240.07	4717	18.1601800	85661.56918
2	22	121.96	2349	16.2063251	38068.65782
3	6	72.30	1345	14.4711928	19463.75439
4	2	43.06	827	13.2407631	10950.11111
Longitud Total		477.39	9238		154144.0925
Pendiente promedio				7.413533813	

Fuente: Plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center

Herramienta: ArcMap de ArcGis versión 10.6

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 26: Dirección de Flujo de la Sub Cuenca Yarinacocha

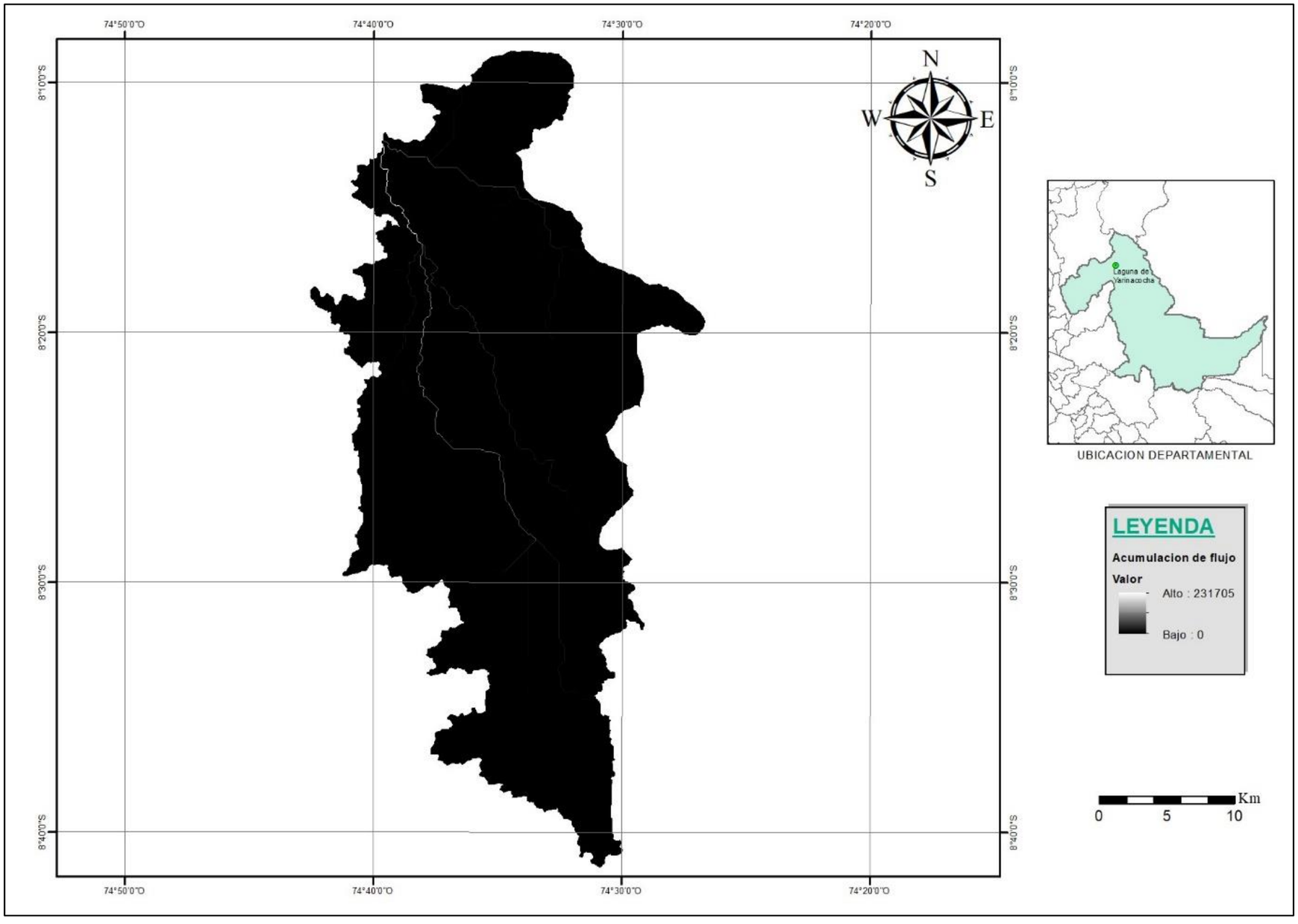


Fuente: Plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center

Herramienta: ArcMap de ArcGis versión 10.6

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 27: Acumulación de Flujo de la Sub Cuenca Yarinacocha

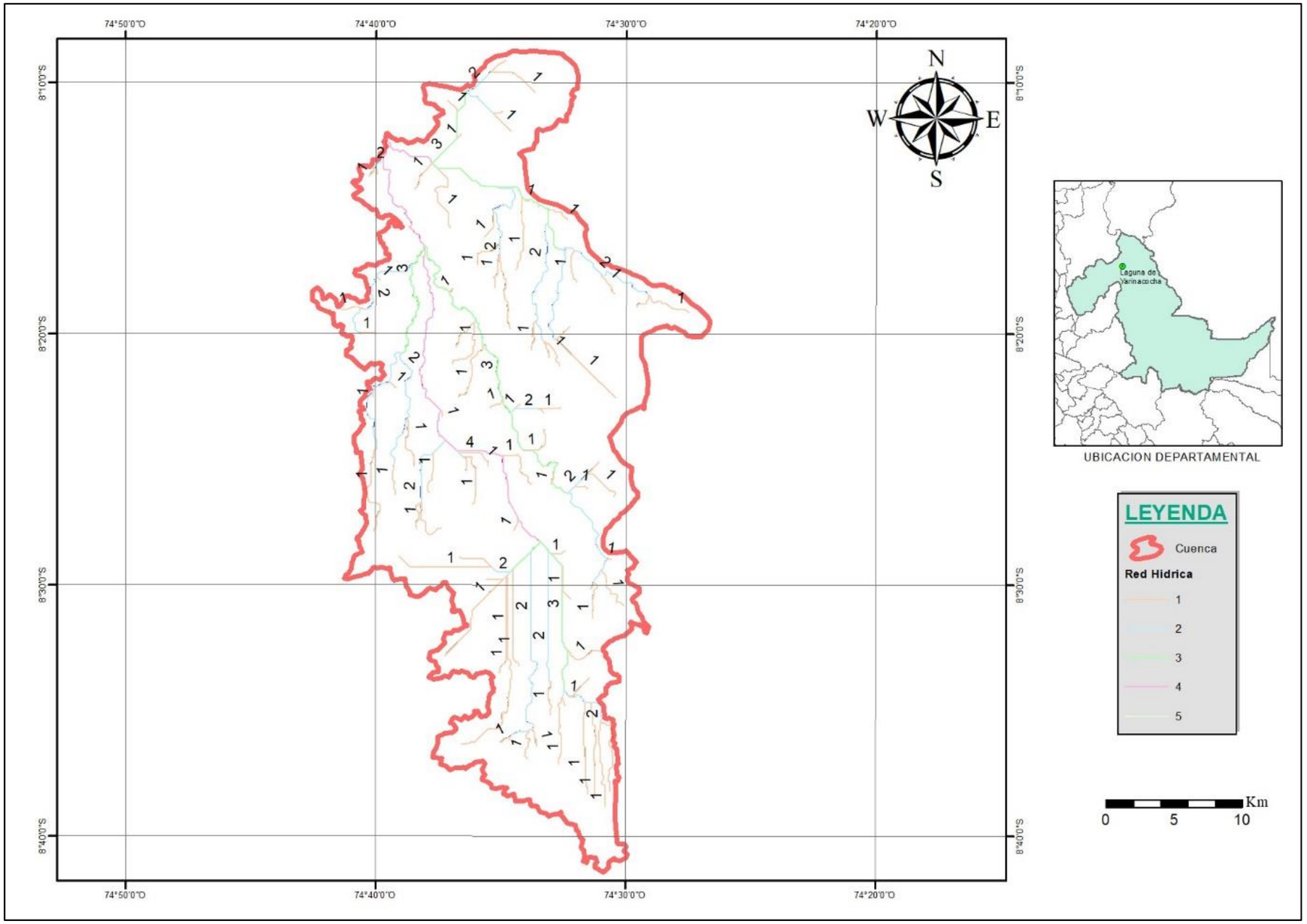


Fuente: Plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center

Herramienta: ArcMap de ArcGis versión 10.6

Elaboración: Propiedad de la tesis

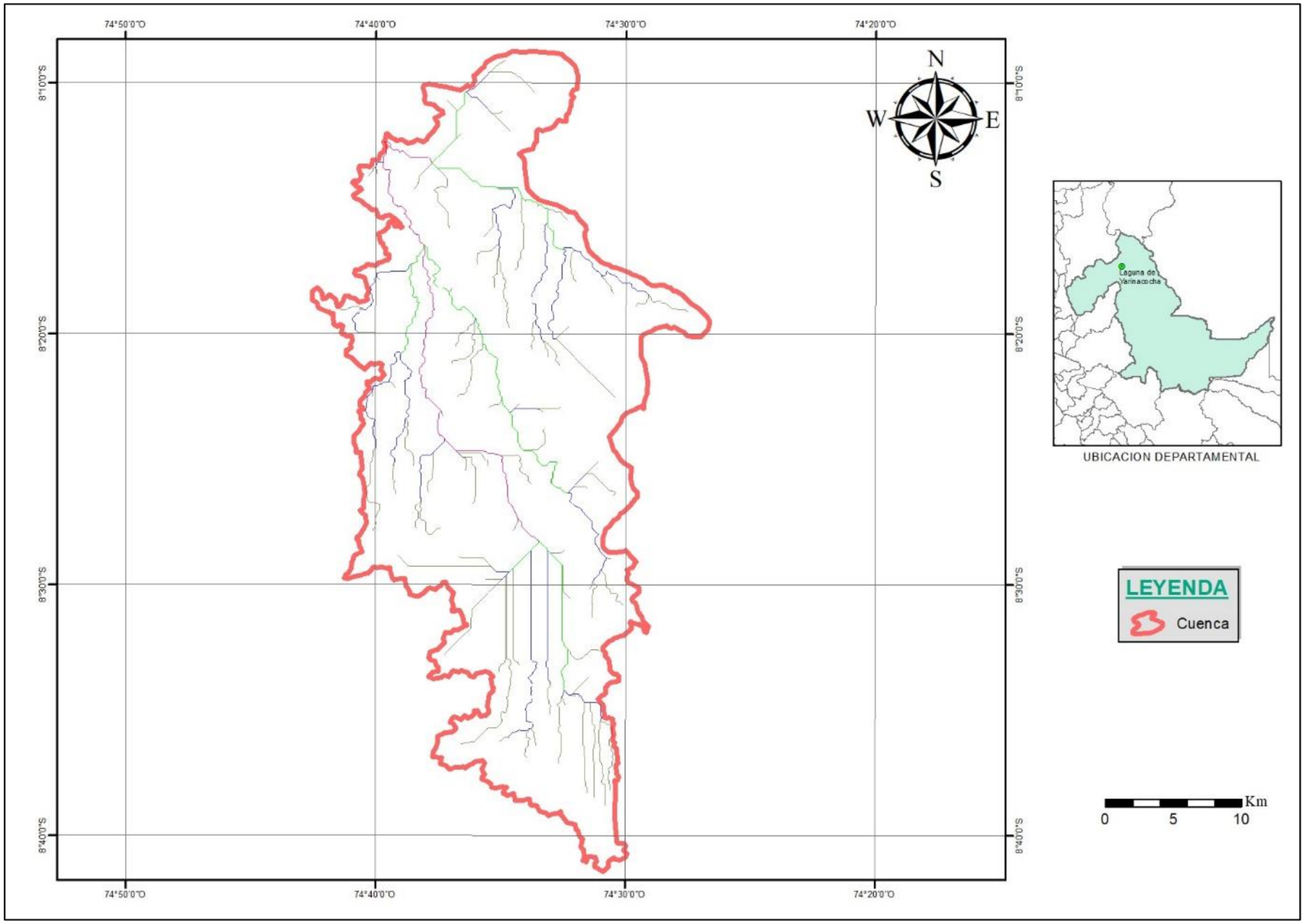
Figura 28: Orden de la Red Hídrica de la Sub Cuenca Yarinacocha



Fuente: Plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center

Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

Figura 29: Red Hídrica de la Sub Cuenca Yarinacocha



Fuente: Plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center

Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

4.2. Coberturas de usos de suelo de la subcuenca hidrográfica Yarinacocha

Con el objetivo de generar la Curva Número, se implementó un proceso de clasificación supervisada para determinar las diversas coberturas de uso del suelo en la Subcuenca hidrográfica de Yarinacocha, ubicada en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo, en el Departamento de Ucayali. Para llevar a cabo esta tarea, se emplearon las hojas de la carta nacional digital elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional en una escala de 1:100,000. Se accedió también a información referente a la red vial proporcionada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como a los datos de la división departamental extraídos del geoservidor del MINAM. Esta información incluía detalles como cuadrantes, cursos de agua, islas, lagos, lagunas, elevaciones topográficas, áreas urbanas, polígonos urbanos, cotas, curvas de nivel y carreteras.

Adicionalmente, se utilizó el GDEM (Modelo de Elevación Digital del Terreno), el cual se generó empleando imágenes capturadas por ASTER, y cuenta con una resolución espacial de 90 metros. Este modelo fue elaborado por United States Geological Survey (USGS)

A nivel de la Región Ucayali, las coberturas de usos de suelo se encuentran caracterizados de la siguiente manera:

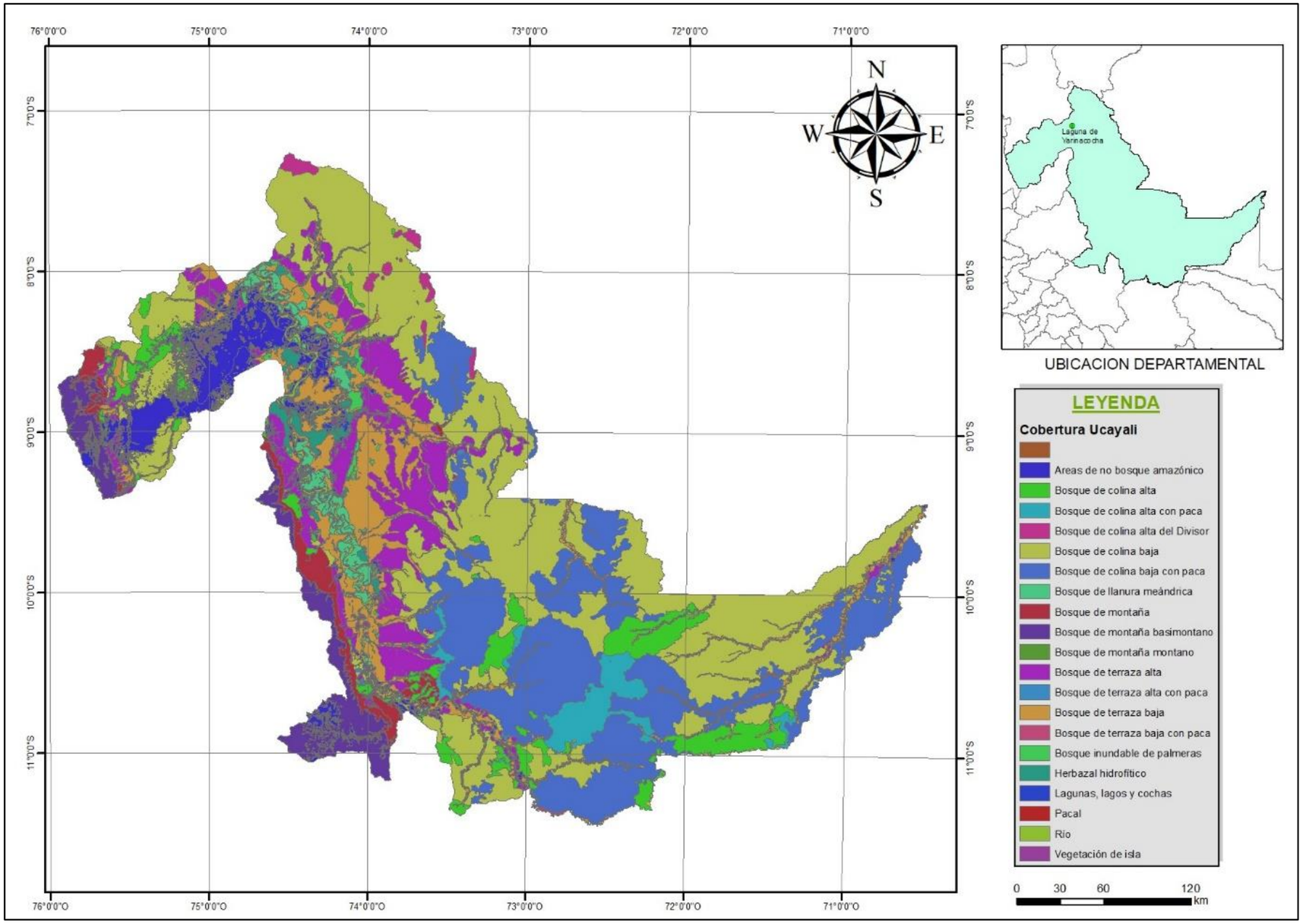
Tabla 7. Coberturas de Usos - Región Ucayali

Caracterización de la Cobertura	Clasificación Fisiográfica	Perímetro Km	Área Km2
Áreas de no bosque amazónico	Colina alta	3538984.6	46749.71
	Montaña	5484564.5	280911.89
	Terraza baja	12348010.2	170446.45
	Colina baja	6846989.6	206124.51
	Llanura meándrica	5604475.1	108736.31
	Terraza alta	6222377.8	221734.26
Bosque de colina alta	Colina alta	6222913.8	745080.17
Bosque de colina alta con paca	Colina alta	1052268.7	278551.69
Bosque de colina alta del Divisor	Colina alta	506273.7	204793.30
Bosque de colina baja	Colina baja	21693543.7	5689038.14
Bosque de colina baja con paca	Colina baja	8573461.7	2692684.13
Bosque de llanura meándrica	Llanura meándrica	6591298.1	217379.21
Bosque de montaña	Montaña	7416598.2	651742.27
Bosque de montaña basimontano	Montaña	12895833.7	1845700.26
Bosque de montaña montano	Montaña	1380620.16	87839.67
Bosque de terraza alta	Terraza alta	11444850.4	1019813.67
Bosque de terraza alta con paca	Terraza alta	142245.601	6960.03125
Bosque de terraza baja	Terraza baja	26889466.4	1186660.01
Bosque de terraza baja con paca	Terraza baja	954963.44	17924.78
Bosque inundable de palmeras	Terraza baja	1622558.2	69395.57
Herbazal hidrofítico	Terraza baja	2796210.78	118810.53
Lagunas, lagos y cochas	Agua	1720065.38	22034.49
Pacal	Terraza alta	91301.45	6855.07
Río	Agua	125683817	321561.13
Vegetación de isla	Terraza baja	892066.839	16285.22

Fuente: Instituto Geográfico Nacional y la información de la división departamental del geoservidor de MINAM

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 30: Coberturas de Usos – Región Ucayali



Fuente: Instituto Geográfico Nacional y la información de la división departamental del geoservidor de MINAM

Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

En detalle la cobertura de uso de suelo actualizado a nivel de la Región Ucayali se caracteriza de la siguiente forma:

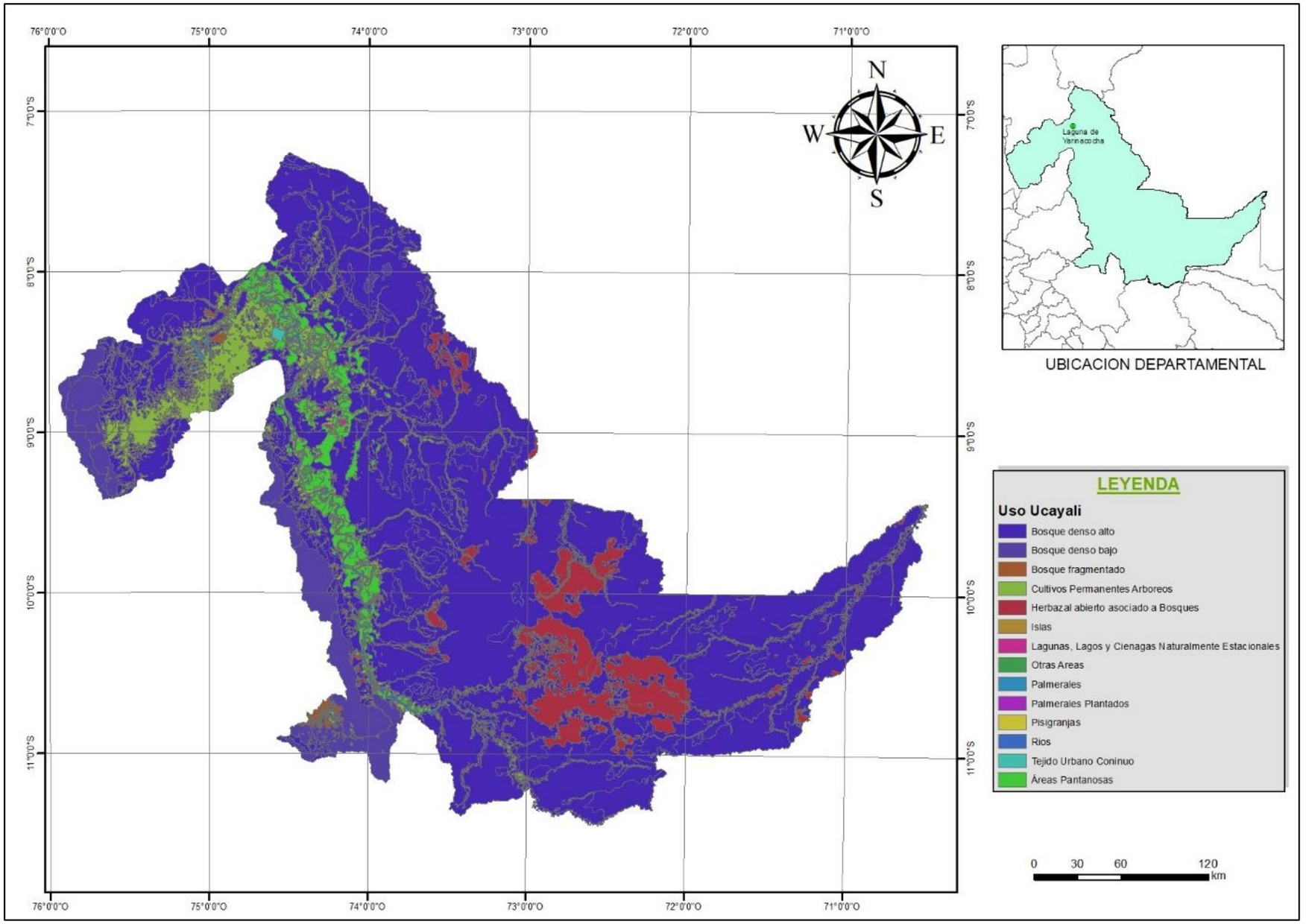
Tabla 8.***Coberturas de usos de suelo de la región Ucayali***

Caracterización de la Cobertura	Clasificación Fisiográfica	Perímetro Km	Área Km2
Áreas Húmedas Continentales	Áreas Pantanosas	10171639.8	4513694161
Arenas Húmedas Continentales	Áreas Pantanosas	426342.492	255905611.1
Bosques	Bosque denso alto	64331756.9	77963464409
Bosques	Bosque denso bajo	3200754.3	6704641714
Bosques	Bosque fragmentado	934055.019	342896070.8
Cultivos Permanentes	Cultivos Permanentes Arbóreos	19294341.3	5791582447
Áreas con Vegetación Herbácea y/o Arbustiva	Herbazal abierto asociado a Bosques	7967294.05	7648792811
Islas	Islas	1013.28882	33784.2337
Aguas continentales	Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturalmente Estacionales	2117029.26	264039263.9
Otras Áreas	Otras Áreas	601276.771	172658584
Cultivos Permanentes	Palmerales	200849.974	77209499.1
Cultivos permanentes	Palmerales Plantados	6734.30489	2424232.16
Aguas Continentales	Piscigranjas	3037.60216	418539.5216
Aguas Continentales	Ríos	17291143.9	1249888291
Áreas urbanizadas	Tejido Urbano Continuo	278727.37	95038957.47

Fuente: Instituto Geográfico Nacional y la información de la división departamental del geoservidor de MINAM

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 31: Coberturas de Usos de Suelo de Región Ucayali



Fuente: Instituto Geográfico Nacional y la información de la división departamental del geoservidor de MINAM

Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

A nivel de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, las coberturas de usos de suelo se encuentran caracterizados de la siguiente manera:

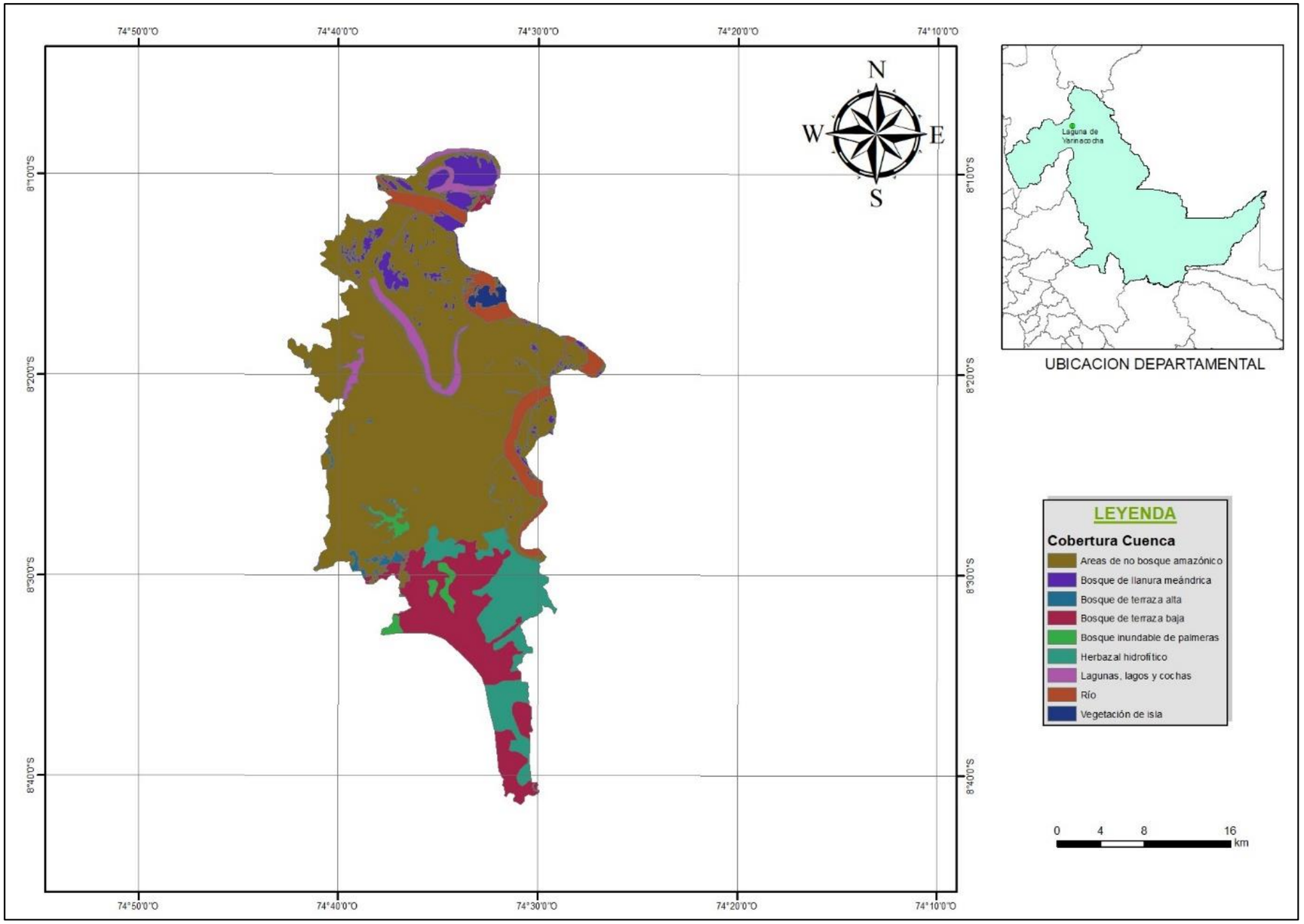
Tabla 9. ***Cobertura de Uso - Subcuenca Yarinacocha***

Caracterización de la Cobertura	**Clasificación Fisiográfica**	**Perímetro Km**	**Área Km2**
Áreas de no bosque amazónico	Llanura meándrica	2086554.12	54209.3281
Áreas de no bosque amazónico	Terraza alta	2197363.5	168595.145
Áreas de no bosque amazónico	Terraza baja	129754.336	1974.51849
Bosque de llanura meándrica	Llanura meándrica	453093.724	5097.62495
Bosque de terraza alta	Terraza alta	197497.936	4145.68392
Bosque de terraza baja	Terraza baja	1094415.62	72925.6338
Bosque inundable de palmeras	Terraza baja	76070.2486	3825.92401
Herbazal hidrofítico	Terraza baja	162964.316	14486.2222
Lagunas, lagos y cochas	Agua	188901.47	2892.1655
Río	Agua	29904039.4	144410.493
Vegetación de isla	Terraza baja	53137.592	768.659833

Fuente: Instituto Geográfico Nacional y la información de la división departamental del geoservidor de MINAM

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 32: Caudal para los períodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 años



Fuente: Instituto Geográfico Nacional y la información de la división departamental del geoservidor de MINAM

Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

En detalle la cobertura de uso de suelo actualizado a nivel de la Sub Cuenca Yarinacocha se caracteriza de la siguiente forma:

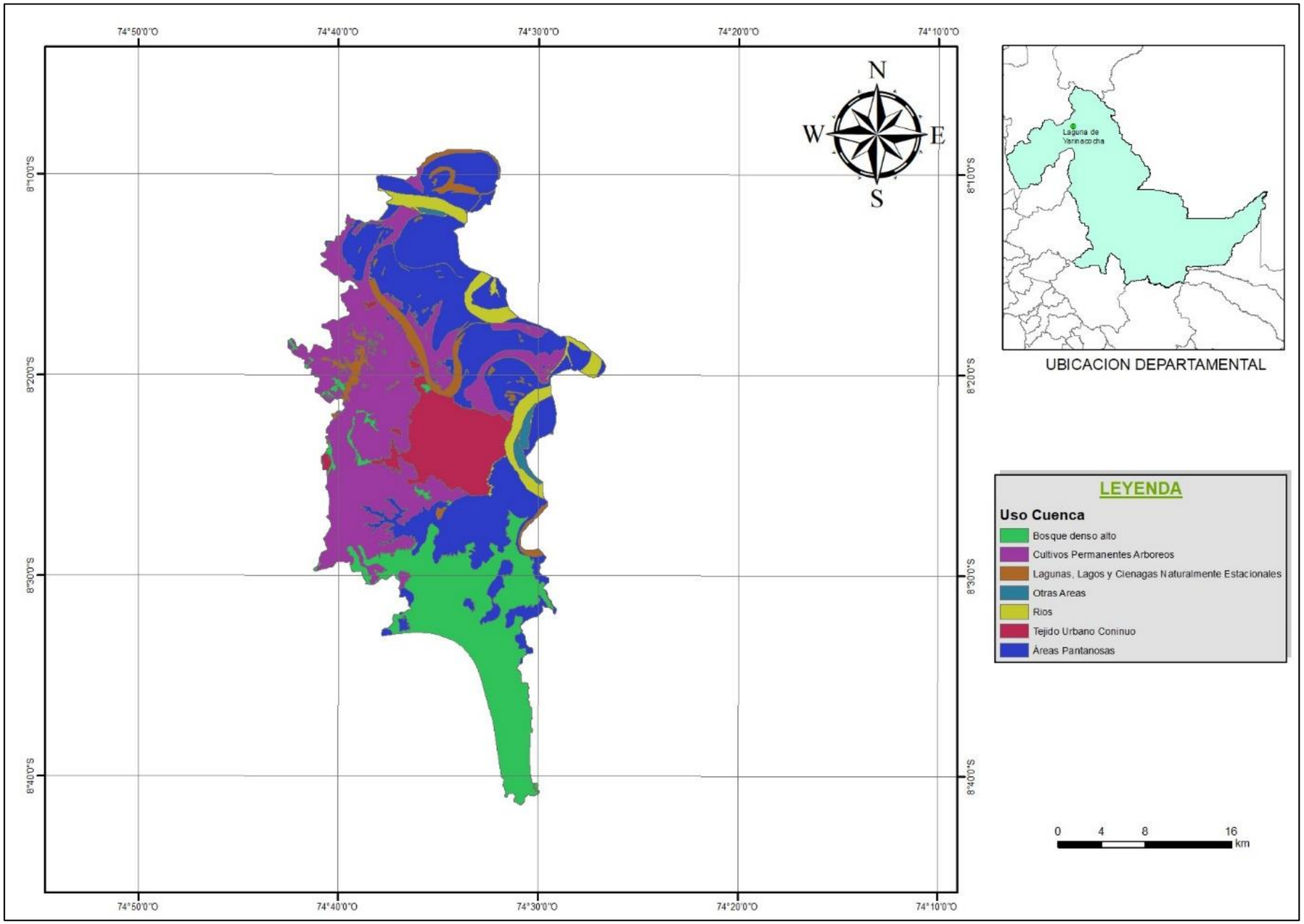
Tabla 10. ***Caracterización de la cobertura***

Caracterización de la Cobertura	Clasificación Fisiográfica	Perímetro Km	Área Km2
Arenas Húmedas Continentales	Áreas Pantanosas	426342.492	255905611
Cultivos Permanentes	Cultivos Permanentes Arbóreos	19294341.3	5791582447
Áreas Húmedas Continentales	Áreas Pantanosas	3397033.47	1248426677
Bosques	Bosque denso alto	12816777.6	4642539981
Aguas continentales	Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturalmente Estacionales	2117029.26	264039264
Bosques	Bosque denso alto	11967217.3	1.1176E+10
Áreas húmedas continentales	Áreas Pantanosas	6774606.34	3265267484
Otras Áreas	Otras Áreas	601276.771	172658584
Aguas continentales	Ríos	17291143.9	1249888291
Áreas urbanizadas	Tejido Urbano Continuo	278727.37	95038957.5

Fuente: Instituto Geográfico Nacional y la información de la división departamental del geoservidor de MINAM

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 33: Uso de cuenca



Fuente: Instituto Geográfico Nacional y la información de la división departamental del geoservidor de MINAM

Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

4.3. Cálculo de coeficiente de escorrentía de la sub cuenca Yarinacocha

El coeficiente de escorrentía (c) se basa en el conocimiento de que, una vez que el suelo está totalmente saturado, este representa el porcentaje de la cantidad total de lluvia que realmente crea escorrentía superficial. Su valor se basa en las características únicas de la topografía que controlan la cantidad de agua que se filtra en el suelo.

Esto se determinó a partir de los resultados de las coberturas de usos de suelo de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, las cuales fueron determinados en el sub capitulo anterior, a partir de ello, se determinó el coeficiente de escorrentía para la unidad de análisis. En este contexto, el cálculo del coeficiente de escorrentía se llevó a cabo mediante la utilización de tablas o ecuaciones empíricas. Entre las tablas más comúnmente empleadas se encuentran las de Raws, Molchanov y Prevert. En lo que respecta a las ecuaciones, sobresalen la ecuación de Nadal y la fórmula de Keler. Esta metodología condujo a la obtención de los resultados siguientes:

Tabla 11. Coeficiente de escorrentía según clasificación de uso de suelo

ORDEN	CLASIFICACIÓN	ÁREA	COEFIECIENTE
1	5	155697	0.6
2	6	86164	0.72
3	10	7979	0.36
4	12	47735	0.42
5	15	108573	0.18
6	18	121024	0.21
7	20	35978	0.8
8	24	925	0.9
9	25	6621	0.4
10	30	32721	0.45
11	35	16370	0.65
12	36	6159	0.47
13	42	49296	0.52

Fuente: Instituto Geográfico Nacional y la información de la división departamental del geoservidor de MINAM, Método de Raws, Método de Prevert, Fórmula de Nadal y Fórmula de Keler

Elaboración: Propiedad de la tesis

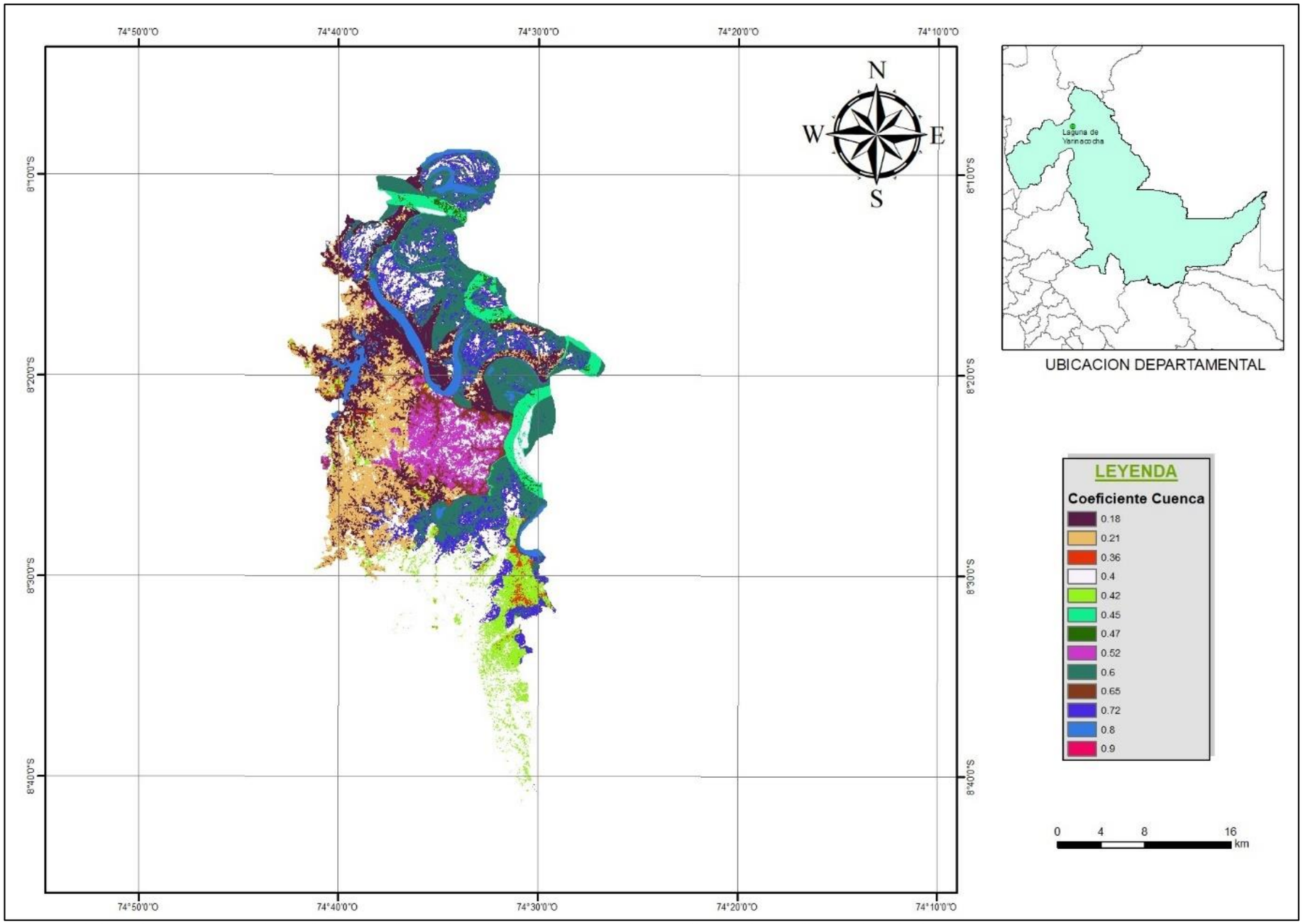
Análisis e interpretación:

Según la categorización de los diferentes tipos de suelo, se obtiene la proporción de agua en el total de precipitación que da lugar a la escorrentía superficial cuando el suelo alcanza su capacidad de saturación, según la categorización de los diferentes tipos de suelo.

De ello tenemos, que el coeficiente de escorrentía característico de la zona en estudio se encuentra entre 0.18 y 0.21, característico de áreas de tipo Bosque Relieve ondulado y Bosque Relieve quebrado.

Entonces, a partir de la ponderación estos coeficientes de escorrentía característico de la zona en estudio, se tiene un coeficiente de escorrentía ponderado de 0.19.

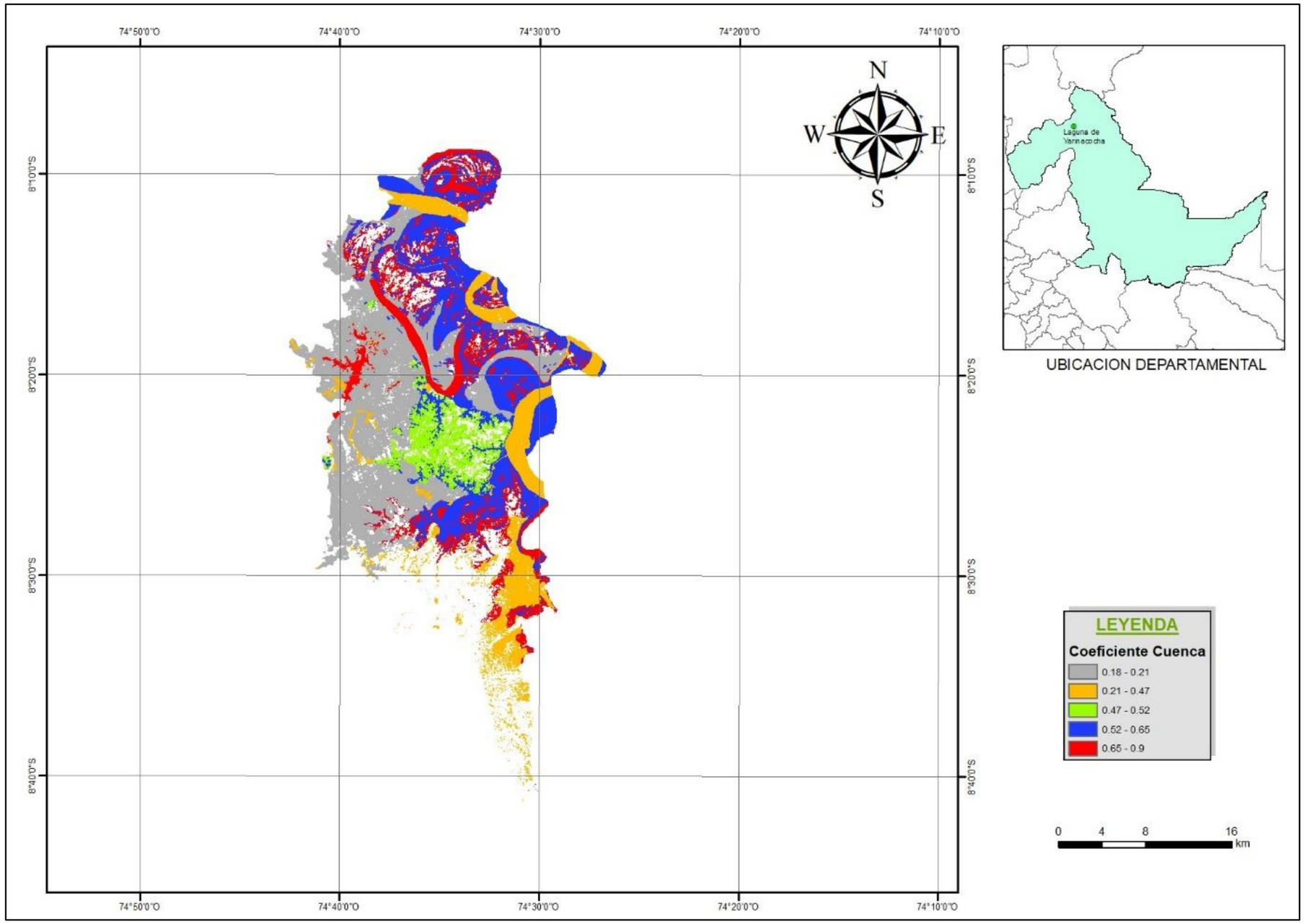
Figura 34: Coeficiente de Escorrentía según clasificación de uso de suelo



Fuente: Instituto Geográfico Nacional y la información de la división departamental del geoservidor de MINAM, Método de Raws, Método de Prevert, Fórmula de Nadal y Fórmula de Keler

Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

Figura 35: Coeficiente de Escorrentía Ponderado de la Sub Cuenca Yarinacocha



Fuente: Instituto Geográfico Nacional y la información de la división departamental del geoservidor de MINAM, Método de Raws, Método de Prevert, Fórmula de Nadal y Fórmula de Keler

Elaboración: ArcGIS versión 10.6.

4.4. Caudales máximos de la subcuenca hidrográfica Yarinacocha

En función de la localización de la delimitación de la sub cuenta Yarinacocha, a partir de los registros de datos meteorológicos de precipitación obtenidos de la platafoma del SENAMHI de la estación meteorológica Pucallpa, de tipo Convencional; y de la aplicación los cálculos estadísticos en hidrología, en específico del procesamiento de los registros de precipitación máxima de 24 horas mediante la distribución de probabilidades pluviométricas de Gumbel. Se presentan los caudales máximos de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años mediante el modelamiento hidrológico de la unidad hidrográfica en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.

4.4.1. Datos mensuales de precipitación máxima en 24 hrs. (mm)

Tabla 12. Datos Estación Pluviométrica

Estación:	PUCALLPA	**Coordenadas**	**ESTE (X) =**	547133.170	**Cota =**	162 m.s.n.m.
Denominación:	YARINACOCHA	**UTM - 18 Sur**	**NORTE (Y) =**	9069992.953		

Fuente: SENAMHI

Elaboración: Propiedad de la tesis

De esta estación meteorológica se obtuvo los registros de datos históricos de precipitación máxima de 24 horas desde el año 1993 al 2022, obteniéndose en registros históricos de 30 años, las cuales cumplen con el primer requisito de series de datos históricos de más de 20 ó 30 valores para la aplicación de los cálculos estadísticos en hidrología.

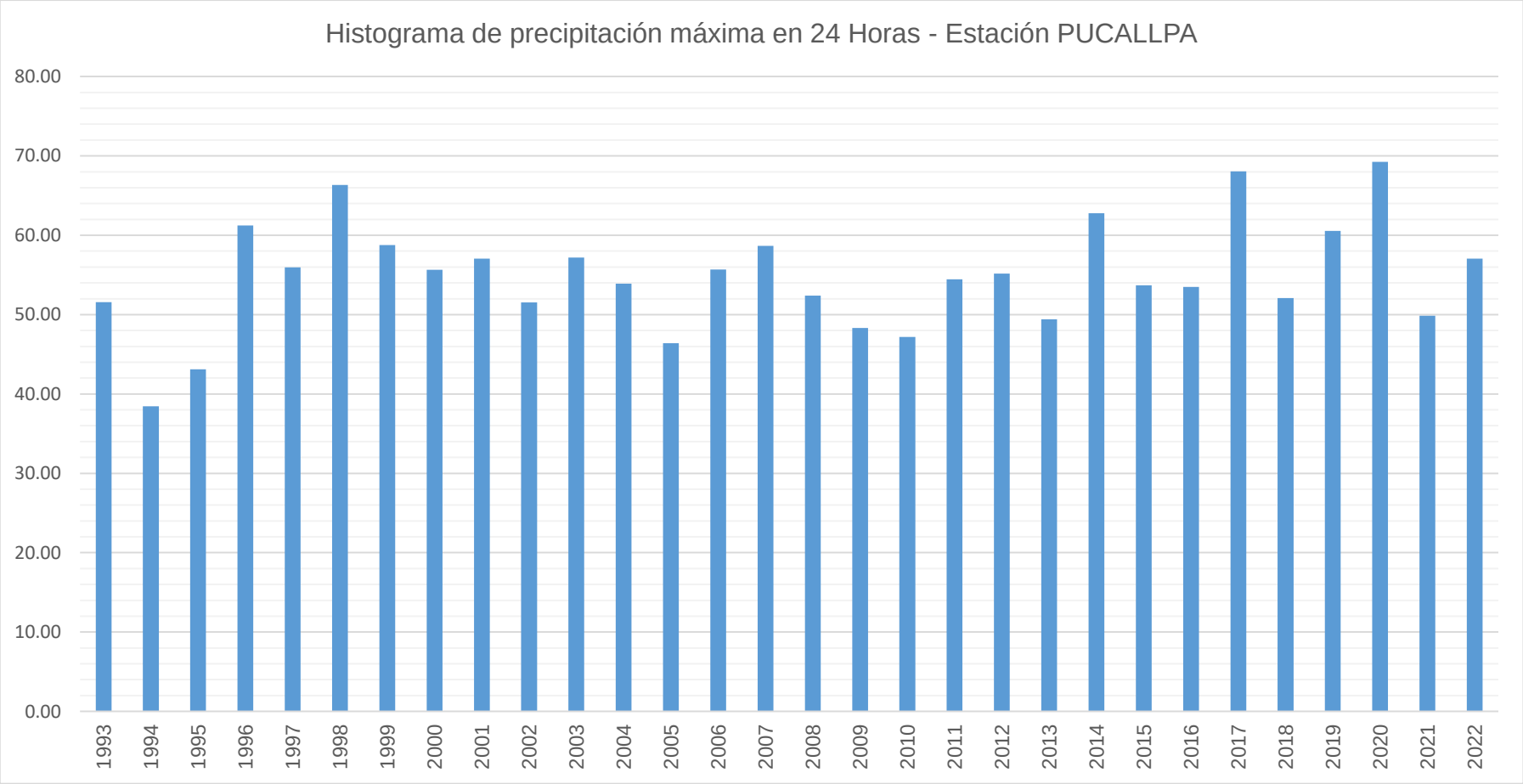
Tabla 13. Datos Mensual de Precipitación en 24 Hrs (mm)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Máximo	
1993	64.37	73.31	61.00	49.90	22.60	21.40	53.30	40.20	51.90	59.20	69.30	52.40	73.31	Febrero
1994	50.20	28.90	33.40	25.70	26.30	43.00	2.90	19.60	86.80	24.50	52.20	67.80	86.80	Septiembre
1995	9.60	78.90	39.10	71.80	17.50	27.90	29.60	10.10	45.20	61.50	93.40	32.90	93.40	Noviembre
1996	118.80	82.10	56.10	79.90	41.50	43.90	28.00	18.70	28.40	66.70	74.50	96.40	118.80	Enero
1997	63.10	74.30	64.80	46.90	61.80	16.70	55.95	26.70	49.20	69.60	118.90	23.40	118.90	Noviembre
1998	66.20	72.80	86.50	52.00	106.20	16.20	0.00	38.30	66.50	76.40	95.70	119.20	119.20	Diciembre
1999	43.20	105.40	53.00	30.00	58.80	115.70	17.60	20.00	98.50	41.80	76.20	45.20	115.70	Junio
2000	67.00	94.70	49.90	36.40	74.60	42.30	39.50	56.40	25.70	29.90	93.40	58.10	94.70	Febrero
2001	66.00	87.40	30.00	50.90	25.20	19.80	9.10	6.90	57.05	87.60	169.00	75.60	169.00	Noviembre
2002	25.80	114.60	74.20	57.40	42.80	22.70	41.60	39.10	97.50	35.00	33.60	34.00	114.60	Febrero
2003	54.30	57.00	69.00	83.10	94.60	24.40	14.90	12.50	98.90	41.70	37.90	97.90	98.90	Septiembre
2004	57.10	52.50	74.90	82.40	50.70	17.30	96.70	23.60	47.10	28.70	48.20	67.80	96.70	Julio
2005	42.30	38.40	39.80	46.40	17.20	16.80	22.10	38.40	32.40	107.70	50.70	104.60	107.70	Octubre
2006	63.40	76.90	49.30	60.20	45.00	17.70	54.90	52.20	46.80	44.60	90.10	67.20	90.10	Noviembre
2007	76.90	94.20	58.60	76.70	35.10	7.20	26.30	78.20	24.00	147.80	38.80	40.00	147.80	Octubre
2008	147.20	31.40	73.00	89.00	25.70	45.20	16.30	7.40	67.40	29.30	58.20	38.80	147.20	Enero
2009	66.50	63.60	22.40	96.40	96.60	50.30	50.00	16.00	10.80	31.00	44.50	31.50	96.60	Mayo
2010	48.30	65.80	48.80	65.40	74.10	27.30	37.30	3.40	36.20	20.40	94.80	44.40	94.80	Noviembre
2011	52.30	130.60	149.00	48.40	33.40	25.20	5.60	27.80	87.40	25.30	28.60	39.80	149.00	Marzo
2012	103.80	50.20	71.40	82.20	24.60	13.60	24.60	15.80	55.70	91.40	25.60	103.20	103.80	Enero
2013	53.10	60.00	27.80	37.40	38.40	70.00	15.60	53.70	49.60	24.20	150.40	12.60	150.40	Noviembre
2014	76.60	79.80	100.20	92.00	48.22	54.10	30.56	28.81	55.38	54.49	73.52	59.66	100.20	Marzo
2015	64.37	73.31	60.55	61.84	48.22	33.58	30.56	28.81	55.38	54.49	73.52	59.66	73.52	Noviembre
2016	74.37	76.21	62.46	62.23	51.94	35.42	17.70	65.20	47.10	47.50	49.30	52.40	76.21	Febrero
2017	202.80	81.00	109.40	21.40	97.00	22.80	17.00	30.66	51.73	52.66	71.87	58.31	202.80	Enero
2018	42.60	124.10	27.20	79.60	65.50	26.70	57.00	48.70	18.10	72.80	44.30	18.50	124.10	Febrero
2019	93.30	60.00	42.70	113.80	49.40	49.70	23.80	16.50	36.50	45.60	106.20	89.00	113.80	Abril
2020	189.00	77.20	123.80	63.72	69.26	42.46	30.25	32.25	35.85	45.25	68.78	53.28	189.00	Enero
2021	35.80	104.90	69.78	34.40	49.86	68.30	20.30	45.00	38.60	25.20	58.20	48.00	104.90	Febrero
2022	112.70	76.80	45.80	69.40	66.10	44.80	38.50	18.80	50.20	37.40	66.40	57.64	112.70	Enero
MAX	**202.80**	**130.60**	**149.00**	**113.80**	**106.20**	**115.70**	**96.70**	**78.20**	**98.90**	**147.80**	**169.00**	**119.20**	**202.80**	

Fuente: SENAMHI

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 36: Histograma de precipitación máxima en 24 Horas - Estación Pucallpa



Fuente: SENAMHI

Elaboración: Propiedad de la tesis

4.4.2. Análisis de datos dudosos (Outlier) en precipitaciones máxima de 24 horas

Continuando con el procesamiento de los datos de los registros histórico de precipitación, se procedió con el Análisis de Datos Dudosos (Outlier) de los registros de Precipitaciones Máxima de 24 horas de la estación en estudio.

De la fuente de information de Guidelines for Determining Flood Flow Frequency," Revised Bulletin 17B of the Hydrology Committee, U.S. Water Resources Council. Los valores atípicos son puntos de datos que se distancian notablemente de la tendencia general del resto de los datos. La manipulación o eliminación de estos valores atípicos puede tener un impacto significativo en los resultados o en el análisis de los datos a los parámetros estadísticos computados a partir de los datos, especialmente en el caso de muestras pequeñas, Todos los procedimientos para tratar los valores atípicos requieren, en última instancia, un juicio que incluya consideraciones tanto matemáticas como hidrológicas.

Donde recomienda la aplicación de los siguientes criterios:

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

✓ Si la asimetría de estación es menor que -0.4, primero se consideran ***pruebas para detectar datos dudosos bajos***.

✓ Cuando la asimetría de la estación esta entre -0.4 y +0.4, deben aplicarse ***pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos*** antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos

De la aplicación de los criterios para el Análisis de Datos Dudosos (Outlier) de la fuente tomada como referencia, a continuación, se presentan los resultados.

Tabla 14. Registro de precipitación máxima de 24 horas

Estación:	**PUCALLPA**				Latitud:	8°24'47.62"			Dpto:	UCAYALI				
Parámetro:	Precipitación Máxima 24 hr (mm)				Longitud:	74°34'18.67"			Prov:	PUCALLPA				
					Altitud	162 msnm.			Dist:	YARINACOCHA				
Año	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Sept.**	**Oct.**	**Nov.**	**Dic.**	**Pmax24**	**Log(P24hr)**
1993	64.4	73.3	61	49.9	22.6	21.4	53.3	40.2	51.9	59.2	69.3	52.4	**73.3**	**1.87**
1994	50.2	28.9	33.4	25.7	26.3	43	2.9	19.6	86.8	24.5	52.2	67.8	**86.8**	**1.94**
1995	9.6	78.9	39.1	71.8	17.5	27.9	29.6	10.1	45.2	61.5	93.4	32.9	**93.4**	**1.97**
1996	118.8	82.1	56.1	79.9	41.5	43.9	28	18.7	28.4	66.7	74.5	96.4	**118.8**	**2.07**
1997	63.1	74.3	64.8	46.9	61.8	16.7	55.9	26.7	49.2	69.6	118.9	23.4	**118.9**	**2.08**
1998	66.2	72.8	86.5	52	106.2	16.2	0	38.3	66.5	76.4	95.7	119.2	**119.2**	**2.08**
1999	43.2	105.4	53	30	58.8	115.7	17.6	20	98.5	41.8	76.2	45.2	**115.7**	**2.06**
2000	67	94.7	49.9	36.4	74.6	42.3	39.5	56.4	25.7	29.9	93.4	58.1	**94.7**	**1.98**
2001	66	87.4	30	50.9	25.2	19.8	9.1	6.9	57	87.6	169	75.6	**169**	**2.23**
2002	25.8	114.6	74.2	57.4	42.8	22.7	41.6	39.1	97.5	35	33.6	34	**114.6**	**2.06**
2003	54.3	57	69	83.1	94.6	24.4	14.9	12.5	98.9	41.7	37.9	97.9	**98.9**	**2**
2004	57.1	52.5	74.9	82.4	50.7	17.3	96.7	23.6	47.1	28.7	48.2	67.8	**96.7**	**1.99**
2005	42.3	38.4	39.8	46.4	17.2	16.8	22.1	38.4	32.4	107.7	50.7	104.6	**107.7**	**2.03**
2006	63.4	76.9	49.3	60.2	45	17.7	54.9	52.2	46.8	44.6	90.1	67.2	**90.1**	**1.95**
2007	76.9	94.2	58.6	76.7	35.1	7.2	26.3	78.2	24	147.8	38.8	40	**147.8**	**2.17**
2008	147.2	31.4	73	89	25.7	45.2	16.3	7.4	67.4	29.3	58.2	38.8	**147.2**	**2.17**
2009	66.5	63.6	22.4	96.4	96.6	50.3	50	16	10.8	31	44.5	31.5	**96.6**	**1.98**
2010	48.3	65.8	48.8	65.4	74.1	27.3	37.3	3.4	36.2	20.4	94.8	44.4	**94.8**	**1.98**
2011	52.3	130.6	149	48.4	33.4	25.2	5.6	27.8	87.4	25.3	28.6	39.8	**149**	**2.17**
2012	103.8	50.2	71.4	82.2	24.6	13.6	24.6	15.8	55.7	91.4	25.6	103.2	**103.8**	**2.02**
2013	53.1	60	27.8	37.4	38.4	70	15.6	53.7	49.6	24.2	150.4	12.6	**150.4**	**2.18**
2014	76.6	79.8	100.2	92	48.2	54.1	30.6	28.8	55.4	54.5	73.5	59.7	**100.2**	**2**
2015	64.4	73.3	60.6	61.8	48.2	33.6	30.6	28.8	55.4	54.5	73.5	59.7	**73.5**	**1.87**
2016	74.4	76.2	62.5	62.2	51.9	35.4	17.7	65.2	47.1	47.5	49.3	52.4	**76.2**	**1.88**
2017	202.8	81	109.4	21.4	97	22.8	17	30.7	51.7	52.7	71.9	58.3	**202.8**	**2.31**
2018	42.6	124.1	27.2	79.6	65.5	26.7	57	48.7	18.1	72.8	44.3	18.5	**124.1**	**2.09**
2019	93.3	60	42.7	113.8	49.4	49.7	23.8	16.5	36.5	45.6	106.2	89	**113.8**	**2.06**
2020	189	77.2	123.8	63.7	69.3	42.5	30.3	32.3	35.9	45.3	68.8	53.3	**189**	**2.28**
2021	35.8	104.9	69.8	34.4	49.9	68.3	20.3	45	38.6	25.2	58.2	48	**104.9**	**2.02**
2022	112.7	76.8	45.8	69.4	66.1	44.8	38.5	18.8	50.2	37.4	66.4	57.6	**112.7**	**2.05**

Fuente: SENAMHI

Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 15. Parámetros Estadísticos

PARÁMETROS ESTADISTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	30	30
Sumatoria	3484.64	61.52
Valor Máximo	202.80	2.31
Valor Mínimo	73.31	1.87
Media:	116.155	2.051
Varianza:	1028.189	0.013
Desviación Estándar:	32.065	0.112
Coeficiente Variación:	0.276	0.055
Coeficiente de Sesgo:	1.121	0.5100
Se Considera:	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos	

Elaboración: Propiedad de la tesis

De los criterios de la asimetría de estación, en este caso para la estación en estudio corresponde ***Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos***, de ello se tiene los siguientes:

Tabla 16. Valores de datos dudosos

n=	30.00
Kn=	2.563
Kn:	Valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)

Fuente: SENAMHI y Guidelines for Determining Flood Flow Frequency," Revised Bulletin 17B of the Hydrology Committee, U.S. Water Resources Council

Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 17. Valores Kn para la prueba de datos dudosos

Valores K_n para la prueba de datos dudosos

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

Fuente: U. S. Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de K_n de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Fuente: SENAMHI y Guidelines for Determining Flood Flow Frequency," Revised Bulletin 17B

of the Hydrology Committee, U.S. Water Resources Council

Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 18. Umbral de datos dudosos

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

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s$$ **xH= 2.34**

Precipitación máxima aceptada

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s$$

PH= 10^{xH} **PH= 217.53 mm**

NO EXISTEN DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA

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

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot s$$ **xL= 1.76**

Precipitacion minima aceptada

PH= 10^{xH} **PL= 58.02 mm**

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

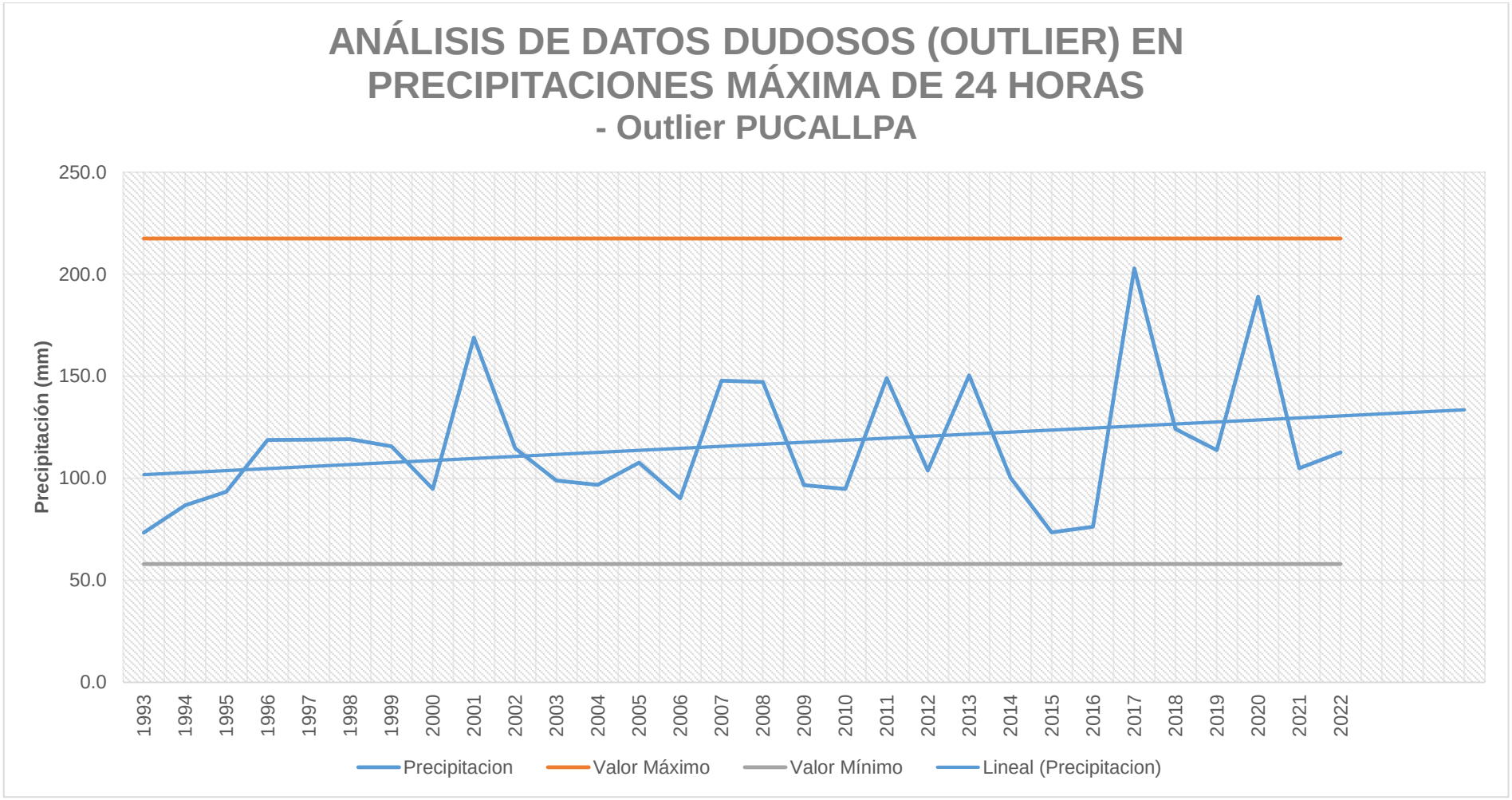
Ilustración 1 - Caudal para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años

NO EXISTEN DATOS DUDOSOS MINIMO DE LA MUESTRA

Elaboración: Propiedad de la tesis

Del Análisis de Datos Dudosos (Outlier) de los registros de Precipitaciones Máxima de 24 horas de la estación Pucallpa, se obtiene que: los datos de registros históricos de precipitación, no existen datos dudosos mínimos ni máximos de la muestra, encontrándose estos dentro del umbral máximo y mínimo, por ende, estos registros históricos de precipitación de la estación Pucallpa no presentan sesgo y son confiables.

Figura 37: Análisis de datos dudosos (Outlier) en precipitaciones máxima de 24 Horas - Outlier Pucallpa



Elaboración: Propiedad de la tesis

4.4.3. Prueba de bondad de ajuste - Método gráfico y Smirnov – Kolmogorov

Se presenta los resultados de la prueba de bondad de ajustes de los datos mediante el método gráfico y de SMIRNOV – KOLMOGOROV, mediante las cuales se determinó la distribución de mejor ajuste de los datos históricos de precipitación máxima de la cuenca.

Del conjunto de tipos de distribuciones, los aplicables para el análisis de datos máximos, son las siguientes distribuciones:

- ✓ Normal
- ✓ LogNormal
- ✓ Gamma
- ✓ Pearson III
- ✓ Log Pearson III
- ✓ EV1-Max (Gumbel)

Para análisis de estas distribuciones con los datos históricos máximos de precipitación para 24 horas de la estación es estudio mediante la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov, la cual se trabajó con el aployo del programa Hidrognomon versión 4.1.0, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 19. Prueba estadística de Kolmogrov-Smirnov

				D_0	0.2483009	
Kolmogorov-Smirnov test for:All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax	
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	29.07%	0.17183	Los datos se ajustan a la distribución
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	29.96%	0.17042	
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	73.10%	0.11832	Los datos se ajustan a la distribución
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	85.69%	0.10325	
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.61%	0.08609	
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87.98%	0.10005	
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	57.04%	0.13583	Los datos se ajustan a la distribución
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	88.54%	0.09922	Los datos se ajustan a la distribución
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.87%	0.08788	Los datos se ajustan a la distribución
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87.05%	0.10137	Los datos se ajustan a la distribución
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	84.07%	0.10538	
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	5.09%	0.24004	
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	22.66%	0.18314	
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87.80%	0.10031	
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	90.45%	0.09625	
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	41.04%	0.15471	
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.70%	0.08308	
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.09%	0.08736	
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	86.90%	0.10158	
EV2-Max (L-Momments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93.16%	0.09146	
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	5.06%	0.24027	
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	22.27%	0.18392	
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	45.81%	0.14876	
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	88.28%	0.0996	
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	13.55%	0.2045	
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.35%	0.08672	
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	13.99%	0.20324	

Elaboración: Propiedad de la tesis

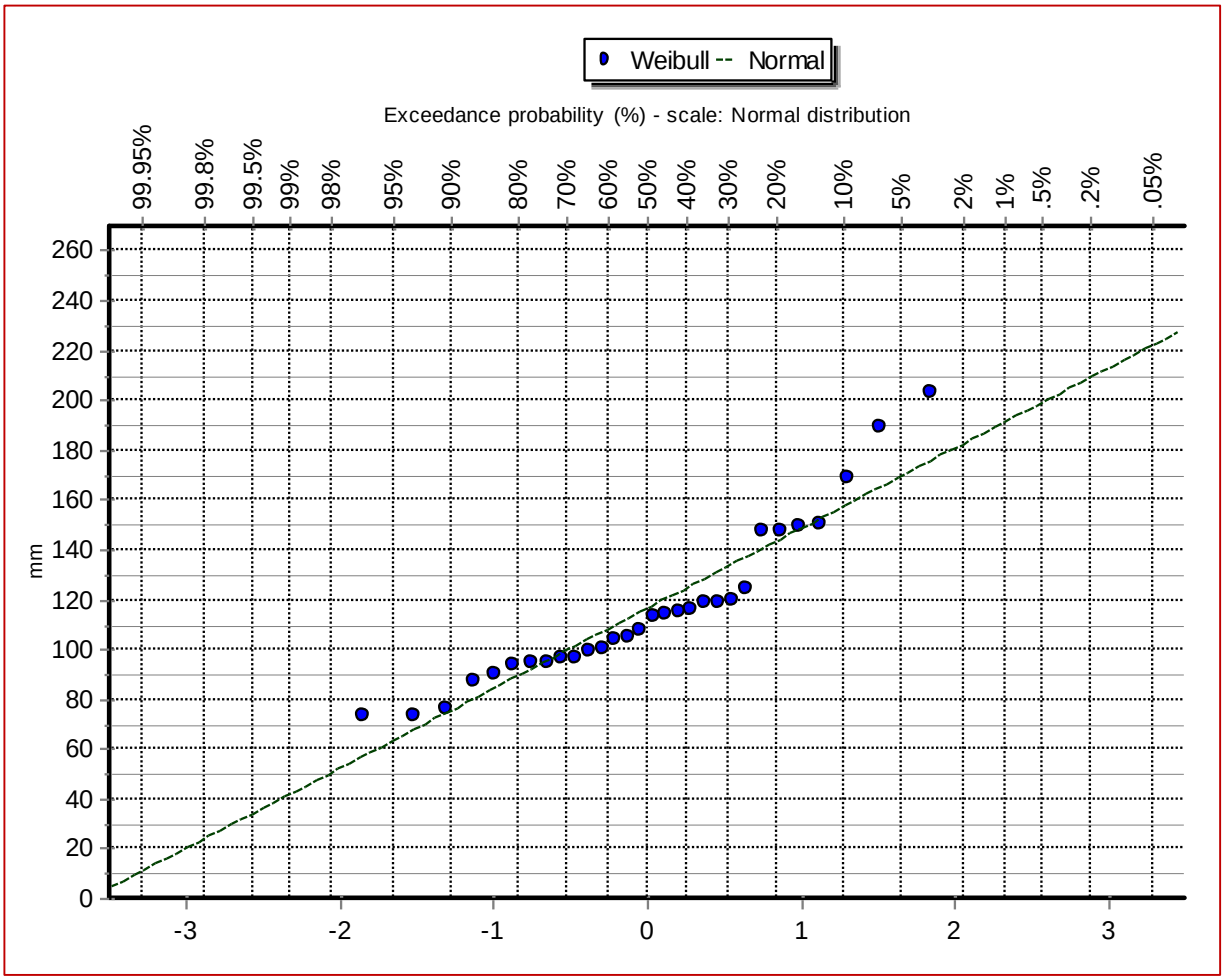
✓ DISTRIBUCIÓN NORMAL DE LOS DATOS DE LA MUESTRA

Tabla 20. Criterio de decisión de ajuste de la distribución Normal

CRITERIO DE DECISIÓN DE AJUSTES DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL		
Del análisis, el valor máximo	D	0. 17183
Para nivel de significancia de 0.05 y tamaño muestra	$D_{0\ critico}$	0. 2483009
(D_0 >D) Entonces, los datos se ajustan a la distribución NORMAL		

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 38: Ajustes de la Distribución Normal



Fuente: SENAMHI, Hidrognomon versión 4.1.0

Elaboración: Propiedad de la tesis

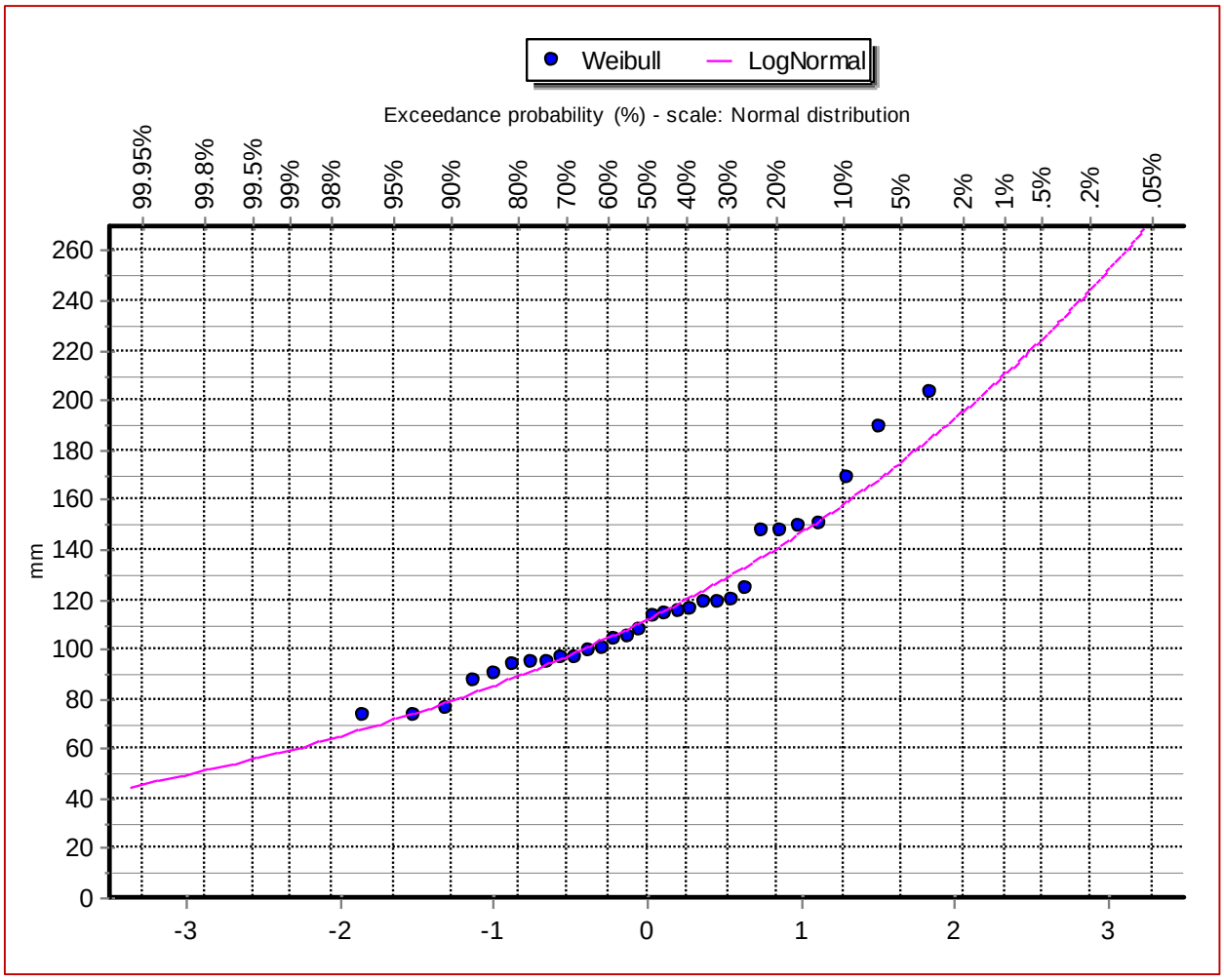
✓ DISTRIBUCIÓN LogNormal DE LOS DATOS DE LA MUESTRA

Tabla 21. Criterios de decisión de ajustes de la distribución LogNormal

CRITERIO DE DECISIÓN DE AJUSTES DE LA DISTRIBUCIÓN LogNormal		
Del análisis, el valor máximo	D	0.11832
Para nivel de significancia de 0.05 y tamaño muestra	$D_{0\ critico}$	0.248300893
(D_0 >D) Entonces, los datos se ajustan a la distribución LogNormal		

Figura 39: Ajustes de la Distribución LogNormal

Elaboración: Propiedad de la tesis



Fuente: SENAMHI, Hidrognomon versión 4.1.0

Elaboración: Propiedad de la tesis

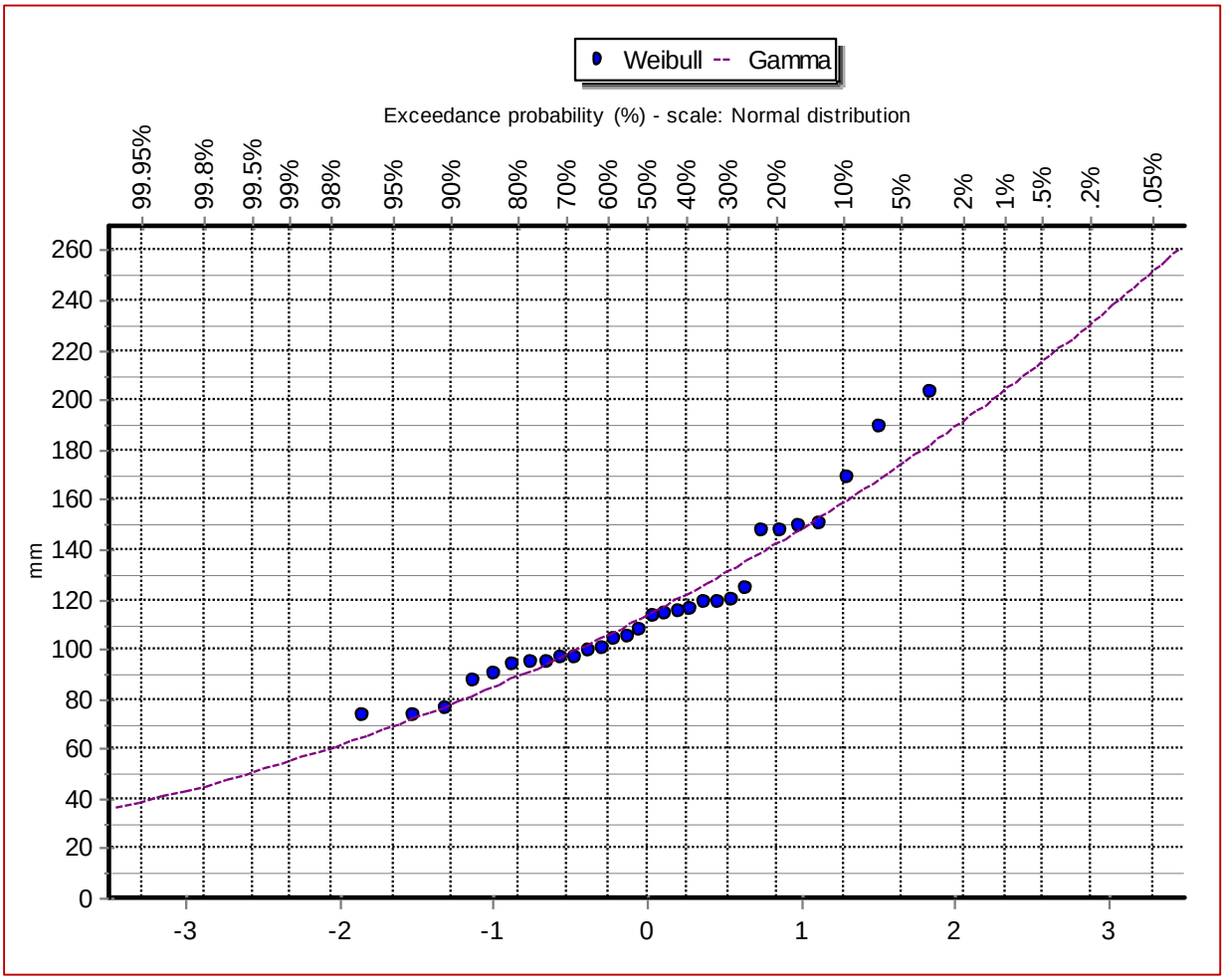
✓ DISTRIBUCIÓN Gamma DE LOS DATOS DE LA MUESTRA

Tabla 22. Criterios de decisión de ajustes de la distribución Gamma

CRITERIO DE DECISIÓN DE AJUSTES DE LA DISTRIBUCIÓN Gamma		
Del análisis, el valor máximo	D	0.13583
Para nivel de significancia de 0.05 y tamaño muestra	$D_{0\ critico}$	0.248300893
(D_0 >D) Entonces, los datos se ajustan a la distribución Gamma		

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 40: Ajustes de la Distribución Gamma



Fuente: SENAMHI, Hidrognomon versión 4.1.0

Elaboración: Propiedad de la tesis

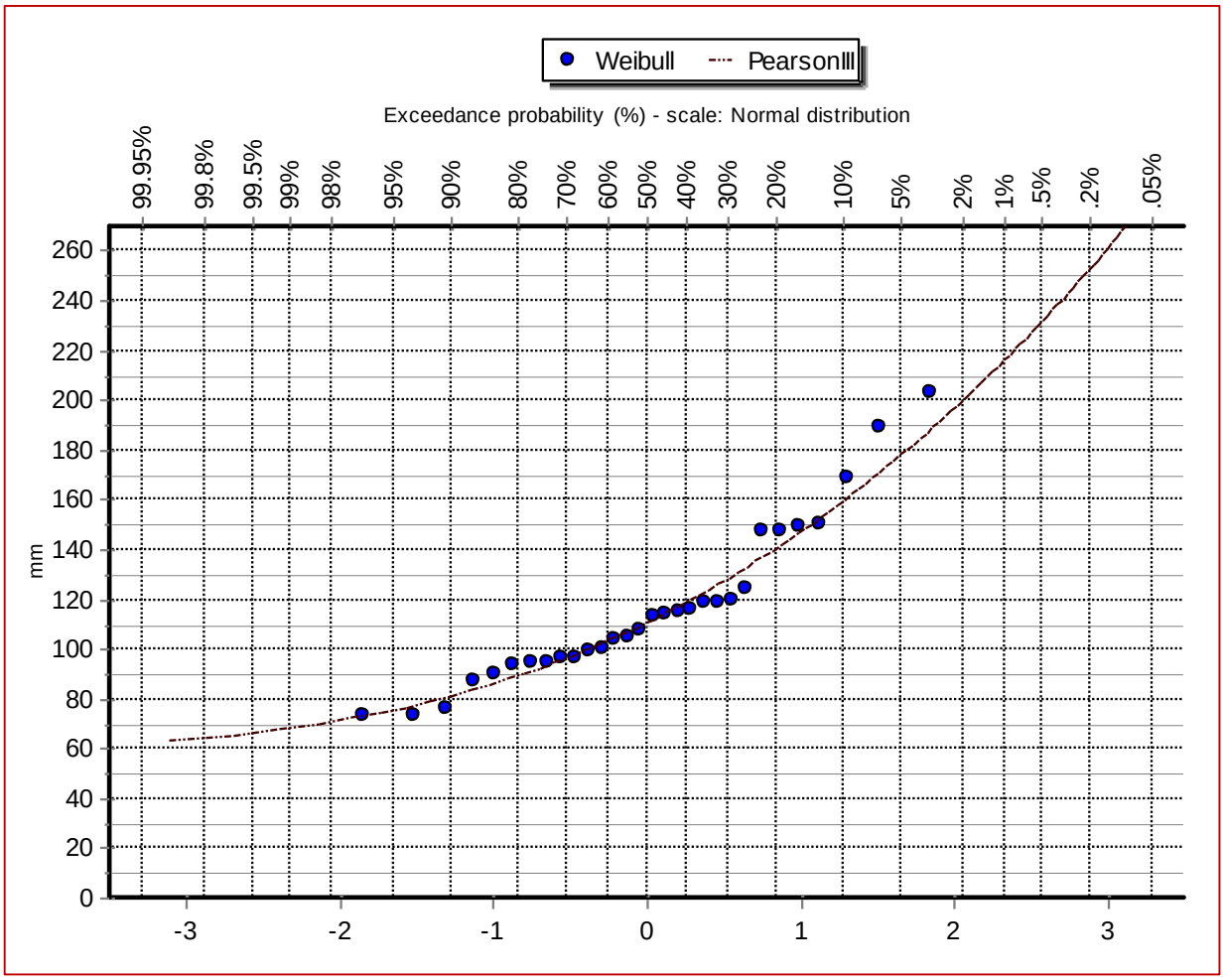
✓ DISTRIBUCIÓN Pearson III DE LOS DATOS DE LA MUESTRA

Tabla 23. Criterios de decisión de ajustes de la distribución Pearson III

CRITERIO DE DECISIÓN DE AJUSTES DE LA DISTRIBUCIÓN Pearson III		
Del análisis, el valor máximo	D	0.09922
Para nivel de significancia de 0.05 y tamaño muestra	$D_{0\ critico}$	0.248300893
(D_0 >D) Entonces, los datos se ajustan a la distribución Pearson III		

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 41: Ajustes de la distribución Pearson III



Fuente: SENAMHI, Hidrognomon versión 4.1.0

Elaboración: Propiedad de la tesis

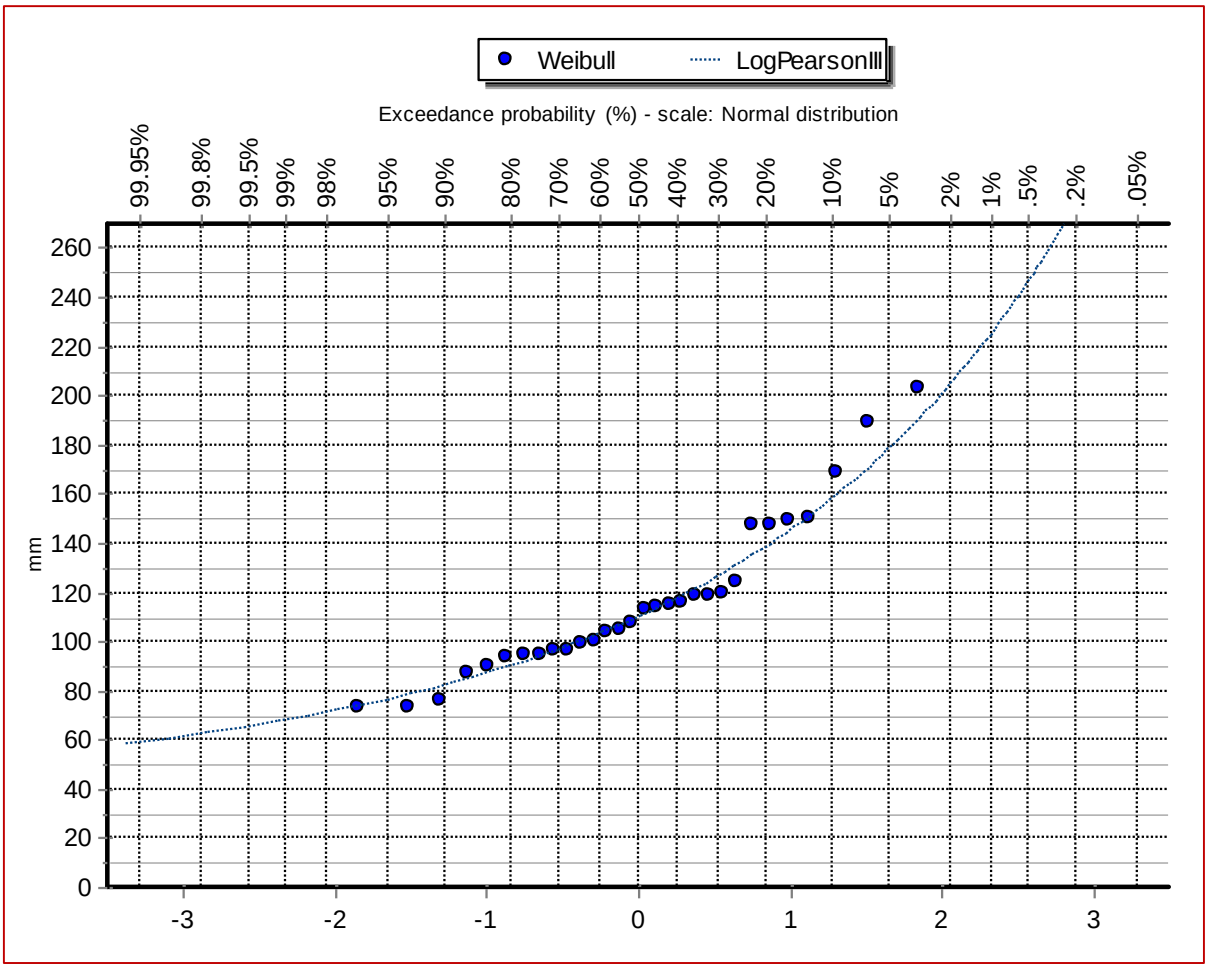
✓ DISTRIBUCIÓN Log Pearson III DE LOS DATOS DE LA MUESTRA

Tabla 24. Criterio de decisión de ajustes de la distribución Log Pearson III

CRITERIO DE DECISIÓN DE AJUSTES DE LA DISTRIBUCIÓN Log Pearson III		
Del análisis, el valor máximo	D	0.08788
Para nivel de significancia de 0.05 y tamaño muestra	$D_{0\ critico}$	0.248300893
(D_0 >D) Entonces, los datos se ajustan a la distribución Log Pearson III		

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 42: Ajustes de la Distribución Log Pearson III



Fuente: SENAMHI, Hidrognomon versión 4.1.0

Elaboración: Propiedad de la tesis

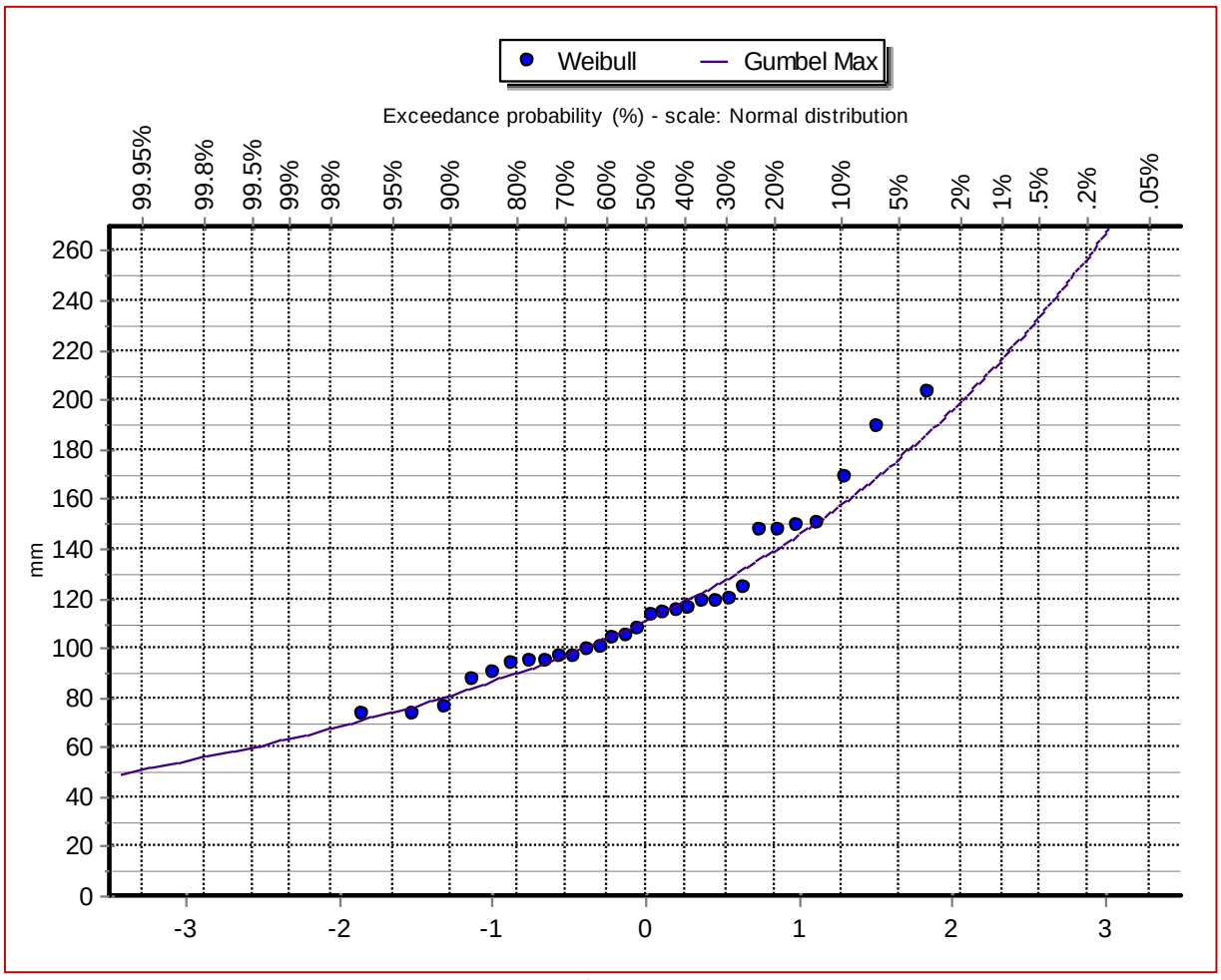
✓ DISTRIBUCIÓN Ev1-Max (Gumbel) De Los Datos De La Muestra

Tabla 25. Criterios de decisión de ajustes de la distribución EV1-Max(Gumbel)

CRITERIO DE DECISIÓN DE AJUSTES DE LA DISTRIBUCIÓN EV1-Max (Gumbel)		
Del análisis, el valor máximo	D	0.10137
Para nivel de significancia de 0.05 y tamaño muestra	$D_{0\ critico}$	0.2483009
(D_0 >D) Entonces, los datos se ajustan a la distribución EV1-Max (Gumbel)		

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 43: Ajustes de la Distribución EV1-Max (Gumbel)



Fuente: SENAMHI, Hidrognomon versión 4.1.0

Elaboración: Propiedad de la tesis

De las cinco distribuciones a las que se ajustan los datos de la muestra de la aplicación del método de Kolmogorov-Smirnov, se toma la decisión de trabajar con la distribución de Gumbel, la cual es la que presenta un mayor ajuste a la distribución de los datos.

4.4.4. Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

Tabla 2*6.* Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

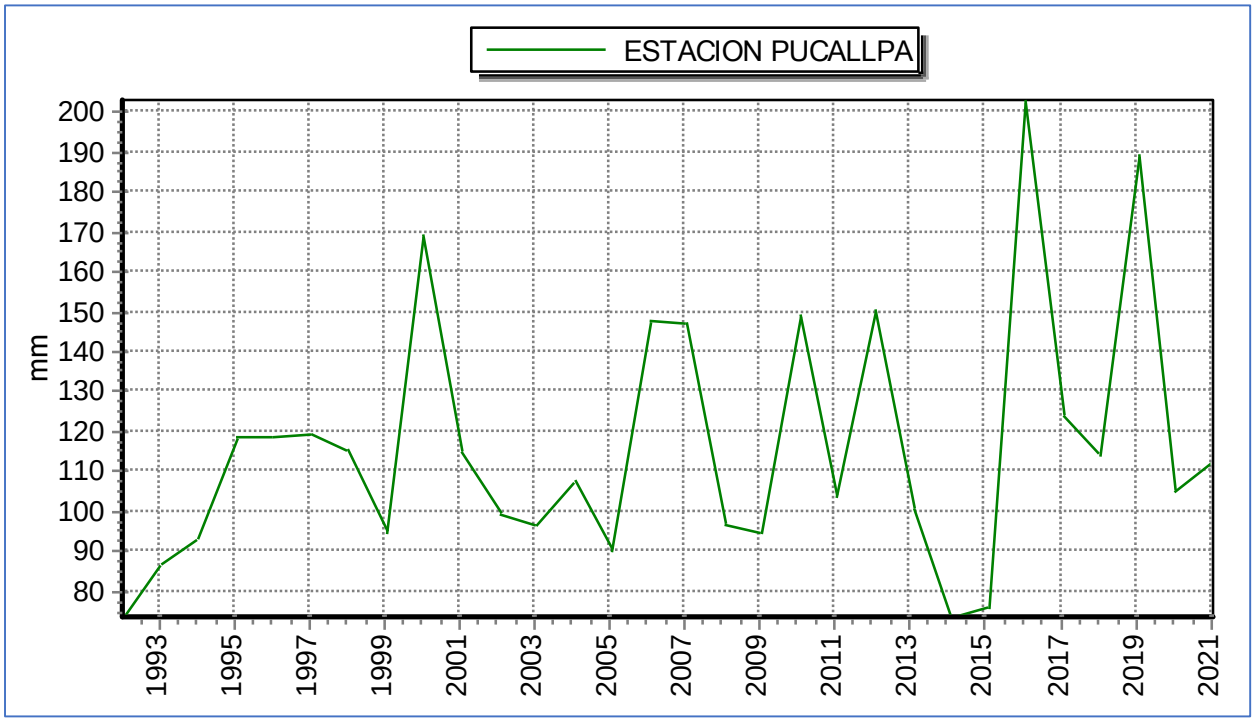
Nº	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Max. Precip.	*xi*	*(xi - x)^2*
1	1993	Diciembre	73.31	1835.7186
2	1994	Septiembre	86.8	861.70494
3	1995	Noviembre	93.4	517.78143
4	1996	Diciembre	118.8	6.997024
5	1997	Noviembre	118.9	7.5360617
6	1998	Diciembre	119.2	9.273175
7	1999	Junio	115.7	0.2068532
8	2000	Diciembre	94.7	460.30892
9	2001	Noviembre	169	2792.614
10	2002	Diciembre	114.6	2.4174378
11	2003	Septiembre	98.9	297.72851
12	2004	Diciembre	96.7	378.48968
13	2005	Diciembre	107.7	71.483832
14	2006	Noviembre	90.1	678.85318
15	2007	Diciembre	147.8	1001.418
16	2008	Diciembre	147.2	963.80375
17	2009	Diciembre	96.6	382.39064
18	2010	Noviembre	94.8	456.02796
19	2011	Diciembre	149	1078.8064
20	2012	Diciembre	103.8	152.64136
21	2013	Noviembre	150.4	1172.733
22	2014	Diciembre	100.2	254.556
23	2015	Noviembre	73.52	1817.4023
24	2016	Diciembre	76.21	1595.5079
25	2017	Diciembre	202.8	7507.3887
26	2018	Diciembre	124.1	63.126026

Nº	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Max. Precip.	*xi*	*(xi - x)^2*
27	2019	Diciembre	113.8	5.5451356
28	2020	Diciembre	189	5306.4215
29	2021	Diciembre	104.9	126.67077
30	2022	Diciembre	112.7	11.93572
30		**Suma**	**3484.6**	**29817.5**

Fuente: SENAMHI, Hidrognomon versión 4.1.0

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 44: Distribución de Precipitación



Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 27. Variables probabilísticas

Cálculo variables probabilísticas		
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} =$	116.15	mm
$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} =$	32.07	mm
$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s =$	25.00	mm
$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha =$	101.72	mm

Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 28. Cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables

Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias				
Periodo Retorno Años	***Variable Reducida YT***	***Precip. (mm) XT'(mm)***	***Prob. de ocurrencia F(xT)***	***Corrección intervalo fijo XT (mm)***
2	0.3666	110.8874	0.5003	125.3027
5	1.4997	139.2245	0.8002	157.3237
10	2.2503	157.9861	0.9002	178.5243
25	3.1984	181.6915	0.9601	205.3114
50	3.9013	199.2775	0.9801	225.1836
100	4.6004	216.7337	0.9901	244.9091
500	6.2134	257.0722	0.9981	290.4916

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

Elaboración: Propiedad de la tesis

4.4.4.1. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

A partir de la distribución de Gumbel se determinó las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias durante las 24 horas del día.

Tabla 29. Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas

Duraciones, en horas									
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**8**	**12**	**18**	**24**
0.30	0.39	0.40	0.52	0.57	0.6	0.68	0.80	0.91	1.00

Fuente: D. F. Campos A., 1978

Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 30. Precipitación máxima por tiempos de duración

Tiempo de duración	**Cociente**	**Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración**						
		2 años	**5 años**	**10 años**	**25 años**	**50 años**	**100 años**	**500 años**
24 hr	X24	125.3027	157.3237	178.5243	205.3114	225.1836	244.9091	290.4916
18 hr	X18 = 91%	114.0255	143.1645	162.4571	164.2491	204.9171	222.8673	264.3474
12 hr	X12 = 80%	100.2422	125.8589	142.8195	164.2491	180.1469	195.9273	232.3933
8 hr	X8 = 68%	85.2059	106.98	121.3966	139.6118	153.1249	166.5382	197.5343
6 hr	X6 = 61%	76.4347	95.9674	108.8998	125.24	137.362	149.3945	177.1999
5 hr	X5 = 57%	71.4226	89.6745	101.7589	117.0275	128.3547	139.5982	165.5802
4 hr	X4 = 52%	65.1574	81.8083	92.8327	106.7619	117.0955	127.3527	151.0556
3 hr	X3 = 46%	57.6393	72.3689	82.1212	94.4433	103.5845	112.6582	133.6261
2 hr	X2 = 39%	48.8681	61.3562	69.6245	80.0715	87.8216	95.5145	113.2917
1 hr	X1 = 30%	37.5908	47.1971	53.5573	61.5934	67.5551	73.4727	87.1475

Elaboración: Propiedad de la tesis

4.4.4.2. Intensidad máxima de precipitación

La determinación de las intensidades de lluvia es a partir de Precipitaciones diarias y según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma.

Cuya expresión característica empleada fue:

$$I = \frac{P\ [mm]}{t_{duración}\ [hr]}$$

Obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 3*1*. Intensidad máxima de precipitación

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	**min**	**2 años**	**5 años**	**10 años**	**25 años**	**50 años**	**100 años**	**500 años**
24 hr	5.2209	6.5552	7.4385	8.5546	9.3827	10.2045	12.1038	5.2209
18 hr	6.3347	7.9536	9.0254	9.125	11.3843	12.3815	14.686	6.3347
12 hr	8.3535	10.4882	11.9016	13.6874	15.0122	16.3273	19.3661	8.3535
8 hr	10.6507	13.3725	15.1746	17.4515	19.1406	20.8173	24.6918	10.6507
6 hr	12.7391	15.9946	18.15	20.8733	22.8937	24.8991	29.5333	12.7391
5 hr	14.2845	17.9349	20.3518	23.4055	25.6709	27.9196	33.116	14.2845
4 hr	16.2894	20.4521	23.2082	26.6905	29.2739	31.8382	37.7639	16.2894
3 hr	19.2131	24.123	27.3737	31.4811	34.5282	37.5527	44.542	19.2131
2 hr	24.434	30.6781	34.8122	40.0357	43.9108	47.7573	56.6459	24.434
1 hr	37.5908	47.1971	53.5573	61.5934	67.5551	73.4727	87.1475	37.5908

Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 32. Precipitaciones Máximas probables para distintos periodos de retorno.

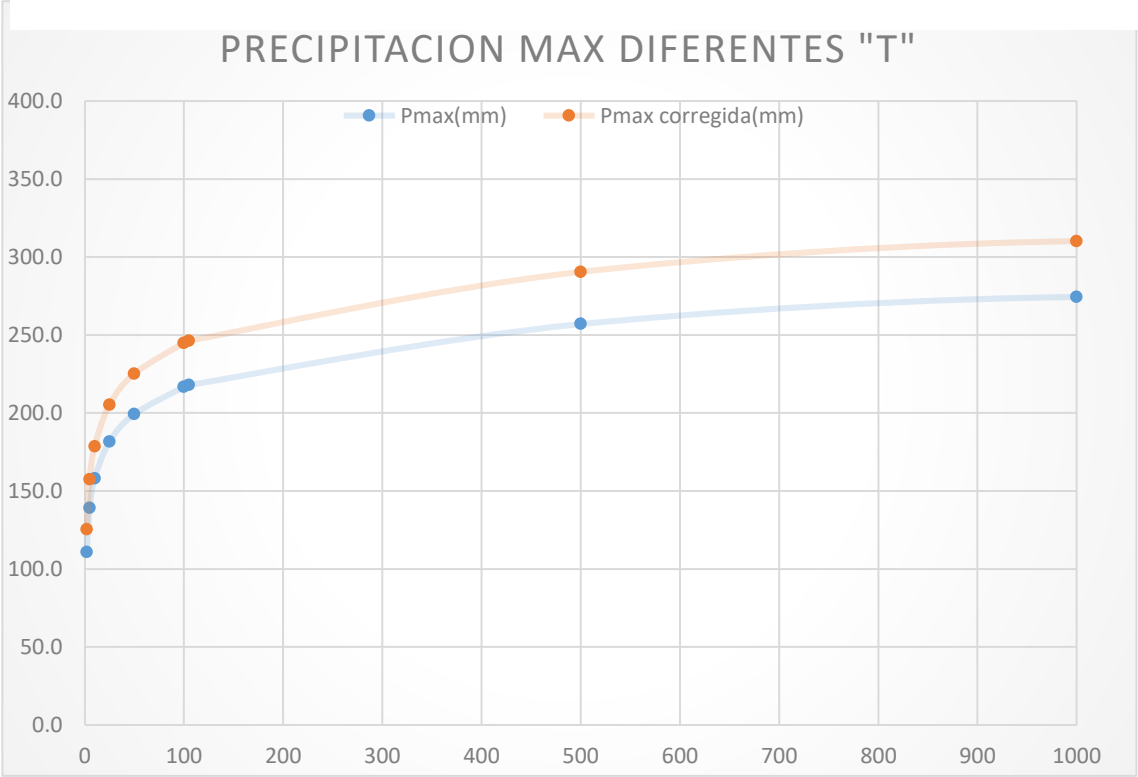
Precipitaciones Máximas Probables para distintos periodos de retorno			
Factor de ajuste:	**1.13**	Numero de observaciones por día = 1	
Periodo Retorno	**Hydrognomon y/o Easyfit**	**Pmax**	**Probabilidad de no excedencia**
T(años)	**Pmax(mm)**	**Pmax corregida(mm)**	**P**
2	**110.887**	125.3023	0.5
5	**139.225**	157.3243	0.8
10	**157.986**	178.5242	0.9
25	**181.692**	205.312	0.96
50	**199.278**	225.1841	0.98
100	**216.734**	244.9094	0.99
105	**218.004**	246.3445	0.99048
500	**257.072**	290.4914	0.998
1000	**274.484**	310.1669	0.999
10000	**332.089**	375.2606	0.9999

Elaboración: Propiedad de la tesis

Según la Guía de Prácticas Hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial, debido a que los registros de precipitación se recopilan en momentos específicos de observación, como horas enteras, no siempre reflejarán con precisión las cantidades máximas reales durante un período determinado. Por lo tanto, la guía señala que a partir de estudios de datos pluviométricos de miles de años-estación, se ha observado que, al multiplicar las

cantidades máximas anuales de lluvia diaria u horaria por un factor de 1,13 para un intervalo fijo de observación de una a 24 horas, se obtienen valores que se aproximan bastante a los máximos reales. Para ajustar cantidades máximas observadas que se determinan a partir de dos o más intervalos de observación fijos, se requieren pequeñas correcciones. En el contexto del presente trabajo y siguiendo la guía mencionada, se utilizó un factor de 1,13 para calcular las Precipitaciones Diarias Máximas Probables en diferentes frecuencias.

Figura 45: Precipitación Max Diferentes "T"



Elaboración: Propiedad de la tesis

4.4.4.3. Curvas IDF de la sub cuenca Yarinacocha para diferentes periodos de retorno "T"

Tabla 33. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración

PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES TIEMPOS DE DURACIÓN

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pmax (mm) por tiempos de duración									
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	105 años	500 años	1000 años	10000 años
24 hr	1	125.3023	157.3243	178.5242	205.312	225.1841	244.9094	246.3445	290.4914	310.1669	375.2606
22 hr	0.97	121.6551	152.745	173.3279	199.3359	218.6297	237.7808	239.1742	282.036	301.1389	364.3379
20 hr	0.94	117.9962	148.151	168.1148	193.3406	212.0541	230.6292	231.9807	273.5534	292.0817	353.3799
18 hr	0.91	114.154	143.3269	162.6406	187.0451	205.1492	223.1195	224.4269	264.6459	282.5709	341.8731
16 hr	0.88	109.968	138.0711	156.6766	180.1861	197.6264	214.9377	216.1971	254.9413	272.209	329.3366
14 hr	0.84	105.2611	132.1614	149.9706	172.4739	189.1676	205.738	206.9436	244.0295	260.5581	315.2405
12 hr	0.8	99.8336	125.3468	142.2377	163.5806	179.4136	195.1296	196.273	231.4466	247.123	298.9858
10 hr	0.75	93.4502	117.3322	133.143	153.1213	167.9419	182.653	183.7233	216.6479	231.3219	279.8687
8 hr	0.68	85.8167	107.7478	122.2672	140.6135	154.2236	167.733	168.7158	198.951	212.4264	257.0075
6 hr	0.61	76.5228	96.0787	109.0256	125.3851	137.5211	149.5674	150.4438	177.4045	189.4205	229.1735
5 hr	0.57	71.0578	89.2172	101.2395	116.4306	127.6999	138.886	139.6998	164.7351	175.8929	212.807
4 hr	0.52	64.8732	81.452	92.4279	106.2968	116.5853	126.7977	127.5407	150.397	160.5837	194.2849
3 hr	0.46	57.7265	72.4789	82.2457	94.5867	103.7418	112.8292	113.4903	133.8287	142.8932	172.8817
2 hr	0.39	49.1138	61.6652	69.9747	80.4745	88.2637	95.9952	96.5577	113.8616	121.5737	147.0879
1 hr	0.3	37.5089	47.0945	53.4407	61.4595	67.4082	73.3129	73.7425	86.9577	92.8475	112.3331

Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 34. Intensidades de lluvia a partir de Pmax.

INTENSIDADES DE LLUVIA A PARTIR DE Pmax, SEGÚN DURACIÓN DE PRECIPITACIÓN Y FRECUENCIA DE LA MISMA											
Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno									
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	105 años	500 años	1000 años	10000 años
24 hr	1440	5.2209	6.5552	7.4385	8.5547	9.3827	10.2046	10.2644	12.1038	12.9236	15.6359
22 hr	1320	5.5298	6.943	7.8785	9.0607	9.9377	10.8082	10.8716	12.8198	13.6881	16.5608
20 hr	1200	5.8998	7.4075	8.4057	9.667	10.6027	11.5315	11.599	13.6777	14.6041	17.669
18 hr	1080	6.3419	7.9626	9.0356	10.3914	11.3972	12.3955	12.4682	14.7026	15.6984	18.993
16 hr	960	6.873	8.6294	9.7923	11.2616	12.3516	13.4336	13.5123	15.9338	17.0131	20.5835
14 hr	840	7.5187	9.4401	10.7122	12.3196	13.512	14.6956	14.7817	17.4307	18.6113	22.5172
12 hr	720	8.3195	10.4456	11.8531	13.6317	14.9511	16.2608	16.3561	19.2872	20.5936	24.9155
10 hr	600	9.345	11.7332	13.3143	15.3121	16.7942	18.2653	18.3723	21.6648	23.1322	27.9869
8 hr	480	10.7271	13.4685	15.2834	17.5767	19.2779	20.9666	21.0895	24.8689	26.5533	32.1259
6 hr	360	12.7538	16.0131	18.1709	20.8975	22.9202	24.9279	25.074	29.5674	31.5701	38.1956
5 hr	300	14.2116	17.8434	20.2479	23.2861	25.54	27.7772	27.94	32.947	35.1786	42.5614
4 hr	240	16.2183	20.363	23.107	26.5742	29.1463	31.6994	31.8852	37.5993	40.1459	48.5712
3 hr	180	19.2422	24.1596	27.4152	31.5289	34.5806	37.6097	37.8301	44.6096	47.6311	57.6272
2 hr	120	24.5569	30.8326	34.9874	40.2373	44.1318	47.9976	48.2789	56.9308	60.7868	73.544
1 hr	60	37.5089	47.0945	53.4407	61.4595	67.4082	73.3129	73.7425	86.9577	92.8475	112.3331

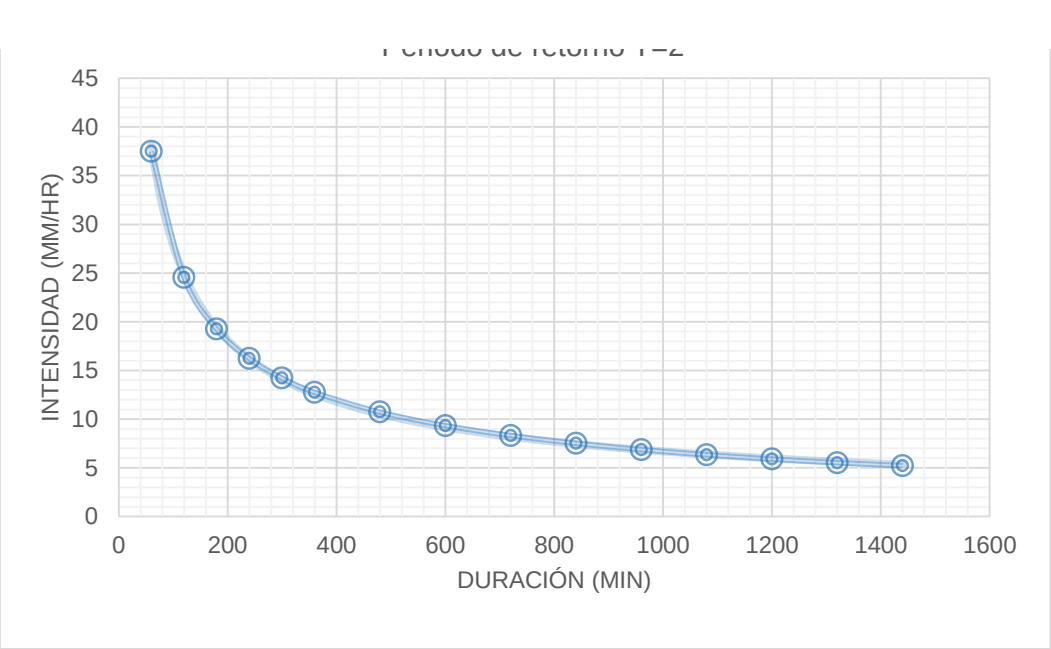
Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 35. Periodo de retorno para T=2 años

Periodo de retorno para T = 2 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	5.2209	7.2724	1.6527	12.0189	52.8878
2	1320	5.5298	7.1854	1.7101	12.2881	51.6298
3	1200	5.8998	7.0901	1.7749	12.5843	50.2692
4	1080	6.3419	6.9847	1.8472	12.902	48.7863
5	960	6.873	6.8669	1.9276	13.2367	47.1548
6	840	7.5187	6.7334	2.0174	13.5839	45.3387
7	720	8.3195	6.5793	2.1186	13.9388	43.2865
8	600	9.345	6.3969	2.2348	14.2961	40.9207
9	480	10.7271	6.1738	2.3728	14.649	38.1156
10	360	12.7538	5.8861	2.5458	14.985	34.6462
11	300	14.2116	5.7038	2.6541	15.1382	32.5331
12	240	16.2183	5.4806	2.7861	15.2698	30.0374
13	180	19.2422	5.193	2.9571	15.3561	26.9668
14	120	24.5569	4.7875	3.201	15.3247	22.9201
15	60	37.5089	4.0943	3.6246	14.8403	16.7637
15	9900	190.2672	92.4282	35.4248	210.412	582.2567
Ln (d) =	6.1733	*d =*	479.7558	*n =*	-0.6186	

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 46: Periodo de retorno T=2



Elaboración: Propiedad de la tesis

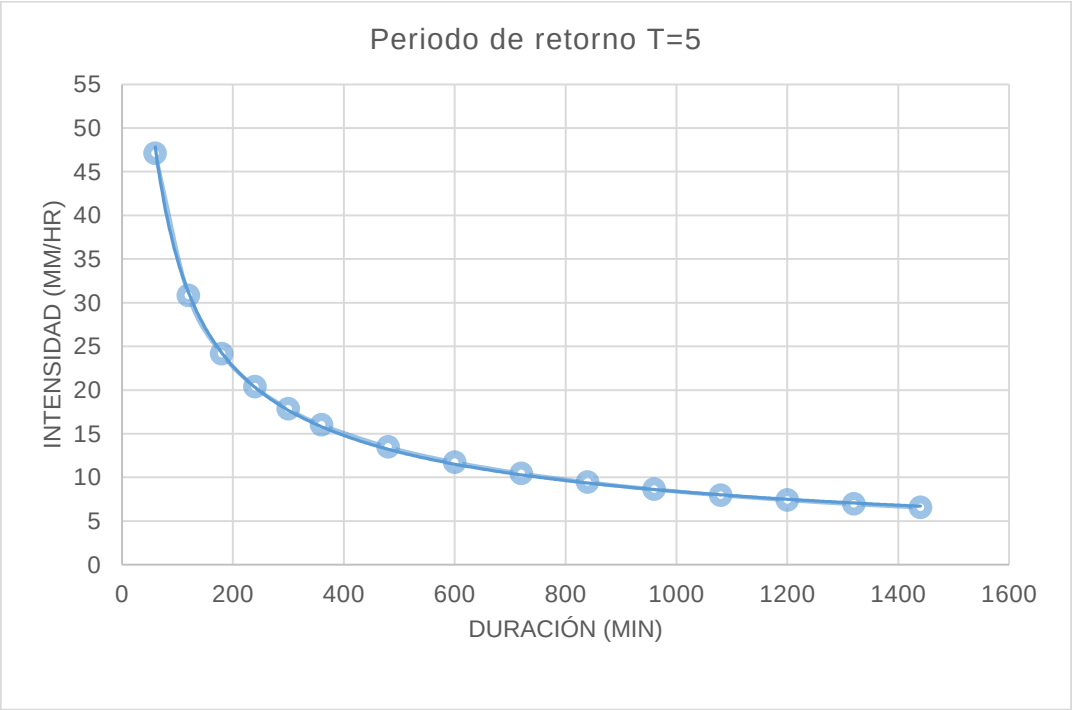
Tabla 36. Periodo de retorno para T=5 Años

Periodo de retorno para T = 5 años

Nº	t	I	ln t	ln I	ln t*ln I	(lnt)^2
1	1440	6.5552	7.2724	1.8803	13.674	52.8878
2	1320	6.943	7.1854	1.9377	13.9233	51.6298
3	1200	7.4075	7.0901	2.0025	14.1979	50.2692
4	1080	7.9626	6.9847	2.0748	14.4916	48.7863
5	960	8.6294	6.8669	2.1552	14.7995	47.1548
6	840	9.4401	6.7334	2.245	15.1163	45.3387
7	720	10.4456	6.5793	2.3462	15.4361	43.2865
8	600	11.7332	6.3969	2.4624	15.752	40.9207
9	480	13.4685	6.1738	2.6004	16.054	38.1156
10	360	16.0131	5.8861	2.7734	16.3246	34.6462
11	300	17.8434	5.7038	2.8816	16.4362	32.5331
12	240	20.363	5.4806	3.0137	16.5171	30.0374
13	180	24.1596	5.193	3.1847	16.5379	26.9668
14	120	30.8326	4.7875	3.4286	16.4143	22.9201
15	60	47.0945	4.0943	3.8522	15.7721	16.7637
15	9900	238.8914	92.4282	38.8385	231.4467	582.2567
Ln (d) =	6.4009	*d =*	602.361	*n =*	-0.6186	

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 47: Periodo de retorno T=5



Elaboración: Propiedad de la tesis

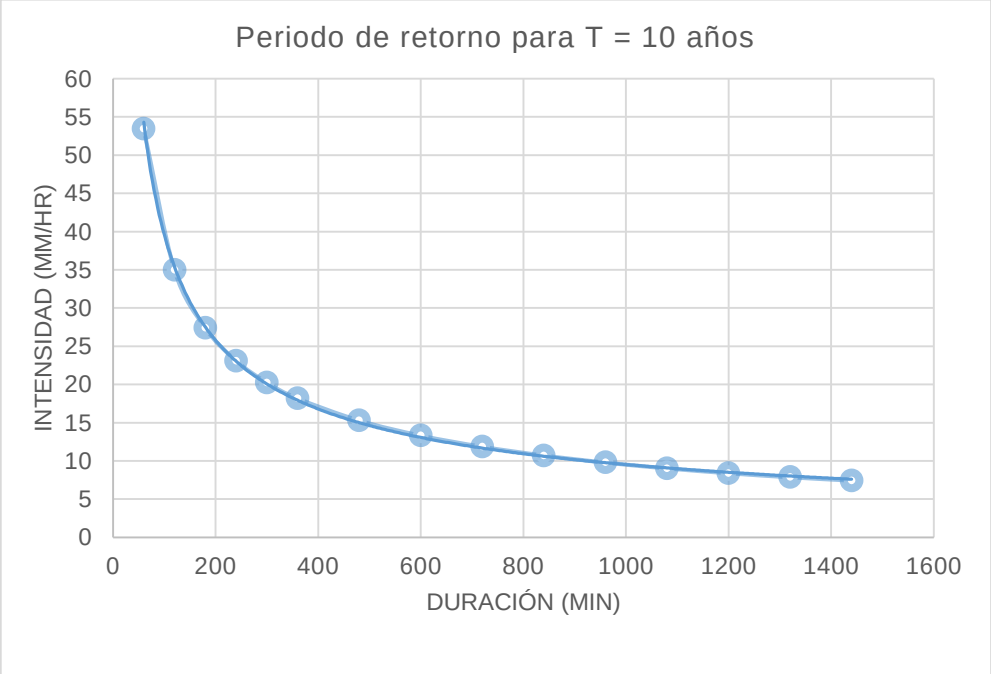
Tabla 37. Periodo de retorno para T=10 años

Periodo de retorno para T = 10 años

Nº	t	I	ln t	ln I	ln t*ln I	(lnt)^2
1	1440	7.4385	7.2724	2.0067	14.5933	52.8878
2	1320	7.8785	7.1854	2.0641	14.8317	51.6298
3	1200	8.4057	7.0901	2.1289	15.0942	50.2692
4	1080	9.0356	6.9847	2.2012	15.3746	48.7863
5	960	9.7923	6.8669	2.2816	15.6676	47.1548
6	840	10.7122	6.7334	2.3714	15.9675	45.3387
7	720	11.8531	6.5793	2.4726	16.2678	43.2865
8	600	13.3143	6.3969	2.5888	16.5606	40.9207
9	480	15.2834	6.1738	2.7268	16.8345	38.1156
10	360	18.1709	5.8861	2.8998	17.0687	34.6462
11	300	20.2479	5.7038	3.0081	17.1573	32.5331
12	240	23.107	5.4806	3.1401	17.2099	30.0374
13	180	27.4152	5.193	3.3111	17.1944	26.9668
14	120	34.9874	4.7875	3.555	17.0195	22.9201
15	60	53.4407	4.0943	3.9786	16.2896	16.7637
15	9900	271.0827	92.4282	40.7347	243.131	582.2567
Ln (d) =	6.5273	*d =*	683.531	*n =*	-0.6186	

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 48: Periodo de retorno para T= 10 años



Elaboración: Propiedad de la tesis

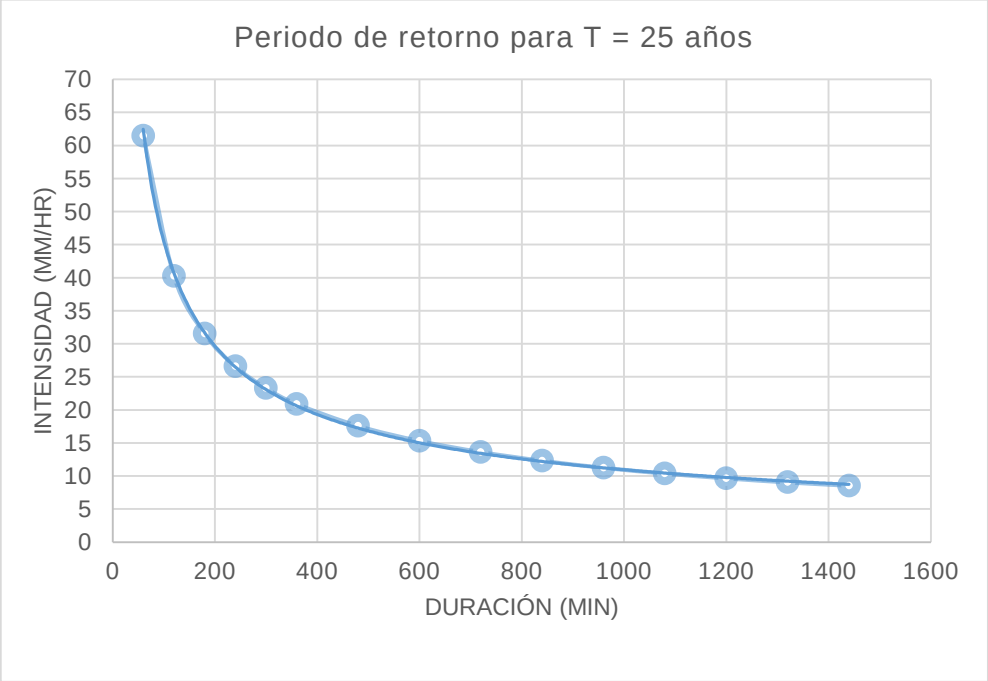
Tabla 38. Periodo de retorno para T=25 años

Periodo de retorno para T = 25 años

Nº	t	I	ln t	ln I	ln t*ln I	(lnt)^2
1	1440	8.5547	7.2724	2.1465	15.61	52.8878
2	1320	9.0607	7.1854	2.2039	15.8362	51.6298
3	1200	9.667	7.0901	2.2687	16.0854	50.2692
4	1080	10.3914	6.9847	2.341	16.3511	48.7863
5	960	11.2616	6.8669	2.4214	16.6276	47.1548
6	840	12.3196	6.7334	2.5112	16.9088	45.3387
7	720	13.6317	6.5793	2.6124	17.1876	43.2865
8	600	15.3121	6.3969	2.7286	17.455	40.9207
9	480	17.5767	6.1738	2.8666	17.6976	38.1156
10	360	20.8975	5.8861	3.0396	17.8916	34.6462
11	300	23.2861	5.7038	3.1479	17.9547	32.5331
12	240	26.5742	5.4806	3.2799	17.9762	30.0374
13	180	31.5289	5.193	3.4509	17.9204	26.9668
14	120	40.2373	4.7875	3.6948	17.6888	22.9201
15	60	61.4595	4.0943	4.1184	16.8621	16.7637
15	9900	311.759	92.4282	42.8318	256.0531	582.2567
Ln (d) =	6.6671	*d =*	786.0957	*n =*	-0.6186	

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 49: Periodo de retorno para T = 25 años



Elaboración: Propiedad de la tesis

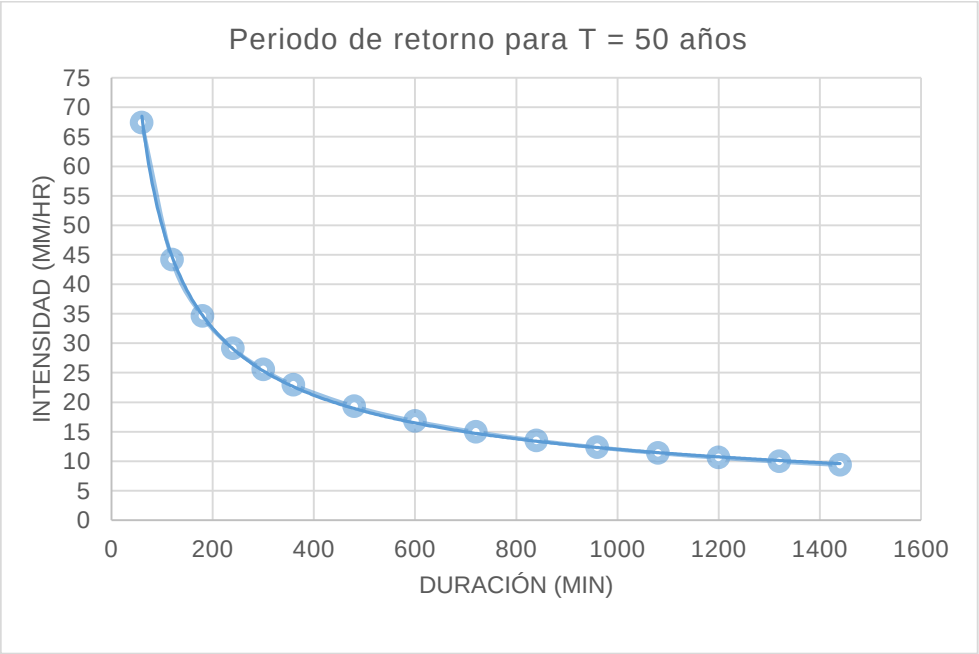
Tabla 39. **Periodo de retorno para T=50 años**

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	t	I	ln t	ln I	ln t*ln I	(lnt)^2
1	1440	9.3827	7.2724	2.2389	16.2819	52.8878
2	1320	9.9377	7.1854	2.2963	16.5001	51.6298
3	1200	10.6027	7.0901	2.3611	16.7404	50.2692
4	1080	11.3972	6.9847	2.4334	16.9964	48.7863
5	960	12.3516	6.8669	2.5138	17.262	47.1548
6	840	13.512	6.7334	2.6036	17.5309	45.3387
7	720	14.9511	6.5793	2.7048	17.7955	43.2865
8	600	16.7942	6.3969	2.821	18.046	40.9207
9	480	19.2779	6.1738	2.959	18.268	38.1156
10	360	22.9202	5.8861	3.132	18.4354	34.6462
11	300	25.54	5.7038	3.2402	18.4817	32.5331
12	240	29.1463	5.4806	3.3723	18.4825	30.0374
13	180	34.5806	5.193	3.5433	18.4002	26.9668
14	120	44.1318	4.7875	3.7872	18.1311	22.9201
15	60	67.4082	4.0943	4.2108	17.2403	16.7637
15	9900	341.9343	92.4282	44.2177	264.5923	582.2567
Ln (d) =	6.7595	*d* =	862.1821	*n* =	-0.6186	

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 50: Periodo de retorno para T = 50 años



Elaboración: Propiedad de la tesis

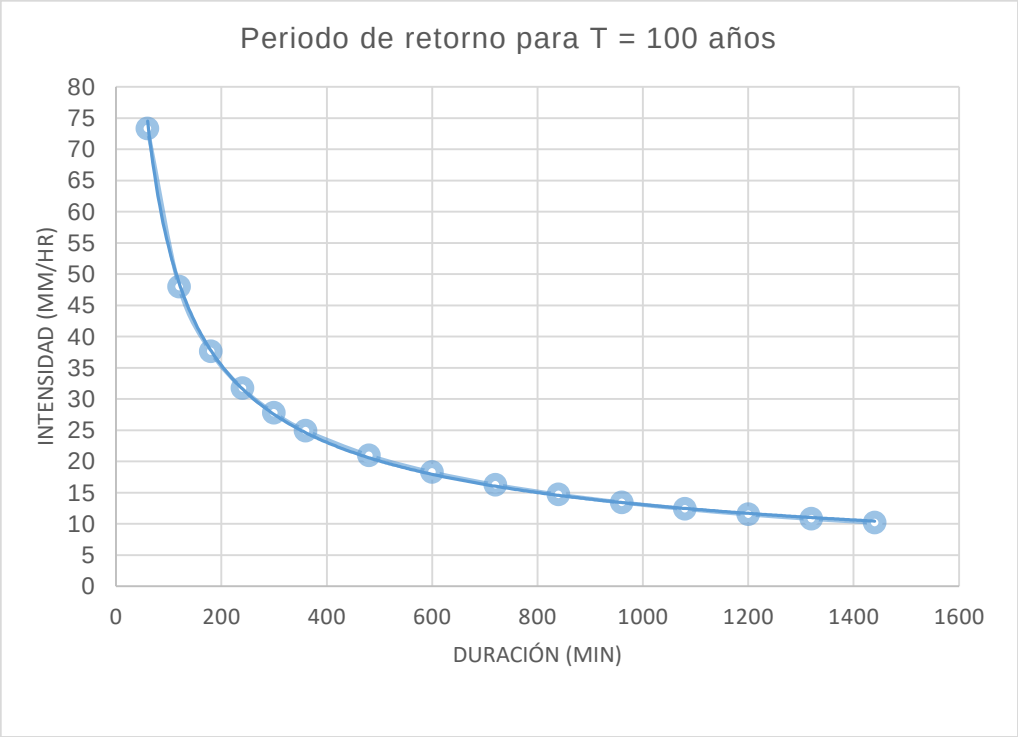
Tabla 40. Periodo de retorno para T=100 años

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	t	I	ln t	ln I	ln t*ln I	(lnt)^2
1	1440	10.2046	7.2724	2.3228	16.8926	52.8878
2	1320	10.8082	7.1854	2.3803	17.1034	51.6298
3	1200	11.5315	7.0901	2.4451	17.3358	50.2692
4	1080	12.3955	6.9847	2.5173	17.5829	48.7863
5	960	13.4336	6.8669	2.5978	17.8386	47.1548
6	840	14.6956	6.7334	2.6875	18.0963	45.3387
7	720	16.2608	6.5793	2.7888	18.3479	43.2865
8	600	18.2653	6.3969	2.905	18.5831	40.9207
9	480	20.9666	6.1738	3.0429	18.7864	38.1156
10	360	24.9279	5.8861	3.216	18.9296	34.6462
11	300	27.7772	5.7038	3.3242	18.9606	32.5331
12	240	31.6994	5.4806	3.4563	18.9427	30.0374
13	180	37.6097	5.193	3.6273	18.8362	26.9668
14	120	47.9976	4.7875	3.8712	18.5331	22.9201
15	60	73.3129	4.0943	4.2947	17.5841	16.7637
15	9900	371.8864	92.4282	45.4772	272.3535	582.2567
Ln (d) =	6.8434	*d =*	937.706	*n =*	-0.6186	

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 51: Periodo de retorno para T = 100 años



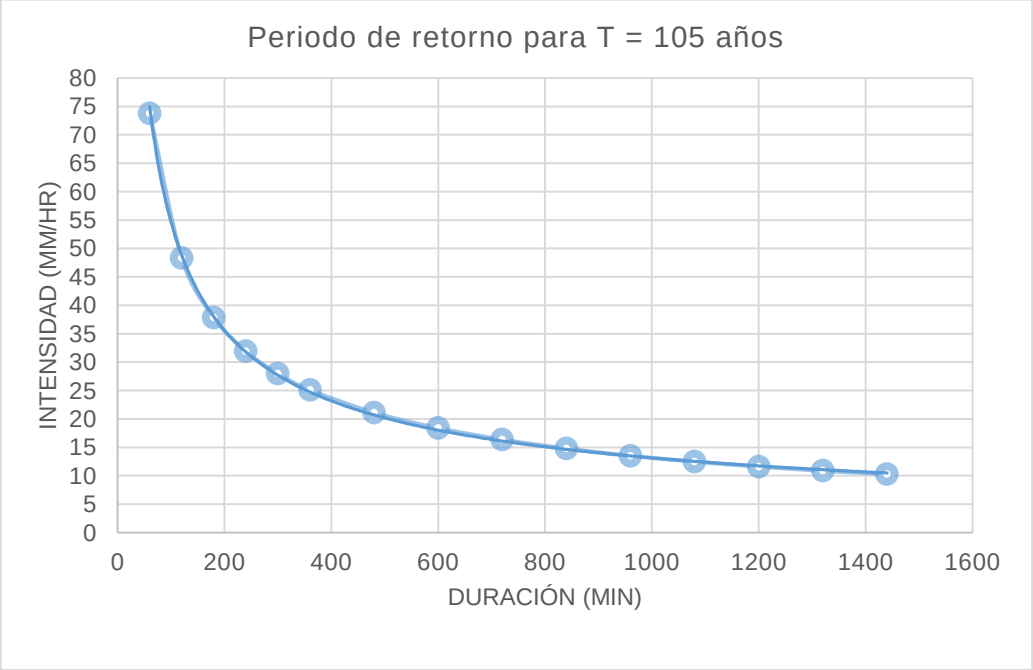
Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 41. Periodo de retorno para T=105 años

Periodo de retorno para T = 105 años						
Nº	t	I	ln t	ln I	ln t*ln I	(lnt)^2
1	1440	10.2644	7.2724	2.3287	16.9351	52.8878
2	1320	10.8716	7.1854	2.3861	17.1454	51.6298
3	1200	11.599	7.0901	2.4509	17.3772	50.2692
4	1080	12.4682	6.9847	2.5232	17.6237	48.7863
5	960	13.5123	6.8669	2.6036	17.8788	47.1548
6	840	14.7817	6.7334	2.6934	18.1357	45.3387
7	720	16.3561	6.5793	2.7946	18.3864	43.2865
8	600	18.3723	6.3969	2.9108	18.6205	40.9207
9	480	21.0895	6.1738	3.0488	18.8225	38.1156
10	360	25.074	5.8861	3.2218	18.964	34.6462
11	300	27.94	5.7038	3.3301	18.9939	32.5331
12	240	31.8852	5.4806	3.4621	18.9747	30.0374
13	180	37.8301	5.193	3.6331	18.8666	26.9668
14	120	48.2789	4.7875	3.877	18.5611	22.9201
15	60	73.7425	4.0943	4.3006	17.6081	16.7637
15	9900	374.0656	92.4282	45.5648	272.8935	582.2567
Ln (d) =	6.8493	*d =*	943.2007	*n =*	-0.6186	

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 52: Periodo de retorno para T = 105 años



Elaboración: Propiedad de la tesis

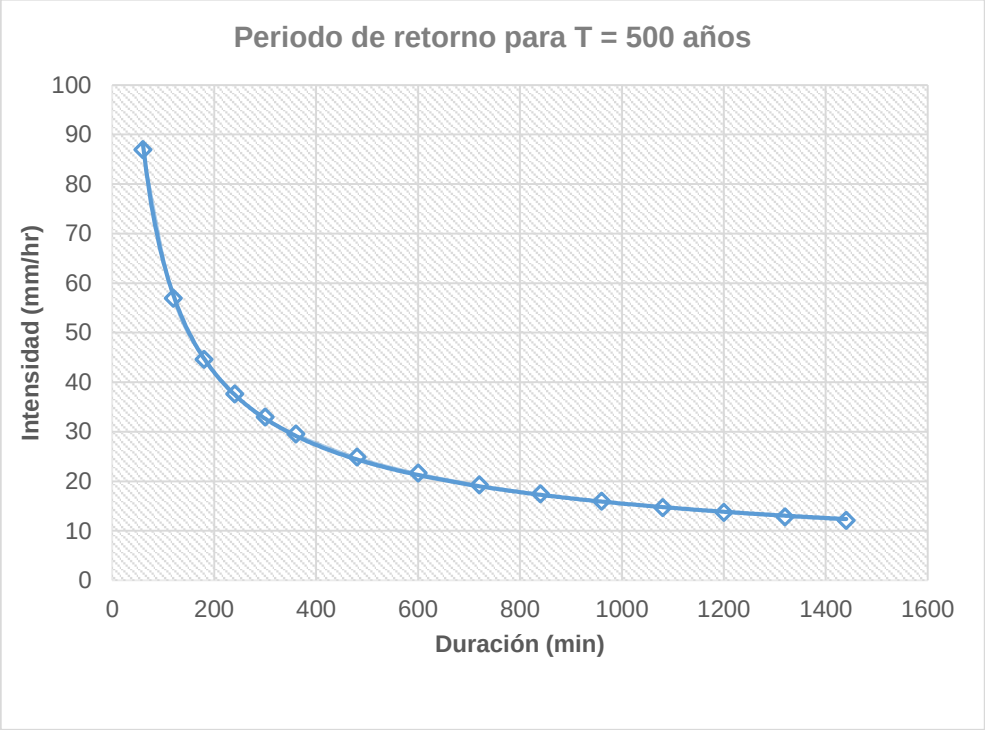
Tabla 42. Periodo de retorno para T=500 años

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	t	I	ln t	ln I	ln t*ln I	(lnt)^2
1	1440	12.1038	7.2724	2.4935	18.1339	52.8878
2	1320	12.8198	7.1854	2.551	18.3299	51.6298
3	1200	13.6777	7.0901	2.6158	18.546	50.2692
4	1080	14.7026	6.9847	2.688	18.7751	48.7863
5	960	15.9338	6.8669	2.7684	19.0107	47.1548
6	840	17.4307	6.7334	2.8582	19.2456	45.3387
7	720	19.2872	6.5793	2.9594	19.4709	43.2865
8	600	21.6648	6.3969	3.0757	19.675	40.9207
9	480	24.8689	6.1738	3.2136	19.8402	38.1156
10	360	29.5674	5.8861	3.3867	19.9343	34.6462
11	300	32.947	5.7038	3.4949	19.9342	32.5331
12	240	37.5993	5.4806	3.627	19.8782	30.0374
13	180	44.6096	5.193	3.7979	19.7226	26.9668
14	120	56.9308	4.7875	4.0418	19.3503	22.9201
15	60	86.9577	4.0943	4.4654	18.283	16.7637
15	9900	441.101	92.4282	48.0375	288.1297	582.2567
Ln (d) =	7.0141	*d =*	1112.2295	*n =*	-0.6186	

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figure 53: Periodo de retorno T = 500 años



Elaboración: Propiedad de la tesis

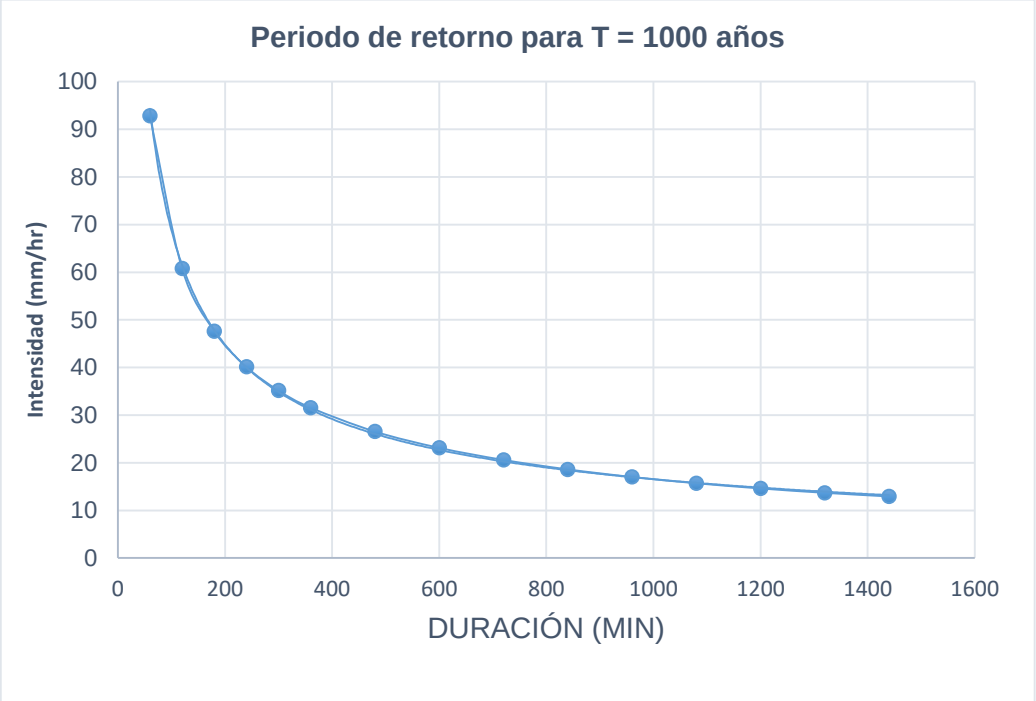
Tabla 43. Periodo de retorno para T=1000 años

Periodo de retorno para T = 1000 años

Nº	t	I	ln t	ln I	ln t*ln I	(lnt)^2
1	1440	12.9236	7.2724	2.5591	18.6105	52.8878
2	1320	13.6881	7.1854	2.6165	18.8008	51.6298
3	1200	14.6041	7.0901	2.6813	19.0106	50.2692
4	1080	15.6984	6.9847	2.7536	19.2328	48.7863
5	960	17.0131	6.8669	2.834	19.4608	47.1548
6	840	18.6113	6.7334	2.9238	19.6869	45.3387
7	720	20.5936	6.5793	3.025	19.9021	43.2865
8	600	23.1322	6.3969	3.1412	20.0942	40.9207
9	480	26.5533	6.1738	3.2792	20.2448	38.1156
10	360	31.5701	5.8861	3.4522	20.3201	34.6462
11	300	35.1786	5.7038	3.5604	20.308	32.5331
12	240	40.1459	5.4806	3.6925	20.2374	30.0374
13	180	47.6311	5.193	3.8635	20.0629	26.9668
14	120	60.7868	4.7875	4.1074	19.664	22.9201
15	60	92.8475	4.0943	4.531	18.5513	16.7637
15	9900	470.9776	92.4282	49.0205	294.1871	582.2567
Ln (d) =	7.0797	*d =*	1187.563	*n =*	-0.6186	

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 54: Periodo de retorno para T = 1000 años



Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 44. Resumen de aplicación de regresión potencial

Resumen de aplicación de regresión potencial

Periodo de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]
2	479.75584	-0.618581
5	602.36102	-0.618581
10	683.53104	-0.618581
25	786.09574	-0.618581
50	862.18208	-0.618581
100	937.70597	-0.618581
105	943.20066	-0.618581
500	1112.2295	-0.618581
1000	1187.563	-0.618581
10000	1436.7927	-0.618581
Promedio =	903.14176	-0.618581

Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 45. Regresion potencial

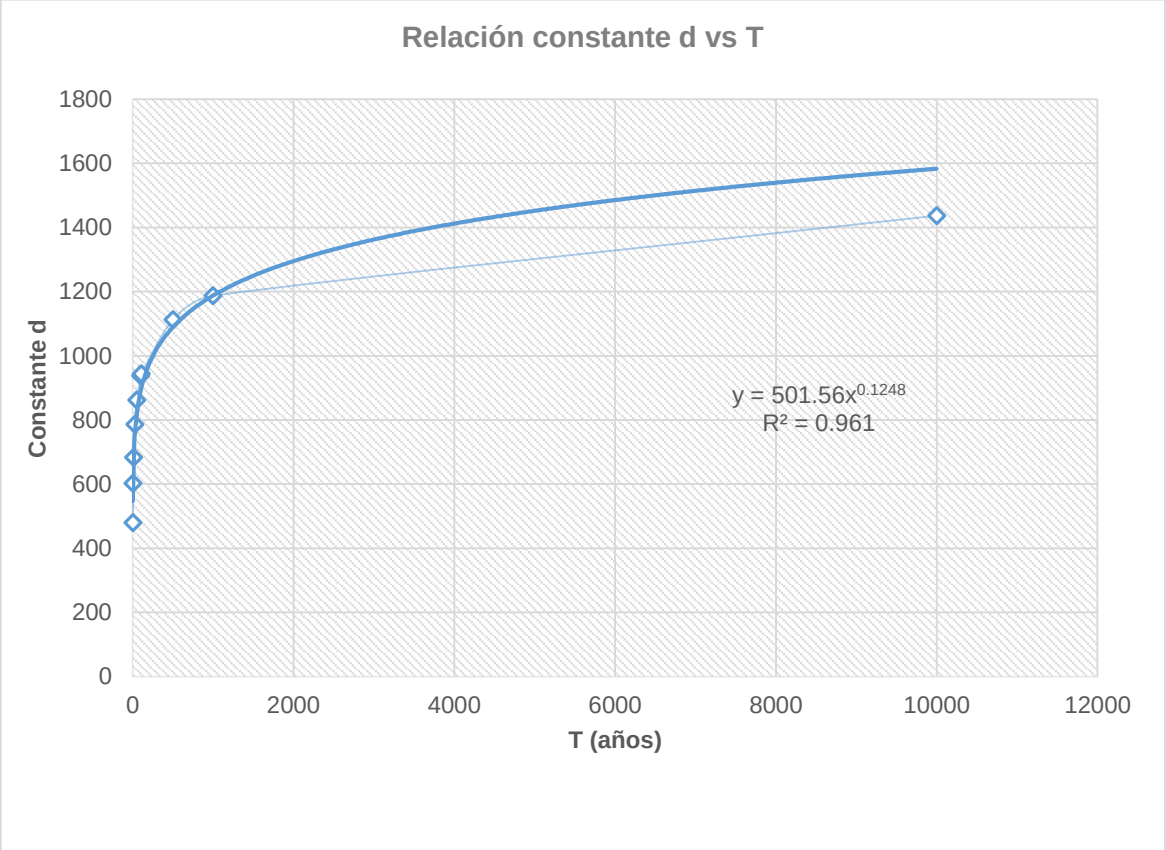
Regresión potencial						
Nº	T	D	ln T	ln d	ln T*ln d	(lnT)^2
1	2	479.7558	0.6931	6.1733	4.279	0.4805
2	5	602.361	1.6094	6.4009	10.3018	2.5903
3	10	683.531	2.3026	6.5273	15.0296	5.3019
4	25	786.0957	3.2189	6.6671	21.4605	10.3612
5	50	862.1821	3.912	6.7595	26.4432	15.3039
6	100	937.706	4.6052	6.8434	31.5152	21.2076
7	105	943.2007	4.654	6.8493	31.8763	21.6593
8	500	1112.2295	6.2146	7.0141	43.59	38.6214
9	1000	1187.563	6.9078	7.0797	48.9045	47.7171
10	10000	1436.7927	9.2103	7.2702	66.9607	84.8304
10	**11797**	**9031.4176**	**43.3279**	**67.5846**	**300.3608**	**248.0735**
Ln (K) =	**6.2177**	***K =***	**501.5606**	***m =***	**0.1248**	

Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 46. Coeficientes de regresión

Constante de regresión (K) =	501.561
Coef. de regresión (m) =	0.125

Figura 55: Relación constante d vs T



Elaboración: Propiedad de la tesis

4.4.4.4. Expresión matemática de intensidad para la zona en estudio

$$I = \frac{501.56058\ x\ T^{\mathbf{0.1248011}}}{t^{\mathbf{0.618581}}}$$

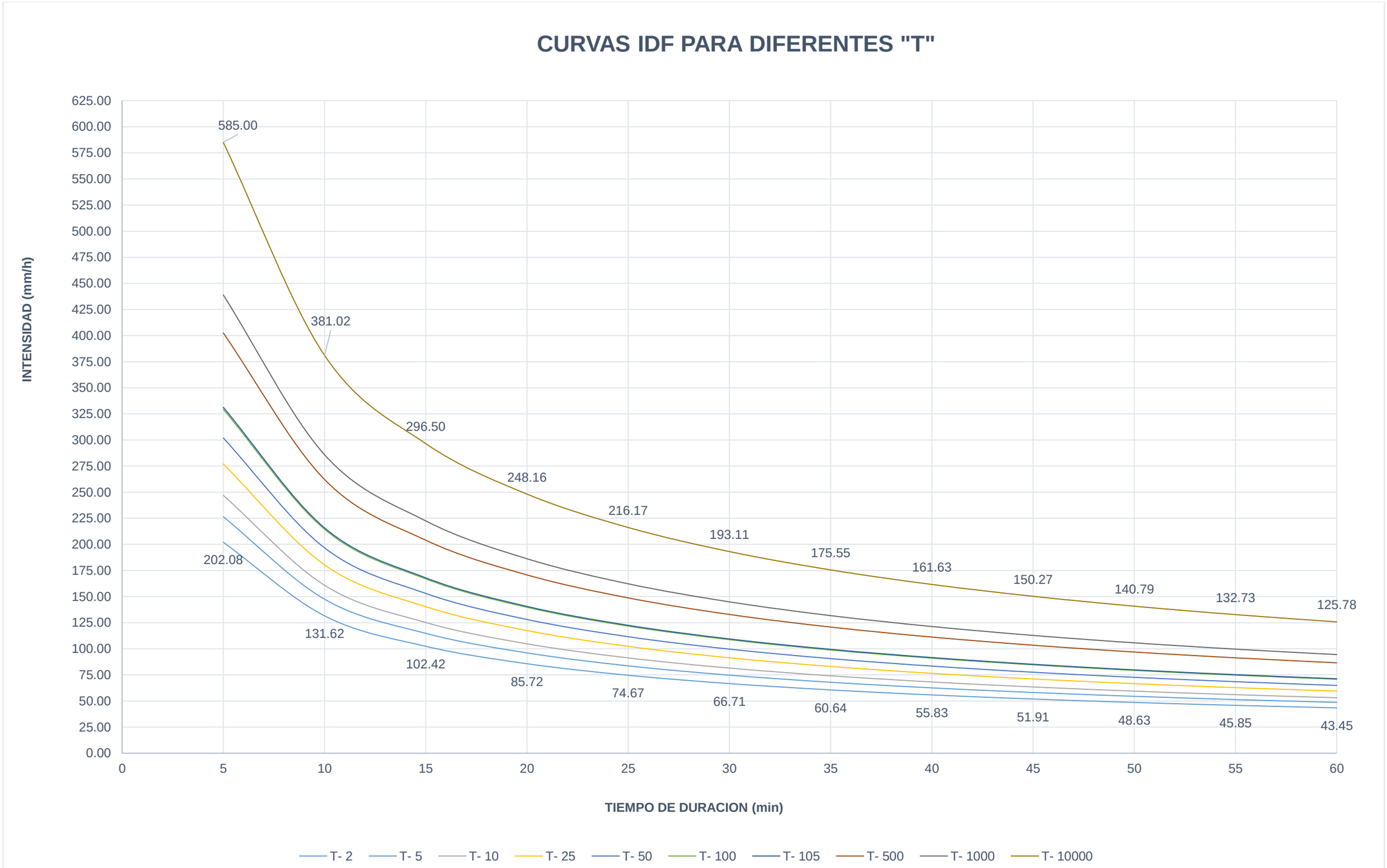
Tabla 47. Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración

Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración

Años	Duración en minutos											
T	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	**55**	**60**
T- 2	202.19	131.79	102.53	85.35	74.23	66.33	60.33	55.77	51.88	48.5	45.5	43.66
T- 5	226.61	147.65	114.94	96.25	83.35	74.29	67.22	62.44	58.33	54.4	51.45	48.22
T- 10	247.15	160.23	125.35	104.85	91.57	81.32	74.34	68.25	63.55	59.33	56.26	53.33
T- 25	276.84	180.45	140.45	117.27	102.31	91.17	83.22	76.21	71.22	66.77	62.99	59.23
T- 50	301.88	196.34	153.19	128.25	111.25	99.23	90.45	83.22	77.66	72.77	68.77	64.34
T- 100	329.35	214.51	166.25	139.75	121.71	108.43	98.93	90.33	84.66	79.33	74.88	70.34
T- 105	331.31	215.83	167.37	140.35	122.53	109.55	99.55	91.44	85.72	79.25	75.35	71.55
T- 500	402.64	262.23	204.13	170.23	148.69	132.77	120.79	111.55	103.75	96.95	91.42	86.75
T- 1000	438.93	285.27	222.19	186.23	162.31	144.33	131.7	121.22	112.65	105.94	99.63	94.42
T- 10000	585.23	381.27	296.27	248.23	216.19	193.22	175.55	161.44	150.33	140.88	132.82	125.81

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figure 56: Curvas IDF para diferentes "T"



Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 47. ***Valores de intensidad de precipitación***

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia de repetición										
Duración (minutos)	**Período de retorno (años)**									
	2	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**105**	**500**	**1000**	**10000**
1	546.22	613.22	668.34	749.44	817.33	891.22	896.35	1089.43	1187.88	1583.91
2	356.44	399.43	435.51	488.22	532.13	580.17	583.23	709.55	773.23	1031.09
3	277.33	310.88	338.95	379.33	414.17	451.21	454.27	552.09	601.21	802.32
4	231.21	260.2	283.71	317.23	346.11	378.34	380.64	462.27	503.95	671.66
5	202.11	226.33	247.17	276.28	301.05	329.33	331.14	402.65	438.03	585.11
6	180.21	202.36	220.73	247.21	269.14	294.24	295.54	359.64	392.64	522.34
7	164.32	183.88	200.85	224.75	245.11	267.07	269.24	326.35	356.13	475.11
8	151.41	169.53	184.82	207.15	225.01	246.05	247.22	300.15	328.21	437.55
9	140.12	157.62	171.85	192.22	209.04	228.14	230.16	279.36	305.53	406.64
10	131.13	147.87	160.75	180.18	196.11	214.09	215.21	262.29	285.37	381.17
11	124.11	139.22	151.72	170.11	185.09	202.21	203.35	247.21	269.35	359.19
12	117.62	131.23	143.83	161.27	175.06	191.08	192.39	234.35	255.53	340.44
13	111.66	125.55	136.85	153.22	167.13	182.56	183.55	222.66	243.15	323.67
14	106.93	119.75	130.87	146.18	159.04	174.21	175.17	212.22	232.57	309.86
15	102.55	114.27	125.43	140.21	153.17	166.92	167.46	204.19	222.55	296.75
16	98.34	110.44	120.41	134.77	147.19	160.21	161.87	196.11	213.9	284.57
17	94.81	106.31	115.92	129.23	141.26	154.37	155.15	188.12	205.43	274.17
18	91.45	102.61	111.92	125.18	136.07	149.13	150.24	182.57	198.83	264.25
19	88.76	99.33	108.25	121.19	132.11	144.25	145.16	176.85	192.73	256.26
20	85.88	96.22	104.77	117.22	128.06	139.24	140.47	170.29	186.42	248.35
21	83.91	93.33	101.27	114.11	124.19	135.25	136.28	165.93	180.78	240.52
22	80.99	90.73	98.22	110.13	120.01	131.24	132.68	160.26	175.71	233.63
23	78.77	88.28	96.33	107.37	117.03	128.26	128.36	156.25	170.25	227.45
24	76.66	85.99	93.35	104.12	114.22	124.35	125.63	152.35	166.24	221.35
25	74.93	83.81	91.37	102.11	111.34	121.53	122.34	148.53	162.56	216.53
26	72.21	81.65	89.39	99.17	108.24	118.53	119.23	145.64	158.53	210.53
27	71.33	79.15	87.17	97.29	106.35	116.56	116.64	141.64	154.46	206.62
28	69.62	78.12	85.21	95.22	104.64	113.65	114.73	138.54	151.64	201.65
29	68.41	76.41	83.22	93.43	101.6	111.35	111.87	135.76	147.68	197.12
30	66.44	74.79	81.33	91.34	99.84	108.56	109.75	132.89	144.46	193.33
31	65.22	73.29	79.22	89.76	97.34	106.35	107.35	130.46	141.45	189.64
32	64.32	71.86	78.21	87.53	95.86	104.78	105.35	127.64	139.46	185.33
33	62.75	70.51	76.91	86.54	93.35	102.35	103.65	125.62	136.75	182.71
34	61.64	69.22	75.55	84.13	92.53	100.54	101.64	122.61	134.53	178.67
35	60.55	67.99	74.22	83.17	90.83	98.74	99.82	120.82	131.81	175.77
36	59.38	66.81	72.36	81.57	89.78	97.72	97.85	118.21	129.55	172.33
37	58.45	65.69	71.37	80.11	87.63	95.28	96.17	116.53	127.68	169.84
38	57.71	64.61	70.51	78.22	86.77	93.63	94.82	114.93	125.21	166.53
39	56.82	63.58	69.22	77.54	84.38	92.64	92.57	112.35	123.35	164.36
40	55.92	62.6	68.33	76.11	83.22	90.45	91.74	111.86	121.53	161.78
41	54.18	61.65	67.35	75.13	82.46	89.65	90.75	109.75	119.75	159.21
42	54.21	60.74	66.37	74.34	80.64	88.54	88.75	107.64	117.55	156.75
43	53.44	59.86	65.38	73.66	79.43	86.64	87.64	106.97	115.34	154.42
44	52.55	59.01	64.21	72.44	78.55	85.66	86.43	104.53	114.64	152.78
45	51.88	58.2	63.55	71.56	77.89	84.86	85.86	103.86	112.97	150.42
46	51.32	57.41	62.71	70.35	76.76	83.88	83.98	102.42	111.55	148.67
47	50.61	56.65	61.25	69.55	75.64	82.67	82.94	100.77	109.37	146.64
48	49.22	55.92	60.22	68.53	74.67	81.75	81.22	99.64	108.22	144.64
49	49.33	55.21	60.44	67.64	73.86	80.75	80.87	98.78	106.43	142.68
50	48.44	54.53	59.33	66.46	72.87	79.98	79.34	96.98	105.23	140.54
51	48.55	53.86	58.22	65.44	71.65	78.65	78.98	95.34	104.22	139.12
52	47.66	53.22	58.21	65.11	70.35	77.76	77.76	94.33	103.53	137.56
53	46.77	52.6	57.22	64.65	70.22	76.55	76.65	93.22	101.54	135.53
54	46.44	51.99	56.77	63.33	69.54	75.98	76.14	92.54	100.87	134.53
55	45.66	51.4	56.22	62.65	68.98	74.64	75.53	91.11	99.22	132.66
56	45.61	50.83	55.36	62.68	67.87	73.22	74.11	90.46	98.22	131.64
57	44.23	50.28	54.37	61.11	67.45	73.65	73.65	89.22	97.76	129.98
58	44.41	49.74	54.18	60.54	66.75	72.56	72.35	88.66	96.68	128.33

Tabla 47. ***Valores de intensidad de precipitación***

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia de repetición

Duración (minutos)	Período de retorno (años)									
	2	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**105**	**500**	**1000**	**10000**
59	43.44	49.22	53.11	60.87	65.87	71.76	71.63	87.33	95.99	127.22
60	43.33	48.71	53.18	59.98	64.08	70.88	71.74	86.88	94.23	125.11

Elaboración: Propiedad de la tesis

4.4.5. Cálculo caudal máximo de la sub cuenca Yarinacocha

Para el cálculo del caudal máximo Sub Cuenca Yarinacocha se ejecutaron los siguientes:

4.4.5.1. Tiempo de concentración de la Sub Cuenca Yarinacocha

Tabla 48

Tiempo de concentración de la Sub Cuenca (Fórmula California)

L cauce ppal =	43.06	km		
Pendiente =	0.0741	m/m		
Tiempo concentración =	3.2576238	h		
Tiempo de duración de la tormenta =	3	h	180	min

Curvas IDF de la cuenca

$$I = \frac{501.5606 * T^{0.124801}}{t^{0.61858}}$$

Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)
T = Periodo de Retorno (años)
t = Tiempo de duración de precipitación (min)

Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 49

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**500**
5	202.43	226.43	247.64	276.32	301.33	329.86	402.32
10	131.54	147.32	160.54	180.32	196.43	214.23	262.33
15	102.76	114.55	125.64	140.64	153.23	166.43	204.13
20	85.98	96.22	104.34	117.54	128.05	139.33	170.32
25	74.34	83.34	91.56	102.87	111.04	121.34	148.23
30	66.23	74.23	81.44	91.22	99.53	108.53	132.35
35	60.56	67.33	74.45	83.43	90.65	98.34	120.53
40	55.21	62.54	68.35	76.65	83.77	90.32	111.54
45	51.54	58.43	63.12	71.56	77.76	84.76	103.23
50	48.77	54.32	59.87	66.44	72.76	79.24	96.54
55	45.98	51.65	56.23	62.57	68.23	74.34	91.22
60	43.09	48.43	53.22	59.33	64.45	70.65	86.76
65	41.43	46.43	50.33	56.88	61.34	67.54	82.23
70	39.55	44.43	48.43	54.32	59.54	64.75	78.98
75	37.66	42.54	46.76	51.54	56.65	61.54	75.22
80	36.77	40.34	44.54	49.23	54.56	59.76	72.76
85	35.87	39.54	42.23	48.23	52.56	57.88	69.22
90	33.33	37.24	41.44	46.22	50.43	55.23	67.65
95	32.22	36.44	39.54	44.34	48.66	53.64	65.46
100	31.11	35.56	38.67	43.57	47.77	51.76	63.34
105	30.11	34.46	37.57	42.43	45.45	50.44	61.54
110	29.22	33.76	36.66	40.35	44.87	48.33	59.67
115	29.33	32.68	35.75	39.97	43.65	47.23	57.22
120	28.44	31.44	34.33	38.34	42.43	46.22	56.66
125	27.66	30.44	33.22	37.13	41.46	44.55	54.23
130	26.76	30.33	32.54	36.65	40.76	43.66	53.21
135	26.76	29.32	32.54	36.32	39.54	42.65	52.34
140	25.98	28.56	31.32	35.53	38.22	41.11	51.45
145	25.98	28.11	30.22	34.43	37.54	41.23	50.53
150	24.08	27.65	30.64	33.87	36.32	40.24	49.45
155	24.46	27.65	29.76	33.34	36.53	39.65	48.33
160	23.32	26.33	28.53	32.53	35.23	38.75	47.42
165	23.53	26.77	28.65	31.76	34.65	37.88	46.98
170	22.53	25.43	27.65	31.87	34.54	37.66	45.22
175	22.65	25.64	27.76	30.98	33.65	36.67	44.33
180	22.54	24.76	26.65	30.43	32.65	35.33	43.77

Elaboración: Propiedad de la tesis

4.4.5.2. Hietograma para periodo retorno T años en escenarios del caso de estudio

Se determinó los hietogramas de precipitación de la Sub Cuenca Yarinacocha en función de los parámetros geomorfológicos para los periodos de estudio de 5,10,25,50,100 años respectivamente, las cuales se presentan en detalle a continuación:

- ✓ HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 5 AÑOS

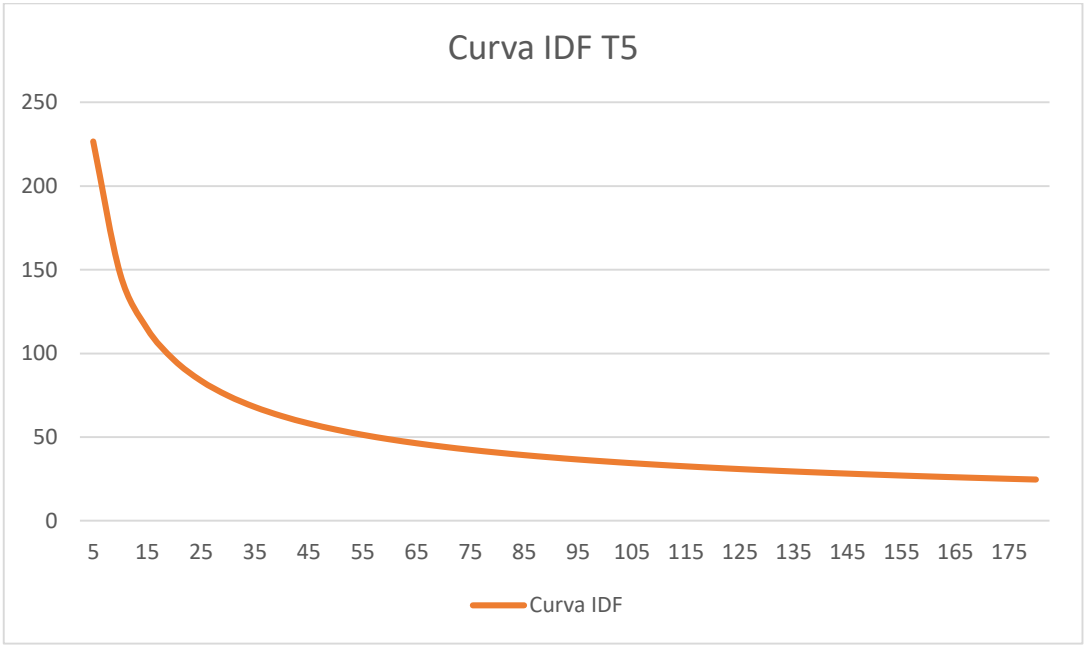
Tabla 50

Hietograma para período retorno 5 años.

Duración de la tormenta (h)	**3**	**180**	**min**			
Intesidad de lluvia (mm/h)	**24.69**					
Precipitación en 24 horas (mm)	**74.06**					
Intervalos de tiempo (min)	**5**					
Instante (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Precipitación acumulada (mm)**	**Precipitación (mm)**	**Intensidad parcial (mm/h)**	**Precipitación Alternada (mm)**	**Int. Parcial Alternada (mm)**
5	226.32	18.43	18.22	226.32	0.79	9.71
10	147.33	24.43	5.4	68.43	0.78	10.23
15	114.34	28.54	4.09	49.54	0.93	10.38
20	96.35	32.67	3.22	39.73	0.91	10.77
25	83.43	34.44	2.54	34.43	0.88	11.25
30	74.45	37.34	2.34	30.25	1.11	11.54
35	67.45	39.54	2.65	27.43	1.43	12.54
40	62.43	41.34	2.12	24.54	1.32	13.15
45	58.43	43.34	1.76	23.12	1.21	14.33
50	54.34	45.33	1.54	21.23	1.43	15.45
55	51.54	47.34	1.54	20.32	1.42	16.48
60	48.32	48.54	1.34	19.32	1.43	18.23
65	46.43	50.44	1.43	18.22	1.72	20.34
70	44.43	51.44	1.33	17.43	1.89	23.23
75	42.54	53.23	1.43	16.34	2.53	27.32
80	40.33	54.54	1.34	15.43	2.85	34.15
85	39.54	55.54	1.34	15.43	4.33	49.54
90	37.65	56.54	1.54	14.53	18.55	226.66
95	36.44	58.32	1.43	14.44	5.64	68.76
100	35.34	59.43	1.54	13.34	3.22	39.54
105	34.54	60.65	1.76	13.43	2.46	30.32
110	33.54	61.76	1.54	12.65	2.76	24.76
115	32.65	62.55	1.86	12.86	1.86	21.86
120	31.65	63.32	1.43	12.34	1.76	19.54
125	30.55	64.43	1.34	11.54	1.33	17.43
130	30.45	65.34	0.87	11.43	1.28	15.93
135	29.65	66.34	0.88	11.54	1.54	14.43
140	28.56	67.43	0.89	11.12	1.04	13.54
145	28.33	68.12	0.89	10.66	1.13	12.89
150	27.43	69.23	0.91	10.43	1.14	12.54
155	27.54	69.34	0.92	10.54	0.86	11.44
160	26.66	70.77	0.91	10.43	0.88	11.23
165	26.34	71.54	0.91	10.15	0.92	10.71
170	25.75	72.85	0.94	9.93	0.91	10.45
175	25.32	73.43	0.93	9.78	0.93	9.67
180	24.43	74.24	0.54	9.64	0.83	9.64

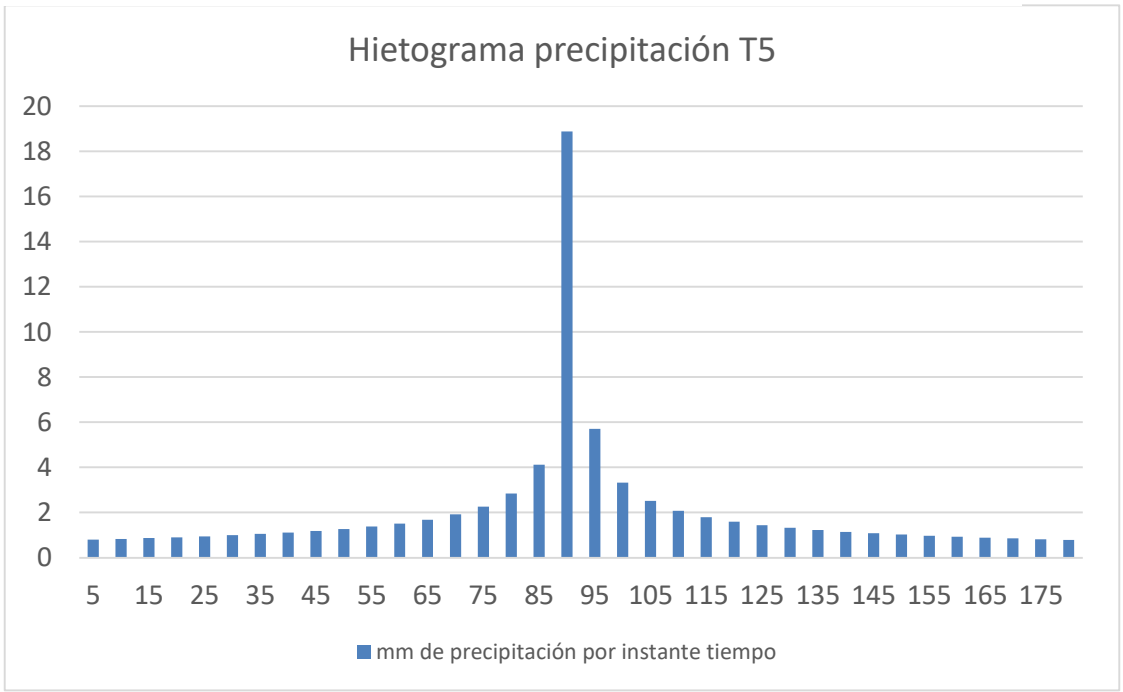
Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 57: Curva IDF T5



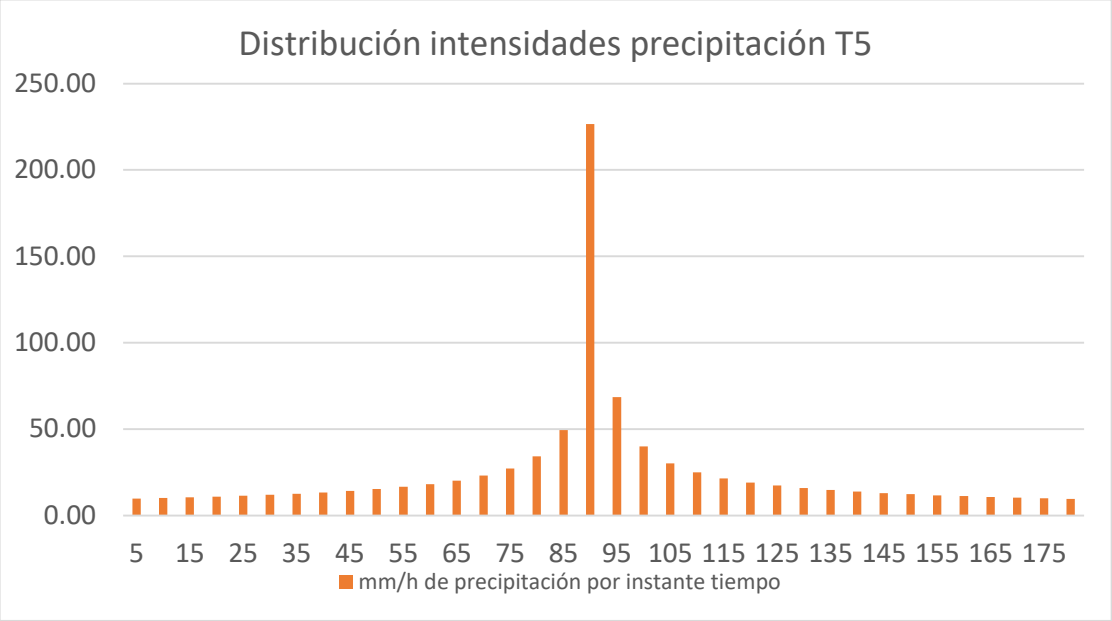
Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 58: Hietograma precipitación T5



Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 59: Distribución intensidades precipitación T5



Elaboración: Propiedad de la tesis

✓ HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 10 AÑOS

Tabla 51

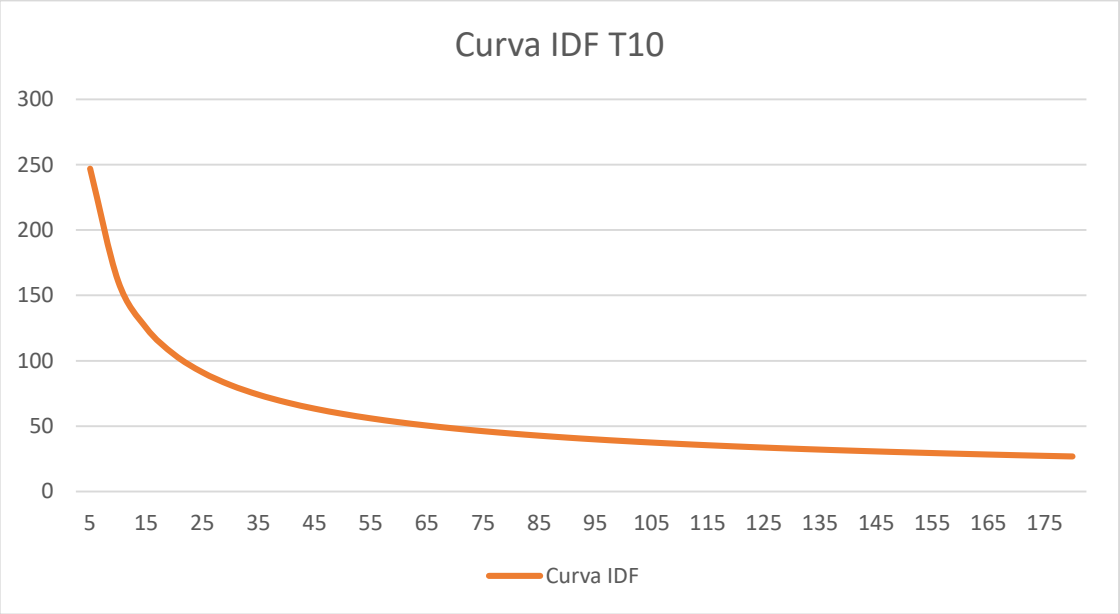
Hietograma para periodo retorno 10 años.

Duración de la tormenta (h)	**3**	**180**	**min**
Intesidad de lluvia (mm/h)	**26.92**		
Precipitación en 24 horas (mm)	**80.76**		
Intervalos de tiempo (min)	**5**		

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	247.23	20.34	20.32	247.45	0.43	10.45
10	160.34	26.43	6.45	74.54	0.43	10.43
15	125.54	31.54	4.65	53.45	0.67	11.43
20	104.86	34.54	3.76	43.65	0.54	11.65
25	91.32	38.06	3.76	37.65	1.76	12.34
30	81.43	40.55	2.67	32.53	1.65	13.43
35	74.24	43.54	2.54	29.54	1.54	13.54
40	68.56	45.34	2.43	27.34	1.54	14.23
45	63.67	47.65	2.54	25.23	1.65	15.43
50	59.54	49.43	1.34	23.54	1.35	16.76
55	56.34	51.23	1.23	22.45	1.42	18.43
60	53.33	53.44	1.22	20.34	1.43	19.67
65	50.43	54.43	1.75	19.76	1.45	22.23
70	48.54	56.43	1.34	18.32	2.54	25.32
75	46.54	57.46	1.43	18.45	2.65	29.54
80	44.64	59.35	1.32	17.43	3.45	37.23
85	42.54	60.32	1.34	16.43	4.34	53.34
90	41.24	62.34	1.43	16.73	20.35	247.35
95	39.76	63.76	1.54	15.43	6.43	74.45
100	38.63	64.55	1.33	15.23	3.53	43.34
105	37.54	65.43	1.64	14.76	2.46	32.46
110	36.43	66.43	1.64	14.34	2.45	27.33
115	35.65	68.34	1.34	13.56	1.46	23.33
120	34.44	69.34	1.33	13.22	1.76	20.43
125	33.54	70.34	1.43	13.32	1.65	18.36
130	32.43	71.22	1.45	12.34	1.33	17.33
135	32.43	72.32	1.32	12.33	1.42	16.53
140	31.32	73.46	1.23	12.34	1.43	15.33
145	30.33	74.22	0.76	11.56	1.23	14.43
150	30.65	75.67	0.87	11.86	1.86	13.43
155	29.45	76.32	0.86	11.45	1.23	12.35
160	28.65	77.76	0.76	11.56	1.65	12.43
165	28.48	78.16	0.67	10.76	0.76	11.42
170	27.65	79.64	0.45	10.52	0.45	11.24
175	27.32	79.76	0.33	10.43	0.67	10.45
180	26.65	80.64	0.34	10.45	0.45	10.65

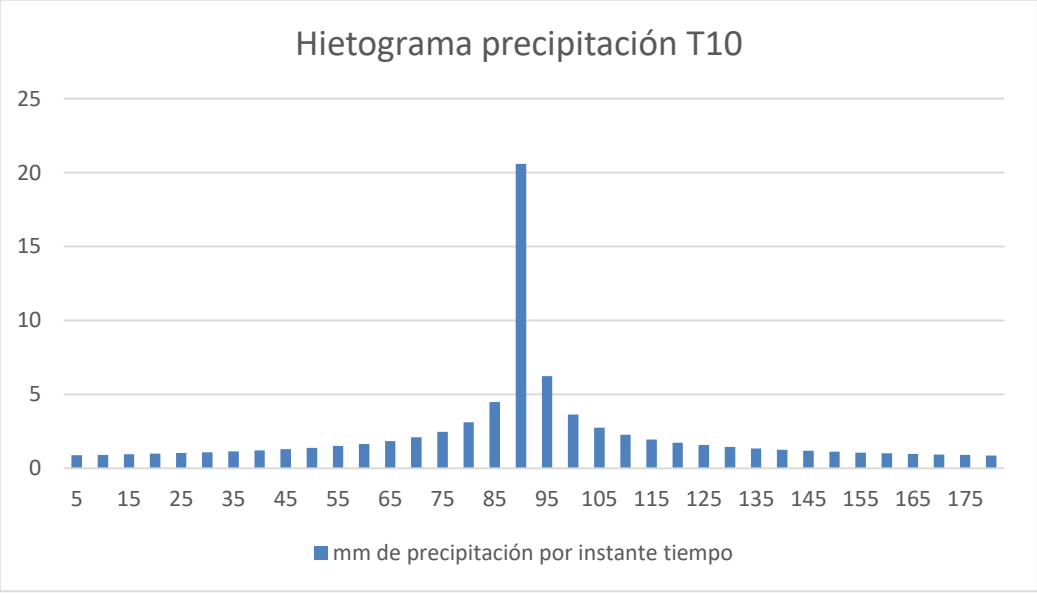
Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 60: Curva IDF T10



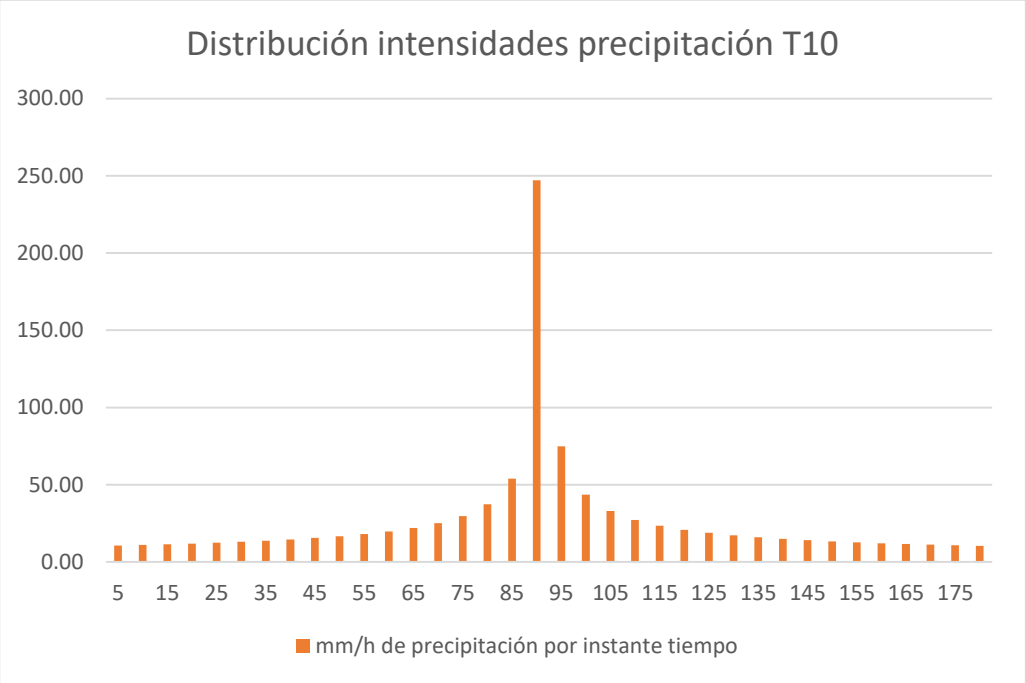
Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 61: Hietograma precipitación T10



Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 62: Distribución intensidades precipitación T10



Elaboración: Propiedad de la tesis

✓ HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 25 AÑOS

Tabla 52

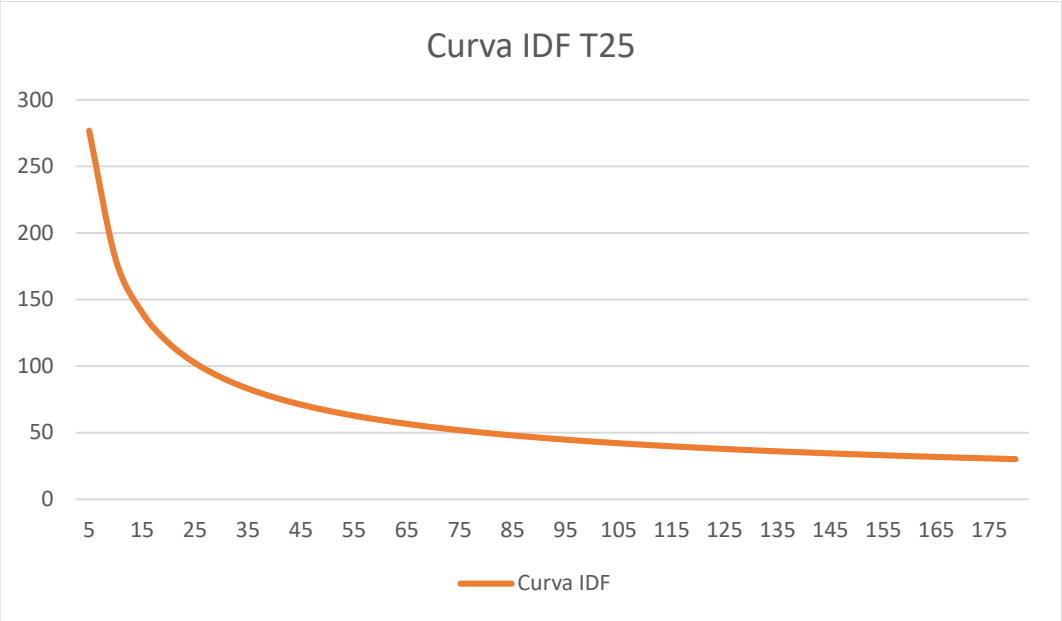
Hietograma para periodo retorno 25 años.

Duración de la tormenta (h)	**3**	**180**	**min**
Intesidad de lluvia (mm/h)	**26.92**		
Precipitación en 24 horas (mm)	**80.76**		
Intervalos de tiempo (min)	**5**		

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	247.23	20.34	20.32	247.45	0.43	10.45
10	160.34	26.43	6.45	74.54	0.43	10.43
15	125.54	31.54	4.65	53.45	0.67	11.43
20	104.86	34.54	3.76	43.65	0.54	11.65
25	91.32	38.06	3.76	37.65	1.76	12.34
30	81.43	40.55	2.67	32.53	1.65	13.43
35	74.24	43.54	2.54	29.54	1.54	13.54
40	68.56	45.34	2.43	27.34	1.54	14.23
45	63.67	47.65	2.54	25.23	1.65	15.43
50	59.54	49.43	1.34	23.54	1.35	16.76
55	56.34	51.23	1.23	22.45	1.42	18.43
60	53.33	53.44	1.22	20.34	1.43	19.67
65	50.43	54.43	1.75	19.76	1.45	22.23
70	48.54	56.43	1.34	18.32	2.54	25.32
75	46.54	57.46	1.43	18.45	2.65	29.54
80	44.64	59.35	1.32	17.43	3.45	37.23
85	42.54	60.32	1.34	16.43	4.34	53.34
90	41.24	62.34	1.43	16.73	20.35	247.35
95	39.76	63.76	1.54	15.43	6.43	74.45
100	38.63	64.55	1.33	15.23	3.53	43.34
105	37.54	65.43	1.64	14.76	2.46	32.46
110	36.43	66.43	1.64	14.34	2.45	27.33
115	35.65	68.34	1.34	13.56	1.46	23.33
120	34.44	69.34	1.33	13.22	1.76	20.43
125	33.54	70.34	1.43	13.32	1.65	18.36
130	32.43	71.22	1.45	12.34	1.33	17.33
135	32.43	72.32	1.32	12.33	1.42	16.53
140	31.32	73.46	1.23	12.34	1.43	15.33
145	30.33	74.22	0.76	11.56	1.23	14.43
150	30.65	75.67	0.87	11.86	1.86	13.43
155	29.45	76.32	0.86	11.45	1.23	12.35
160	28.65	77.76	0.76	11.56	1.65	12.43
165	28.48	78.16	0.67	10.76	0.76	11.42
170	27.65	79.64	0.45	10.52	0.45	11.24
175	27.32	79.76	0.33	10.43	0.67	10.45
180	26.65	80.64	0.34	10.45	0.45	10.65

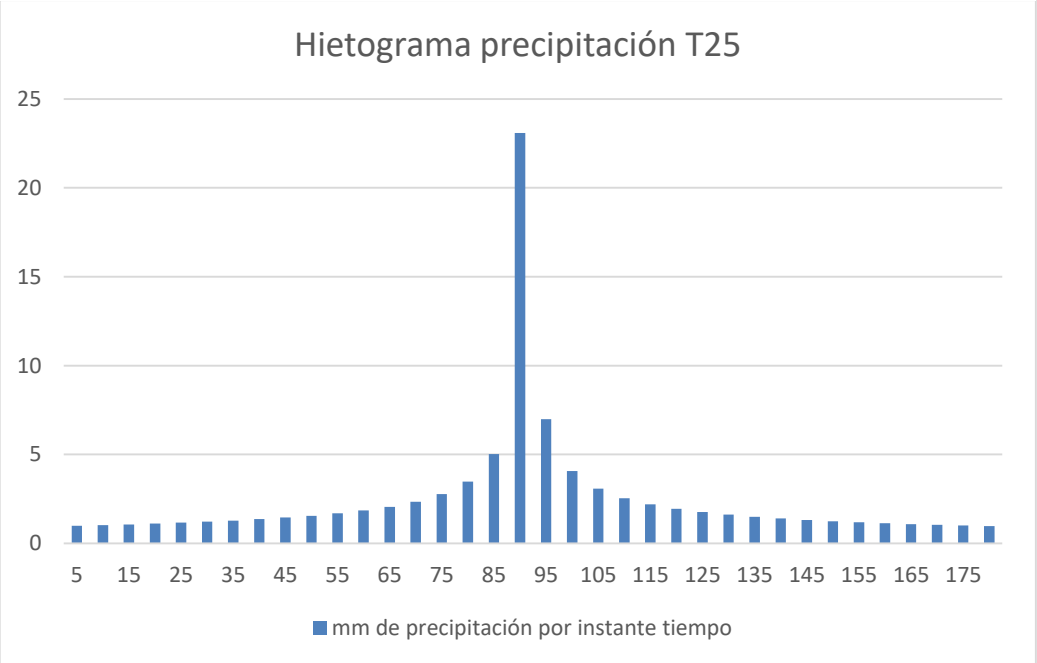
Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 63: Curva IDF T25



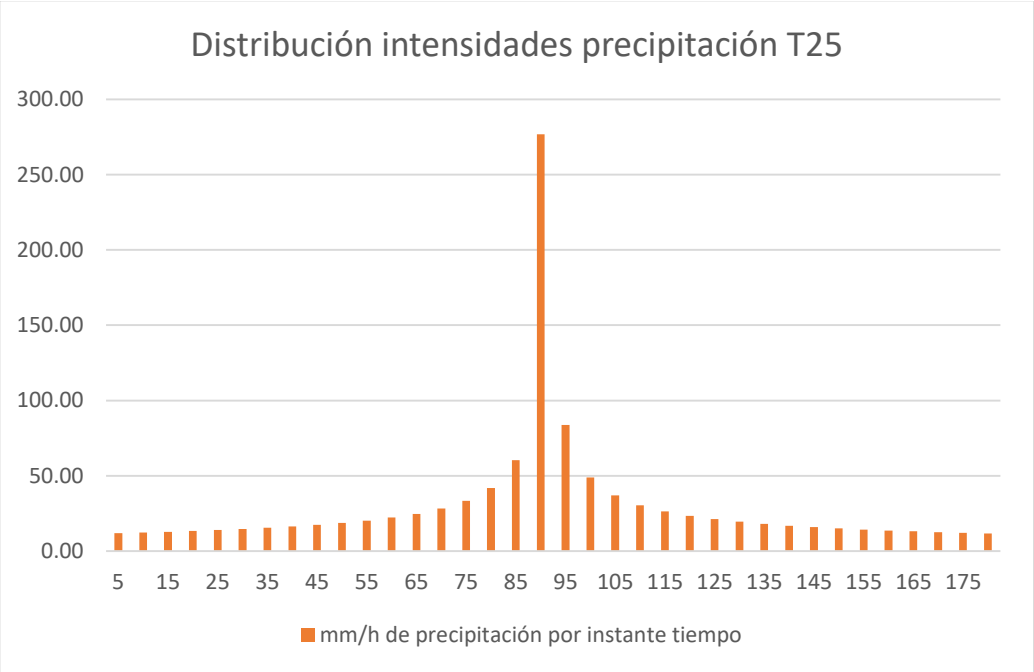
Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 64: Hietograma precipitación T25



Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 65: Distribución intensidades precipitación T25



Elaboración: Propiedad de la tesis

✓ HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 50 AÑOS

Tabla 53

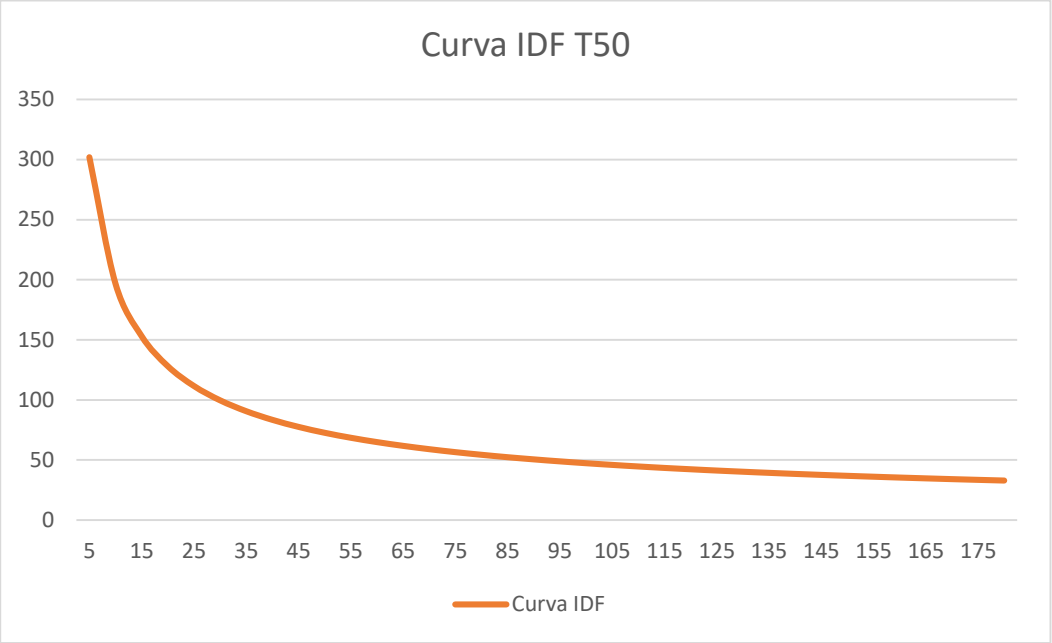
Hietograma para período retorno 50 años.

Duración de la tormenta (h)	**3**	**180**	**min**
Intesidad de lluvia (mm/h)	**32.91**		
Precipitación en 24 horas (mm)	**98.72**		
Intervalos de tiempo (min)	**5**		

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	301.19	25.47	25.47	301.59	1.47	12.49
10	196.79	32.38	7.32	91.49	1.31	13.47
15	153.26	38.46	5.38	65.59	1.46	13.41
20	128.14	42.4	4.24	53.55	1.31	14.4
25	111.79	46.4	3.39	45.32	1.46	15.47
30	99.89	49.34	3.45	40.28	1.43	15.43
35	90.72	52.56	3.32	36.32	1.6	16.49
40	83.74	55.42	2.36	33.44	1.58	17.48
45	77.77	58.58	2.46	30.47	1.58	18.45
50	72.58	60.47	2.59	28.43	1.79	20.54
55	68.42	62.61	2.44	26.31	1.44	22.53
60	64.33	64.33	2.22	25.13	2.21	24.45
65	61.89	66.44	2.31	24.35	2.14	26.41
70	59.42	68.66	1.32	23.33	2.36	30.37
75	56.16	70.3	1.54	22.53	3.32	36.42
80	54.54	72.36	1.56	21.44	3.69	45.32
85	52.54	74.42	1.65	20.45	5.45	65.49
90	50.42	75.59	1.43	19.81	25.37	301.53
95	48.436	77.37	1.38	18.85	7.42	91.32
100	47.34	78.39	1.43	18.84	4.65	53.23
105	45.33	80.28	1.68	17.88	3.44	40.34
110	44.33	81.31	1.74	17.87	2.43	33.45
115	43.32	83.31	1.7	16.89	2.54	28.65
120	42.39	84.28	1.56	16.84	2.65	25.34
125	41.23	85.9	1.33	15.93	1.92	23.03
130	40.24	87.2	1.29	15.54	1.76	21.14
135	39.32	88.46	1.26	15.17	1.63	19.61
140	38.44	89.7	1.24	14.83	1.53	18.34
145	37.62	90.91	1.21	14.5	1.44	17.27
150	36.84	92.09	1.18	14.2	1.36	16.34
155	36.1	93.25	1.16	13.91	1.29	15.54
160	35.39	94.38	1.14	13.63	1.24	14.83
165	34.73	95.5	1.11	13.37	1.18	14.2
170	34.09	96.59	1.09	13.12	1.14	13.63
175	33.49	97.67	1.07	12.89	1.09	13.12
180	32.31	98.72	1.06	12.66	1.06	12.66

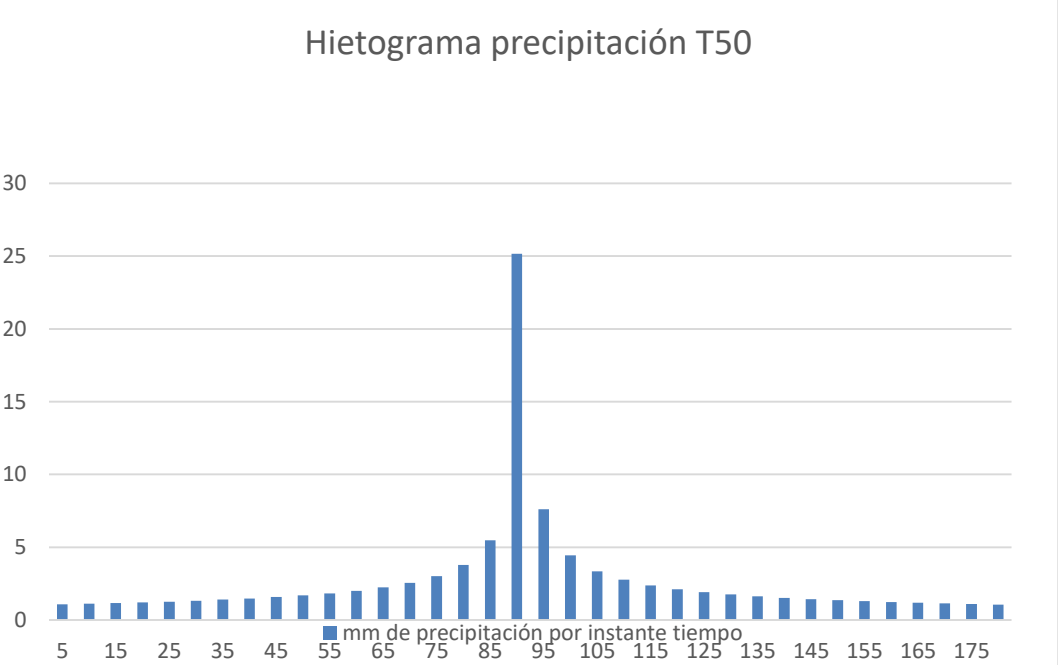
Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 66: Curva IDF T50



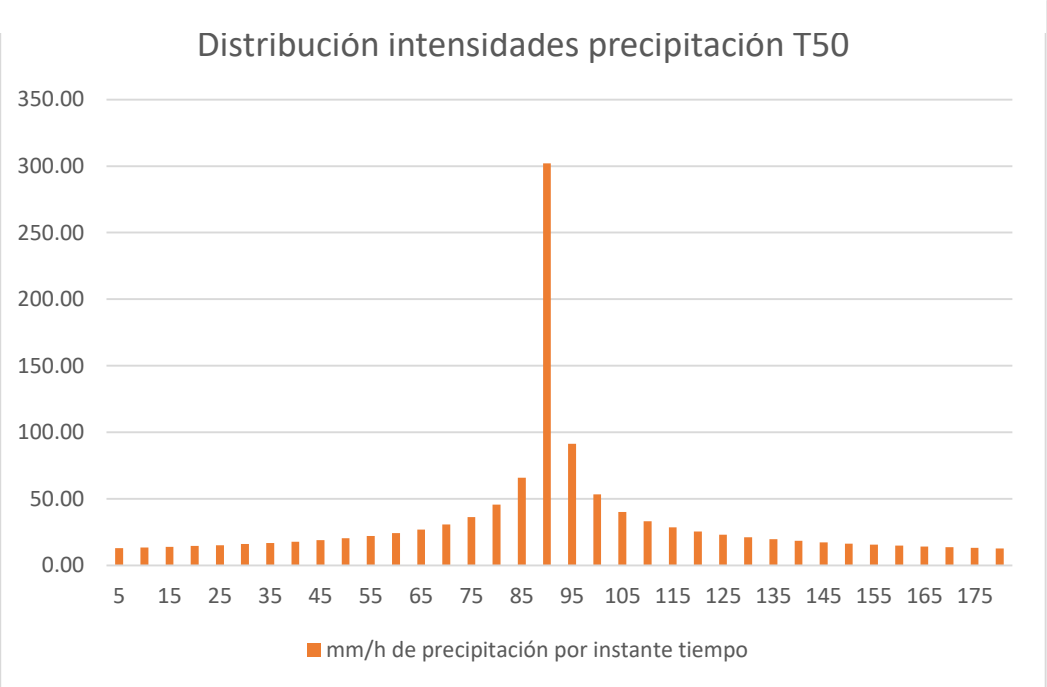
Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 67: Hietograma precipitación T50



Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 68: Distribución intensidades precipitación T50



Elaboración: Propiedad de la tesis

✓ HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS

Tabla 54

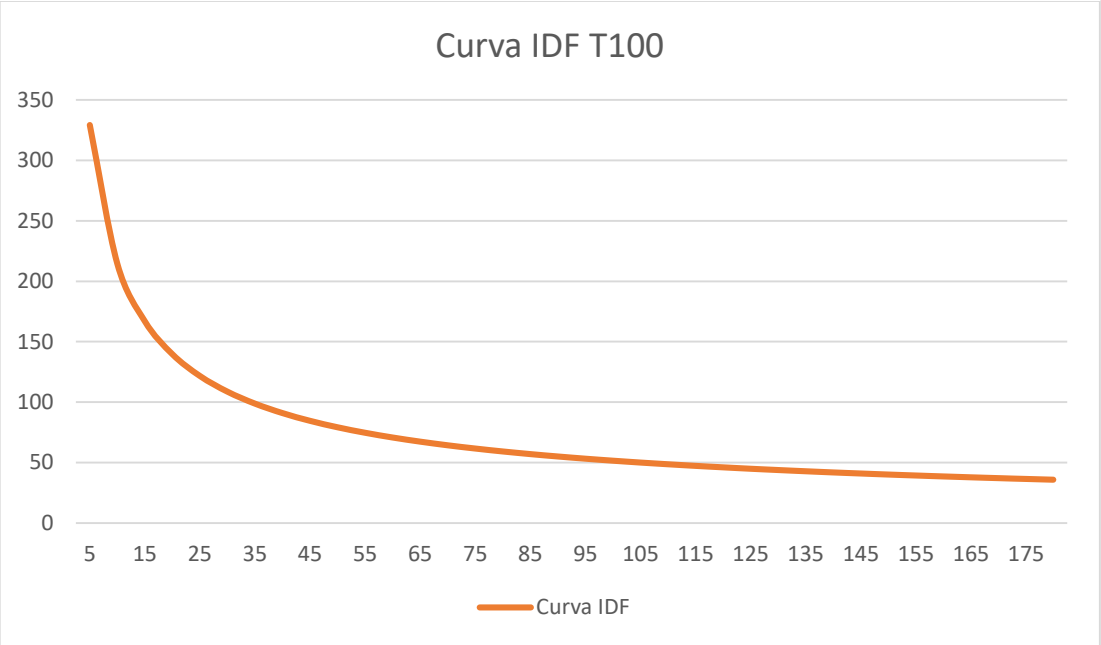
Hietograma para período retorno 100 años.

Duración de la tormenta (h)	**3**	**180**	**min**
Intesidad de lluvia (mm/h)	**35.88**		
Precipitación en 24 horas (mm)	**107.64**		
Intervalos de tiempo (min)	**5**		

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	329.34	27.22	27.22	329.43	1.32	14.34
10	214.34	35.32	8.34	99.32	1.34	14.34
15	166.43	41.32	5.32	71.32	1.43	15.45
20	139.43	46.43	4.23	58.43	1.65	15.87
25	121.32	50.32	4.22	49.43	1.43	16.32
30	108.32	54.34	3.43	43.54	1.32	17.43
35	98.45	57.23	3.54	39.56	1.23	18.43
40	90.54	60.54	3.43	36.65	1.43	19.34
45	84.45	63.22	2.35	33.34	1.23	20.54
50	79.54	66.32	2.43	31.54	1.65	22.43
55	74.54	68.76	2.34	29.76	2.23	24.43
60	70.54	70.23	2.65	27.23	2.35	26.32
65	67.65	72.66	2.34	26.43	2.22	29.43
70	64.54	75.43	2.34	25.33	2.43	33.23
75	61.54	77.23	2.32	24.32	3.12	39.43
80	59.23	79.23	1.43	23.34	4.54	49.76
85	57.87	80.43	1.23	22.54	5.23	71.45
90	55.34	82.23	1.43	21.76	27.54	329.54
95	53.54	84.54	1.54	20.43	8.35	99.98
100	51.43	86.43	1.23	20.43	4.54	58.45
105	50.43	87.54	1.43	19.23	3.54	43.67
110	48.55	89.56	1.45	18.35	3.34	36.43
115	47.54	90.34	1.54	18.54	2.32	31.65
120	46.54	92.43	1.56	17.45	2.65	27.67
125	44.43	93.56	1.65	17.45	2.43	25.33
130	43.45	95.34	1.54	16.65	1.34	23.43
135	42.87	96.65	1.54	16.57	1.87	21.65
140	41.65	97.54	1.54	16.76	1.45	20.43
145	41.75	99.16	1.76	15.82	1.98	18.34
150	40.45	100.87	1.54	15.34	1.67	17.34
155	39.37	101.42	1.12	15.43	1.64	16.32
160	38.65	102.24	1.54	14.75	1.21	16.22
165	37.53	104.34	1.65	14.65	1.86	15.32
170	37.56	105.74	1.54	14.65	1.64	14.65
175	36.43	106.47	1.34	14.56	1.23	14.65
180	35.33	107.23	1.43	13.76	1.65	13.23

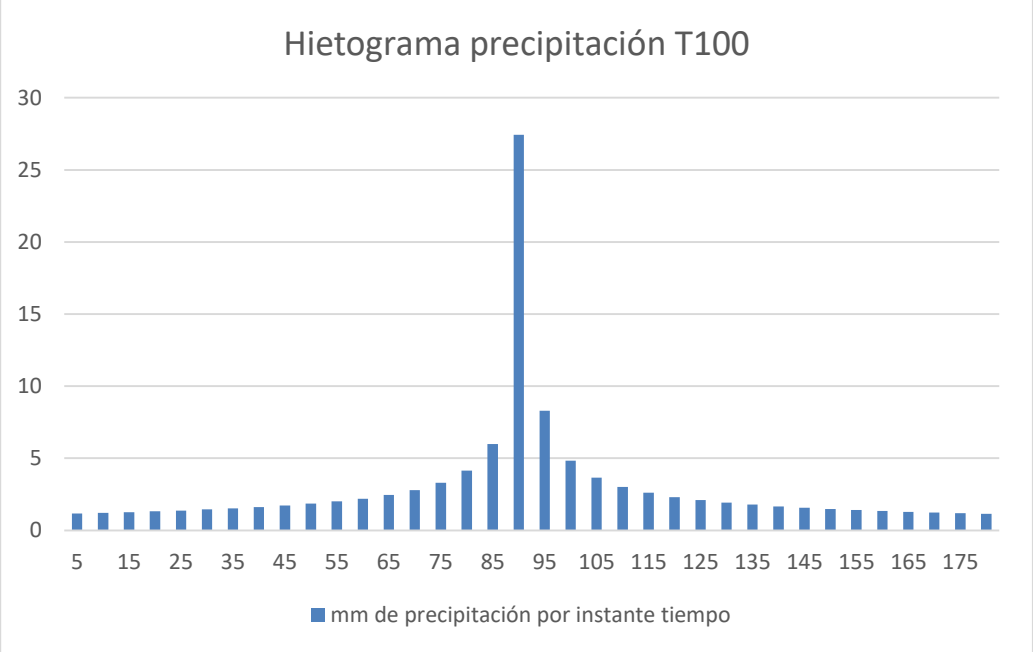
Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 69: Curva IDF T100



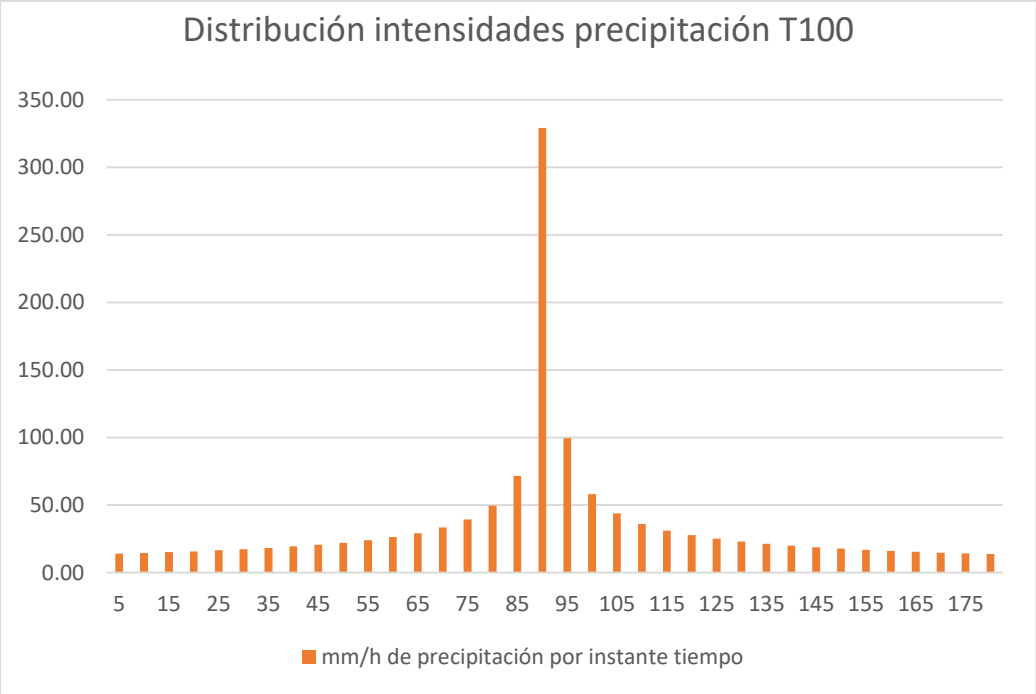
Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 70: Hietograma precipitación T100



Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 71: Distribución intensidades precipitación T100



Elaboración: Propiedad de la tesis

4.4.5.3. Caudal máximo por precipitación de la Sub cuenca Yarinacocha

Se determinó los caudales máximos de precipitación de la Sub Cuenca Yarinacocha en función de los Hietogramas y los parámetros geomorfológicos para periodos retorno de estudio de 5,10,25,50,100 años respectivamente mediante el apoyo el Sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS), las cuales se presentan en detalle a continuación:

- ✓ Modelo de la cuenca

Configuración de los Parámetros geomorfológicos de la Subcuenca.

Tabla 55

Parámetros geomorfológicos de la Subcuenca en HEC-HMS.

Área (Km^2)	857,04
Método de perdida de flujo	SCS Curve Number (Número de Curva = 69)
Método de transformación	SCS Unit Hydrograph (Hidrograma unitario)
Tiempo de retraso (minutos)	121

Fuente: Instituto Geográfico Nacional y la información de la división departamental del geoservidor de MINAM, HEC-HMS Ver. 4.10

Elaboración: Propiedad de la tesis

✓ Caudal máximo por precipitación de la Sub Cuenca Yarinacocha por periodo de retorno.

En la Subcuenca Yarinacocha para cada uno de los periodos de retorno se tienen los siguientes resultados:

Tabla 56

Periodo de retorno

Periodo de retorno	Caudal máximo (m^3/s)	Volumen de precipitación (mm)	Volumen perdido (mm)	Exceso de volumen (mm)
5 años	1158.1	74.07	57.99	16.08
10 años	1417.4	80.75	61.04	19.71
25 años	1825.0	90.53	65.1	25.43
50 años	2188.5	98.72	68.17	30.55
100 años	2603.6	107.63	71.23	36.4

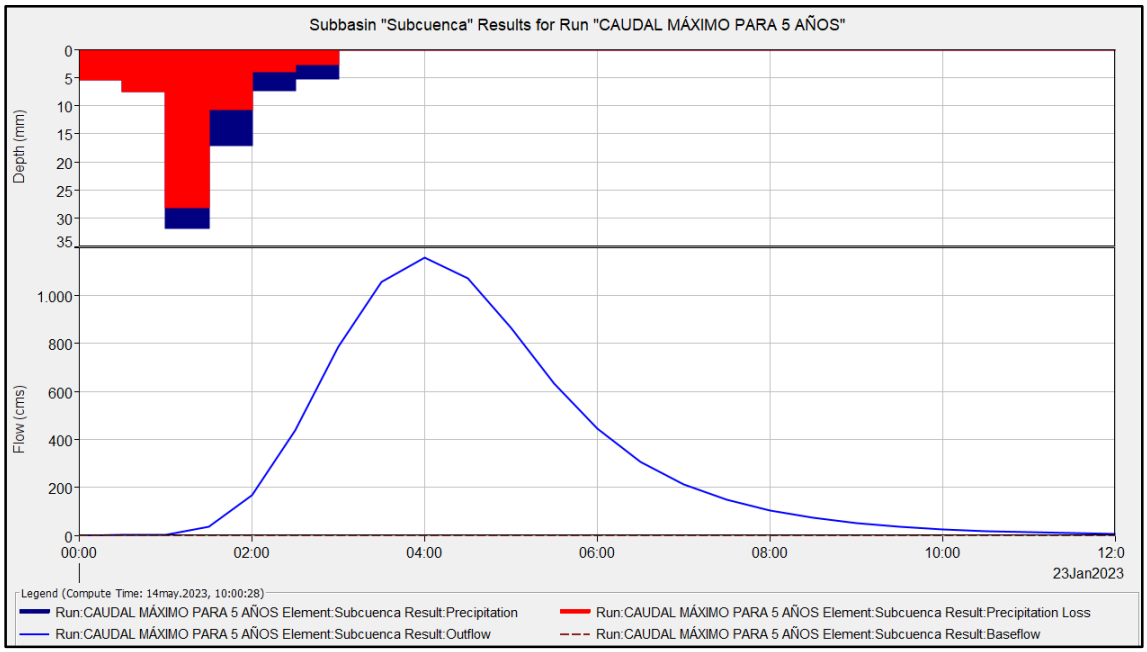
Fuente: HEC-HMS Ver. 4.10

Elaboración: Propiedad de la tesis

Como se observa en la tabla de caudales máximos por cada periodo de retorno, estos valores tienen una tendencia creciente, los mismos que evidencian los posibles riesgos de inundación a las que se encuentran expuestos las localidades de la Sub Cuenca Yarinacocha.

Estos valores son considerados para el desarrollo de las simulaciones de escenarios de inundaciones en el software HEC-RAS y HEC-GeoRAS.

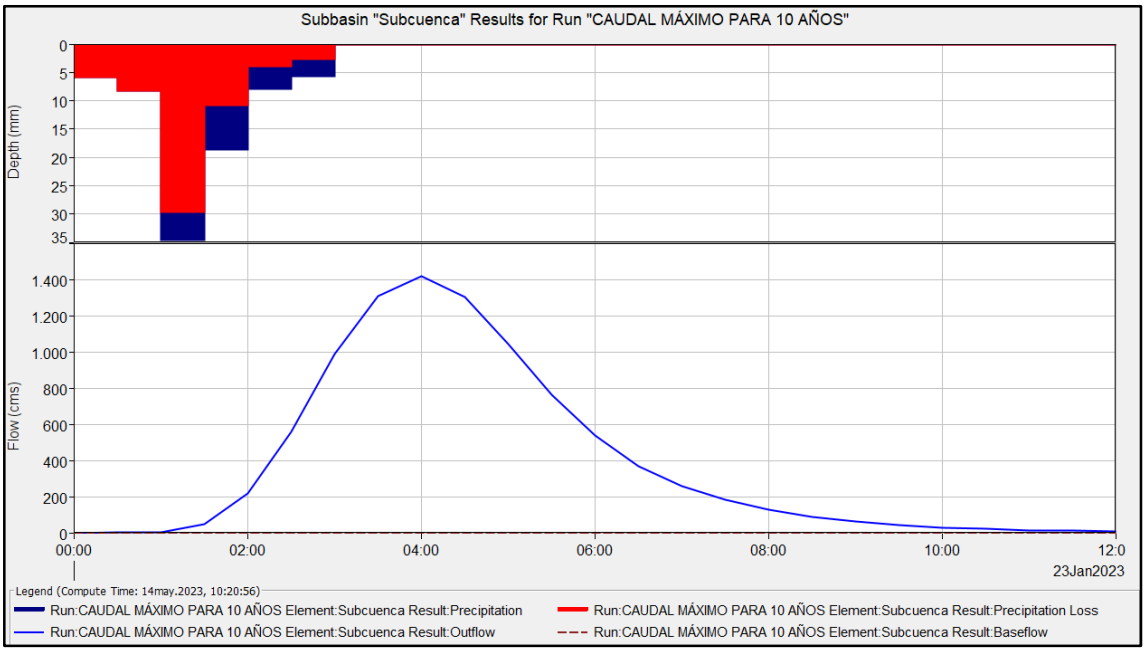
Figura 72: Caudal máximo por precipitaciones de la Sub Cuenca Yarinacocha para 5 años.



Fuente: HEC-HMS Ver. 4.10

Elaboración: Propiedad de la tesis

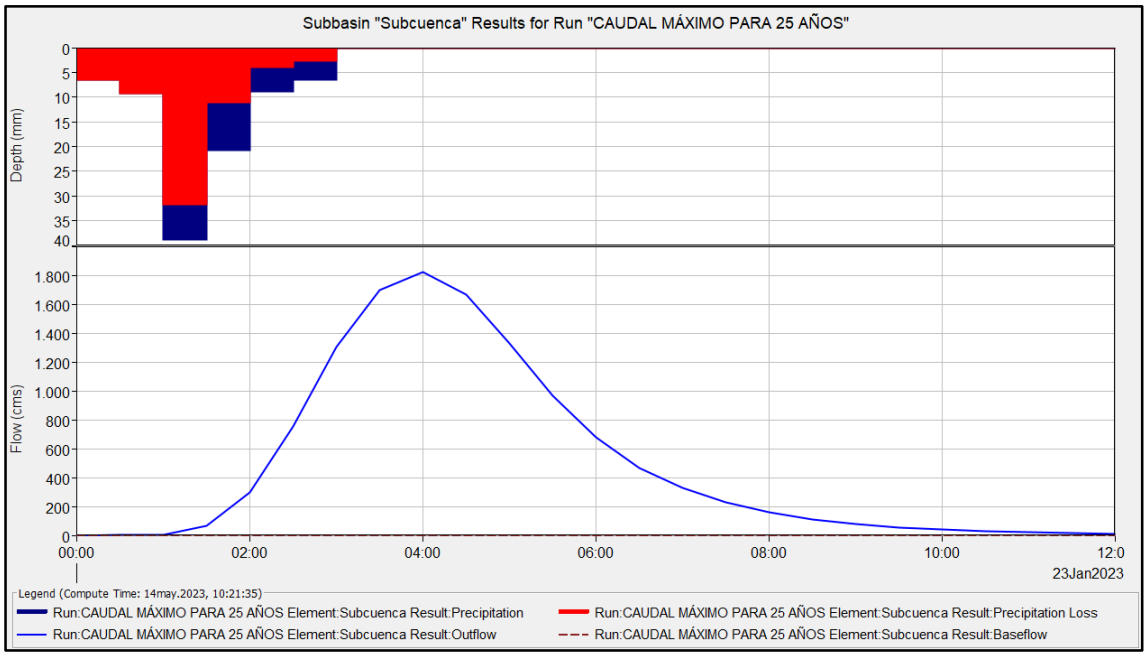
Figura 73: Caudal máximo por precipitaciones de la Sub Cuenca Yarinacocha para 10 años.



Fuente: HEC-HMS Ver. 4.10

Elaboración: Propiedad de la tesis

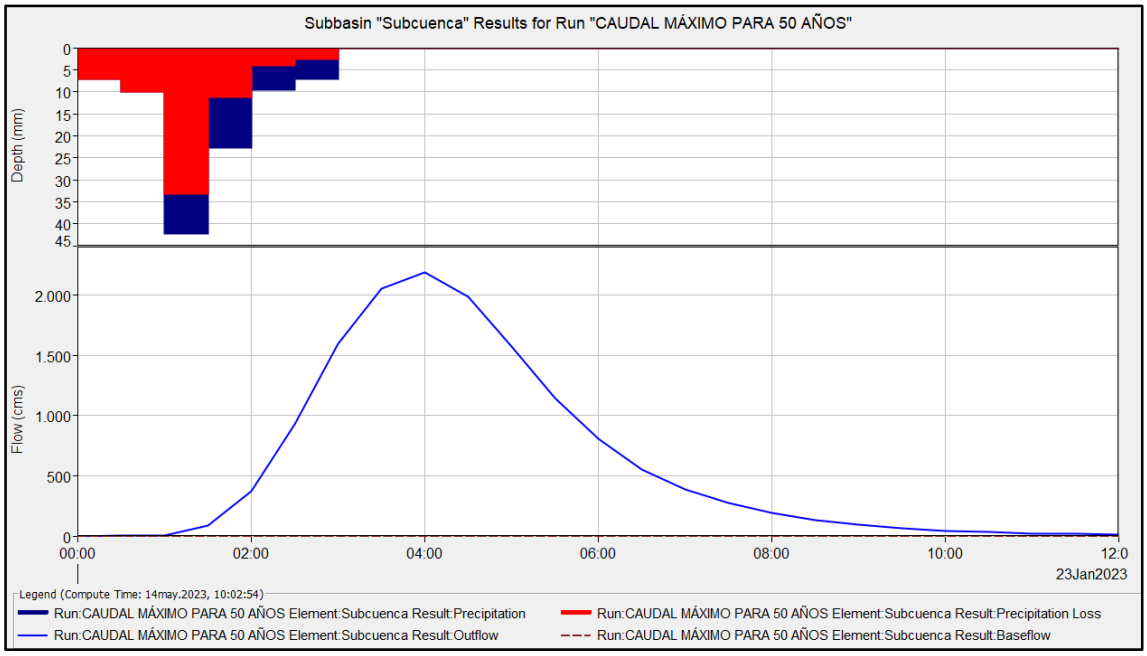
Figura 74: Caudal máximo por precipitaciones de la Sub Cuenca Yarinacocha para 25 años.



Fuente: HEC-HMS Ver. 4.10

Elaboración: Propiedad de la tesis

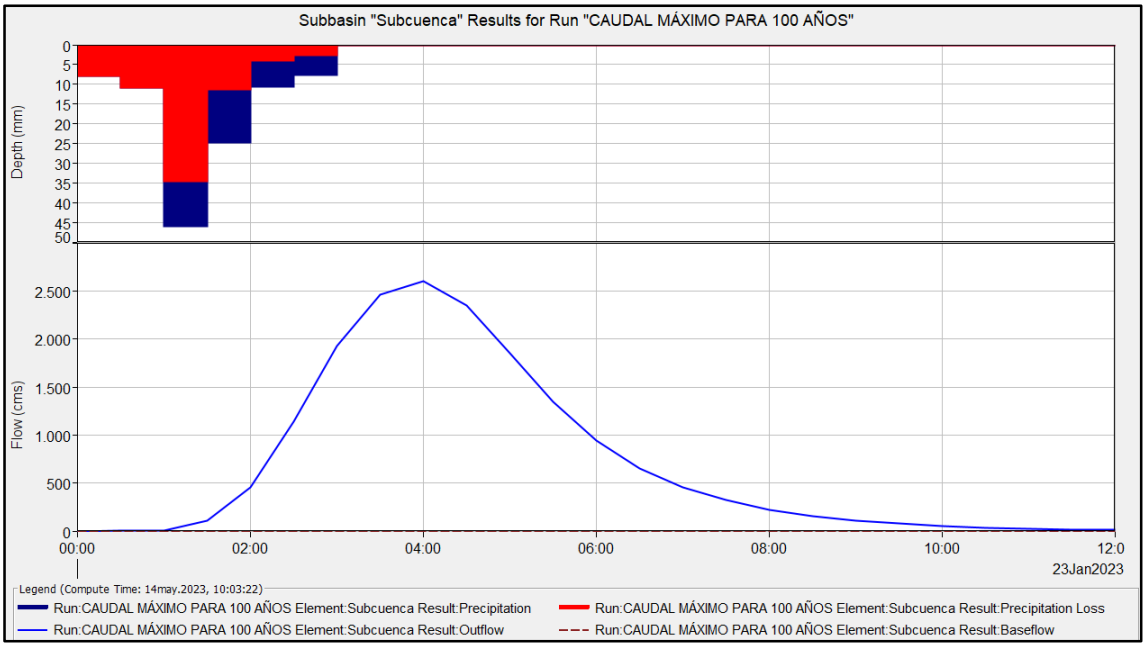
Figura 75: Caudal máximo por precipitaciones de la Sub Cuenca Yarinacocha para 50 años.



Fuente: HEC-HMS Ver. 4.10

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 76: Caudal máximo por precipitaciones de la Sub Cuenca Yarinacocha para 100 años.



Fuente: HEC-HMS Ver. 4.10

Elaboración: Propiedad de la tesis

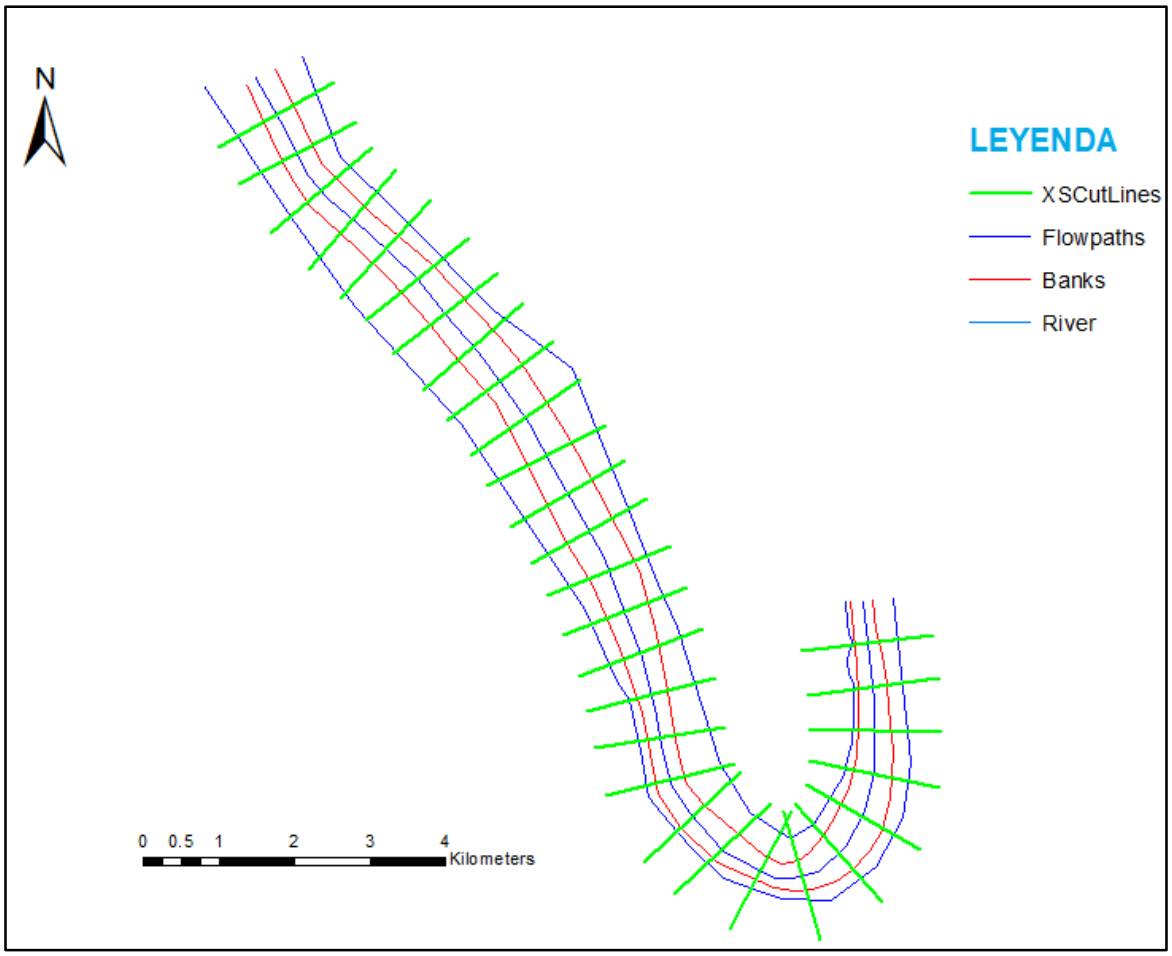
4.5. Perfiles hidráulicos de la subcuenca hidrográfica Yarinacocha

A partir de los parámetros geomorfológicos y caudales máximos de la Sub cuenca YARINACOCHA, se procedió con el desarrollo de la simulación de inundaciones de la red hídrica comprendida en el área de estudio, para ello se desarrollaron los siguientes:

4.5.1. Determinación de la geometría de los canales

En este proceso se generó en el software Arc-GIS los archivos de importación con la información geométrica de las secciones trasversales del Lago Yarinacocha, esto a partir del modelo digital del terreno en estudio.

Figura 77: Secciones transversales del Lago Yarinacocha.



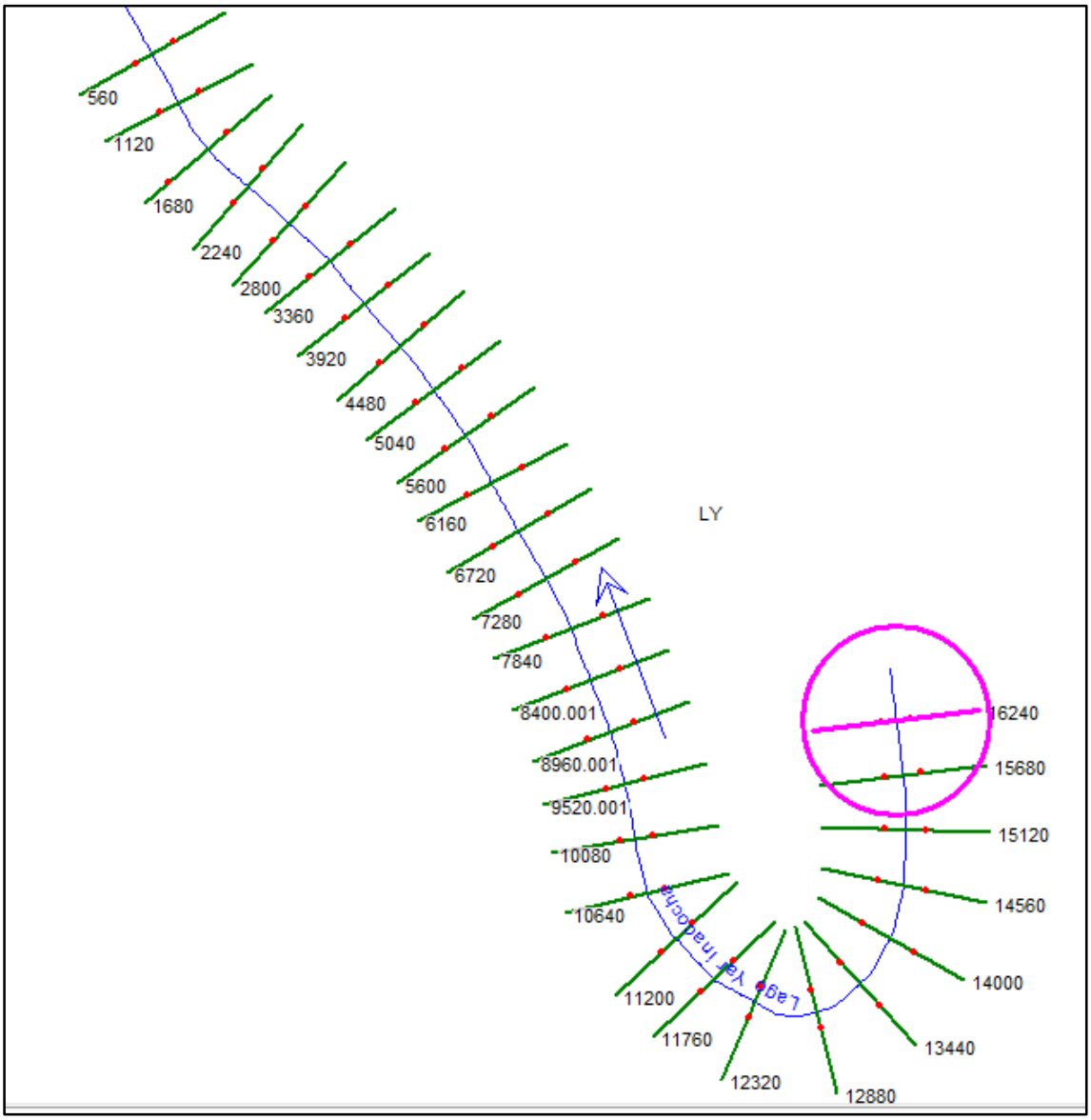
Elaboración: Propiedad de la tesis

4.5.2. Modelamiento del flujo

Con la información geométrica de las secciones trasversales, se procede con el modelado de los parámetros de flujo del Lago Yarinacocha.

- ✓ Geometría del flujo del Lago Yarinacocha

Figura 78: Geometría del flujo del Lago Yarinacocha.



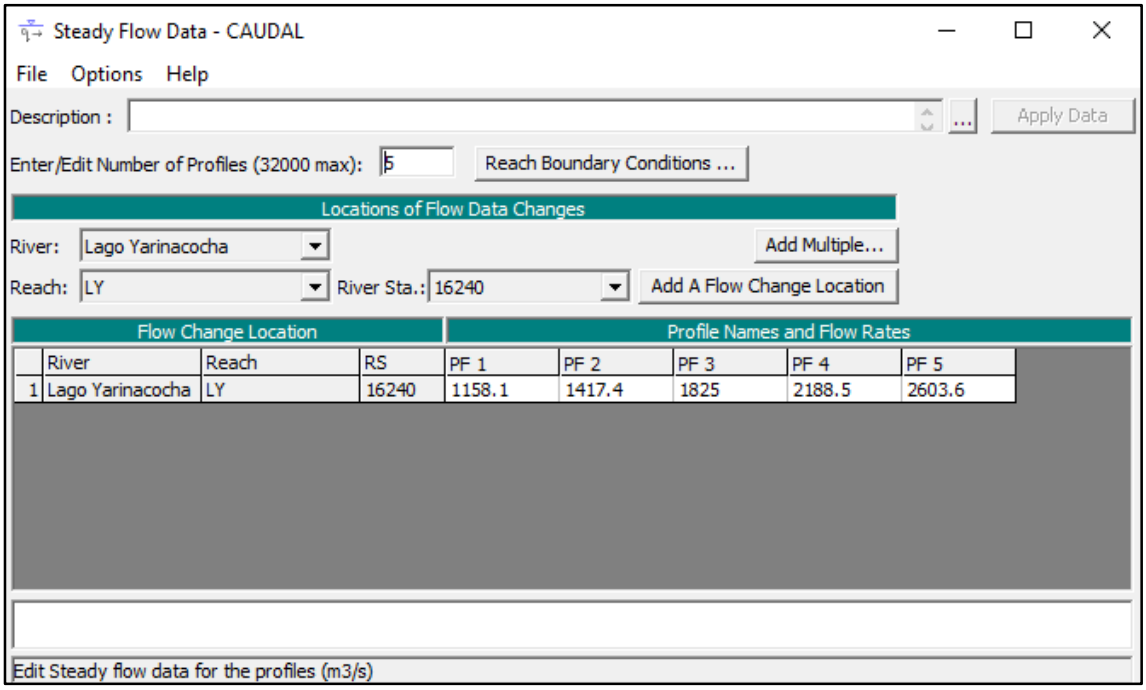
Elaboración: Propiedad de la tesis

- ✓ Parámetros del flujo del Lago Yarincocha

Continuando con el proceso, en el programa HEC-RAS. Se configuraron los parámetros del flujo, correspondientes al caudal para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años respectivamente y las

condiciones de borde (pendientes) de la superficie sobre la que se localiza el lago, según los parámetros geomorfológicos de la cuenca.

Figura 79: Caudal para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años



Elaboración: Propiedad de la tesis

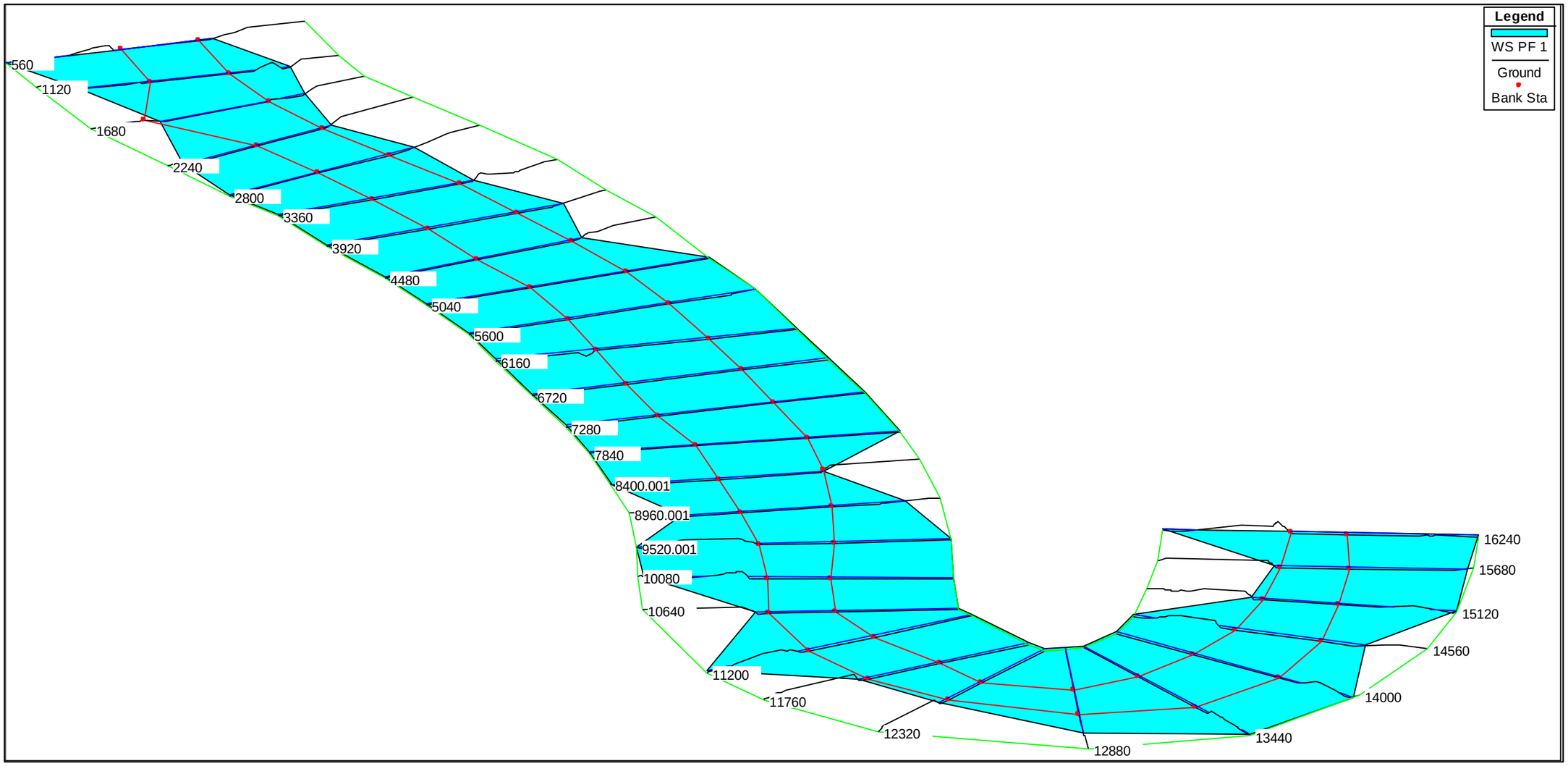
4.5.3. Simulación de inundación del Lago Yarinacocha

Finalmente se tienen los resultados de la simulación de inundación del flujo del Lago Yarinacocha en función de caudal para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años respectivamente y los parámetros geomorfológicos.

4.5.3.1. Espectros de inundación

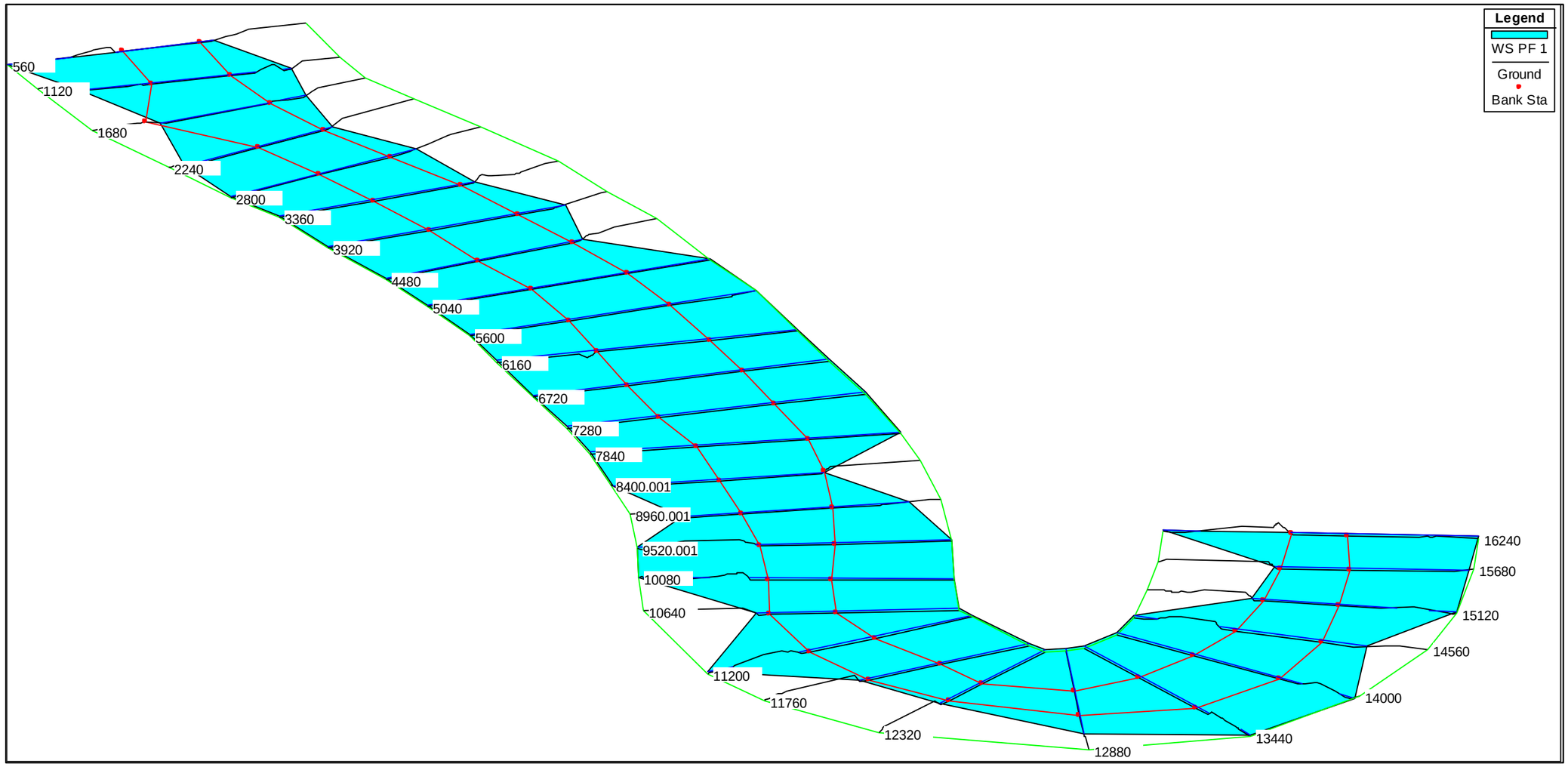
Producto de los procesos de simulación de inundación del Lago Yarinacocha, se tienen los siguientes espectros de inundación en función de los caudales determinados para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años respectivamente.

Figura 80: Espectros de Inundación para 5 años.



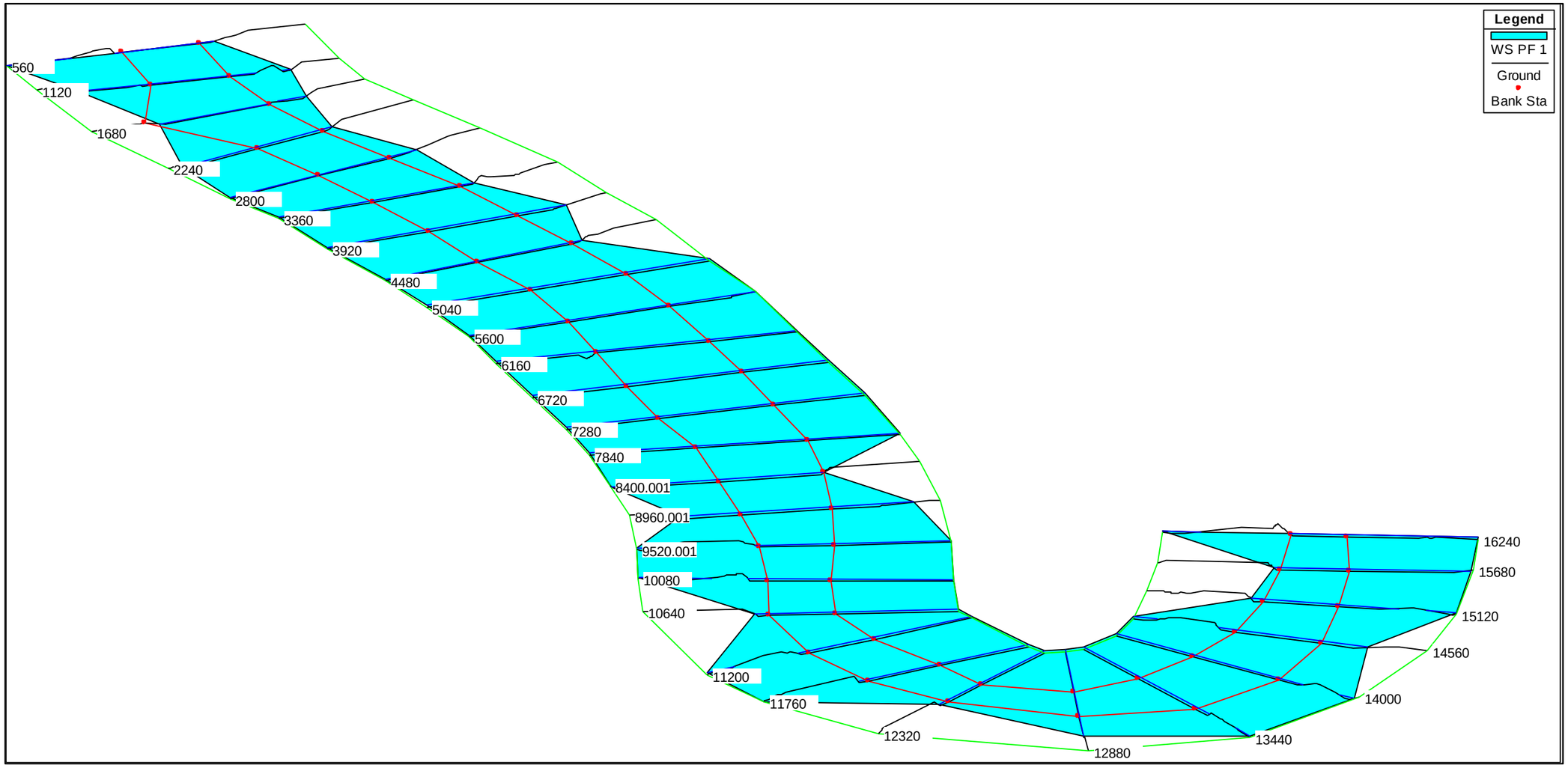
Elaboración: Software Hec RAS.

Figura 81: Espectros de Inundación para 10 años



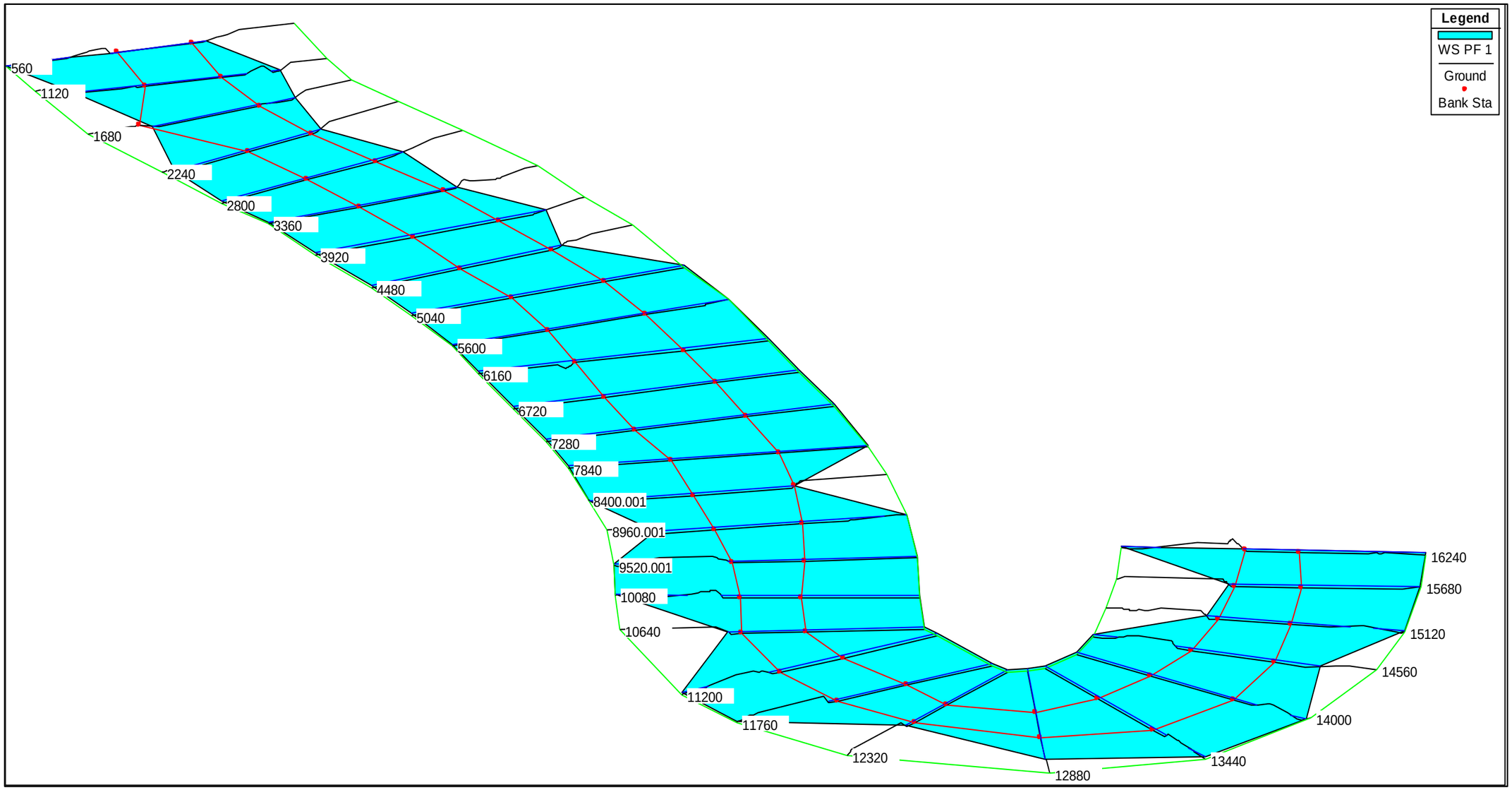
Elaboración: Software Hec RAS.

Figura 82: Espectros de Inundación para 25 años.



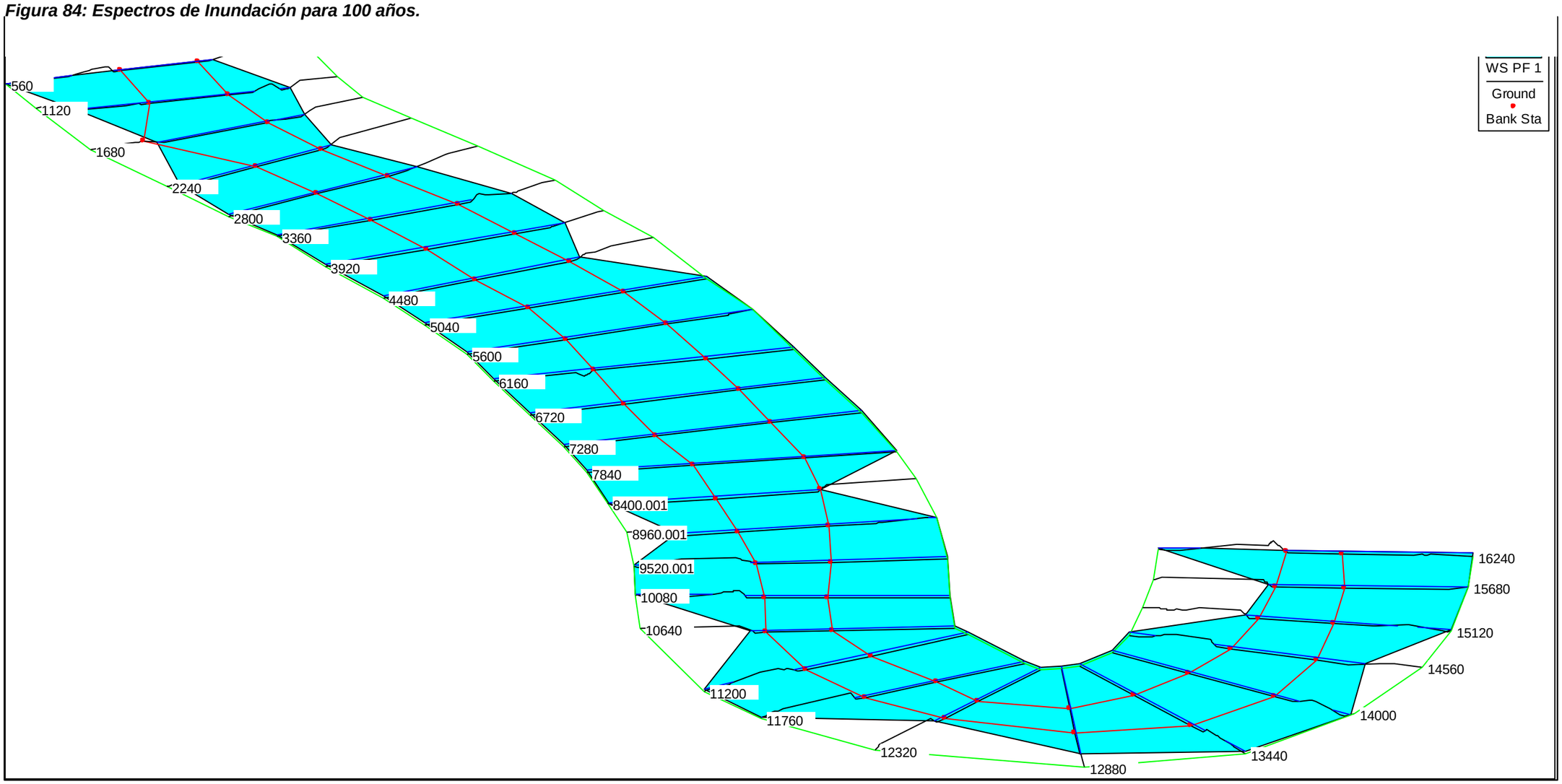
Elaboración: Software Hec RAS.

Figura 83: Espectros de Inundación para 50 años.



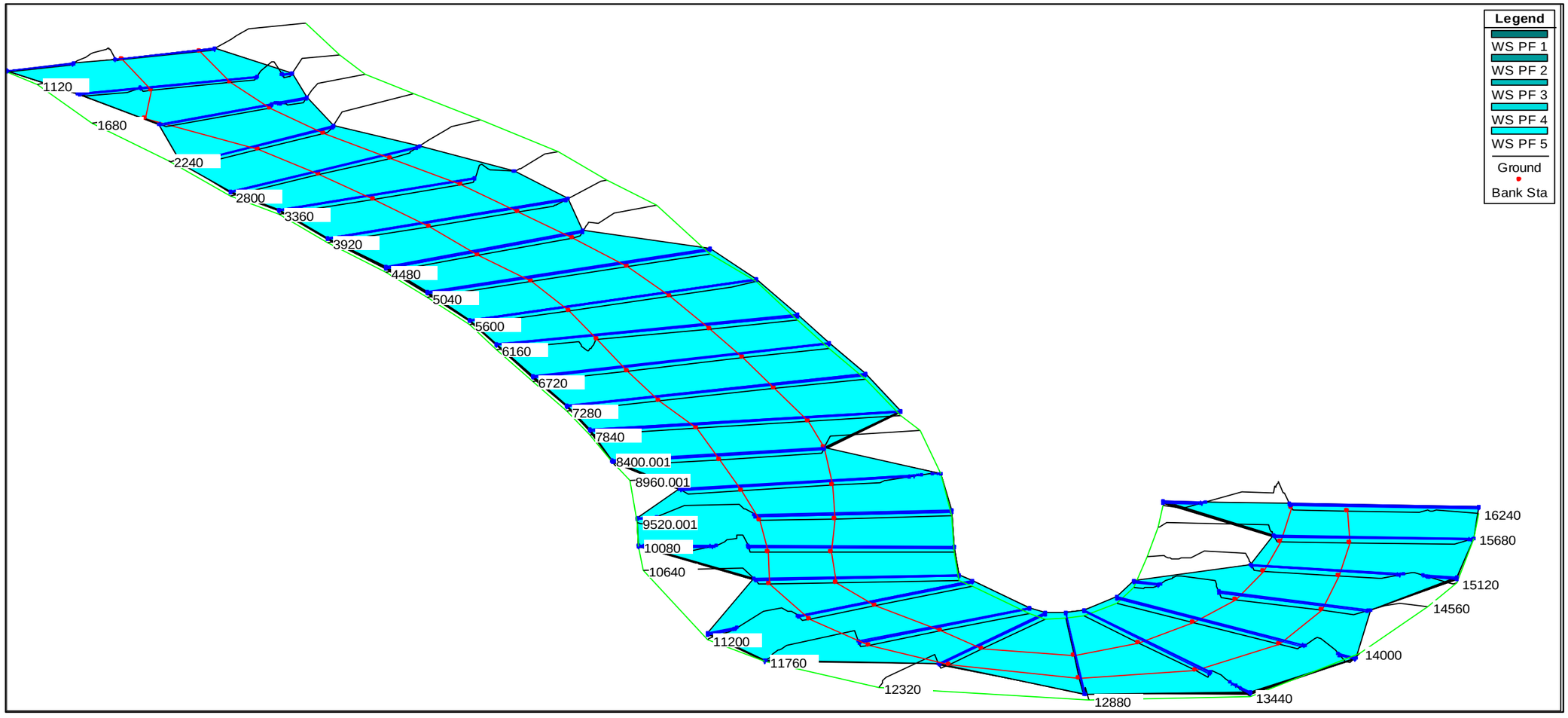
Elaboración: Software Hec RAS.

Figura 84: Espectros de Inundación para 100 años.



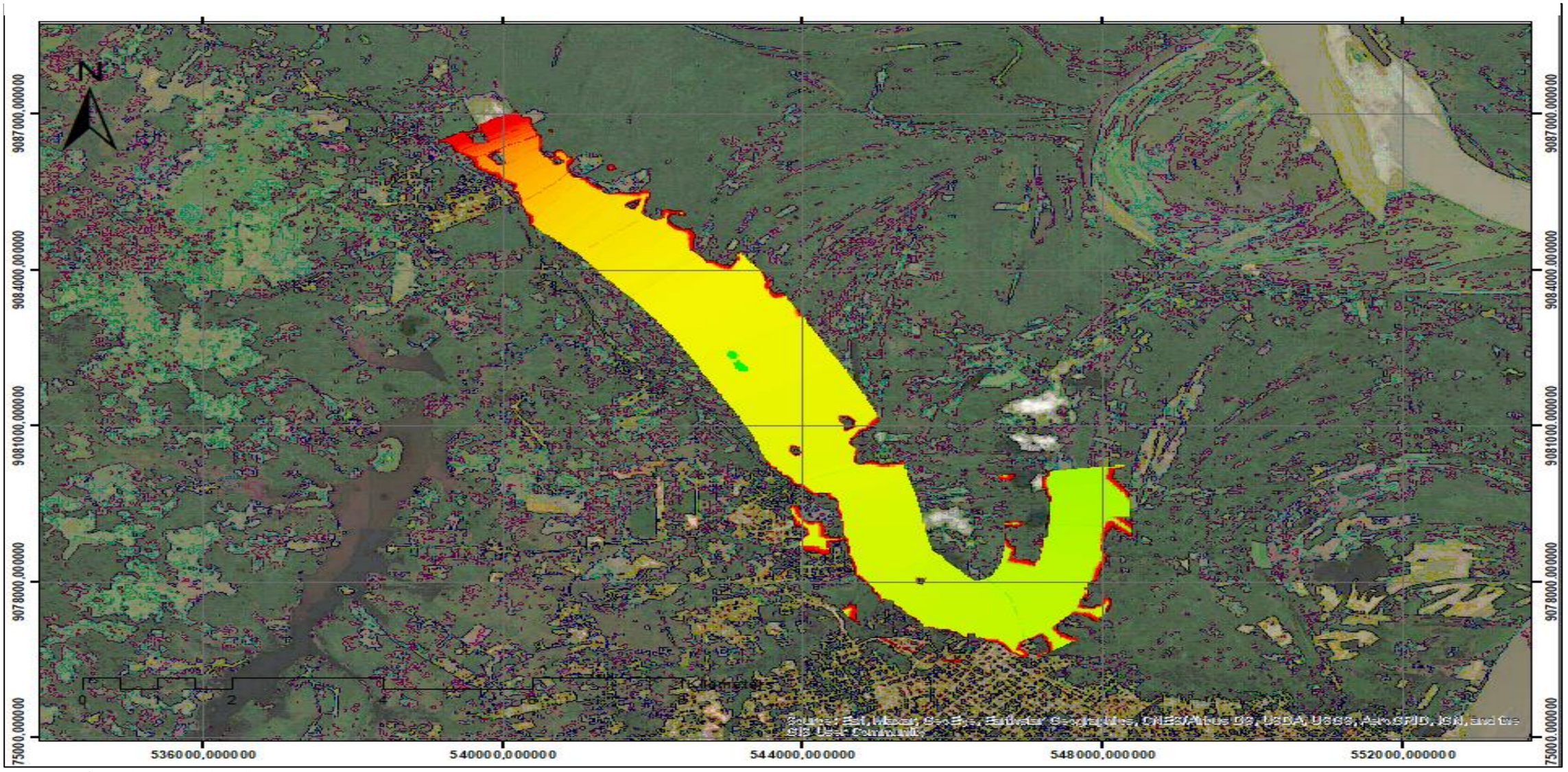
Elaboración: Software Hec RAS.

Figura 85: Espectros de Inundación para 5, 10, 25, 50 Y 100 años.



Elaboración: Software Hec RAS.

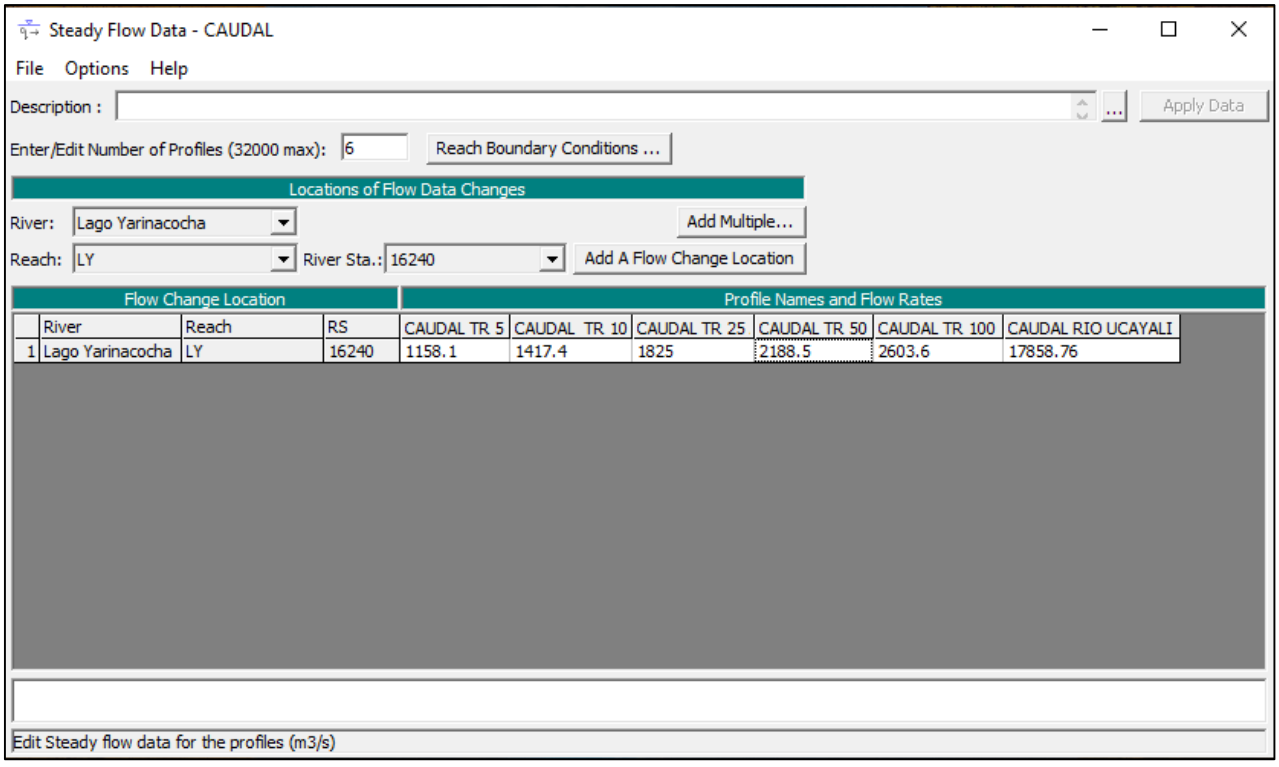
Figura 86: Modelamiento Hidrológico e Hidráulico para 5, 10, 25, 50 Y 100 años



Elaboración: Software ArcGIS 10.6.

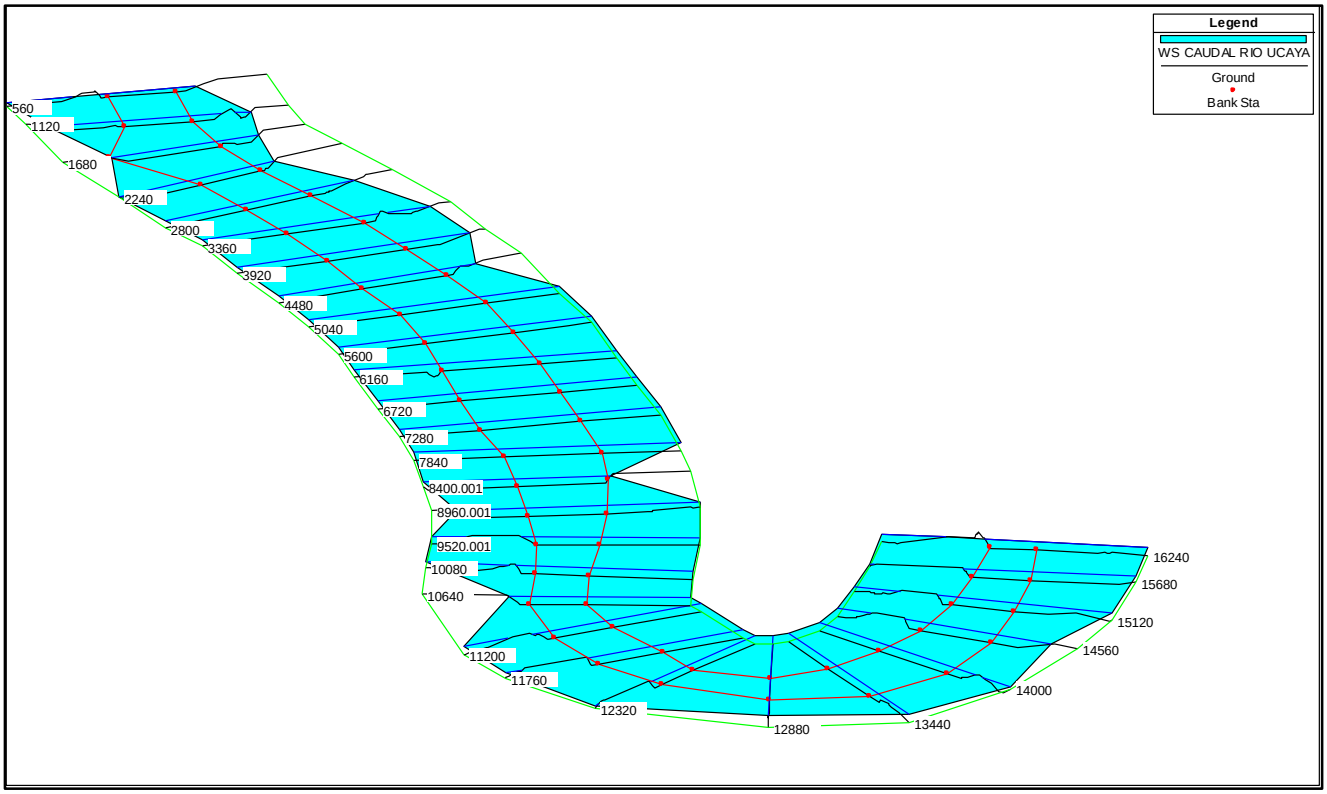
Con el propósito de enriquecer el análisis presentado en este estudio, se ha considerado la inclusión del caudal del río Ucayali, basado en los datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) en su Revista Peruana Geo-Atmosférica (2011). Aunque el enfoque principal de este trabajo se centra en el modelado de escorrentía y precipitaciones dentro de la subcuenca Yarinacocha, se reconoce que el río Ucayali puede influir en los niveles hídricos de la laguna, particularmente durante los eventos de crecidas. Este aporte, aunque no constante, ha sido incluido para proporcionar un contexto más completo sobre las variaciones que pueden presentarse en la dinámica hidrológica de la región, sin modificar la metodología y los resultados fundamentales del estudio.

Figura 87: Caudal para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años y Caudal del Rio Ucayali



Elaboración: Software Hec RAS.

Figura 88: Espectros de Inundación para Caudal Río Ucayali



Elaboración: Software Hec RAS.

En las siguientes imágenes se presenta la simulación de los niveles hídricos en la subcuenca Yarinacocha con la integración del caudal del río Ucayali, utilizando el modelo HEC-RAS.

La inclusión del caudal del río Ucayali como información complementaria en este estudio permite un entendimiento más completo de las dinámicas hidrológicas en la subcuenca Yarinacocha. Si bien este caudal no es un aporte constante, su influencia durante los eventos de crecidas puede generar variaciones significativas en los niveles de la laguna. De esta manera, se incorpora un contexto adicional que no altera el modelo hidrológico principal, centrado en la escorrentía y las precipitaciones, pero que ofrece una visión más integral del sistema hídrico en la región. La

consideración de este dato refuerza la precisión del análisis y contribuye a una mejor comprensión de las interacciones entre la laguna y los cuerpos de agua adyacentes.

4.6. Análisis e interpretación

A partir de los resultados derivados del proceso de modelamiento hidrológico e hidráulico, se han obtenido los análisis de inundaciones en la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha utilizando las herramientas HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo en el Departamento de Ucayali. Estos resultados son los siguientes:

El modelamiento hidrológico e hidráulico realizado para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años respectivamente, revela que las zonas urbanas situadas en las proximidades del flujo del Lago Yarinacocha están expuestas a un bajo riesgo de inundaciones debido al aumento del caudal del lago. Estos riesgos de inundación de bajo nivel se presentan con detalle en los espectros de inundación para cada periodo de retorno. A partir del quinto año en adelante, se observan incrementos poco significativos en el volumen de agua que se acumularía en el lago Yarinacocha, lo que resulta en inundaciones de magnitud reducida en las áreas urbanas y de cultivo de los Centros Poblados de Yarinacocha, San José de Yarinacocha, el Puerto Callao, San Pablo de Juantia y Nueva Requena.

En este escenario poco adverso, se evidencian riesgos de inundaciones de nivel bajo para estas localidades, tal como se revela en los espectros de inundación. Por lo tanto, se advierte que el desarrollo de estas zonas en expansión urbana debe tener en cuenta las características hidrológicas e hidráulicas del Lago Yarinacocha, ya que representa una amenaza de inundación para las áreas adyacentes, especialmente para las localidades mencionadas.

CAPITULO V.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de presentar los resultados de las diversas fases del estudio hidrológico e hidráulico en el sexto capítulo centrado en la Sub Cuenca Yarinacocha, procedemos a llevar a cabo una discusión de estos resultados para determinar si han sido exitosos o si, en su lugar, han arrojado conclusiones erróneas. Además, justificamos las aproximaciones, técnicas y métodos empleados, y examinamos posibles fuentes de error identificadas durante el transcurso de la investigación. Tanto los métodos de análisis hidráulico como los métodos de análisis hidrológico conforman los dos componentes principales de esta evaluación.

5.1. Discusión de los resultados del estudio hidrológico de la Sub Cuenca Yarinacocha

La fase de investigación centrada en el análisis hidrológico de la Sub Cuenca Yarinacocha comenzó con la identificación de los parámetros geomorfológicos de dicha subcuenca. Para este propósito, se llevó a cabo la caracterización de diversos parámetros geomorfológicos en la subcuenca Yarinacocha, ubicada en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo, en el Departamento de Ucayali. Los parámetros considerados para la caracterización incluyeron aspectos como el área, perímetro, longitud del cauce principal, coeficiente de compacidad, factor de forma, grado de ramificación, densidad de drenaje, altitud promedio y pendiente promedio. Estos valores fueron obtenidos a través del análisis de datos provenientes de cartas del Instituto Geográfico Nacional y de la plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center. La herramienta software ArcMap de ArcGIS versión 10.6 se utilizó para procesar esta información. El proceso comenzó con la delimitación de la cuenca de estudio mediante la asistencia de la herramienta informática ArcMap

de ArcGIS versión 10.6. A partir de este punto, se determinaron los parámetros que caracterizaban a la cuenca en análisis. Estos datos permitieron construir elementos como la Curva Hipsométrica y el Polígono de Frecuencia, y definir el orden y la red hídrica, entre otros aspectos relevantes para la caracterización hidrográfica de la cuenca. La obtención de estos parámetros geomorfológicos resultó esencial, ya que posteriormente desempeñaron un papel crucial en la simulación de los modelos hidrológicos e hidráulicos de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha.

Continuando con el análisis, para determinar las coberturas de uso del suelo en la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, se aplicó una técnica de clasificación supervisada para obtener la Curva Número. Este proceso tuvo lugar en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo, en el Departamento de Ucayali. Para llevar a cabo esta tarea, se recurrió a las hojas de la carta nacional digital desarrollada por el Instituto Geográfico Nacional a una escala de 1:100 000. Adicionalmente, se emplearon datos de la red vial proporcionados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como la información sobre la división departamental disponible en el geoservidor del Ministerio del Ambiente (MINAM). Estos recursos brindaron datos acerca de elementos como cuadrantes, ríos, islas, lagos, lagunas, cerros, áreas urbanas, polígonos urbanos, cotas, curvas de nivel y carreteras. Asimismo, se utilizó el Modelo de Elevación Digital del Terreno (GDEM, por sus siglas en inglés), generado a partir de imágenes de ASTER, y con una resolución espacial de 90 metros. Este modelo fue elaborado por el United States Geological Survey (USGS). El resultado de la aplicación de estas herramientas y datos fue la delimitación de las distintas coberturas de uso del suelo, así como la obtención del coeficiente de escorrentía (c) en la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha.

Tras obtener los parámetros geomorfológicos y delimitar las coberturas de uso del suelo y el coeficiente de escorrentía (c) en la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, se determinaron los caudales máximos para periodos de retorno (5, 10, 25, 50 y 100 años). Para ello, se utilizó un conjunto de datos históricos de precipitación máxima en intervalos de 24 horas desde 1993 hasta 2022, lo que totaliza un registro de 30 años.

Estos registros cumplieron con el criterio necesario de tener series de datos históricos de más de 20 o 30 valores para permitir la aplicación de cálculos estadísticos en hidrología. La precipitación se obtuvo de la plataforma digital del SENAMHI y provino de la estación meteorológica Pucallpa, de tipo Convencional. Los cálculos estadísticos en hidrología, específicamente el procesamiento de los registros de precipitación máxima en 24 horas, se hicieron mediante la distribución de probabilidades pluviométricas de Gumbel. Antes de someter los registros de precipitación al análisis estadístico, se aplicaron criterios para detectar y eliminar datos atípicos (outliers) según los lineamientos establecidos en "Guidelines for Determining Flood Flow Frequency," Revised Bulletin 17B of the Hydrology Committee, U.S. Water Resources Council. Esta evaluación confirmó que no había valores atípicos mínimos ni máximos en los datos históricos de precipitación, ya que todos los valores se encontraban dentro del rango aceptable. Esto indica que los registros históricos de precipitación de la estación Pucallpa no presentan sesgo y son confiables. Luego, se aplicaron pruebas de bondad de ajuste a los datos utilizando tanto el método gráfico como el método de SMIRNOV-KOLMOGOROV. Para realizar estas pruebas se utilizó la herramienta informática Hidrognomon versión 4.1.0. A partir de las cinco distribuciones a las que se ajustaron los datos en función del método de Kolmogorov-Smirnov, se decidió emplear la distribución de Gumbel, ya que fue la que mostró un mejor ajuste a la distribución de los datos históricos de precipitación máxima en la cuenca. Luego, tras aplicar la estadística de la distribución de Gumbel, se determinaron las precipitaciones máximas durante las 24 horas del día y las intensidades de lluvia a partir de las precipitaciones diarias y según duración de precipitación y frecuencia de esta.

5.2. Discusión de los resultados del estudio hidráulico Subcuenca Yarinacocha

Es importante destacar que la cuenca objeto de estudio abarca un área extensa superior a 10 km², lo cual invalidó la viabilidad de aplicar el método racional para calcular

el caudal máximo. Por lo tanto, para estimar los caudales máximos de precipitación en la Subcuenca Yarinacocha en periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, se emplearon Hietogramas y los parámetros geomorfológicos. Estos cálculos se llevaron a cabo utilizando el Sistema de Modelado Hidrológico (HEC-HMS). Con base en estos elementos, parámetros geomorfológicos, coberturas del suelo y caudales máximos para los periodos de retorno, se construyeron los perfiles hidráulicos para la subcuenca Yarinacocha. Este proceso se realizó mediante la simulación de inundaciones en la red hídrica dentro del área de estudio, aprovechando el respaldo proporcionado por las herramientas informáticas HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS. En el contexto del análisis hidrológico e hidráulico de la Subcuenca Yarinacocha, la utilización de las herramientas informáticas HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS arrojó resultados precisos y confiables que se alinearon con la situación real de la cuenca en estudio. Se concluyó que los caudales máximos en la Subcuenca Yarinacocha para los periodos de retorno analizados representan un riesgo bajo, lo que coincide con los espectros de inundación obtenidos en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo, en el Departamento de Ucayali. Además, se confirmó que los perfiles hidráulicos determinados para los mismos periodos son idóneos en esta área.

CONCLUSIONES

- Se puede afirmar que la implementación del modelado hidrológico e hidráulico en la subcuenca hidrográfica Yarinacocha fue exitosa, permitiendo un análisis optimizado de las inundaciones en la zona. Este enfoque se basó en la determinación de parámetros geomorfológicos específicos de la subcuenca, la identificación de las coberturas de uso del suelo, la estimación de caudales máximos y la elaboración de perfiles hidráulicos detallados. El proceso de modelado hidrológico e hidráulico se llevó a cabo utilizando una combinación de las herramientas informáticas HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS.
- Esta aproximación de modelamiento hidrológico e hidráulico, que se considera óptima, permitió llevar a cabo un análisis de inundaciones altamente preciso y que se apegó de manera cercana a la realidad de la subcuenca hidrográfica Yarinacocha.
- Se identificaron los parámetros geomorfológicos esenciales requeridos para la simulación de los modelos hidrológicos e hidráulicos de la subcuenca hidrográfica Yarinacocha. Estos parámetros fueron procesados utilizando el software ArcMap de ArcGIS en su versión 10.6. Como resultado, se obtuvieron los siguientes datos para la subcuenca delimitada en estudio: un área de 857.04 km², un perímetro de 230.737222 km, un ancho de 29.26 km y una longitud de 60.54493422 km. La longitud mayor del cauce principal fue de 43.06 km. Además, se calcularon otros valores como el coeficiente de compacidad (K) de 2.21, el factor de forma (F) de 0.48, el grado de ramificación y densidad de drenaje (Dd) de 0.56 u/km², y una altitud media y pendiente media de 7.41. Estos datos se obtuvieron a partir de la información proporcionada por las cartas del Instituto Geográfico Nacional y la plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center. Con estos datos se pudo elaborar la Curva Hipsométrica y el Polígono de Frecuencia, lo

que permitió caracterizar la subcuenca Yarinacocha como una cuenca curva B, lo que indica que está en equilibrio y madurez en cuanto a su desarrollo geomorfológico.

- Se determinó las coberturas de usos de suelo de la sub cuenca hidrográfica Yarinacocha, mediante una clasificación supervisada para obtener la Curva, para ello se emplearon las hojas de la carta nacional digital elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional a escala 1:100 000, información de la red vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, la información de la división departamental del geoservidor de MINAM, las cuales presentan los datos de cuadrante, ríos, islas, lagos, lagunas, cerros, áreas urbanas, polígono urbano, cotas, curvas de nivel y carreteras. Asimismo, se utilizó el GDEM (Modelo de Elevación Digital del Terreno elaborado con imágenes de ASTER) de 90 metros de resolución espacial, elaborada por United States Geological Survey (USGS). De ello se determinó que según la Clasificación Fisiográfica de la sub cuenca Yarinacocha, presenta los usos de cobertura de suelos de tipo de Áreas Pantanosas, Cultivos Permanentes Arbóreos, Áreas Pantanosas, Bosque denso alto, Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturalmente Estacionales, Bosque denso alto, Áreas Pantanosas, Ríos y Tejido Urbano Continuo. Finalizando esta etapa calculando el coeficiente de escorrentía característico de la zona entre 0.18 y 0.21, característico de áreas tipo Bosque Relieve ondulado y Bosque Relieve quebrado; obteniéndose un valor ponderado de coeficiente de escorrentía ponderado de 0.19. Se determinaron los caudales máximos de la Sub Cuenca hidrográfica Yarinacocha para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años mediante el modelamiento hidrológico de la unidad hidrográfica, a partir de la determinación de la expresión matemática característica para el Tiempo de concentración se determinó los hietogramas de precipitación de la sub cuenca Yarinacocha en función de los parámetros geomorfológicos para los periodos de estudio de 5,10,25,50,100 años respectivamente, a partir de ello mediante el apoyo el Sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS) se determinó

los caudales máximos en m3/s de 1158.1, 1417.4 ,1825.0, 2188.5 y 2603.6 respectivamente para cada periodo de retorno, con una tendencia creciente, los mismos que evidencian los posibles riesgos de inundación a las que se encuentran expuestos las localidades de la sub cuenca Yarinacocha.

- Finalizando el trabajo con la determinación de los perfiles hidráulicos para los periodos de 5,10,25,50,100 años de la sub cuenca hidrográfica Yarinacocha. A partir de los parámetros geomorfológicos y caudales máximos de la Sub cuenca, mediante el desarrollo de la simulación de inundaciones de la red hídrica comprendida en el área de estudio; se determinó la geometría del canal, el modelamiento del flujo del canal y los perfiles (espectros) hidráulicos. Concluyéndose que producto del modelamiento hidrológico e hidráulico para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años, se evidencia que las zonas urbanas localizadas colindantes al flujo del Lago Yarinacocha están sujetas a riegos bajos de inundaciones por el incremento del caudal del Lago. Estos riesgos bajos de inundación se evidencian en detalle en los espectros de inundaciones para cada periodo de retorno, teniéndose ya a partir del periodo de retorno al año 5 incrementos poco significativos del volumen de agua que se almacenara en el lago Yarinacocha, presentándose inundaciones poco significativas en las áreas urbanas y de cultivo de los Centro Poblado de Yarinacocha, San José de Yarinacocha, el Puerto Callao, San Pablo de Juantia y Nueva Requena.

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS

- Finalmente, producto del proceso de modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis óptimo de inundaciones de la sub cuenca hidrográfica Yarinacocha utilizando HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS en el distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo del departamento de Ucayali: se desprenden las siguientes recomendaciones: para cada etapa del modelamiento hidrológico e hidráulico de cuna cuenca se diseñaron formatos optimizados de hojas de cálculo en Excel que a partir de los datos de ingreso se obtienen resultados automatizados, por ende, se recomienda a los interesados solicitarlos para estudios similares.
- Para determinar los parámetros geomorfológicos indispensables para simular modelos hidrológicos e hidráulico de una cuenca hidrográfica, partir de la caracterización de los parámetros geomorfológicos de la cuenca, tales como: área, perímetro, longitud mayor del cauce principal, coeficiente de compacidad, factor de forma, grado de ramificación y densidad de drenaje, altitud media y pendiente media; mediante la información de las cartas digitales puestas a disposición por el Instituto Geográfico Nacional y de la plataforma satelital Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center, las cuales tienen que ser procesados con el software ArcMap de ArcGis versión 10.6 u otra herramienta informática según amerita el estudio. Durante el desarrollo de la investigación se diseñaron formatos optimizados de hojas de cálculo en Excel que a partir de los datos obtenidos del presamente en ArcGis se obtienen resultados automatizados, por ende, se recomienda a los interesados solicitarlos para estudios similares.
- Para llevar a cabo la determinación de las coberturas de uso del suelo en una cuenca hidrográfica y obtener la Curva Número, se empleó un proceso de clasificación supervisada. Esta metodología involucró la utilización de las hojas de la carta nacional digital desarrolladas por el Instituto Geográfico Nacional a una

escala de 1:100,000. Además, se recurrió a datos relacionados con la red vial suministrados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como información de la división departamental obtenida del geoservidor del MINAM. Estos datos proporcionaron detalles como cuadrantes, cursos de agua, islas, lagos, lagunas, elevaciones de terreno, zonas urbanas, polígonos urbanos, cotas, curvas de nivel y carreteras. En este proceso también se utilizó el GDEM (Modelo de Elevación Digital del Terreno), que fue elaborado mediante imágenes de ASTER y tiene una resolución espacial de 90 metros. Esta información fue proporcionada por United States Geological Survey (USGS).

- Para determinar los caudales máximos de una cuenca hidrográfica cuyas áreas superan los 10 Km^2 de extensión, como lo fue en el caso de estudio de la Sub Cuenca hidrográfica Yarinacocha, trabajar en función de los Hietogramas de precipitación obteniéndose a partir de la expresión característica de intensidad de precipitación y los parámetros geomorfológicos para periodos retorno de estudio de como los de 5,10,25,50,100 años respectivamente mediante el apoyo el Sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS).
- Para determinar los perfiles hidráulicos para los periodos 5,10,25,50,100 años respectivamente de una cuenca en estudio, trabajar en función de los parámetros geomorfológicos y caudales máximos de la cuenca; cuyo proceso de simulación de inundaciones de la red hídrica comprendida en el área de estudio comprende la determinación de la geometría de los canales, modelamiento del flujo y finalizando con la obtención de los espectros de inundaciones para cada periodo de retorno en estudio mediante la simulación de la cuenca utilizando las herramientas informáticas HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS.
- Se sugiere que investigaciones futuras incluyan un análisis detallado de la interacción entre el lago Yarinacocha y el río Ucayali dentro del modelado hidrológico e hidráulico. Este enfoque contribuiría a una simulación más precisa de

los escenarios de inundación, optimizando la exactitud de las predicciones y las estrategias de mitigación.

- Se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales para evaluar cómo los niveles de inundación simulados podrían afectar las infraestructuras existentes, en particular las viviendas y otras edificaciones importantes en la región. Este análisis debe incluir la identificación de áreas de alto riesgo y una evaluación de la vulnerabilidad de las comunidades, ofreciendo así datos clave para la planificación urbana y la gestión del riesgo de desastres.
- Se recomienda que las futuras investigaciones se centren en identificar los niveles de inundación correspondientes a distintos periodos de retorno y su repercusión en la cuenca de Yarinacocha. También sería útil diseñar y sugerir medidas de mitigación específicas, como el refuerzo de infraestructuras protectoras, la reubicación de viviendas en áreas de riesgo, y la creación de planes de evacuación y respuesta ante emergencias.
- Finalmente, se sugiere que los resultados de futuras investigaciones se apliquen en la formulación de políticas públicas y planes de acción que beneficien a las comunidades locales. Esto garantizaría que el modelado hidrológico e hidráulico no se quede solo en el ámbito teórico, sino que se convierta en una herramienta práctica para la gestión territorial y la protección de la población ante inundaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaya, B., & Estupiñan, M. (2021). Estudio de inundación en el Río Apulo en el sector de San Antonio en el municipio de Anapoima, Cundinamarca, mediante un modelo hidráulico-hidrológico en el software HEC-RAS. Universidad Católica de Colombia. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/26380

Béjar, M. V. (2022). Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=_Hw1EQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=conceptos+basicos+de+hidrologia&ots=kNV3-BQAXU&sig=-rij0N1AM2IO9tDp8urn9fGuPns&redir_esc=y#v=onepage&q=conceptos%20basicos%20de%20hidrologia&f=false

Belén, J. (2019). Identificación y análisis de áreas inundables a partir de una metodología de integración de escalas espaciales. Caso de Estudio: La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Bladés, M., & López, J. (2020). Análisis hidrológico e hidráulico del potencial de inundación. Ingeniería y sus alcances. Obtenido de https://revistaingenieria.org/index.php/revistaingenieria/article/view/67/130

Bocanegra, M. (2021). Modelación hidrológica e hidráulica del Río Acaponeta, Nayarit, México. Universidad Autónoma Chapingo. Obtenido de https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/f7140c60-5e89-417e-8889-5bccd1a27e16

Bolivar, G. (2020). Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del Río Marañon sector Puente Tingo Chico. Carretera Huánuco - Conococha. Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4521

Carpio, A. (2018). Generación del modelo de áreas de inundación del Río Catarama mediante el uso de los softwares HEC - RAS y ARC-GIS: Universidad de Guayaquil. Obtenido de

http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/32242/1/TESINA%20GENERACI%c3%93N%20DE%20AREAS%20DE%20INUNDACI%c3%93N%20DEL%20R%c3%8dO%20CATARAMA.pdf

Cartaya, S., & Mantuano, R. (2017). Identificación de zonas en riesgo de inundación mediante la simulación hidráulica en un segmento del Río Pescadillo, Manabí, Ecuador. . Obtenido de Identificación de zonas en riesgo de inundación mediante la simulación hidráulica en un segmento del Río Pescadillo, Manabí, Ecuador

Condezo, E., & Reshea, J. (2019). Propuesta de un diseño hidráulico para la evacuación pluvial del Jirón Putumayo cuadras 15 a 18 - Iquitos 2019. Universidad Cientifica del Perú. Obtenido de http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1226/CONDEZO%20CONTRERAS%20ERASMO%20ALCIDES%20Y%20RESHEA%20GUERRA%20JULIO%20CESAR%20-%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Dombeck, M. (2018). El agua. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Obtenido de https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5338930.pdf

Duque, P., Patiño, D., & López, X. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. Información Tecnológica. Obtenido de http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600351

Evar, S. (2019). Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y departamento Lambayeque. EVAR. Obtenido de https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/6433

Gamez Morales, W. R. (2010). Texto básico de hidrología. Obtenido de https://repositorio.una.edu.ni/2464/1/np10g192.pdf

Gerardo, H., Scuderi, P., Zimmermann, E., & Trivisonno, F. (2013). Aplicación de un modelo hidrológico-hidráulico para el pronóstico de niveles de agua en tiempo real. Obtenido de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000100004

Gob. (2017). Servicio Geológico Mexicano. ¿Qué es la Geofísica? Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157796/Que-es-la-Geofisica.pdf

Gómez, N., & Monge, K. (2019). Diseño de obras de mitigación y encauzamiento mediante modelaciones hidráulicas e hidrológicas para disminuir la condición por vulnerabilidad de inundaciones en un tramo de 3 km de río comprendido en la cuenca media baja del Río Corredor. Tecnológico .Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11295

Guzmán, M. (2021). Simulación hidráulica del río Las Vacas utilizando el software HEC ras, en un tramo de la colonia Santa Luisa, municipio de Chinautla, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de http://www.repositorio.usac.edu.gt/15941/1/Milton%20Candelario%20Guzm%C3%A1n%20Mej%C3%ADa.pdf

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Hidrología. (2020). Hietograma a partir de curvas IDF. Ingeniería Hidráulica . Obtenido de https://www.hidraulicautiling.com/2020/04/como-obtener-curvas-idf-y-el-hietograma.html

Janampa, C. (2022). Estudio Hidrológico e Hidráulico para la Protección Frente a Inundaciones y Socavación del Rio Ccollaymayu, Luis Carranza, La Mar, Ayacucho. Universidad Peruana los Andes. Obtenido de http://www.repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/4118

Lavado Casimiro, W. S., Labat, D., Guyot, J. L., Ardoin-Bardin, S., & Ordoñez, J. J. (2011). Modelos de balance hídrico mensual en la cuenca hidrográfica del Amazonas en Perú: Cuenca del río Ucayali. *Revista Peruana Geo-Atmosférica (RPGA), 3*, 82-94. Recuperado de http://www.senamhi.gob.pe/rpga

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de hidrologia, hidráulica y drenaje. Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/970.pdf

Muñoz, H., & Quinde, F. (2021). Modelamiento hidrológico e hidráulico de la Quebrada San Idelfonso para localizar áreas de inundación en Trujillo utilizando HEC-HMS y HEC-RAS. Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/85049/Mu%c3%b1oz_RHE-Quinde_CFE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ordoñez, J. (2012). Ciclo hidrológico. Sociedad Geográfica de Lima. Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf

Orduz, S. (2022). El modelo IBER como herramienta en el análisis de casos de riesgo por inundación. Universidad Santo Tomás de Tunja. Obtenido de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/42754/2022sandraorduz1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Orellana, R. (2021). Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS. Pontifica Universidad Católica del Perú. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18304/ORELLANA_CABELLO_RODRIGO_MODELAMIENTO_HIDROLOGICO_HIDRAULICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Oyola, A., & Medina, O. (2019). Estimación de caudales máximos con fines de prevención de inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC-RAS, caso Rio Zarumilla - 2018. Universidad Nacional de Tumbes . Obtenido de http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/1057/TESIS%20-%20OYOLA%20Y%20MEDINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, H. (2012). Inundaciones en zonas urbanas. Medidas preventivas y correctivas, acciones estructurales y no estructurales. Universidad Autónoma de México.

Rojas, A. (2019). Simulación hidráulica e hidrológica del rio Chaupihuaranga con el fin de reducir la vulnerabilidad ante máximas avenidas en 2.5 km. del casco urbano del Distrito de Yanahuanca – Pasco.. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Obtenido de https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6063

Rosales, M. (2021). Modelación hidrológica e hidráulica para la identificación de zonas inundables en un tramo del Río Sardinal, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica. Universidad Nacional Sede Chorotega Campus Liberia. Obtenido de https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/21654/MODELACI%c3%93N%20HIDROL%c3%93GICA%20E%20HIDR%c3%81ULICA%20PARA%20LA%20IDENTIFICACI%c3%93N%20DE%20ZONAS%20INUNDABLES%20EN%20UN%20TRAMO%20DEL%20R%c3%8dO%20SARDINAL%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ruiz, R., & Torres, H. (2008). Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas: Caso América del Sur. *UICN Sur, Quito*. Obtenido de: https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/556.pdf

Salazar, C., Hallack, M., Mungaray, A., Lomelí, M., Lambraño, A., & Peredia, A. (2018). Modelación hidrológica e hidráulica de un río intraurbano en una cuenca transfronteriza con el apoyo del análisis regional de frecuencias. Tecnología y ciencias del agua. Obtenido de https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-03

Sequeiros, M., & Farfan, S. (2019). Evaluación hidrológico e hidráulico con el modelo Iber para determinar el riesgo por inundación en la población ribereña al rio Qochoq, provincia Calca - región Cusco 2017. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Obtenido de http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4470

Tineo, M. (2021). Análisis de vulnerabilidad por inundaciones fluviales en viviendas autoconstruidas en Junta Vecinal Barrio Unido, Padre Abad - Ucayali. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/81346

Villalobos, P. (2021). Estudio de inundación por efectos del desorbe del Rio Amojú, aplicando los modelos matemáticos HEC-RAS y HEC-HMS en la ciudad de Jaén, Distrito de Jaén Provincia de Jaén, Departamento de Cajamarca. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Obtenido de https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/4312.

ANEXOS

ANEXO Nº 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES DE LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA YARINACOCHA UTILIZANDO HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS EN EL DISTRITO DE YARINACOCHA, PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO DEL DEPARTAMENTO DE UCAYALI

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables, Dimensiones, Indicadores	Técnica de Recolección de Datos
Problema general ¿El modelamiento hidrológico e Hidráulico utilizando HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS permite el análisis óptimo de inundaciones de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali?	**Objetivo general** Determinar el modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis óptimo de inundaciones de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha utilizando HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali	**Hipótesis general** El modelamiento hidrológico e hidráulico permitirá el análisis óptimo de inundaciones de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha utilizando HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali	**Variable independiente** Modelamiento hidrológico e Hidráulico utilizando HEC-HMS, HEC-GeoRAS y HEC-RAS	Observación y Recopilación Documental
Problemas específicos 1. ¿Cuáles son los parámetros geomorfológicos indispensables para simular modelos hidrológicos e hidráulico de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali? 2. ¿Cuál es la delimitación de las coberturas de usos de suelo de la unidad hidrográfica de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, mediante una clasificación supervisada para obtener la Curva Número en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali?	**Objetivos específicos** 1. Determinar los parámetros geomorfológicos indispensables para simular modelos hidrológicos e hidráulico de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali. 2. Determinar las coberturas de usos de suelo de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, mediante una clasificación supervisada para obtener la Curva Número en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.	**Hipótesis especificas** 1. Los parámetros geomorfológicos indispensables permiten simular los modelos hidrológicos e hidráulico de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali. 2. Se lograrán delimitar las coberturas de usos de suelo de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, mediante una clasificación supervisada para obtener la Curva Número en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.	Precipitación Estudio topográfico Características hidrológico Parámetros hidráulicos	

3. ¿Cuáles son los caudales máximos de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años mediante el modelamiento hidrológico de la unidad hidrográfica en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali?	3. Determinar los caudales máximos de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años mediante el modelamiento hidrológico de la unidad hidrográfica en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.	3. Los caudales máximos de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha para los periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años mediante el modelamiento hidrológico de la unidad hidrográfica, no representan riesgos en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.
4. ¿Cuáles son los perfiles hidráulicos para los periodos 5,10,25,50,100 años de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali?	4. Determinar los perfiles hidráulicos para los periodos 5,10,25,50,100 años de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.	4.Los perfiles hidráulicos para los periodos 5,10,25,50,100 años de la Subcuenca hidrográfica Yarinacocha, son óptimos en el Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali.

Elaboración: Propiedad de la tesis

ANEXO 2: Expresión matemática de intensidad para la zona en estudio

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

Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)

T = Periodo de Retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

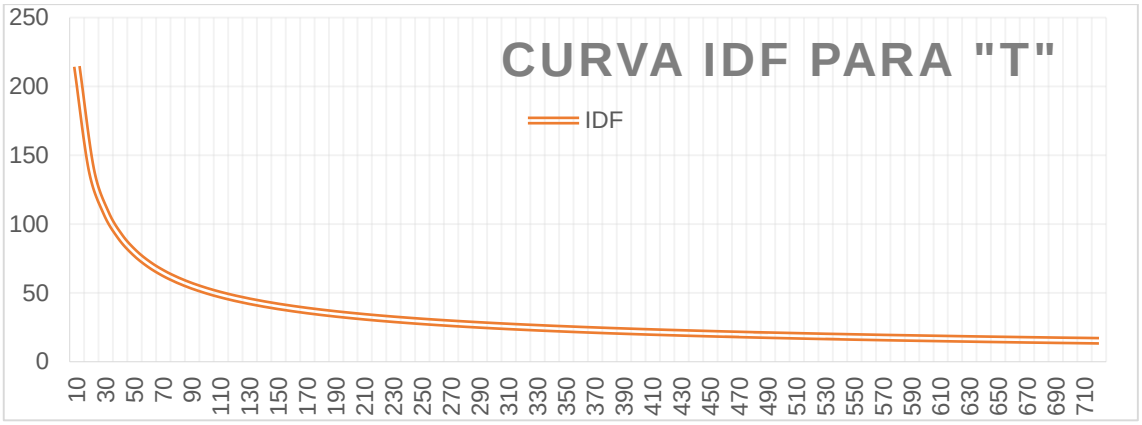
Fuente: Manejo de Cuencas Hidrograficas. (n.d.). (n.p.): Bib. Orton IICA / CATIE.

Anexo 3: Tormenta de diseño para la zona en estudio para diferentes periodos de retorno "T"

T de retorno (años)	Duración de Tormenta (h)	2	720 min	Intesidad de lluvia (mm/h)	.341

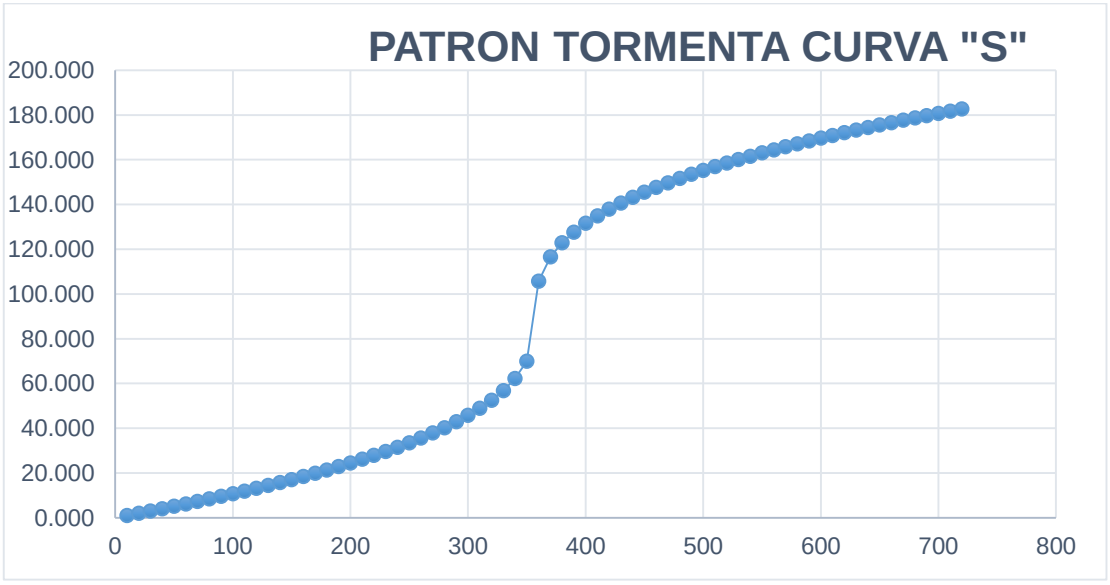
P	:	Interval	:
24 hr (mm)	12.09	o de t (min)	0

Figura 89: Curvas IDF para "T"



Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 90: Patrón Tormenta Curva "S"



Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 58
Parámetros de precipitación

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	P.acumulada (mm)	∆P (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	InPa Alternada (mm)	P. Acum (mm)
10	131.617	21.936	21.936	131.617	0.602	3.61	0.602
20	85.723	28.574	6.638	39.83	0.612	3.674	1.214
30	66.707	33.354	4.779	28.675	0.624	3.742	1.838
40	55.833	37.222	3.868	23.209	0.636	3.814	2.473
50	48.634	40.528	3.307	19.84	0.648	3.889	3.122
60	43.447	43.447	2.919	17.512	0.661	3.968	3.783
70	39.496	46.078	2.631	15.787	0.675	4.051	4.458
80	36.364	48.486	2.408	14.446	0.69	4.139	5.148
90	33.809	50.714	2.228	13.367	0.705	4.233	5.853
100	31.676	52.793	2.08	12.477	0.722	4.332	6.575
110	29.862	54.748	1.955	11.727	0.74	4.437	7.315
120	28.298	56.595	1.847	11.085	0.758	4.549	8.073
130	26.931	58.35	1.754	10.527	0.778	4.669	8.851
140	25.724	60.023	1.673	10.037	0.8	4.798	9.651
150	24.649	61.623	1.6	9.603	0.823	4.937	10.474
160	23.685	63.159	1.536	9.215	0.848	5.086	11.321
170	22.813	64.636	1.477	8.865	0.875	5.248	12.196
180	22.02	66.061	1.425	8.548	0.904	5.424	13.1
190	21.296	67.437	1.376	8.259	0.936	5.616	14.036
200	20.631	68.77	1.332	7.994	0.971	5.828	15.008
210	20.018	70.061	1.292	7.751	1.01	6.061	16.018
220	19.45	71.316	1.254	7.525	1.054	6.321	17.071
230	18.922	72.535	1.219	7.317	1.102	6.612	18.173
240	18.431	73.722	1.187	7.122	1.157	6.941	19.33
250	17.971	74.879	1.157	6.941	1.219	7.317	20.55
260	17.54	76.008	1.129	6.771	1.292	7.751	21.841
270	17.135	77.11	1.102	6.612	1.376	8.259	23.218
280	16.754	78.187	1.077	6.462	1.477	8.865	24.695
290	16.395	79.24	1.054	6.321	1.6	9.603	26.296
300	16.054	80.272	1.031	6.188	1.754	10.527	28.05
310	15.732	81.282	1.01	6.061	1.955	11.727	30.005
320	15.426	82.272	0.99	5.942	2.228	13.367	32.233
330	15.135	83.243	0.971	5.828	2.631	15.787	34.864
340	14.858	84.197	0.953	5.72	3.307	19.84	38.17
350	14.594	85.133	0.936	5.616	4.779	28.675	42.95
360	14.342	86.052	0.92	5.518	21.936	131.617	64.886
370	14.101	86.956	0.904	5.424	6.638	39.83	71.524
380	13.87	87.845	0.889	5.334	3.868	23.209	75.392
390	13.649	88.72	0.875	5.248	2.919	17.512	78.311
400	13.437	89.581	0.861	5.165	2.408	14.446	80.719
410	13.233	90.429	0.848	5.086	2.08	12.477	82.798
420	13.038	91.264	0.835	5.01	1.847	11.085	84.646
430	12.849	92.086	0.823	4.937	1.673	10.037	86.318
440	12.668	92.897	0.811	4.866	1.536	9.215	87.854
450	12.493	93.697	0.8	4.798	1.425	8.548	89.279
460	12.324	94.486	0.789	4.733	1.332	7.994	90.611
470	12.161	95.264	0.778	4.669	1.254	7.525	91.865
480	12.004	96.032	0.768	4.608	1.187	7.122	93.052
490	11.852	96.79	0.758	4.549	1.129	6.771	94.181
500	11.705	97.539	0.749	4.492	1.077	6.462	95.258
510	11.562	98.279	0.74	4.437	1.031	6.188	96.289
520	11.424	99.009	0.731	4.384	0.99	5.942	97.28
530	11.29	99.731	0.722	4.332	0.953	5.72	98.233
540	11.161	100.445	0.714	4.281	0.92	5.518	99.153
550	11.035	101.15	0.705	4.233	0.889	5.334	100.042
560	10.912	101.848	0.698	4.185	0.861	5.165	100.902
570	10.793	102.538	0.69	4.139	0.835	5.01	101.737

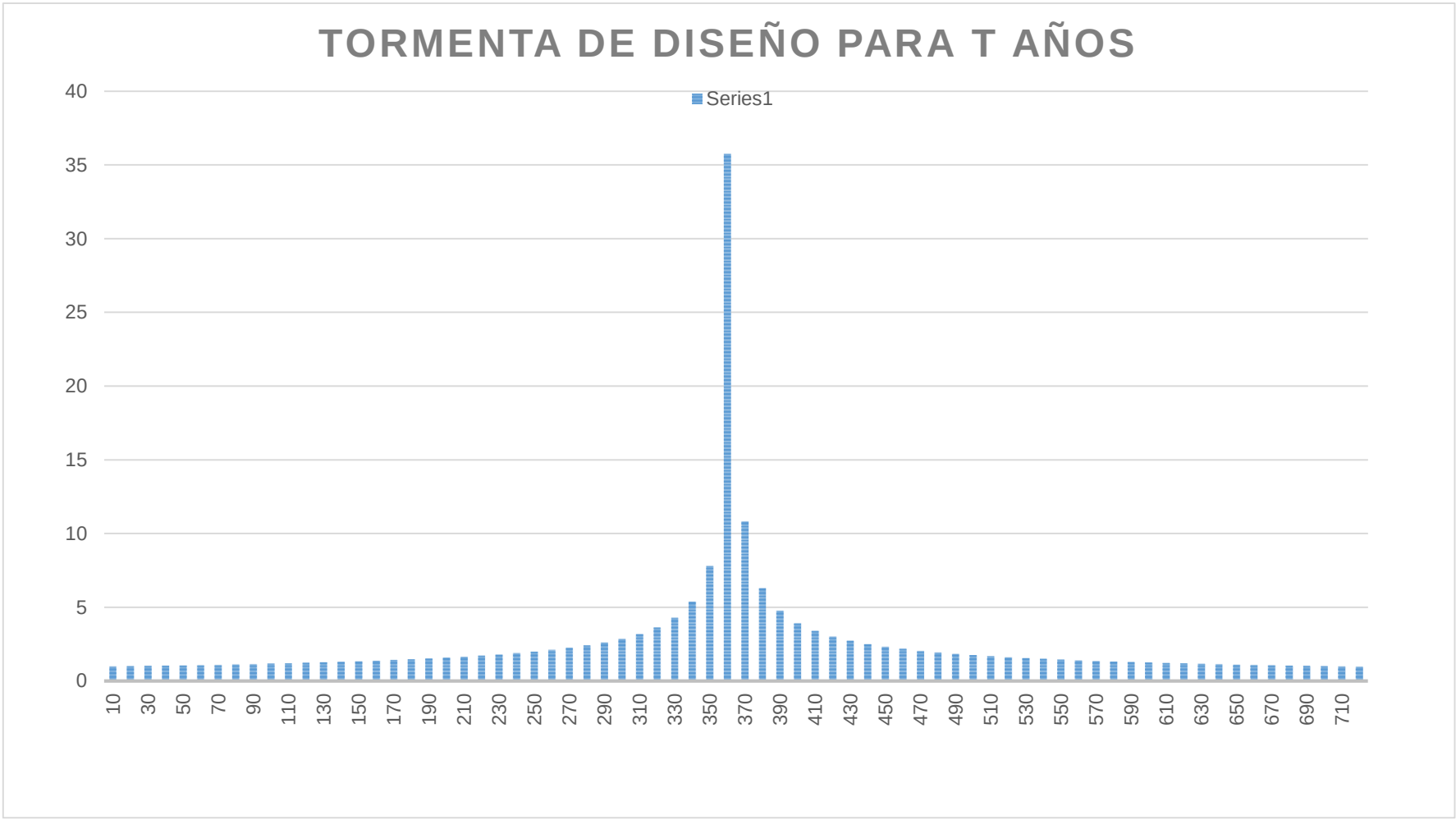
Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 58
Parámetros de precipitación

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	P.acumulada (mm)	∆P (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	InPa Alternada (mm)	P. Acum (mm)
580	10.678	103.22	0.682	4.095	0.811	4.866	102.548
590	10.566	103.895	0.675	4.051	0.789	4.733	103.337
600	10.456	104.564	0.668	4.009	0.768	4.608	104.105
610	10.35	105.225	0.661	3.968	0.749	4.492	104.854
620	10.246	105.88	0.655	3.928	0.731	4.384	105.585
630	10.145	106.528	0.648	3.889	0.714	4.281	106.298
640	10.047	107.169	0.642	3.851	0.698	4.185	106.996
650	9.951	107.805	0.636	3.814	0.682	4.095	107.678
660	9.858	108.435	0.63	3.778	0.668	4.009	108.346
670	9.766	109.058	0.624	3.742	0.655	3.928	109.001
680	9.677	109.676	0.618	3.708	0.642	3.851	109.643
690	9.59	110.289	0.612	3.674	0.63	3.778	110.272
700	9.505	110.896	0.607	3.642	0.618	3.708	110.89
710	9.422	111.497	0.602	3.61	0.607	3.642	111.497
720	9.341	112.094	0.596	3.578	0.596	3.578	112.094

Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 91: Tormenta de Diseño para T años

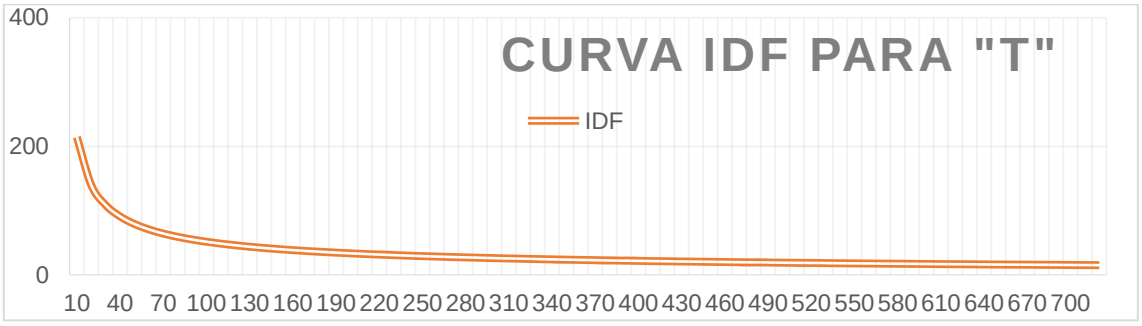


Elaboración: Propiedad de la tesis

T de retorno (años)	100	Duración de Tormenta (h)	12	720 min	Intesidad de lluvia (mm/h)	15.221

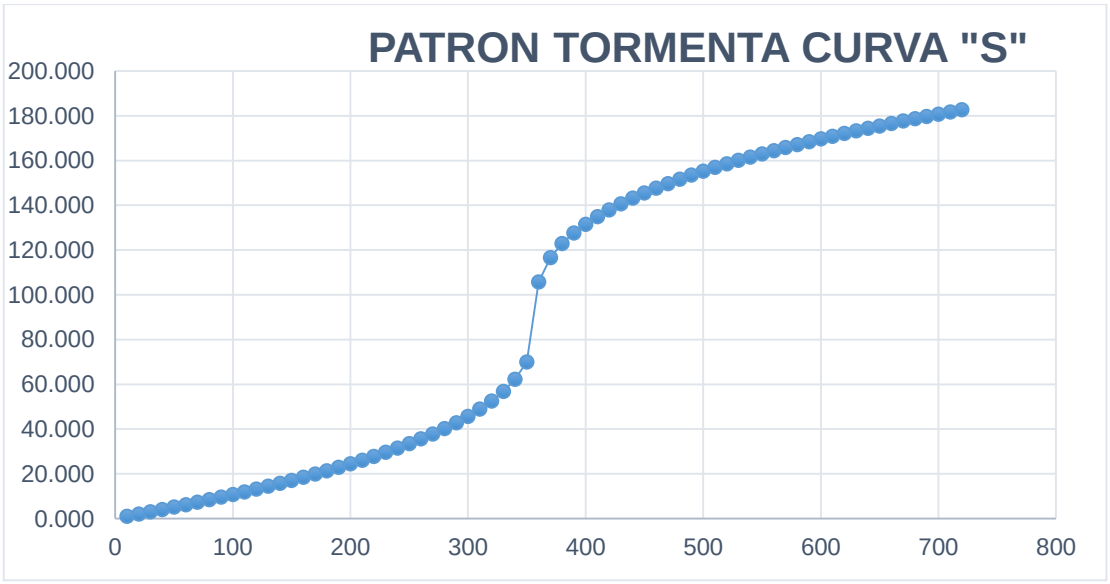
P24 hr (mm)	182.65	Intervalo de t (min)	10

Figura 92: Curvas IDF para "T"



Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 93: Patrón Tormenta Curva "S"



Elaboración: Propiedad de la tesis

Tabla 59

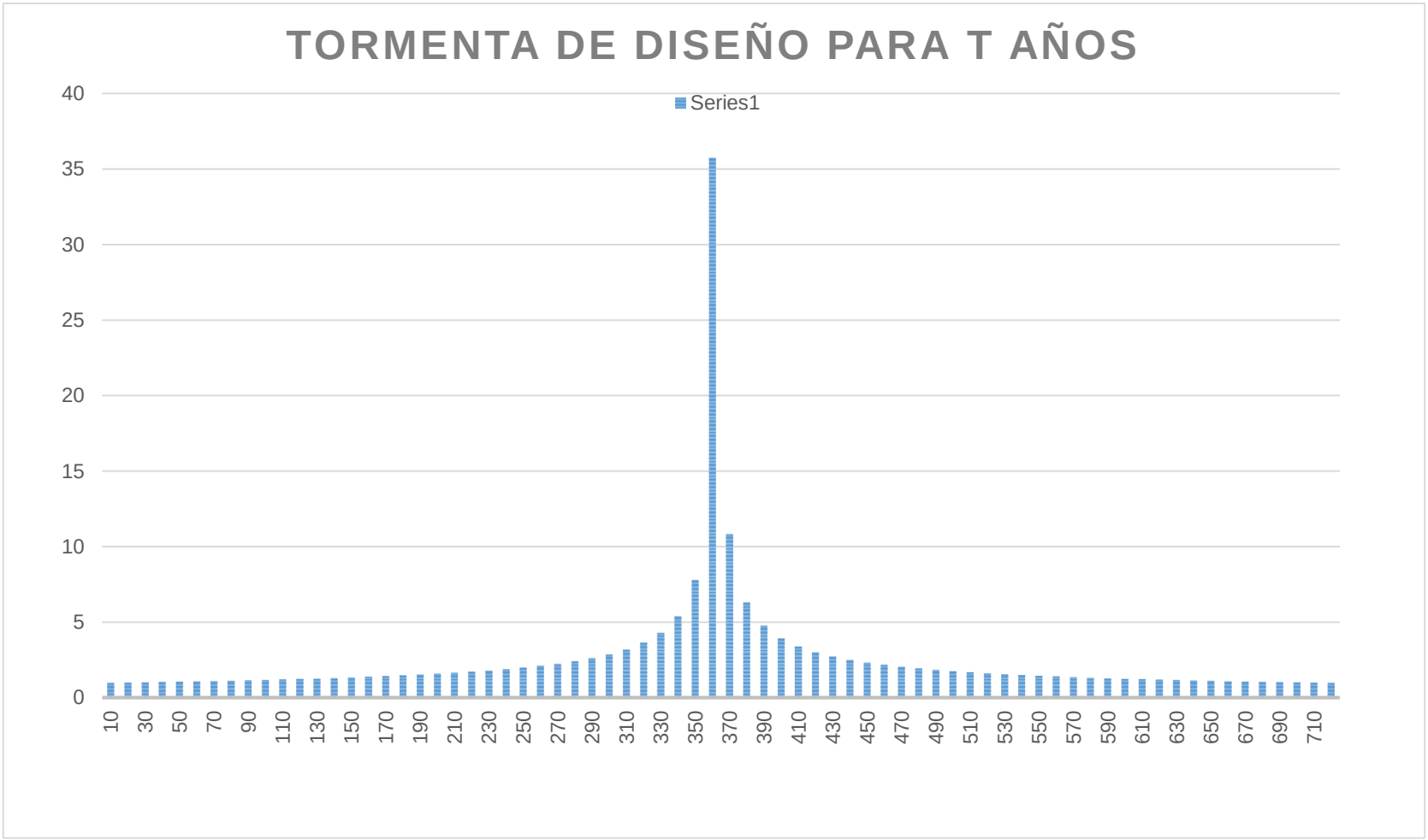
Intensidad de precipitación

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	P.acumulada (mm)	∆P (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	InPa Alternada (mm)	P. Acum (mm)
10	214.459	35.743	35.743	214.459	0.980	5.882	0.980
20	139.680	46.560	10.817	64.900	0.998	5.987	1.978
30	108.694	54.347	7.787	46.723	1.016	6.098	2.994
40	90.975	60.650	6.303	37.817	1.036	6.214	4.030
50	79.246	66.038	5.388	32.328	1.056	6.337	5.086
60	70.794	70.794	4.756	28.535	1.078	6.465	6.164
70	64.355	75.081	4.287	25.723	1.100	6.601	7.264
80	59.253	79.004	3.923	23.538	1.124	6.745	8.388
90	55.089	82.634	3.630	21.781	1.149	6.897	9.538
100	51.614	86.023	3.388	20.330	1.176	7.058	10.714
110	48.658	89.207	3.185	19.108	1.205	7.230	11.919
120	46.109	92.218	3.010	18.062	1.235	7.413	13.154
130	43.881	95.076	2.859	17.153	1.268	7.609	14.423
140	41.915	97.802	2.726	16.355	1.303	7.818	15.726
150	40.164	100.410	2.608	15.647	1.341	8.044	17.066
160	38.592	102.912	2.502	15.014	1.381	8.287	18.447
170	37.172	105.320	2.407	14.444	1.425	8.551	19.873
180	35.880	107.641	2.321	13.928	1.473	8.838	21.346
190	34.700	109.884	2.243	13.457	1.525	9.152	22.871
200	33.616	112.055	2.171	13.026	1.583	9.496	24.454
210	32.617	114.160	2.105	12.629	1.646	9.877	26.100
220	31.692	116.203	2.044	12.262	1.717	10.300	27.816
230	30.832	118.190	1.987	11.922	1.796	10.774	29.612
240	30.031	120.125	1.934	11.605	1.885	11.310	31.497
250	29.282	122.010	1.885	11.310	1.987	11.922	33.484
260	28.580	123.849	1.839	11.034	2.105	12.629	35.589
270	27.921	125.644	1.796	10.774	2.243	13.457	37.832
280	27.300	127.399	1.755	10.530	2.407	14.444	40.239
290	26.714	129.116	1.717	10.300	2.608	15.647	42.847
300	26.159	130.796	1.680	10.082	2.859	17.153	45.706
310	25.634	132.442	1.646	9.877	3.185	19.108	48.890
320	25.135	134.056	1.614	9.681	3.630	21.781	52.521
330	24.662	135.639	1.583	9.496	4.287	25.723	56.808
340	24.210	137.192	1.553	9.320	5.388	32.328	62.196
350	23.780	138.717	1.525	9.152	7.787	46.723	69.983
360	23.369	140.216	1.499	8.991	35.743	214.459	105.726
370	22.977	141.689	1.473	8.838	10.817	64.900	116.543

380	22.601	143.137	1.449	8.691	6.303	37.817	122.846
390	22.240	144.562	1.425	8.551	4.756	28.535	127.602
400	21.895	145.965	1.403	8.417	3.923	23.538	131.525
410	21.563	147.346	1.381	8.287	3.388	20.330	134.913
420	21.244	148.707	1.361	8.163	3.010	18.062	137.923
430	20.937	150.048	1.341	8.044	2.726	16.355	140.649
440	20.641	151.369	1.321	7.929	2.502	15.014	143.151
450	20.356	152.672	1.303	7.818	2.321	13.928	145.473
460	20.081	153.957	1.285	7.712	2.171	13.026	147.644
470	19.816	155.225	1.268	7.609	2.044	12.262	149.687
480	19.560	156.477	1.252	7.509	1.934	11.605	151.622
490	19.312	157.712	1.235	7.413	1.839	11.034	153.461
500	19.072	158.932	1.220	7.320	1.755	10.530	155.216
510	18.840	160.137	1.205	7.230	1.680	10.082	156.896
520	18.615	161.328	1.190	7.143	1.614	9.681	158.509
530	18.397	162.504	1.176	7.058	1.553	9.320	160.063
540	18.185	163.667	1.163	6.976	1.499	8.991	161.561
550	17.980	164.816	1.149	6.897	1.449	8.691	163.010
560	17.781	165.953	1.137	6.820	1.403	8.417	164.413
570	17.587	167.077	1.124	6.745	1.361	8.163	165.773
580	17.399	168.189	1.112	6.672	1.321	7.929	167.095
590	17.216	169.289	1.100	6.601	1.285	7.712	168.380
600	17.038	170.378	1.089	6.532	1.252	7.509	169.631
610	16.864	171.456	1.078	6.465	1.220	7.320	170.851
620	16.696	172.522	1.067	6.400	1.190	7.143	172.042
630	16.531	173.578	1.056	6.337	1.163	6.976	173.205
640	16.371	174.624	1.046	6.275	1.137	6.820	174.341
650	16.215	175.660	1.036	6.214	1.112	6.672	175.453
660	16.062	176.686	1.026	6.155	1.089	6.532	176.542
670	15.914	177.702	1.016	6.098	1.067	6.400	177.609
680	15.768	178.709	1.007	6.042	1.046	6.275	178.654
690	15.627	179.707	0.998	5.987	1.026	6.155	179.680
700	15.488	180.696	0.989	5.934	1.007	6.042	180.687
710	15.353	181.676	0.980	5.882	0.989	5.934	181.676
720	15.221	182.648	0.972	5.831	0.972	5.831	182.648

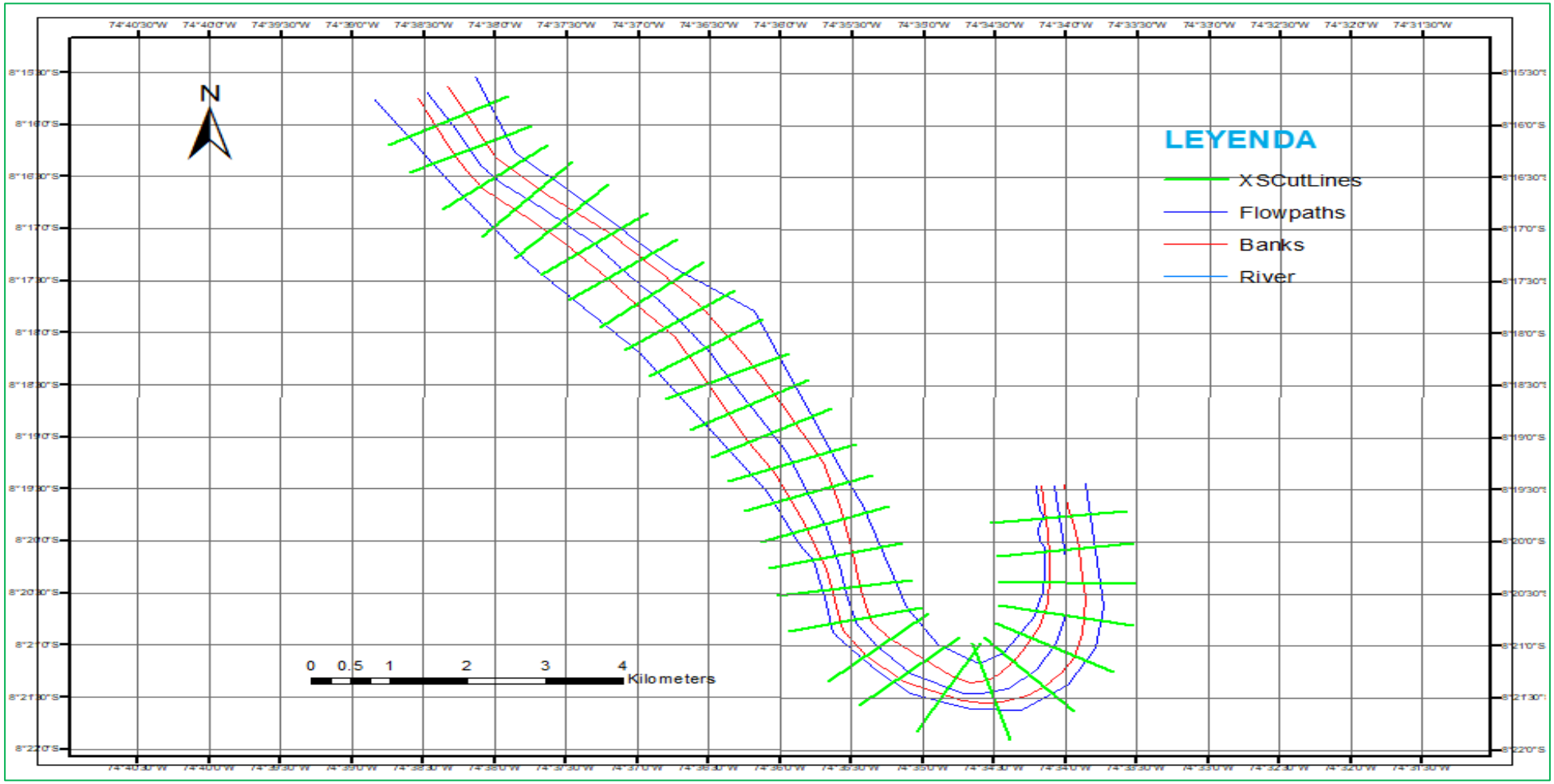
Elaboración: Propiedad de la tesis

Figura 94: Patrón Tormenta Curva "S"



Elaboración: Propiedad de la tesis

ANEXO 4: Secciones transversales del flujo del Lago Yarinacocha



Elaboración: Software Hec RAS.