

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**ZONIFICACIÓN DEL PARÁMETRO HIDROLÓGICO CURVA NÚMERO EN LA
CUENCA DEL RIO ICHU- HUANCAVELICA PARA LA ESTIMACIÓN DE
AVENIDAS MÁXIMAS**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

OMAR CHARLIE TAYPE LOPEZ

Lima – Perú

2014

© 2014, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir el Informe de Suficiencia en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Taype López, Omar Charlie

omar1538@hotmail.com

988892477

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicada a mis padres, Armando Tito Taype de la cruz y Ana Elcivia López Trocios, pilares fundamentales en mi vida, Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mi hermano y familia en general. A ellos este proyecto, que sin ellos, no hubiese podido ser.

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, por su contribución durante mi desarrollo académico y profesional.

Quiero expresar mi gratitud de un modo muy especial, al Ing. Roger Hidalgo García, asesor de este trabajo, no sólo por sus valiosos comentarios y discusiones sino también por su apoyo y ánimo constante, así como su inmensa paciencia.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, alma máter, del cual me siento muy orgulloso haber pertenecido y egresado de sus aulas.

A mis padres y a mi hermano que me acompañaron en esta aventura, y que de forma incondicional, entendieron mis ausencias y mis malos momentos. A mi novia Rocío Katty, que a pesar de la distancia siempre estuvo apoyándome incondicionalmente y que desde un principio hasta el día hoy sigue dándome ánimo para terminar este proceso.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

A todos ellos, muchas gracias.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
RESUMEN	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	8
INTRODUCCIÓN	10
CAPITULO I: GENERALIDADES.	11
1.1. NECESIDADES O MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN -----	11
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	11
1.2.1 Problema Principal.....	15
1.2.2 Problemas Específicos.....	15
1.3. OBJETIVO DE LA TESIS -----	15
1.3.1 Objetivo Principal	15
1.3.2 Objetivo Específico.	15
1.4.JUSTIFICACIÓN-----	15
CAPITULO II: FUNDAMENTO TEORICO	16
2.1 CICLO HIDROLÓGICO -----	16
2.2 CUENCA HIDROGRÁFICA -----	17
2.2.1 Partes de una Cuenca	17
2.2.2 Características Morfométricas de la Cuenca.....	17
2.2.3 Parámetros Físicos de una Cuenca.	18
2.3 PRECIPITACIÓN -----	19
2.3.1 Tipos de Precipitaciones.	19
2.3.2 Mediciones de la Precipitaciones.	20
2.3.3 Análisis de la Precipitación.	20
2.3.4 Curva IDF IILA- SENAMHI.....	25
2.3.5 Determinación de Caudales con Método Regionales.....	26
2.3.6 Desarrollo de Hietogramas de Diseño.....	28
2.4 INFILTRACIÓN-----	29
2.4.1 Factores que Afectan a la Infiltración.	29
2.4.2 Tasa de Infiltración – Método del SCS.....	30
2.4.3 Hidrograma Unitario.....	35

2.5 MODELOS DIGITALES DEL TERRENO Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)	39
2.5.1 Aplicación de las Componentes SIG.....	40
2.6 MODELAMIENTO DEL HEC-HMS Y LA EXTENSIÓN HEC-GEO-HMS DE ARC-VIEW	42
2.6.1 Descripción General del Modelo Hidrológico HEC-HMS.....	42
2.6.2 Descripción del Arc – View y su Extensión HEC-GEO-HMS.....	44
CAPITULO III: APLICACIÓN A LA SUB CUENCA DEL RIO ICHU- HUANCAVELICA.....	50
3.1 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.	50
3.2 METODOLOGIA DEL TRABAJO.	52
3.3 ESTIMACIÓN DE AVENIDAS EN EL RIO ICHU.....	55
3.4 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA CUENCA RIO ICHU.	65
3.4.1 Morfología de la Cuenca.....	65
3.4.2 Sub Cuencas, Usos de Suelos y Capacidad de Uso Mayor.	73
3.4.3 Generación del Parámetro Hidrológico Curva Número.	78
3.5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO CUENCA RÍO ICHU - HUANCAVELICA.	83
3.6 MODELACIÓN HIDROLÓGICA CON HEC-HMS EN LA CUENCA RIO ICHU – HUANCAVELICA.....	96
3.7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADO.....	99
CAPTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
4.1 CONCLUSIONES.....	104
4.2 RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXOS.....	109

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se propone una metodología para la obtención del parámetro hidrológico número de curva, parámetro que utiliza el método del Servicio de Conservación de Suelos (actual Servicio de Conservación de Recursos Naturales NRCS) de los EE.UU. para el cálculo de la escorrentía

Después se desarrolló una Simulación Hidrológica de una serie de eventos programados durante un periodo de tiempo, describiendo la determinación de las avenidas máximas sobre la cuenca del Rio Ichu, bajo las condiciones morfológicas, edafológicas, topológicas e hidrológicas, siendo de vital importancia la cuantificación de estas, por la vulnerabilidad Urbana de la Ciudad de Huancavelica.

La metodología que se plantea es un Modelo Determinístico para la simulación precipitación escorrentía, para el cual se usa el método de bloqueos alternos propuesto por Ven Te Chow, el método de los hietogramas sintéticos desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los EEUU (SCS), determinación de abstracciones, mediante el método de Curva Numero propuesto por el SCS, determinación de hidrogramas unitarios, donde se emplean los modelos de Hidrograma Unitario Sintético de Snyder, el proceso y manejo de información que se obtiene se desarrolla mediante un programa de modelación que es el HEC-HMS y la extensión Hec-Geo HMS.

Referente al contenido teórico de la metodología planteada, se explica los pasos y los procedimientos a seguir mediante la utilización de los diferentes métodos que se desarrollan en los capítulos 1,2,3 y el capítulo 4 abarca las conclusiones que se obtuvieron durante la realización de la presente investigación, así mismo las recomendaciones según las experiencias adquiridas.

Por lo tanto este estudio hidrológico concluye obteniendo los caudales de máximas avenidas para los diferentes periodos de retorno en los puntos de inspección planteados a lo largo del cauce del Rio Ichu, de esta forma se busca prevenir los desastres en el área Urbana de la ciudad de Huancavelica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 : Acumulación del flujo en el Río Ichu.....	12
Figura 1.2 : Viviendas Inundadas.....	13
Figura 1.3 : Socavación de laderas.....	13
Figura 1.4 : Colapso de Obras de Protección.	14
Figura 1.5 : Colapso de Sistema de Alcantarillado.....	14
Figura 2.1 : Ciclo Hidrológico.	16
Figura 2.2 : Cuenca hidrográfica.....	17
Figura 2.3 : Clasificación de cauces de una Cuenca.....	18
Figura 2.4 : Mapa de Regionalización de las Avenidas del Perú.....	27
Figura 2.5 : Hietograma; Intensidad – Tiempo.	28
Figura 2.6 : Curva de la capacidad de infiltración.....	29
Figura 2.7 : Precipitación y escorrentía.....	32
Figura 2.8 : Hidrograma Unitario: Principio de Proporcionalidad.....	36
Figura 2.9 : Hidrograma Unitario: Esquema General.....	37
Figura 2.10 : Esquema de la hidrología del SCS.....	39
Figura 2.11 : Modelo Digital de la Cuenca.	46
Figura 2.12 : Obtenidos del procesamiento del Terreno.....	47
Figura 2.13 : Esquema de una Cuenca HMS.....	48
Figura 3.1 : Ubicación Cuenca Río Ichu.....	50
Figura 3.2 : Ubicación de los Puntos de Inspección.....	53
Figura 3.3 : Delimitación de la Cuenca de Estudio.....	54
Figura 0.4 : Muro de Contención Planteado.....	55
Figura 3.5 : Aforo en el Punto de Inspección”4”.	56
Figura 3.6 : Sección Transversal del Río Ichu en el Punto de Inspección “4”.	57
Figura 3.7 : IILA Precipitaciones Lircay - Huancavelica (mm) según la IILA.....	60
Figura 3.8 : Curvas IDF para distintos periodos de retorno según la IILA.	61
Figura 3.9: Caudales en función a los periodos según IILA-SENAMHI.....	64
Figura 3.10 : Mapa Físico – Cuenca Río Ichu.	65
Figura 3.11 : Orden de Red de Drenaje – Cuenca Río Ichu.....	66
Figura 3.12 : Mapa Altitudinal – Cuenca Río Ichu.	67
Figura 3.13 : Mapa Digital de Elevación – Cuenca Río Ichu.	68

Figura 3.14 : Dirección de Flujo – Cuenca Río Ichu.....	69
Figura 3.15 : Flujo Acumulado– Cuenca Río Ichu.....	70
Figura 3.16 : Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes Cuenca Rio Ichu...	72
Figura 3.17 : Sub Cuencas– Cuenca Río Ichu.....	73
Figura 3.18 : Usos de Suelos.....	75
Figura 3.19 : Capacidad de Uso Mayor de Suelos.....	76
Figura 3.20 : Clasificación Litológica - Geología.....	77
Figura 3.21 : Grupo Hidrológicos según SCS.....	79
Figura 3.22 : Curva Número Calculado.....	80
Figura 3.23 : Curva Número Estimado para cada Sub Cuenca.....	82
Figura 3.24 : Precipitaciones máximas vs Periodo de Retorno Huancavelica. ...	88
Figura 3.25 : Curva Intensidad – Duración – Frecuencia.....	92
Figura 3.26 : Hietogramas para Diferentes Periodos de Retorno.....	95
Figura 3.27 : Modelamiento HEC-HMS Cuenca Río Ichu.....	96
Figura 3.28 : Caudales vs Periodos de Retorno Según Metodología Propuesta.	98
Figura 3.29 : Cauce del Rio Ichu aguas abajo tiempo de avenidas.....	100
Figura 3.30 : Puente de Santa Ana.....	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 : Factores de Corrección de Precipitación.....	22
Tabla 2.2 : Parámetro Regional “b”	26
Tabla 2.3 : Parámetro para el cálculo de las avenidas	27
Tabla 2.4: Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC).....	33
Tabla 2.5: Grupo Hidrológico de Suelos.	34
Tabla 2.6: Número de Curva.....	34
Tabla 2.7: Resultados arrojados por el programa HEC-HMS.....	43
Tabla 3.1: Tramos de Estudios Planteados.....	52
Tabla 3.2: Resultado de Caudales Máximo según el Método de Creager.....	59
Tabla 3.3: Parámetros regionales IILA.....	59
Tabla 3.4: Precipitaciones (mm) para distintos periodos según la IILA.	60
Tabla 3.5: Intensidades (mm/hr) para distintos periodos según la IILA.	61
Tabla 3.6: Intensidad Hietograma: Método de Bloque Interno IILA-SENAMHI ...	62
Tabla 3.7: Precipitación Hietograma: Método de Bloque Interno IILA-SENAMHI63	
Tabla 3.8: Resumen de Caudales de diseño en (m ³ /s) según IILA-SENAMHI ..	64
Tabla 3.9: Parámetros Fisiográficos de la Cuenca Rio Ichu.....	71
Tabla 3.10: Datos para la Construcción de la curva hipsométrica.....	71
Tabla 3.11: Parámetros Fisiográficos de la Cuenca Rio Ichu.....	74
Tabla 3.12: Reclasificación según Grupo Hidrológico de Suelo.	78
Tabla 3.13: Parámetro Hidrológico Curva Numero (CN).....	81
Tabla 3.14: Precipitaciones Máximas 24 Horas Analizadas.	83
Tabla 3.15: Distribución Normal, ajuste Smirnov Kolmogorov.....	84
Tabla 3.16: Distribución Log Normal 2P, ajuste Smirnov Kolmogorov.....	85
Tabla 3.17: Distribución Gamma 2P, ajuste Smirnov Kolmogorov	85
Tabla 3.18: Distribución Gumbel ajuste Smirnov Kolmogorov.....	86
Tabla 3.19: Distribución LogGumbel ajuste Smirnov Kolmogorov.....	86
Tabla 3.20: Resumen de precipitaciones según distribuciones estadísticas	87
Tabla 3.21: Distribución de menor error teórico (Normal).....	89
Tabla 3.22: Precipitación Máximas (mm)- Estación Huancavelica.	90
Tabla 3.23: Intensidad máximas (mm/hora) – Estación Huancavelica.	90

Tabla 3.24: Resultados del Análisis de Regresión.	90
Tabla 3.25: Datos de la Curva IDF – Estación de Huancavelica.	91
Tabla 3.26: Intensidad Hietograma: Método del Bloque Interno.....	93
Tabla 3.27: Precipitación Hietograma: Método del Bloque Interno.....	94
Tabla 3.28: Resumen de Caudales de Diseño según metodología propuesta. .	97
Tabla 3.29: Valores Estimados del Numero Curva.....	99
Tabla 3.30: Resumen de Caudales en el Punto de Inspección 4.	100
Tabla 3.31: Resumen de Caudales estimados por una avenida histórica.	101
Tabla 3.32: Resumen de Caudales estimados con diferentes métodos.	103

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

I_a	:	abstracción Inicial
A	:	área
q_p	:	caudal al pico del modelo SCS
Q_e	:	caudal de escorrentía directa
Q_{max}	:	caudal máximo
H_{MAX}	:	Cota del punto más alto de la cuenca
H_{MIN}	:	Cota menor de la sección de control de la cuenca
CN	:	curva número
H	:	desnivel total en la cuenca
t	:	duración de la precipitación
K_f	:	factor de forma
K_c	:	índice de compacidad
I_e	:	intensidad efectiva
L_c	:	longitud del cauce principal
l	:	longitud mayor del rectángulo equivalente
L	:	longitud más larga de la cuenca
S_c	:	pendiente de la cuenca
P	:	perímetro
T	:	periodo de retorno
S	:	potencial de retención máxima
P_t^T	:	precipitación caída en t minutos con periodo de retorno en T años
P_{10}^{60}	:	precipitación caída en 60 minutos con periodo de retorno 10 años
P_{24}	:	precipitación máxima en 24 horas
P_e	:	profundidad en exceso de precipitación
P	:	profundidad de precipitación acumulada
F_a	:	retención actual después de la escorrentía dada
S_c	:	rectángulo equivalente
T_p	:	tiempo al pico
T_c	:	tiempo de concentración
T_{lag}	:	tiempo de retardo del modelo

ANA	:	Autoridad Nacional de Agua
MAC	:	Condiciones Antecedentes de Humedad
INRENA	:	Instituto Nacional de Recursos Naturales
DEM	:	Modelo Digital de Elevaciones
NRCS	:	Servicio de Conservación de Recursos Naturales
SCS	:	Servicio de Conservación de Suelo
SIG	:	Sistemas de Información Geográfica
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

INTRODUCCIÓN

La infiltración es el proceso mediante el cual una fracción de la precipitación penetra a través de la superficie del suelo y aumenta la humedad de este, a su vez esta abstracción es relevante en la determinación de la escorrentía resultante del proceso precipitación-escorrentía.

El Soil Conservation Service SCS, (actualmente Natural Resources Conservation Service – NRCS) de Estados Unidos durante los años 50 desarrolló el método de la Curva Número (CN), que a pesar de ser objeto de muchas discusiones es una metodología de reconocida aceptación internacional.

La bibliografía sobre el tema documenta las investigaciones efectuadas por el SCS, a través de la realización de muchas pruebas con el infiltrómetro, la relaciones encontradas entre parámetros, como precipitación, textura del suelo, humedad antecedente, índice de cobertura, temperatura, duración de la precipitación. Investigadores como Hommer, Horton y Sherman entre los años 1930 a 1940, Andrew (1954), Musgrave (1955) fueron perfeccionando estas relaciones a través de muchas pruebas de ensayo error, desechando constantes, parámetros, y nuevas relaciones entre uno y otros factores.

En lo referente a la aplicabilidad del método, es reconocido que los valores de CN son *valores regionales* hallados experimentalmente en EE.UU; siendo de interés la investigación de la metodología en la realidad nacional.

El Rio Ichu, importante afluente del Río Mantaro, que cruza por el centro urbano de la ciudad de Huancavelica representa un agente de riesgo por inundaciones ocasionados por flujos de máximas avenidas en este, sin embargo, la inexistencia de aforos de esta corriente limita el planeamiento de las defensas ribereñas. En este contexto una herramienta en la estimación de los flujos de avenidas es el método de la Curva Número (CN) tomando en consideración la zonificación de dicho parámetro.

CAPITULO I: GENERALIDADES.

En hidrología, se realiza el seguimiento detallado de todos y cada uno de los eventos, que pueden ocasionar riesgos debido a la variación de los caudales circulantes por la red hidrográfica de una cuenca.

Uno de los fenómenos hidrológicos que requiere un estudio adecuado es la ocurrencia de las avenidas o crecidas, debido a que en determinadas situaciones pueden poner en peligro vidas humanas y generar importantes daños materiales.

En la actualidad se observan eventos cortos y puntuales con intensidades superiores a la capacidad de infiltración de los suelos, esto debido a los cambios climáticos factor determinante en la variabilidad de las precipitaciones ya que sus efectos traen consigo eventos extremos no previsible.

En todo esto el valor del CN (Curva Número) es un parámetro muy importante en la estimación de caudales máximos solo existen tablas realizadas por la SCS (Servicio de Conservación de Suelos) actual NRCS (Servicio de Conservación de los Recursos Naturales) de los EE.UU. que brindan valores referenciales para cuencas, por lo que para su adecuada determinación es necesario calibrar el modelo hidrológico (precipitación - escorrentía).

1.1. NECESIDADES O MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este tema de investigación surge con la necesidad de brindar una metodología práctica y aplicable para el desarrollo de una simulación hidrológica basada en el proceso precipitación-escorrentía a partir de los datos de precipitación sobre la cuenca y de las características físicas de la misma para ello, se usa el modelo matemático HEC-HMS de tal forma que sirva como una herramienta más de trabajo para la elaboración de diversos proyectos como es el caso de obras hidráulicas e hidrológicas propios de la Ingeniería Civil; esta investigación permite ampliar y profundizar los conocimientos en la Hidrología.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las intensas e incesantes precipitaciones que caen en los meses de noviembre a marzo durante muchas horas en la cuenca del Río Ichu de la Región de Huancavelica ocasionan inundaciones, huaycos, socavación de laderas del río, colapsos del sistema de alcantarillado por la rotura de varias tuberías de

abastecimiento de agua en la ciudad, trayendo con ello grandes pérdidas materiales y humanas influenciado por el cambio climático. Se puede evidenciar los acontecimientos mencionados en la **figuras 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5**.

El ámbito de la cuenca del Rio Ichu donde se aplica el estudio de investigación, abarca toda la zona urbana de Huancavelica esta es altamente vulnerable para efectos de avenidas máximas, ya que sus estructuras hidráulicas de defensa no garantizan la protección urbana.

La información geomorfológica y pluviométrica en toda la Región debe ser estudiada a más detalle.



Figura 1.1 : Acumulación del flujo en el Rio Ichu.



Figura 1.2 : Viviendas Inundadas.



Figura 1.3 : Socavación de laderas.

Fuente: Gobierno Regional de Huancavelica.



Figura 1.4 : Colapso de Obras de Protección.



Figura 1.5 : Colapso de Sistema de Alcantarillado.

Fuente: Gobierno Regional de Huancavelica.

1.2.1 Problema Principal

- ¿es aplicable el método de la Curva Número (CN) para la estimación de máximas avenidas en la cuenca del Río Ichu, en las inmediaciones de la ciudad de Huancavelica?

1.2.2 Problemas Específicos.

- ¿Qué características fisiográficas y uso de suelo se presentan en el área de estudio de la cuenca de río Ichu?
- ¿Cómo se puede estimar máximas avenidas en la cuenca de interés?

1.3. OBJETIVO

1.3.1 Objetivo Principal

- Evaluar los valores del Parámetro Hidrológico Curva Número (CN) para la estimación de máximas avenidas en la cuenca del estudio del río Ichu.

1.3.2 Objetivo Específico.

- Establecer las características fisiográficas y de uso de suelo para la zonificación del área de estudio de la cuenca del Río Ichu.
- Zonificación del parámetro hidrológico curva número (CN) en la cuenca del Río Ichu para la estimación de las máximas avenidas.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La estimación de flujos máximos en cuencas de significativa superficie de recolección pierde exactitud en función de la magnitud del área de cuenca, en tal sentido, los criterios de zonificación permiten mejorar su estimación.

El emplazamiento singular de la ciudad de Huancavelica, en ambos márgenes del Río Ichu, conlleva un nivel de riesgo significativo que exige una adecuada estimación de los flujos de avenidas y las potenciales áreas de inundación, preocupación para el desarrollo del presente trabajo.

CAPITULO II: FUNDAMENTO TEORICO

2.1 CICLO HIDROLÓGICO

El agua en la naturaleza está en movimiento constante describiendo un circuito cerrado (sin principio ni final y sus diversos procesos ocurren en forma continua) el cual se denomina ciclo hidrológico.

El ciclo del agua consta de procesos y almacenamientos. Los principales procesos son: evaporación, precipitación, y escorrentía. El agua se almacena en océanos, lagos, en ríos, arroyos, y en el interior del suelo. La evaporación incluida la transpiración que realizan animales y plantas, transforma el agua líquida en vapor, que asciende a la atmósfera. La precipitación tiene lugar cuando el agua contenida en la atmósfera por efecto de la temperatura se condensa y cae a la tierra en forma de precipitación, granizo o nieve. El agua de escorrentía incluye el agua que fluye en ríos, arroyos y el agua subterránea.

Los factores que lo afectan son:

- La radiación solar (que es el motor que inicia el ciclo),
- El uso del suelo
- Características de la cuenca hidrográfica.

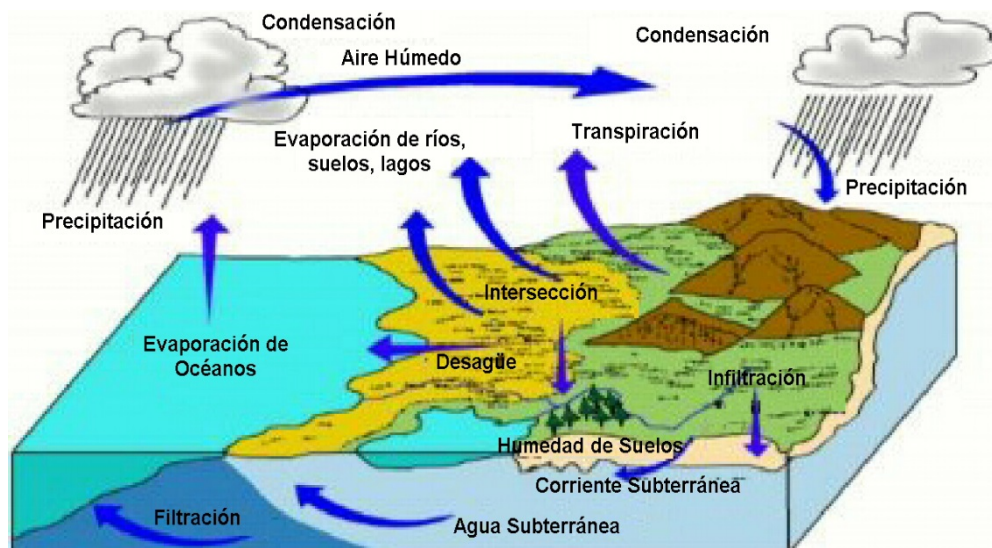


Figura 2.1 : Ciclo Hidrológico.

Fuente: Ciencia.nada.gov.

2.2 CUENCA HIDROGRÁFICA

Una cuenca es un lugar geográfico delimitado por cumbres de montañas o zonas altas, donde todas las aguas que precipitan tienden a ser drenadas en forma superficial por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

Desde el punto de vista, existen fundamentalmente tres tipos de cuencas: endorreicas, exorreicas y arreicas. En las primeras, el agua no tiene salida fluvial hacia el exterior y su salida generalmente es un lago o lagunas.

En las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y se encuentra en otra corriente o en el mar y en las terceras, son las aguas que se evaporan o se filtran en el terreno.

2.2.1 Partes de una Cuenca

Las partes de la cuenca son: Cabecera, Desagüe, Cuerpo y Divisorias de agua.

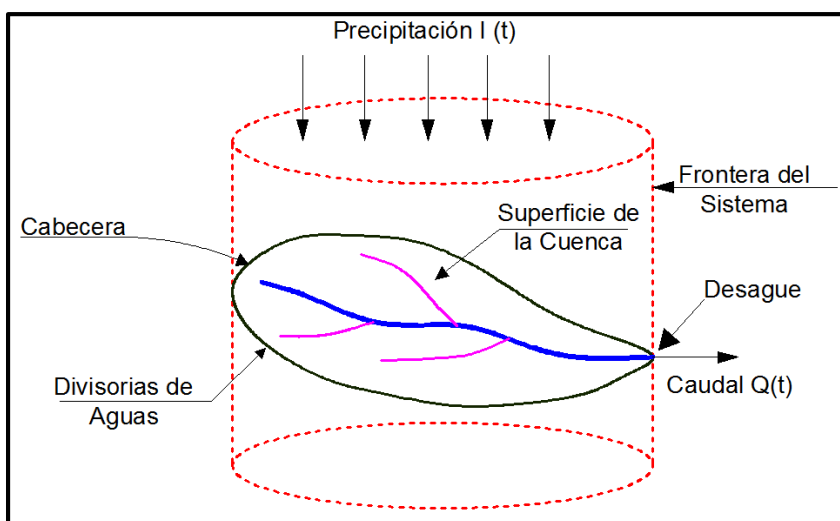


Figura 2.2 : Cuenca hidrográfica.

Fuente: Fundamentos de Hidrología Superficial, Francisco Aparicio Mijares.

2.2.2 Características Morfométricas de la Cuenca.

- **Divisorias de Aguas:** es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas.
- **Frontera Del Sistema:** se dibuja alrededor de la cuenca, proyectando la divisoria de aguas verticalmente hacia arriba, y abajo hacia los planos horizontales.
- **La Corriente Principal De Una Cuenca:** es la corriente de mayor longitud que pasa por la salida de la misma, nótese que esta definición se aplica solamente a las cuencas exorreicas.

- **El Orden De Las Corrientes:** Nos indica la extensión de la red de corriente en el interior de una cuenca y se determina como se muestra en la **figura 2.3**

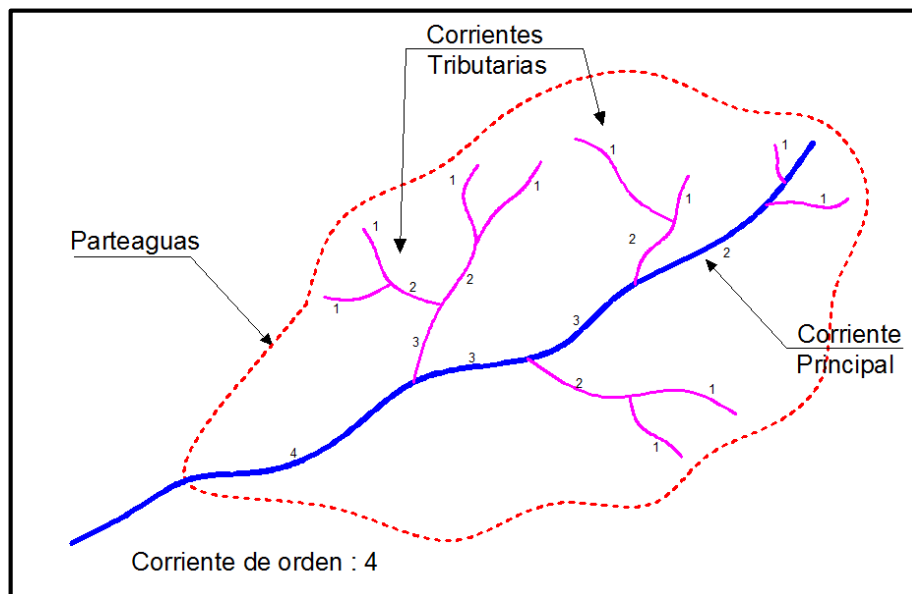


Figura 2.3 : Clasificación de cauces de una Cuenca.

Fuente: Fundamentos de Hidrología Superficial, Francisco Aparicio Mijares.

2.2.3 Parámetros Físicos de una Cuenca.

Con el fin de estudiar la afinidad hidrológica entre cuencas, se han introducido diversos conceptos gráficos e índices que ponen en evidencia sus características más salientes desde distintos puntos de vista.

Para su determinación es necesario conocer, como parámetros básicos de partida, los siguientes datos físicos de la cuenca:

- Área de la cuenca (A), en km²
- Perímetro del contorno de la cuenca (P), en km
- Longitud del cauce principal de la cuenca (L_C), en km
- Cota del punto más alto del cauce principal, en msnm
- Cota del punto más alto de la cuenca (H_{MAX}), en msnm
- Cota menor de la sección de control de la cuenca (H_{MIN}), en msnm
- **Índice de Compacidad (K_c):** nos indica la relación que existe entre el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo cuya área es igual al área de la cuenca.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Donde:

P: perímetro de la cuenca

A: área de la cuenca

- **Factor de Forma (K_f):** Nos indica la relación que existe entre el ancho medio de la cuenca y la longitud de la misma, medido desde la salida o desembocadura hasta el límite de la cuenca en la dirección del cauce más largo.

$$K_f = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

B: Ancho medio

A: área de la cuenca.

L: longitud más larga de la cuenca

- **Curva Hipsométrica:** es la representación gráfica del relieve de una cuenca que indica la distribución del área en función de la altitud, se construye poniendo las áreas acumuladas en el eje de las abscisas y su correspondiente altitud en el eje de las ordenadas.
- **Rectángulo Equivalente (S_c):** Es aquel cuya área y perímetro es igual al de la cuenca que se está analizando

$$S_c = \frac{H}{I}$$

Donde:

H: desnivel total en la cuenca

I: Long. Mayor del rectángulo equivalente.

2.3 PRECIPITACIÓN

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua. En este capítulo se estudiarán la forma en que se mide la precipitación y diversos criterios para el análisis, síntesis, corrección y tratamiento de los datos.

2.3.1 Tipos de Precipitaciones.

Se clasifican atendiendo a su formación en:

- **Convectivas:** Se forman cuando los rayos del sol calientan la superficie terrestre y el aire que está en contacto con el suelo, haciendo más ligero y asciende, este fenómeno origina la formación de nubes tipo cúmulus lo cual puede ocasionar fuertes lluvias de corta duración.
- **Orográficas:** Se produce cuando una masa de aire húmedo encuentra un obstáculo, como una montaña y se obliga a ascender. Al hacerlo, el aire se enfría y el vapor de agua que contiene se condensa y precipita en la vertiente expuesta al viento, el aire que desciende por la otra ladera se calienta al bajar y da lugar a un tiempo seco y cálido.
- **Ciclónicas:** Cuando chocan dos masas de aire de propiedades físicas diferentes (frente) y una de ellas asciende sobre la otra. La masa de aire ascendente sufre un enfriamiento que origina la condensación de parte del vapor de agua que transporta. Estas condensaciones producen este tipo de precipitaciones que van ligadas a las borrascas extratropicales.

2.3.2 Mediciones de la Precipitaciones.

Para las mediciones de la precipitación se utiliza ciertos materiales de observación básica pero de cierta diversidad y dificultad en su instalación e interpolación de sus medidas entre ellos tenemos los siguientes:

- **Pluviómetro:** Es un instrumento concebido para medir la altura de agua precipitada, en la hipótesis de distribución homogénea horizontal y sin efectos de evaporación.
- **Pluviógrafo:** Nos permite obtener registros continuos de la precipitación y poder dibujar las curvas de precipitación acumuladas y determinar las intensidades de precipitaciones producidas en intervalos de tiempo predeterminadas.

Este instrumento consiste básicamente en un pluviómetro que incluye un dispositivo de registro cronológico de las alturas de agua precipitadas, o de envío de la información correspondiente a pequeños intervalos de tiempo a un centro computarizado de almacenamiento de datos.

2.3.3 Análisis de la Precipitación.

La precipitación es registrada en localidades específicas utilizando el pluviómetro o pluviógrafo. La interpretación de los datos recogidos en las diferentes estaciones de mediciones muestra la gran variación en el espacio y el tiempo de la

precipitación, para los cuales se menciona el procedimiento a seguir para un estudio apropiado:

- **Recopilación de Información:** Es el proceso en el cual se recurre a los lugares de almacenamiento y distribución de registros de información, entre ellos tenemos en el Perú:
 - SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
 - ANA: Autoridad Nacional de Agua (Ex INRENA).
 - Ministerio de Agricultura.
 - Empresas Privadas.
 - Es posible encontrar información en estudios previos.
- **Completación de Información Faltante:** Es frecuente que en un registro de precipitación falten los datos de un cierto periodo, debido a la ausencia del operador o fallas del aparato registrador. En estos casos se puede estimar los datos faltantes si se tienen registros simultáneos de precipitaciones mediante los siguientes métodos:
 - Método de Los Promedios
 - Método estadístico
 - Regresión Lineal
 - Método Racional Deductivo
- **Análisis de Consistencia:** La inconsistencia en la información puede ocurrir debido al cambio de ubicación de la estación de medición o al cambio de condiciones de la medición, los errores puede ser de tipo instrumental y/o personales. La inconsistencia en la información hidrometeorológica se puede presentar como saltos (se analiza independientemente los parámetros estadísticos media y desv. Estándar de cada una de las series que se den) o como tendencias (es el cambio continuo, ascendente o descendente que afecta los parámetros de la media y desv. Estándar de una muestra con información hidrometeorológicas).

Para determinar las inconsistencias en un registro hidrometeorológicas se aplican lo siguiente:

- **Análisis Visual:** Consiste en representar gráficamente la información hidrometeorológica en función del tiempo e identificar los cambios que se presenten en la representación gráfica. Por lo general, el intervalo de tiempo usado es el mes.
- **Análisis de Doble Masa:** es un método empleado para verificar la homogeneidad de los datos en una estación con información

Hidrometeorológicas respecto a otras estaciones cercanas a la misma, consiste en llevar en el eje de las ordenadas los valores acumulados de la estación en estudio y en el eje de las abscisas los valores acumulados de una estación denominada patrón (que tiene calidad debidamente probada).

- **Análisis Estadístico:** Corresponde al análisis de significancia de la correlación (en el caso de tendencias) y/o el análisis de referencia (en el caso de saltos).

- **Análisis de Precipitación Máxima Diaria**

El análisis de precipitaciones de corta duración se lleva a cabo generalmente a partir de datos tomados cada hora o cada día. Como es muy poco probable que ocurran precipitaciones intensas enteramente en estos intervalos fijos entre observaciones, los datos de estas series subestiman las verdaderas cantidades máximas para las duraciones correspondientes a los intervalos entre observaciones. La función precipitación escorrentía basada en datos horarios o diarios debe ser aumentada en un porcentaje dado para aproximar los verdaderos valores para 60 min o 24 hr, respectivamente (**Tabla 2.1:** Relación entre Precipitación máxima verdadera y Precipitación en Intervalos Fijos). El porcentaje disminuye acercándose al 100% al aumentar el número observaciones

Tabla 2.1 : Factores de Corrección de Precipitación.

Número de Intervalos de Observación	Relación (Entre en valor real y el valor medio)
1	1.13
2	1.04
3 - 4	1.03
5 - 8	1.02
9 - 24	1.01

Fuente: Hidrología para Ingenieros, Linsley Kohler Paulus.

- **Cálculo de la Precipitación Media:** la precipitación media es un área determinada se puede calcular de acuerdo a los siguientes métodos:
 - Método Aritmético

- Polígono de Thiessen
- Método de las Isoyetas
- **Curvas Intensidad- Duración- frecuencia (IDF):** Las curvas intensidad – duración que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad correspondiente a una duración determinada, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno (Témez, 1978). Las curvas IDF incluye estas curvas para diferentes frecuencias o periodos de retorno, para la determinación de las curvas IDF se enmarca en alguno de los siguientes escenarios:
 - Contar con la información pluviográfica que escriba con precisión la distribución temporal de la precipitación en la zona de estudio.
 - Contar solamente con datos de precipitaciones diarias totales.
 - Enfrentar casos donde no exista información pluviométrica alguna.
- **Determinación de las curvas IDF:** Utilizando la información pluviográfica se realiza los siguientes pasos :
 - A partir de las bandas de registros de los pluviografos, seleccionar para cada año los valores extremos de precipitación asociados a diferentes duraciones.
 - Tomar los valores de cada una de las series y dividirlos por su duración (en horas), obteniéndose así las intensidades en mm/h.
 - Calcular las intensidades máximas para las duraciones especificadas de modo que la máxima intensidad corresponde a la mínima duración. A partir de este cálculo las variables de trabajo consistirán en las intensidades máximas para las duraciones especificadas.
 - Ajustar, para cada duración, los valores de intensidad de precipitación a una función de distribución de probabilidad (Normal, Log Normal 2P, Log Normal 3P, Gamma 2P, Gamma 3P, Gumbel, Log Gumbel)
 - Efectuar pruebas de bondad de ajuste (Chi-cuadrado; Kolmogorov Smirnov) con la finalidad de determinar cuál de las distribuciones probabilísticas consideradas se ajusta mejor a la serie histórica de datos. Ello permitirá seleccionar la distribución con la cual se efectuará las proyecciones de intensidades máximas para diferentes periodos de retorno.
 - Seleccionar la distribución probabilístico de mejor ajuste, proceder a estimar, para cada duración, los valores de la intensidades máximas

- correspondientes a diferentes periodos de retorno (T= 10, 25, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 1000 años).
- Se procede a graficar las intensidades obtenidas en el paso anterior versus las duraciones y periodos de retorno correspondiente.
- El modelo general de Frederick Bell (1969), permite calcular la lluvia máxima asociada a un periodo de retorno y una duración de una tormenta, usando como valor índice la lluvia de una hora de duración y 10 años de periodo de retorno. La expresión es la siguiente:

$$P_t^T = (0.21 \log_e T + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_{60}^{10}$$

Donde:

t: Duración en minutos

T: Periodo de retorno en años

P_t^T : Precipitación caída en t minutos con periodo de retorno en T años

P_{10}^{60} : Precipitación caída en 60 minutos con periodo de retorno en 10 años

El valor de P_{10}^{60} , puede ser calculado a partir del modelo de Yance Tueros, que estima la intensidad máxima horaria a partir de la precipitación máxima en 24 horas.

$$I = a \cdot P_{24}^b$$

I = intensidad máxima en mm/h

a, b = parámetros del modelo; 0.4602, 0.876, respectivamente.

P24 = precipitación máxima en 24 horas

Las curvas de intensidad – duración - frecuencia, se han calculado indirectamente, mediante la siguiente relación:

Las distintas curvas IDF pueden quedar descritas estadísticamente mediante la siguiente ecuación compacta que relaciona simultáneamente a las tres variables involucradas:

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

Donde:

I : Intensidad máxima (mm/hr)

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

T : Periodo de retorno, en años

t : Duración de la precipitación (en minutos u horas)

Tomando logaritmos en la ecuación anterior de arriba a un modelo de regresión lineal múltiple, al obtenerse:

$$\text{Log}(I) = \text{Log}(K) + \text{Log}(T) - n \text{Log}(t)$$

Equivalente a:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

Donde:

$$Y = \text{Log}(I) \qquad a_0 = \text{Log}(K)$$

$$x_1 = \text{Log}(T) \qquad a_1 = m$$

$$x_2 = \text{Log}(t) \qquad a_2 = -n$$

Los coeficientes de a_0 , a_1 , a_2 , y con ello, de K, m, n se obtienen, mediante regresión múltiple, a partir de las intensidades máximas para duración especificadas calculadas anteriormente.

2.3.4 Curva IDF IILA- SENAMHI

Las precipitaciones máximas e intensidades máximas de tormentas han sido estudiadas regionalmente por el Instituto Italiano Americano IILA (Convenio Internacional IILA-SENAMHI-UNI) "Estudio de la Hidrología del Perú" 1986, cuyas fórmulas son:

para $3 \leq t \leq 24$ horas

$$P_{t,T} = a(1 + K \log T)t^n$$

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

para $t \leq 3$ horas

$$P_{t,T} = a(1 + K \log T)(t + b)^{n-1}t$$

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

Donde $P_{t,T}$, $i_{t,T}$ son las precipitaciones y la intensidad de tormenta para una duración t (en horas) y de periodo de retorno T (en años) dados; a , K y n son constantes regionales. El parámetro se clasifica según las regiones naturales del Perú.

Tabla 2.2 : Parámetro Regional “b”

Región	Parámetro b
Costa, centro y Sur	0.5
Sierra	0.4
Costa Norte y selva	0

El valor de 0.4 horas (sierra), fue determinado para el presente investigación.

2.3.5 Determinación de Caudales con Método Regionales

- **Método de Creager**

Este método, originalmente desarrollado por Creager, fue adaptado para el territorio peruano por Wolfgang Trau y Raúl Gutiérrez Yrigoyen.

La aplicación de este método permite la estimación de los caudales máximos diarios en cuencas sin información, para diferentes periodos de retorno, tomando el área de la cuenca como el parámetro de mayor incidencia en la ocurrencia de caudales máximos.

Para la utilización del Método Creager en el río de interés y ante la carencia de información hidrométrica, se ha procedido a la utilización de Curvas o Ecuaciones regionales para zonas similares al área del Proyecto obtenidas por SENAMHI y presentadas en su Mapa de regionalización de máximas avenidas para el territorio peruano. De acuerdo a la información antes citada, para el área del Proyecto que corresponde a la denominada Zona 6, SENAMHI recomienda la utilización de la fórmula siguiente:

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) * \log(T_r) * (A^{m * A^{-n}})$$

En donde C_1 , C_2 , m y n son valores que corresponden a las características geomorfológicas de la cuenca en análisis.

Cabe señalar que, en general, a pesar de su simplicidad, este método es bastante preciso.

Figura 2.4 : Mapa de Regionalización de las Avenidas del Perú.

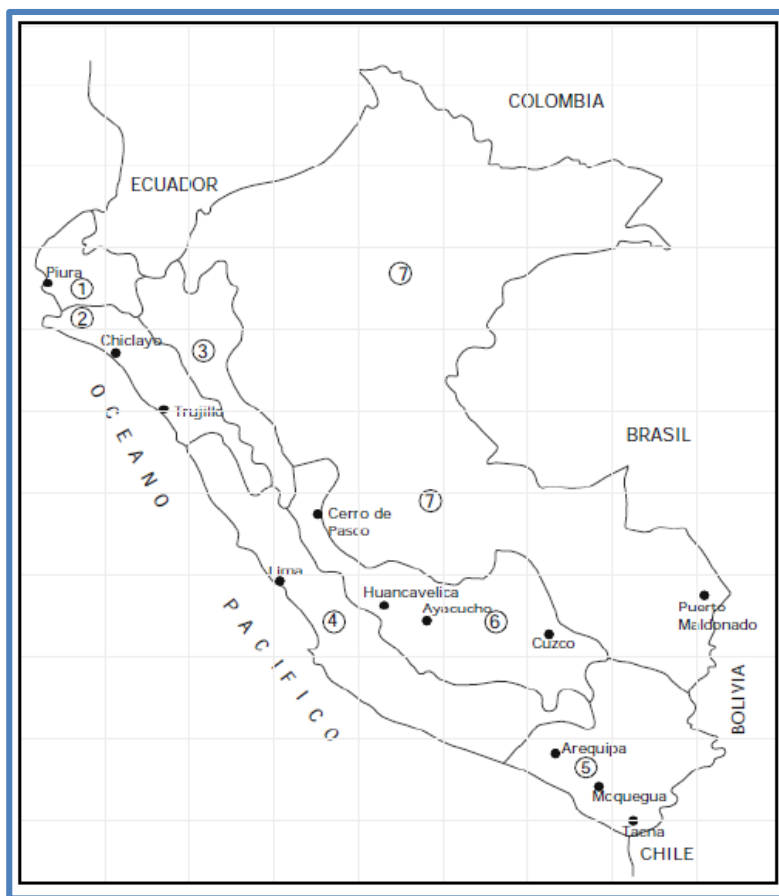


Tabla 2.3 : Parámetro para el cálculo de las avenidas

REGION	C1	C2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.1	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Fuente: Admisión Multisectorial del Plan Nacional de Ordenamiento de los Recursos Hidráulicos.

Esta método regional se ha realizado un análisis de frecuencia para aproximadamente 200 estaciones hidrométricas del Perú que tienen datos de descargas diarias. Así mismo, se ha desarrollado relaciones entre las descargas máximas y el área de cuenca, con la finalidad de estimar las descargas máximas diarias en cuencas sin mediciones. Cabe destacar que de todos los parámetros considerados en estudios realizados, el área de cuenca es el que mejor explica las descargas máximas.

2.3.6 Desarrollo de Hietogramas de Diseño

- Hietogramas de Diseño:** La palabra Hietograma proviene del término griego Hietos, que significa precipitación. Es un resumen gráfico escalonado de un conjunto de datos, donde nos permite ver pautas que son difíciles de observar en una simple tabla numérica (expresa precipitación en función del tiempo). En ordenadas puede figurar la precipitación caída (mm), o bien la intensidad de precipitación (mm/hora). Generalmente se representa como un histograma (grafico barras), aunque a veces también se expresa como un gráfico de líneas.

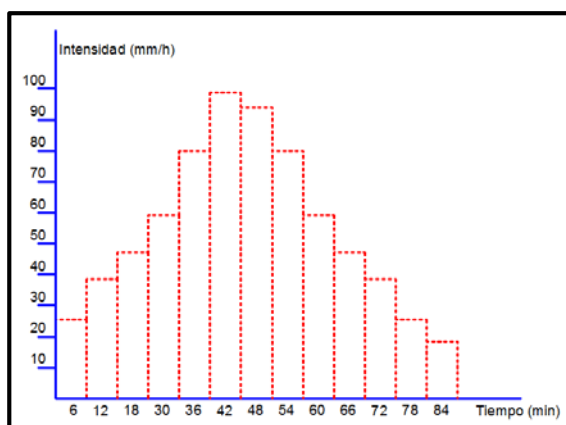


Figura 2.5 : Hietograma; Intensidad – Tiempo.

Sin embargo, a lo largo del tiempo diversos autores, han desarrollado varios métodos para determinar el hietograma de diseño, utilizando para ellos los registros de datos pluviográficos y concepciones teóricas diferentes, a continuación se describe el método de diseño empleado en esta investigación:

- Método del Bloque Alterno:** el objetivo básico de este método es determinar la curva masa acumulada de precipitación, asociada a un área de análisis y un periodo de retorno dado y con resultados se define el hietograma de diseño, discretizando la curva masa para un intervalo de tiempo constante. Con la curva de precipitación y el intervalo de tiempo elegido se estiman los incrementos de precipitación entre intervalos consecutivos y con estos valores se construyen el hietograma de diseño; el cual consiste en formar un diagrama de barras con el proceso que a continuación se describe.

En la parte central se ubica el valor de mayor valor y después se van alternando en orden descendente hacia la derecha e izquierda los otros valores para formar el hietograma de diseño. Como se muestra en la **Figura**

2.5, que señala la forma típica de un hietograma de diseño elaborado con el método del bloque alterno.

2.4 INFILTRACIÓN

Es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra. Aun cuando existe una diferencia con la PERCOLACIÓN, que es el movimiento del agua hacia el almacenamiento subterráneo, los dos fenómenos están relacionados íntimamente, puesto que la infiltración no puede continuar libremente sino cuando la percolación ha removido el agua de las capas superiores del suelo.

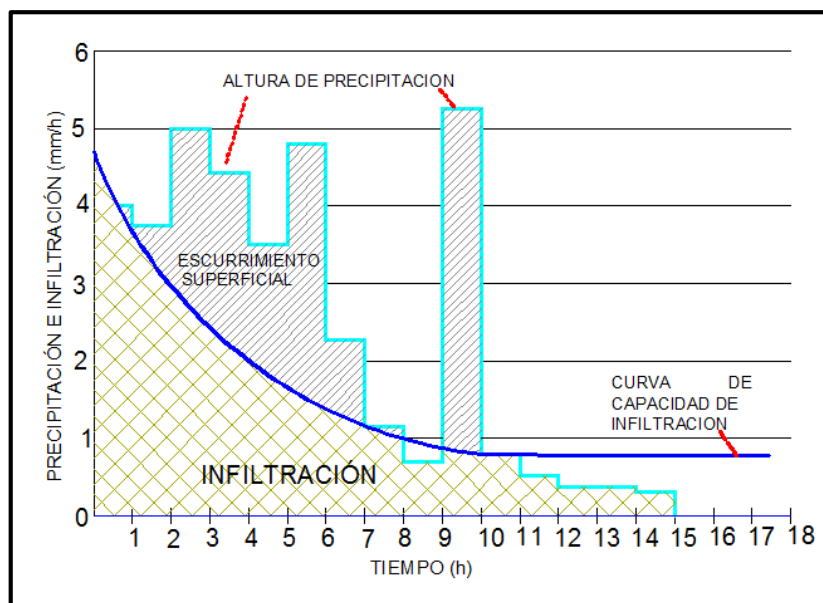


Figura 2.6 : Curva de la capacidad de infiltración.

Fuente: Linsley; Hidrología para Ingenieros.

En la **figura 2.6** se muestran la relación ante de la precipitación y la infiltración, se observa que esta disminuye a medida que el suelo aumenta su humedad a lo largo del tiempo.

2.4.1 Factores que Afectan a la Infiltración.

- **Condiciones de la Superficie del Suelo:** La compactación natural, o debida al tránsito, dificulta la penetración del agua y por tanto, reduce la capacidad de infiltración. Una superficie desnuda está expuesta al choque directo de las gotas de precipitación, que también da lugar a la compactación, lo que también disminuye la infiltración.
- **Características del Suelo:** Entre mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas y el estado de fisuramiento del suelo, mayor será la capacidad de infiltración.

- **Cubierta Vegetal:** Con una cubierta vegetal natural aumenta la capacidad de infiltración por la componente ya que la humedad de suelo es retirada a través de las raíces.

2.4.2 Tasa de Infiltración – Método del SCS

El objetivo de esta sección es conseguir la precipitación neta o precipitación efectiva la que produce escorrentía directa, por lo tanto, previamente debemos separar, que parte de la precipitación total va a generar escorrentía directa. Así mismo identificar el resto de la precipitación que se ha infiltrado o una pequeña, parte pudo haberse quedado retenida en depresiones superficiales.

Para obtener estas precipitaciones, emplearemos el método del SCS, cuyo procedimiento se estableció empíricamente USA (1964). Este método fue producto de investigación de años, donde participaron numeroso investigadores tales como Mockus 1949, Sherman 1942, Andrews 1954 y Ogrosky 1956.

La ecuación de la escorrentía efectiva cuando $P > I_a$ es:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Y cuando $P \leq I_a$

$$P_e = 0$$

Donde:

P_e : Profundidad en exceso de precipitación o escorrentía directa acumulada.

P : Profundidad de precipitación acumulada.

I_a : Abstracción Inicial.

S : Potencial de retención máxima.

Estas relaciones están basadas en la conservación de masa (Mockus). La escorrentía directa " P_e " es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación " P ". De manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca " F_a " es menor o igual a alguna retención potencial máxima " S ". Existe una cierta cantidad de precipitación " I_a " (Abstracción inicial antes del estrechamiento) en donde no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $(P - I_a)$. La hipótesis del método de SCS, consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales sean iguales. Mockus determinó estas relaciones primero, considerando la condición en que la abstracción inicial ($I_a=0$) y obtuvo.

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P} \quad (1)$$

Donde:

F_a : Retención actual después de la escorrentía dada.

Para satisfacer la conservación de masa se tiene: $F_a = P - P_e$ (2)

Sustituyendo la ecuación (2) en (1) se tiene:

$$\frac{P - P_e}{S} = \frac{P_e}{P} \quad \text{Despejando } P_e: P_e = \frac{P^2}{P + S}$$

Este es la relación precipitación – escorrentía bajo la condición de que la abstracción inicial es cero ($I_a=0$).

Cuando la abstracción inicial no es cero, la cantidad de la precipitación disponible para la escorrentía es $(P - I_a)$ en lugar de (P) . Sustituyendo $(P - I_a)$ para (P) en la ecuación resulta.

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (3)$$

Donde:

$F_a \leq S$ y $P_e \leq (P - I_a)$

Para este caso la conservación de masa es dado por:

$$F = (P - I_a) - P_e \quad (4)$$

Sustituyendo la ecuación (4) en (3) se tiene:

$$\frac{(P - I_a) - P_e}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Resolviendo para la profundidad en exceso de precipitación o escorrentía directa P_e .

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (5)$$

Es la ecuación básica para estimar la profundidad del exceso de precipitación o escorrentía directa de una precipitación utilizando el método SCS. La abstracción inicial consiste principalmente en intercepción, infiltración durante los comienzos de la precipitación, y las depresiones o almacenamientos en la superficie. Establecen una relación empírica para estimar esta abstracción inicial " I_a ", que está en función al potencial máximo de retención " S ".

$$I_a = 0.2 S \quad (6)$$

Reemplazando la ecuación (6) en (5).

$$P_e = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S}$$

Al presentar en graficas la información de “P” y “P_e” para muchas cuencas, el SCS encontró curvas como las que se muestra en la **Figura 2.7**. Para estandarizar estas curvas, se define un numero adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua CN=100, para superficies naturales CN < 100.

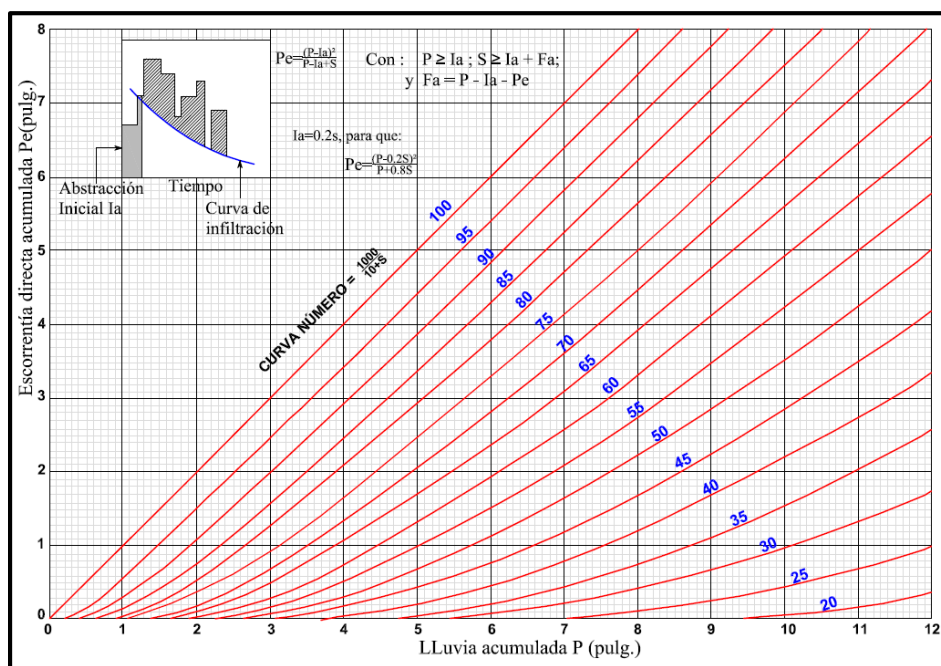


Figura 2.7 : Precipitación y escorrentía

Fuente: Hidrología Superficial, Eduardo Martínez Marín.

El Número de Curva CN en relación a “S” en pulgadas (in).

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

El Número de Curva CN en relación a “S” en milímetros (mm).

$$S = \frac{25400}{254 + CN}$$

CN: El valor del CN es un parámetro hidrológico adimensional de la cuenca o zona específica, indica el potencial para generar escurrimiento, de manera que un alto

valor de CN producirá gran escurrimiento y viceversa; puede tomar valores comprendidos entre 0 y 100.

CN = 0, si la cuenca o el terreno es tan permeable que no escurre agua ante ningún aguacero (esta es una situación extrema, imposible en la práctica).

CN = 100, si la cuenca es totalmente impermeable, es decir que escurre todo lo que llueve, como en el caso de superficies de agua, tejados o carreteras asfaltadas.

Los conceptos mencionados permitirán conocer el comportamiento de una cuenca ante una precipitación. Esto quiere decir, que se sabrá el volumen del agua que retiene una cuenca por infiltración del suelo, así como el volumen escurrido del cual se partirá para el diseño de un proyecto.

Los valores de Curva Número se aplica para condiciones antecedentes de Humedad (AMC, por sus siglas en inglés) normales (AMC II). Para condiciones secas (AMC I) o condiciones húmedas (AMC III), los numero de curva equivalente pueden calcularse por.

$$CN (I) = \frac{4.2 CN(II)}{10 - 0.058 CN (II)}$$

$$CN (III) = \frac{23 CN (II)}{10 + 0.13 CN (II)}$$

Tabla 2.4: Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC).

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estacion Inactiva	Estacion de Crecimiento
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

Fuente: SCS, 1972

La Tabla 2.4, se muestra el rango para las condiciones antecedentes de humedad para cada clase. Los números de curva han sido tabulados por el SCS con base en el tipo de suelo y uso de la tierra. Se definen cuatro tipos de suelo se puede visualizar en la **Tabla 2.5**.

Tabla 2.5: Grupo Hidrológico de Suelos.

GRUPO	DESCRIPCION
Grupo A	Bajo potencial de escurrimiento. Suelos que tienen altas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de arena y gravas profundas, con bueno a exceso drenaje. Estos suelos tienen altas velocidades de transmisión del agua.
Grupo B	Suelos con moderada velocidad de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos con cantidades moderadas de texturas finas y gruesas, con drenaje medio y algo profundo. Son básicamente suelos arenosos.
Grupo C	Suelos que tienen bajas velocidades de infiltración cuando están mojados, consisten principalmente de suelos que tienen un estrato que impide el flujo del agua. Son suelos con texturas finas (margas arcillosas, margas arenosas poco profundas). Estos suelos tienen bajas velocidades de transmisión.
Grupo D	(Alto potencial de escurrimiento. Suelos que tienen muy bajas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos arcillosos con alto potencial de hinchamiento, suelos con nivel freático y permanente, suelos con estratos arcillosos cerca de sus superficie, o bien, suelos someros sobre horizontes impermeables.

Fuente: SCS, 1972

Tabla 2.6: Número de Curva

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: Condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre sin hierbas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques en condiciones óptimas, cubiertas > 75%		39	61	74	80
Áreas abiertas, césped, parques en condiciones aceptables entre el 50% y 75%		49	69	79	84
Áreas comerciales (85% impermeable)		89	92	94	95
Áreas industriales (72% impermeable)		81	88	91	93
Residencial		Grupo hidrológico del suelo			
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable	A	B	C	D
505.8 m ²	65%	77	85	90	92
1011.6 m ²	38%	61	75	83	87
1348.9 m ²	30%	57	72	81	86
2023.5 m ²	25%	54	70	80	85
4046.9 m ²	20%	51	68	79	84
Pavimentos, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calle y carreteras	Pavimento con cunetas y alcantarillado	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

Fuente: SCS, 1972

Los valores de CN para varios tipos de uso de tierra en estos tipos de suelo, se pueden observar de la **Tabla 2.6**.

2.4.3 Hidrograma Unitario.

Es ampliamente utilizado como algoritmo de solución para la transformación precipitación escurrimiento o precipitación efectiva en caudal. El hidrograma unitario es el hidrograma de escurrimiento superficial que resulta de una precipitación efectiva en exceso unitaria, distribuida uniformemente durante un periodo de tiempo específico, en un punto de un curso de agua; este método se basa en dos hipótesis:

- 1.- La respuesta de una cuenca ante el proceso de escurrimiento directa presenta un comportamiento lineal, empleándose los principios de proporcionalidad y superposición.
- 2.- No se tiene en cuenta la variabilidad temporal de las características de la cuenca, de manera que una misma precipitación efectiva produce siempre el mismo hidrograma de escurrimiento directa.

Estas hipótesis presentan las siguientes condiciones:

- La precipitación en exceso o precipitación efectiva es de intensidad constante dentro de una duración efectiva, exigiendo que las precipitaciones sean de corta duración (tiempo base corto y un caudal pico único).
- La precipitación en exceso está distribuida de manera uniforme sobre toda el área de drenaje. El área de drenaje no debe ser muy grande o bien deberá ser subdividida en sub cuencas de modo que se cumpla esta suposición.
- La duración del escurrimiento directo (tiempo base del hidrograma unitario) que resulta del exceso de precipitación de duración conocida es constante.
- El hidrograma unitario de una duración determinada es único para una cuenca e invariante en el tiempo. Las características del cauce no deben tener cambios y la cuenca no debe tener almacenamientos apreciables (no deben tener embalses)

Principios Básicos: La derivación y aplicación del Hidrograma Unitario está basada en una teoría empírica que está conformada por dos teoremas o principios básicos que se aplican en todos los casos:

- **Principio de Proporcionalidad:** Para la precipitación efectiva de una duración dada, el volumen de precipitación, que es igual al volumen de escurrimiento directa, es proporcional a la intensidad de dicha precipitación. Como los hidrogramas de escurrimiento directa correspondiente a precipitaciones efectivas de la misma duración, tienen el mismo tiempo

base, se concluye que las ordenadas de dichos hidrogramas serán proporcionales a la intensidad de la precipitación efectiva.

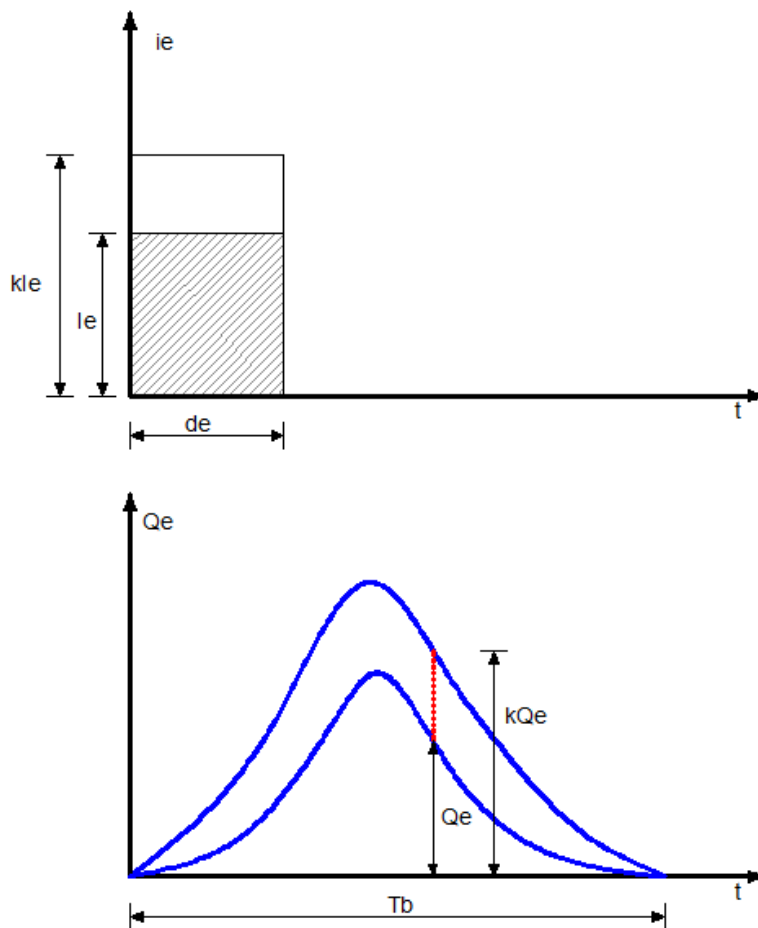


Figura 2.8 : Hidrograma Unitario: Principio de Proporcionalidad

$$\frac{P_{e1}}{P_{e2}} = \frac{i_{e1}}{i_{e2}} = \frac{Q_{e1}}{Q_{e2}} = k$$

Donde:

P_e : Volumen de precipitación efectiva.

i_e : Intensidad efectiva.

Q_e : Caudal de escorrentía directa.

- **Principio de Superposición:** Los cuales de un hidrograma total de escorrentías directas producidas por precipitaciones efectivas sucesivas pueden ser hallados sumando los caudales de los hidrogramas de escorrentía directa correspondientes a las precipitaciones efectivas

individuales, teniendo en cuenta los tiempos en que ocurren tales precipitaciones.

Componentes Básicos de dicho Hidrograma:

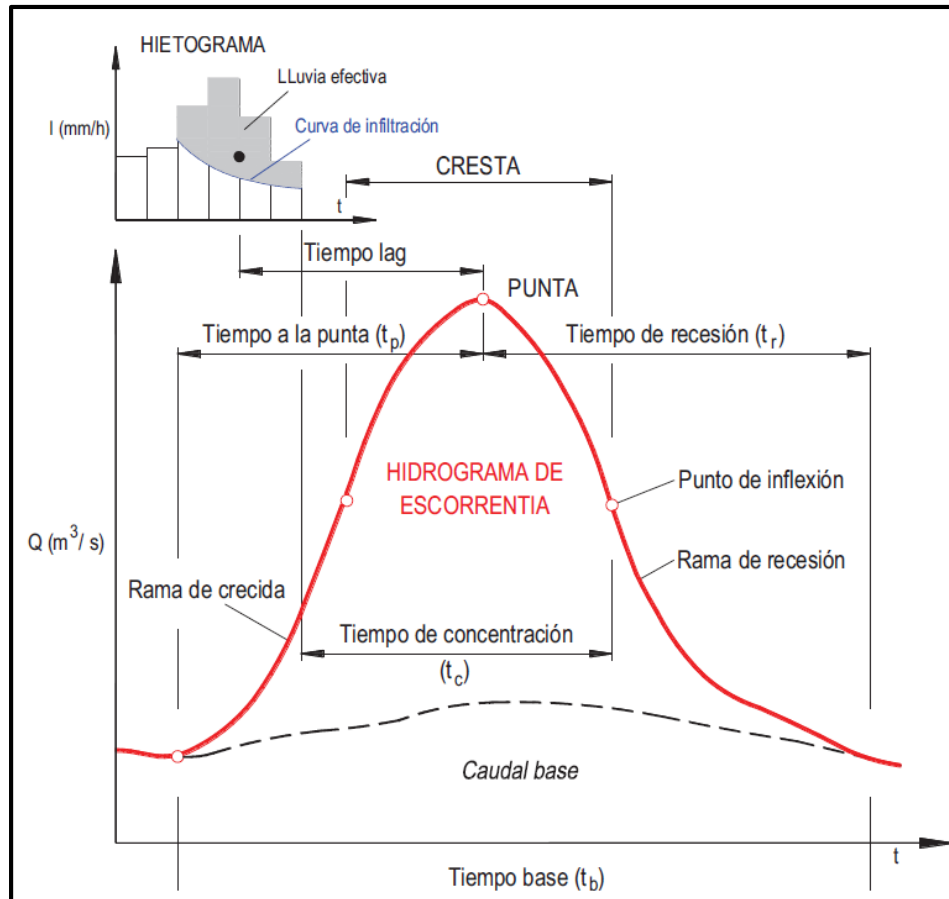


Figura 2.9 : Hidrograma Unitario: Esquema General

Fuente: Linsley; Hidrología para Ingenieros.

- **Tiempo de Retardo del Modelo (T_{lag}):** corresponde al tiempo comprendido entre el centroide del histograma de precipitación efectiva y el pico del hidrograma de escorrentía directa correspondiente. Se asume que el rezago es constante para una cuenca ya que depende de los parámetros morfométricos de la misma, por tanto el tiempo de retardo se calcula como:

$$T_{lag} = \frac{L_c^{0.8} (S + 1)^{0.7}}{1900 S_c^{0.5}}$$

Donde “ L_c ” es la longitud del canal principal en pies, “ S ” (en pulgadas) corresponde al el factor de retención o almacenamiento de la cuenca calculado utilizando número de curva “ CN ” y “ S_c ” es la pendiente de la

cuenca en porcentaje. El factor de retención “S” se obtiene del método del SCS para retención o pérdidas mediante la expresión:

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

Donde CN es el número de curva. Así mismo, el tiempo de concentración en la cuenca puede definirse como:

$$T_c = \frac{5}{3} T_{lag}$$

- **Tiempo al pico del modelo SCS:** El tiempo al pico esta dado como:

$$T_p = \frac{T}{2} + T_{lag}$$

Donde “T” representa la duración de la precipitación efectiva en horas y “T_{lag}” el tiempo de rezago en horas. Se puede demostrar que la duración “T” de la precipitación efectiva para la cual se construirá el hidrograma unitario será:

$$T = 0.133 T_c$$

- **Caudal al pico del modelos SCS:** El caudal al pico en pies por segundo por pulgadas se puede calcular como:

$$Q_p = \frac{484 A_c}{T_p}$$

Donde “A_c” corresponde al área de la cuenca en millas cuadradas y “T_p” es el tiempo al pico en horas.

- **Esquema de la hidrógrafa del SCS:** El hidrograma unitario adimensional curvilíneo del SCS puede ser representado por una hidrógrafa unitaria triangular equivalente con las mismas unidades de tiempo y caudal, teniendo por consiguiente el mismo porcentaje del volumen en lado creciente del hidrograma como lo muestra la **Figura 2.10**.

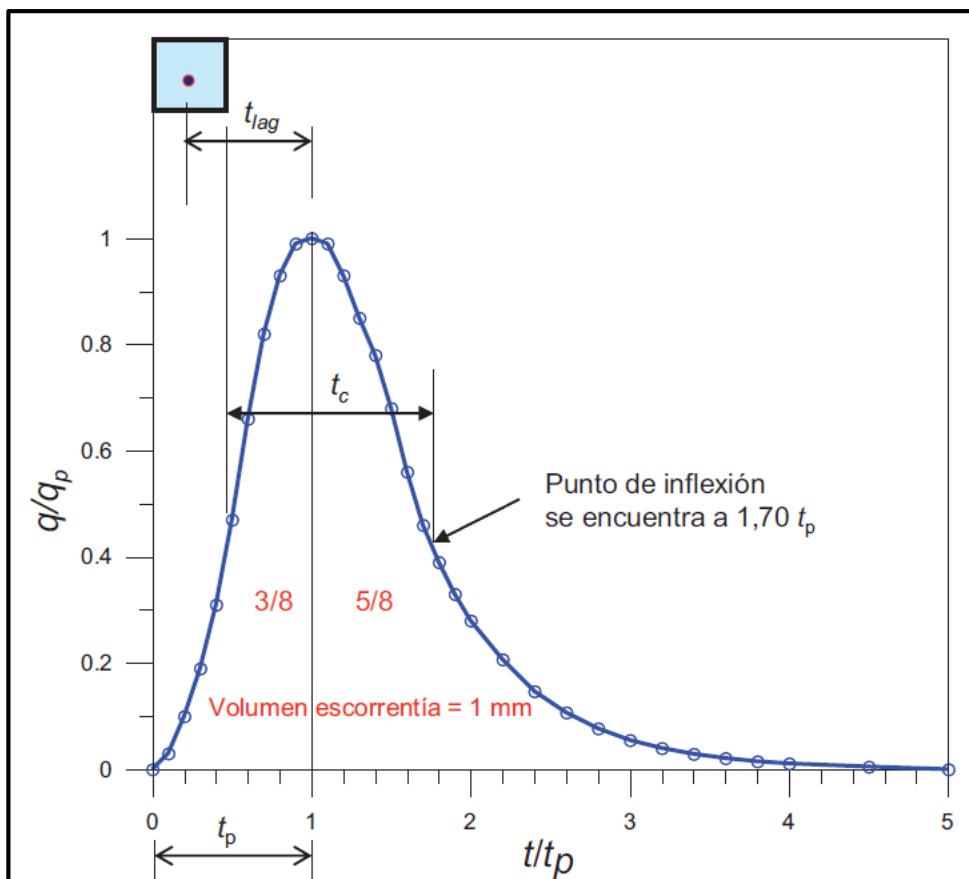


Figura 2.10 : Esquema de la hidrológica del SCS

Fuente: Linsley; Hidrología para Ingenieros.

2.5 MODELOS DIGITALES DEL TERRENO Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)

El desarrollo de los modelos digitales del terreno así como la utilización de técnicas basadas en los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G), permite la mejora tanto en la calidad como en la cantidad de los datos a utilizar en la modelización hidrológica.

Objetivo Fundamental de un SIG

Los objetivos básicos de un SIG son los siguientes:

- Consultar y analizar información a través de su representación espacial y sus atributos asociados
- Conocer el comportamiento espacial de los datos para resolver situaciones y problemas del mundo real

El SIG almacena información cartográfica digital, a la cual se anexa una información atributiva organizada mediante tablas. Los datos descriptivos

recogidos en las tablas permiten realizar las consultas, análisis, gráficos e informes relativos a los datos espaciales.

Formatos de Almacenamiento de Datos Espaciales:

- **Formato Vectorial:** Representación discreta de la realidad
 - Información que posee una expresión espacial claramente definida:
 - Cursos de agua
 - Vías de comunicación
 - Redes de servicios: tuberías
 - Infraestructuras: aeropuertos
- **Formato Raster:** Representación continua de la realidad
 - Información que no posee una expresión espacial claramente definida:
 - Topografía del terreno
 - Variables climáticas
 - Masas de vegetación
 - Áreas inundables

2.5.1 Aplicación de las Componentes SIG.

Ciertos modelos ya existentes siguen desarrollándose ya con el apoyo en algunos Sistemas de Información Geográfica comunes, con variable dependiente con respecto al análisis del terreno llevado a cabo en dichos SIGs. En general, y dada la gran cantidad de datos que habitualmente se requieren para alimentar los modelos hidrológicos, se desarrollan elementos integrados dentro de un SIG que permiten facilitar la obtención y mejorar el manejo de dicha cantidad de datos. Más importante aún, algunos de estos componentes SIG dan lugar a nuevas posibilidades, muchas de ellas derivadas de la gran potencia que reside en los Modelo Digitales de Terreno (MDTs) como representaciones del relieve, abriendo el camino hacia la modificación de los modelos con los que se relacionan y la incorporación en estos de nuevas capacidades más íntimamente relacionadas con la información espacial disponible.

Un ejemplo clásico de esta circunstancia lo encontramos en los desarrollos llevados a cabo por el HEC para la mejora de sus modelos HEC-RAS y HEC-HMS. Como parte de este esfuerzo, surgen las aplicaciones HEC-GeoRAS y HEC-GeoHMS, las cuales, trabajando sobre el popular SIG ArcView, permiten el

cálculo automatizado de buena parte de los parámetros que son necesarios para la operación de los modelos implementados en HEC-RAS y HEC-HMS respectivamente. No obstante, no añaden ningún elemento adicional al modelo, aunque permiten que éste sea utilizado con una precisión mayor y trabajando con una resolución espacial mucho más elevada que la que podría obtenerse mediante la medida e introducción manual de los datos.

Desde otro punto de vista, Maidment et al (2001) desarrollan sobre el SIG ArcView un sistema denominado ArcHydro que pretende establecerse como estructura óptima para el almacenamiento y aprovechamiento de toda la información empleada tanto en la modelización hidráulica como en la hidrológica, y siempre sobre una base SIG importante. Lejos de constituir un modelo como tal, se trata de una estructura conceptual encaminada al establecimiento de una serie de ideas acerca de cómo debe llevarse a cabo el manejo de información de interés hidrológico dentro de un Sistema de Información Geográfica.

2.5.2 Ventajas de la Incorporación de los SIG en la Modelización Hidrológica.

Los aspectos positivos que pueden achacarse a la llegada de las aplicaciones de tipo SIG al ámbito de la modelización hidrológica, ya sea mediante uno de los enfoques anteriores u otro distinto, pueden analizarse desde diferentes puntos de vista. Lejos de limitarse al aumento en la precisión y la automatización del cálculo de parámetros, la filosofía novedosa que presentan los modelos relacionados con funcionalidades de tipo SIG tiene consecuencias favorables en muchos otros aspectos.

Una enumeración de los mismos podría ser, en líneas generales, la siguiente.

- Cálculo más preciso de parámetros físicos necesarios para operar con los modelos hidrológicos.
- Aumento de la resolución espacial de trabajo a todos los niveles.
- Análisis de la variación espacial de factores como coeficientes de escorrentía o similares, que hasta entonces debían considerarse como parámetros de valor único constante.
- Análisis de la variación espacial de la precipitación, hasta entonces considerada como elemento constante y estático. Esto permite un análisis de las diferentes intensidades de precipitación para los distintos puntos de una cuenca, así como el estudio de los movimientos de las precipitaciones y las variaciones que ello conlleva.

- Aparición de nuevos enfoques tales como modelos plenamente distribuidos, o recursos y técnicas nuevas basadas en el conocimiento exhaustivo del medio físico en el que se desarrollan los fenómenos hidrológicos.

2.6 MODELAMIENTO DEL HEC-HMS Y LA EXTENSIÓN HEC-GEO-HMS DE ARC-VIEW

2.6.1 Descripción General del Modelo Hidrológico HEC-HMS.

Para simular la respuesta hidrológico de una cuenca, HEC-HMS utiliza los siguientes componentes:

Modelo de la Cuenca, Modelo Meteorológico, Especificaciones de Control y Datos de Entrada. Una simulación calcula la transformación de precipitación a caudal en el modelo de la cuenca, dada la entrada del modelo meteorológico. Las especificaciones de control definen el periodo de tiempo durante el cual se realizará la simulación y el intervalo de tiempo a utilizar. Los componentes de los datos de entrada, tales como las series temporales, tablas y datos por celdas, son requeridos como parámetros o condiciones de contorno tanto en el modelo de la cuenca como en el meteorológico. Para definir la estructura de una cuenca, el programa considera los siguientes elementos hidrológicos.

- Sub cuencas (subbasins)
- Tramos de tránsito (routing reach)
- Uniones (junctions)
- Embalses (reservoirs)
- Fuentes (Sources)
- Sumideros (sinks)
- Derivaciones (diversions)

Con estos siete componentes, el usuario puede elaborar una cuenca tan compleja como requiera el problema que esté tratando y de acuerdo a la información de campo disponible. Si se cuenta con información digital de campo, el HMS incluye la opción de trabajar la cuenca con subdivisiones en grillas o celdas, cada una de las cuales almacena información pertinente respecto a la precipitación, área, pendientes y condición de humedad del suelo.

Selección de Métodos y Definiciones de sus Parámetros:

Entro métodos posibles que presenta el programa para determinar las pérdidas por infiltración, posibilitando obtener sus parámetros de manera aproximada, se tiene a continuación:

- Método de déficit y tasa constante.
- Método de Green y Ampt.
- Método de pérdida inicial y tasa constante.
- Método número de curva del SCS.

Tipo de Simulación que Realiza el HEC-HMS:

El HEC-HMS es un modelo tipo evento, lineal y semi distribuido. Por lo tanto, una corrida de simulación del programa consiste en calcular la componente de escorrentía directa como una función del tiempo, producto de un evento de precipitación de duración variable (entre algunos minutos y varios días) que se produce a la salida de las sub cuencas. Los hidrógrafos resultantes se combinan según la estructura de la cuenca, definida por el usuario en sentido estricto de aguas arriba hacia aguas abajo, hasta hallar el hidrograma resultante a la salida de toda la cuenca. Las simulaciones en HEC-HMS son de dos tipos:

- **Convencionales:** se obtienen los hidrógrafos de salida y combinadas para un evento de precipitación supuesto.
- **De calibración:** Los hidrógrafos resultantes se comparan con un registro histórico en un cierto punto de la cuenca.

Tabla 2.7: Resultados arrojados por el programa HEC-HMS.

Simulación	Resultados	Tipo de Precipitación
Convencional	Hidrógrafos de salida en cada subcuenca	Gráfica, tablas de series de tiempo
	Hidrógrafos transitados en los tramos de unión	Gráfica, tablas de series de tiempo
	Combinación de hidrógrafos en los puntos de unión	Gráfica, tablas de series de tiempo
	Caudal pico y tiempo al pico, volumen de escorrentia	Tabla resumen
Calibración	Ajuste al hidrógrafo observado	Gráficas de ajuste de datos (cuatro formatos), tabla principal
	Valores óptimos de los parámetros ajustados	Tabla principal

Información que Requiere el Programa:

La información que necesita el programa está relacionada directamente con los métodos de cálculo que maneja. Existen cinco grupos básicos de información que deben suministrarse al HEC-HMS para efectuar las simulaciones:

- Información acerca de la precipitación histórica o de diseño.
- Información acerca de las características del suelo.
- Información Morfométricas de las sub cuencas.
- Información hidrológica del proceso de transformación de precipitación en escorrentía.

Para la calibración, validación y análisis de sensibilidad del modelo, además de la información anterior se necesitan:

- Registros de precipitación y caudales de salida (hietogramas e hidrógrafos).
- Determinación de las condiciones iniciales de humedad en los suelos.

2.6.2 Descripción del Arc – View y su Extensión HEC-GEO-HMS.

El Arc-View es una herramienta SIG que comercializa la empresa estadounidense ESRI la cual ha lanzado ya al mercado una versión avanzada de ArcView conocida como ArcGIS.

Componentes de Arc-View:

- projects (proyectos): todos los componentes asociados con una tarea particular.
- consta de vistas, tablas, gráficos, layouts (disposiciones), scripts, etc.
- views (vistas): esencialmente un mapa que se puede crear y consultar, contiene uno o más temas.
- themes (temas): capas de datos espaciales con características similares (ej. calles, hidrología, capitales) dispuestos en alguna view.
- tables (tablas): filas (usualmente localizaciones geográficas asociadas mediante un ID a objetos en los temas) y columnas que describen atributos (propiedades o características) de localizaciones.

- chart (gráficos estadísticos): gráficos estadísticos para mostrar datos geográficos y tabulares.
- layouts (disposiciones): vistas de salidas gráficas, de tablas y cartas.
- script (guiones): programas escritos en Avenue, que permiten una personalización completa.

El HEC-GEO-HMS: es una extensión de ArcView que ha sido desarrollada como un grupo de herramientas hidrológicas geoespaciales para ingenieros e hidrólogos con una limitada experiencia en sistemas de información geográfica. El programa permite visualizar información espacial, documentar características de la cuenca, realizar análisis espaciales, delinear cuencas y ríos, construir las entradas para modelos hidrológicos y ayudar en la preparación de informes. El trabajo con el HEC-GEO-HMS a través de sus interfaces, menús, herramientas, en un entorno con ventanas, permite crear rápidamente entradas hidrológicas que pueden usarse directamente con el modelo hidrológico HEC-HMS.

El HEC-GEO-HMS se usa para procesar los datos de la cuenca después de haber realizado una preparación y compilación inicial de los datos del terreno. Los datos necesarios para trabajar con el HEC-GEO-HMS incluyen un modelo digital de elevaciones (**MDE**). Cuando la preparación de los datos está lista, el HEC-GEO-HMS procesa el terreno y la información espacial para generar una serie de entradas hidrológicas que le darán al usuario un modelo inicial para el HEC-HMS. El usuario puede estimar los parámetros hidrológicos a partir de las características de la cuenca y los cauces, precipitación medida y datos de caudales.

Procedimiento de trabajo con la Extensión HEC-GEO-HMS:

A continuación se describe el procedimiento de trabajo con HEC-GEO-HMS para obtener un proyecto HMS que será utilizado en el modelo hidrológico HEC-HMS.

- **Corrección hidrológica. Modelo Digital de Elevaciones (MDE) sin depresiones:** Muchas veces es necesario modificar el modelo digital de elevación original antes de comenzar con los procedimientos de cálculo de parámetros, para forzar el encauzamiento. Esta modificación es frecuentemente requerida en zonas llanas, en las cuales la preparación del MDE es mucho más complicada que en zonas de pendiente.

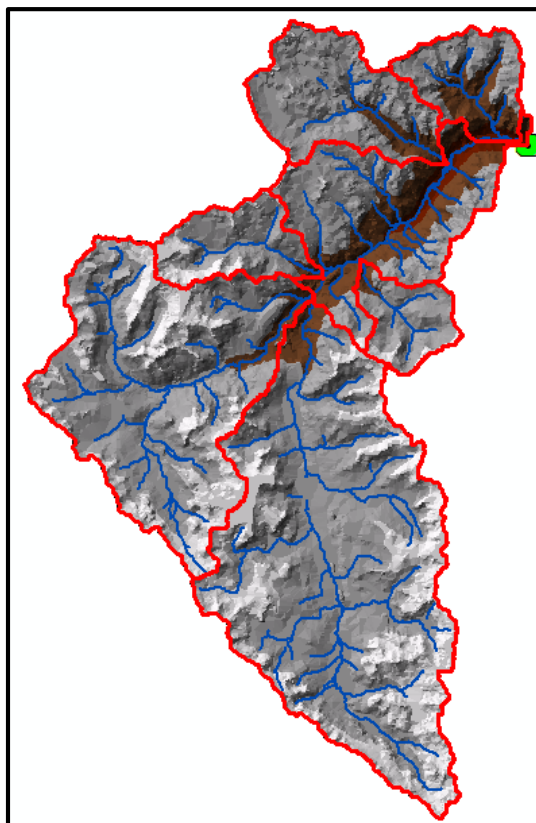


Figura 2.11 : Modelo Digital de la Cuenca.

- **Procesamiento del Terreno:** se realiza el procesamiento del terreno obteniéndose 8 conjuntos de datos que describen los patrones de drenaje de la cuenca y permiten la delineación de las sub cuencas y la red de drenaje. Los primeros 5 son en formato “grid”, los 3 últimos en formato “shp”.
 - Flow direction (Dirección de Flujo): Definir la dirección de la mayor pendiente.
 - Flow accumulation (Acumulación de Flujo): Determinar el número de celdas que drenan a cada celda.
 - Stream definition : Clasificar todas las celdas con flujo procedente de un número de celdas mayor a un umbral definido por el usuario como pertenecientes a la red de drenaje.
 - Stream segmentation: Dividir los cauces en segmentos.
 - Watershed delineation: Definir una cuenca por cada segmento de cauce.
 - Watershed polygons: Convertir las sub cuencas de formato grid a formato vector.

- Stream segments: Convertir los cauces de formato grid a formato vector.
- Watershed Aggregation: Aglutinar las sub cuencas que vierten a cada confluencia de cauces. **Extensión HEC-GEO-HMS:** Una vez cargada la extensión HEC-GEO-HMS en ArcView y activado en MDE se comienza a procesar los datos de la cuenca mediante la siguiente secuencia.

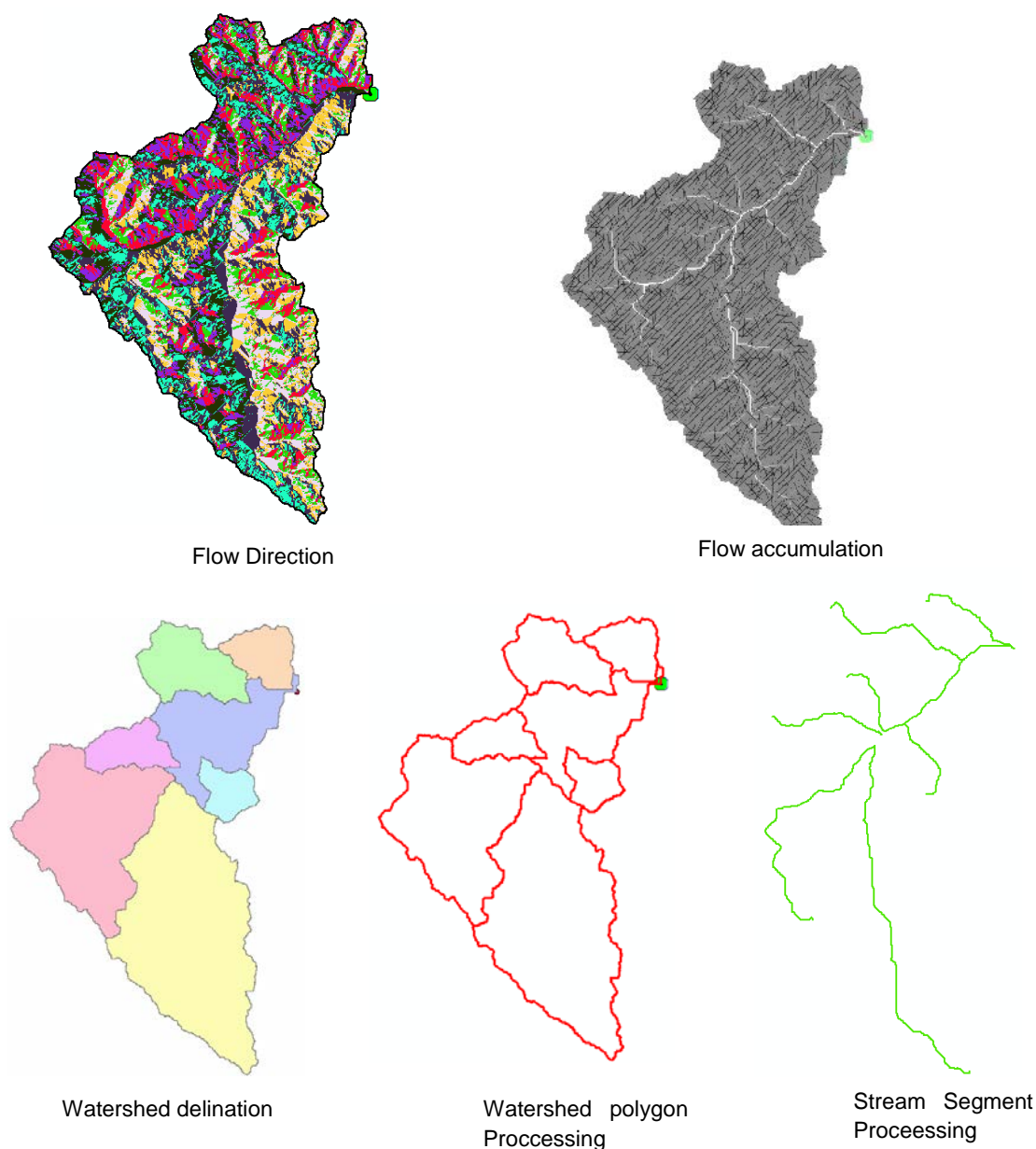


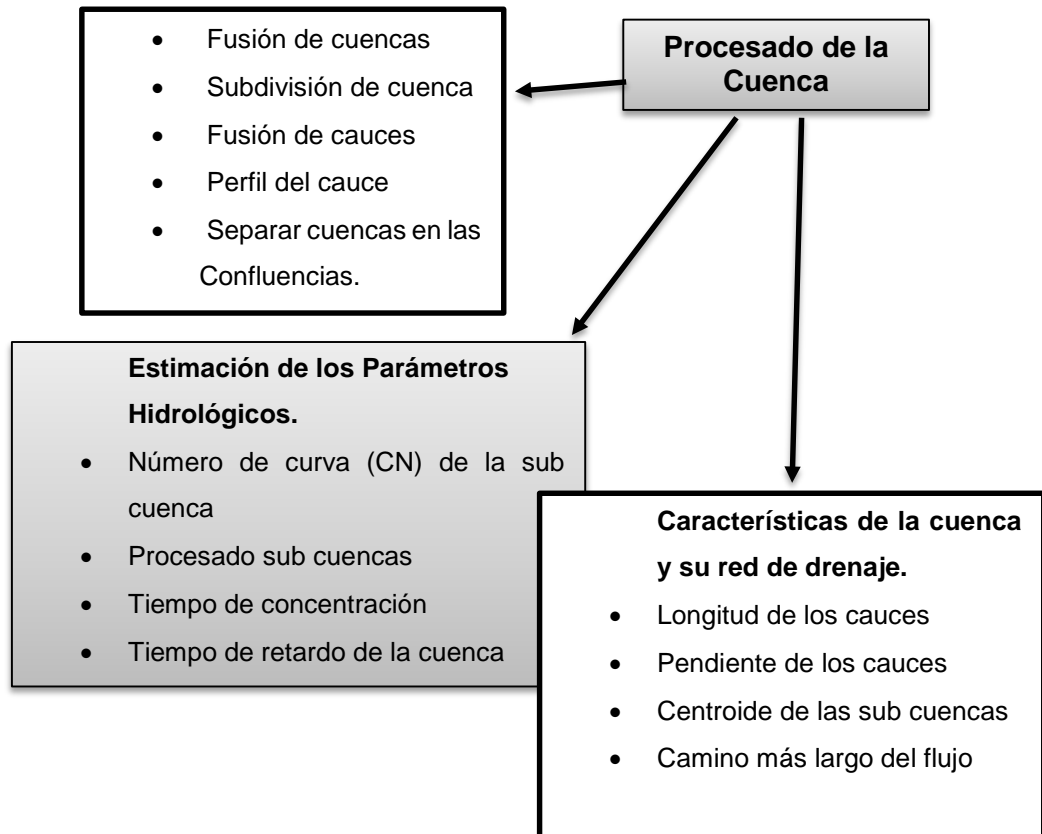
Figura 2.12 : Obtenidos del procesamiento del Terreno.

- **Configuración del Modelo Hidrológico:** El menú “HMS Project Setup” se encarga de extraer la información necesaria de la base de datos espacial y crear un proyecto HMS. Se trata de la especificación de puntos de control a la salida de la cuenca, los cuales definen los tributarios de la misma.



Figura 2.13 : Esquema de una Cuenca HMS.

- **Procesado de la Cuenca:** En este apartado el programa presenta una serie de herramientas dentro del menú “Basin Processing” que permiten unir o fusionar y subdividir sub cuencas de forma interactiva, así como delinear nuevas sub cuencas.



- **Modelo Digital de Elevaciones en ArcView:** Antes de comenzar el trabajo con la extensión HEC-GEO-HMS se necesita crear un modelo digital de elevaciones (MDE, DEM) ya que el mismo tiene información suficiente para definir las propiedades de la red de drenaje superficial y de la cuenca hidrológica.
- **Generar la Entrada al Modelo Hidrológico HEC-HMS:** El menú “HMS” desarrolla una serie de entradas hidrológicas para el HEC-HMS que son:
 - Archivo de mapa de fondo
 - Archivo de esquema de la cuenca agregada
 - Archivo de parámetros por celdas
 - Archivo de esquema de la cuenca distribuida
- **Configuración del Proyecto HMS:** Esta función genera un subdirectorío de proyecto en el directorío “HMS Project” y copia todos los ficheros generados con Geo-HMS en ese directorío. Si el directorío ya existe, los ficheros que haya en él serán reemplazados.
- **Importar el Modelo de la Cuenca hacia el Software HEC-HMS:** Una vez creado el proyecto HMS con la extensión ya se puede importar dicho proyecto hacia el HEC-HMS.

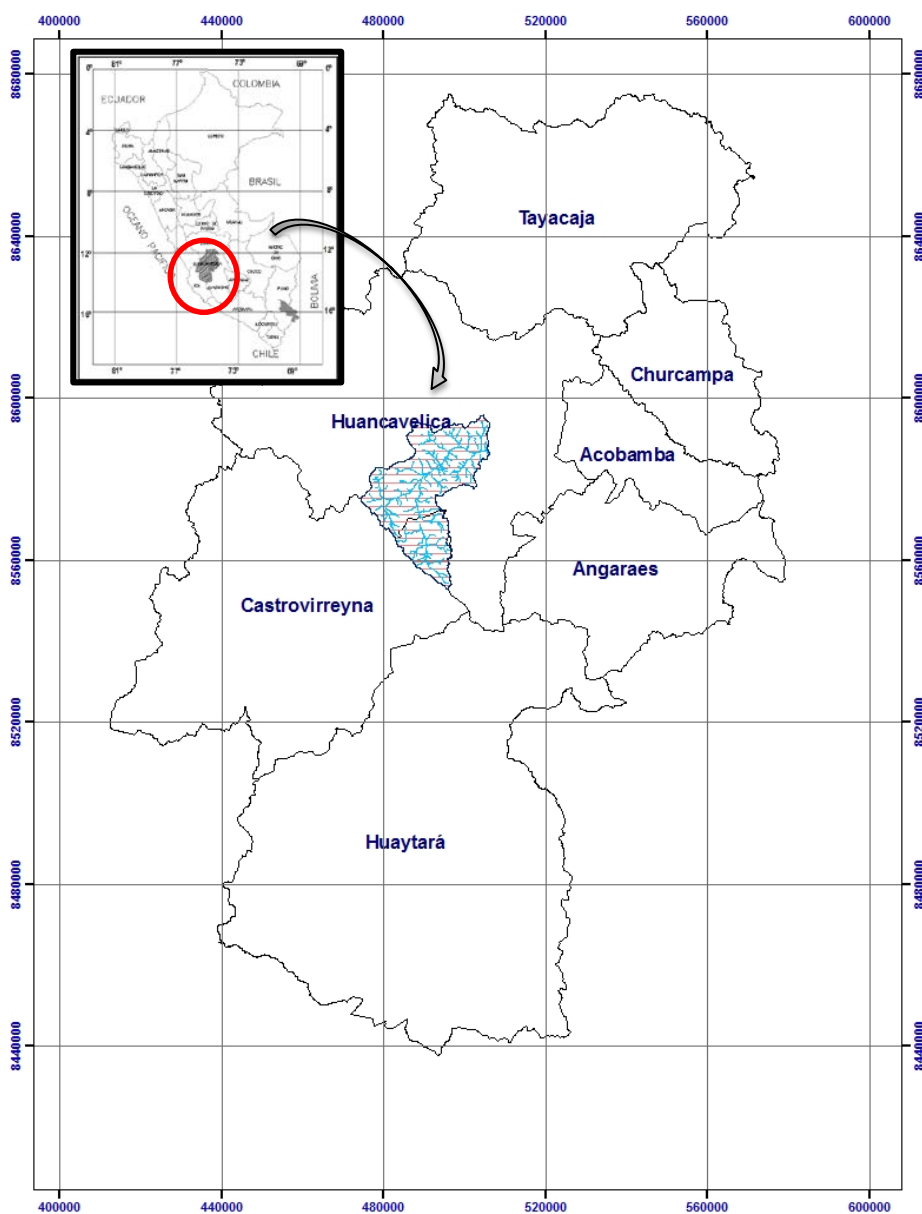
CAPITULO III: APLICACIÓN A LA SUB CUENCA DEL RIO ICHU-HUANCAVELICA.

3.1 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

Ubicación

El proyecto geográficamente se ubica en el departamento de Huancavelica, provincia de Huancavelica entre los paralelos $12^{\circ}46'39.19''$ de latitud sur y los meridianos $74^{\circ}59'52.09''$ de longitud oeste (**Figura 3.1**).

Figura 3.1 : Ubicación Cuenca Rio Ichu.



Fuente: Gobierno Regional de Huancavelica

Descripción de la Cuenca

La cuenca del Río Ichu nace en una altitud de 4810 m.s.n.m. y es un afluente al Río Mantaro en una cota de 2831 m.s.n.m. tiene un recorrido de 106 Km con una pendiente promedio de 1.85%, el área de estudio del proyecto de investigación tiene 641.15 km², tomando como punto de inspección "5" que se encuentra ubicado geográficamente 12°47'8.95" de latitud Sur y los meridiano 74°56'43.90" de Longitud Oeste, en la Comunidad de Santa Rosa Distrito de Santa Ana y provincia de Huancavelica

Clasificación y Uso del Suelo

Según el estudio realizado por el Gobierno Regional de Huancavelica, el uso actual de tierra con mayor extensión dentro del primer nivel de categorización, son las áreas de Bosques y áreas mayor mente naturales, distribuidas a nivel departamental, y de menor extensión las ocupan las áreas artificiales, conformados por las infraestructuras urbana y rural del todo los distritos y capitales provinciales del departamento.

Para el caso de segundo nivel de categorización el departamento de Huancavelica tiene mayor representatividad las áreas de vegetación herbácea y/o arbustiva, y la de menor extensión fueros las áreas urbanizadas.

Para el caso del tercer nivel de categorización de uso actual de las tierras del departamento de Huancavelica las que presentaron mayor extensión fueros las herbazales y de menor extensión la áreas de tejido urbano discontinuo, representados por todos las zonas urbanas de los distritos capitales.

Geología:

Según la misma referencia se tiene la geología descrita a continuación del departamento de Huancavelica es sumamente compleja y su con figuración lito-estratigráfica data desde el Paleozoico inferior hasta el Cuaternario reciente. La base de la Columna Estratigráfica la constituyen los sedimentos metamórficos del grupo Excelsior, las más antiguas sobre los que se asientan rocas areno-lutáceas permo carboníferas y mesozoicas; a su vez, el Mesozoico, está representado por una diversidad de formaciones compuestas de calizas, lutitas, areniscas, conglomerados, etc.; a los que en forma extensiva cubren derrames volcánicos diversos del Terciario y Cuaternario pleistocénico, así como materiales

consolidados más recientes de gravas, arenas, arcillas, bloques y otros, que normalmente rellenan las depresiones actuales, en forma irregular.

La presencia de las rocas intrusivas tienen asimismo gran desarrollo, presentándose en dimensiones batolíticas y en forma de "stocks", apófisis o diques; están compuestas principalmente de granitos, granodioritas, tonalitas, dioritas y diabasas de edad Cretácica terciaria. A las primeras corresponden los batolitos de "Villa Azul", del sector oriental; y andino costanero, del sector occidental. Ambos son de naturaleza predominantemente granitoide.

3.2 METODOLOGIA DEL TRABAJO.

Para el estudio hidrológico se considera 4 tramos de inspección en el Río Ichu que son: TRAMO CALLQUI, TRAMO ASCENSION – YANANACO, TRAMO CERCADO – SANTA ANA Y TRAMO SANTA ROSA (Tabla 3.1 y Figura 3.2) estos tramos mencionados se encuentra dentro del área urbana de la ciudad de Huancavelica y que representan a la vez un alto grado de riesgo de inundación para ello se estima las máximas avenidas de entrada y salida de cada tramo respectivamente para diferentes periodos de retorno (10, 25, 50, 100, 200, 300, 400, 500 y 1000 años) a partir de un modelo hidrológico determinístico en su transformación precipitación escorrentía, que en función a sus características morfológicas, usos de suelo y otros factores, permite obtener los caudales de dichas avenidas optando por emplear el programa de cómputo HEC-HMS.

Tabla 3.1: Tramos de Estudios Planteados.

Tramo de Estudio	Descripción	Punto Entrada	Punto Salida
Tramo 1	Callqui Chico	1	2
Tramo 2	Yananaco -Ascención	2	3
Tramo 3	Cercado - Santa Ana	3	4
Tramo 4	Santaines de Pata - Santa rosa	4	5

Los tramos que corresponden a la zona urbana en los tramos 2,3 y 4 a los que se otorga mayor interés, ya que representan un riesgo significativo que exige una adecuada estimación de los flujos de avenidas y las potenciales áreas de inundación, para que posteriormente se planté estructuras hidráulicas a lo largo del Río Ichu de tal forma evitar las inundaciones que se pueda presentar en el área Urbana de la Ciudad de Huancavelica.



Figura 3.2 : Ubicación de los Puntos de Inspección.

Para determinar el área de la cuenca es necesario delimitar su contorno, para el presente proyecto de investigación tomaremos como punto de salida (Punto de desagüe) el punto de inspección “5” que se encuentra ubicado en el Puente Santa Rosa,

Una vez determinada la cuenca del Rio Ichu, se dividió en sub cuencas, estudiándose cada una de ellas para la determinación de sus características morfológicas, tipos de suelo, entre otros; para que posteriormente hacer el análisis correspondiente en cada tramo planteado anteriormente **(Figura 3.3)**.

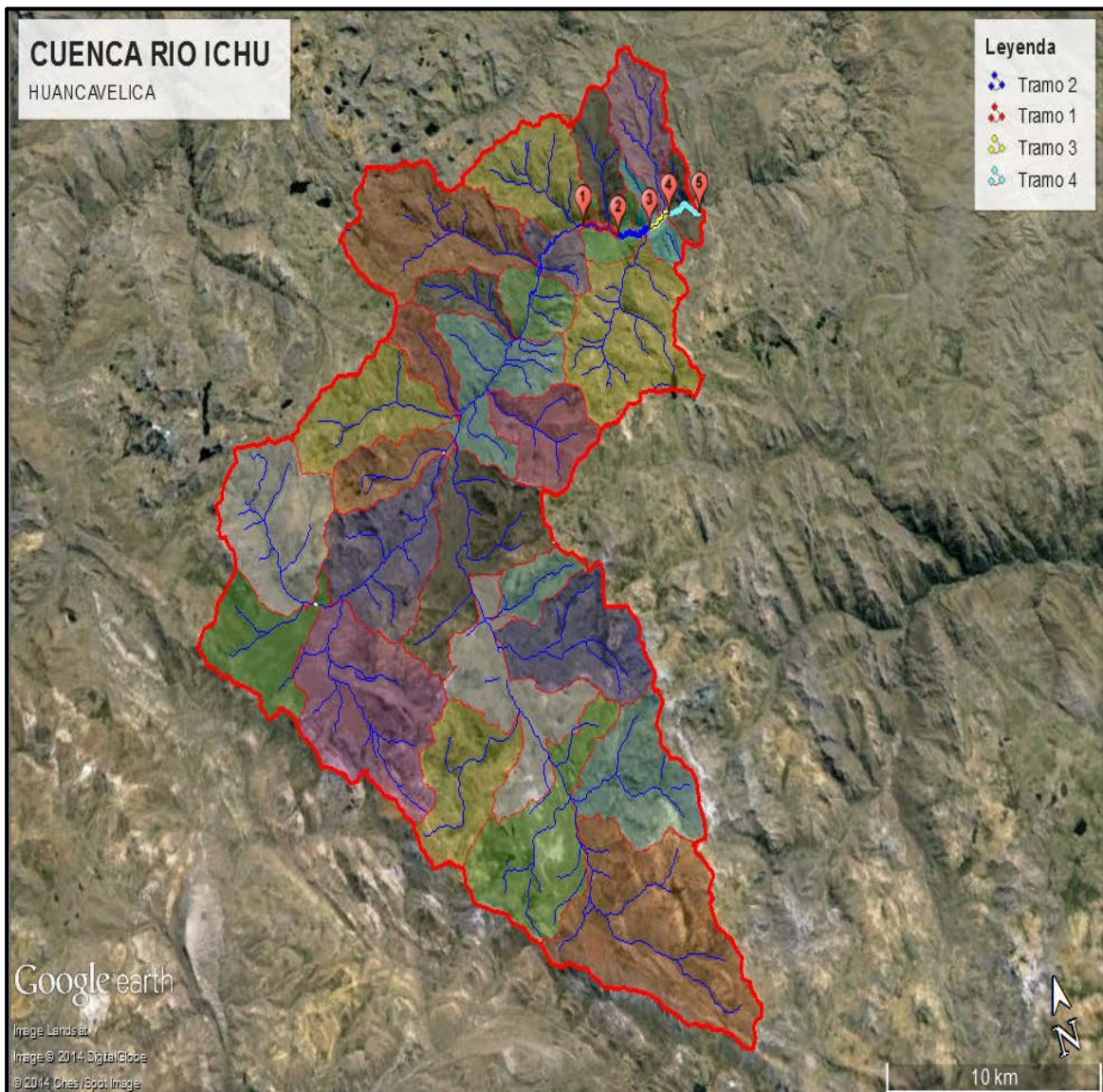


Figura 3.3 : Delimitación de la Cuenca de Estudio.

3.3 ESTIMACIÓN DE AVENIDAS EN EL RÍO ICHU.

- **Método de las huellas máximas para la avenida histórica:**

Este método se utiliza para estimar el gasto máximo que se presentó durante una avenida reciente, en un río donde no se cuenta con ningún otro tipo de aforo. Para su aplicación se requiere solamente contar con topografía de un tramo del cauce y las marcas del nivel máximo del agua durante el paso de la avenida

La estimación de avenida histórica lo realizamos en el punto de inspección “4” tomando en cuenta la sección transversal del Río Ichu y la altura de la huella máxima, para el presente proyecto de investigación se midió dos alturas de agua la primera altura corresponde al año 2012 (Nivel 1) que fue una de las alturas más críticas que se dio en los últimos años generando inundaciones por ciertos sectores en la área urbana de Huancavelica, la segunda altura (Nivel 2) es referente a la altura promedio que se da durante todo el año (**Figura 3.4**).

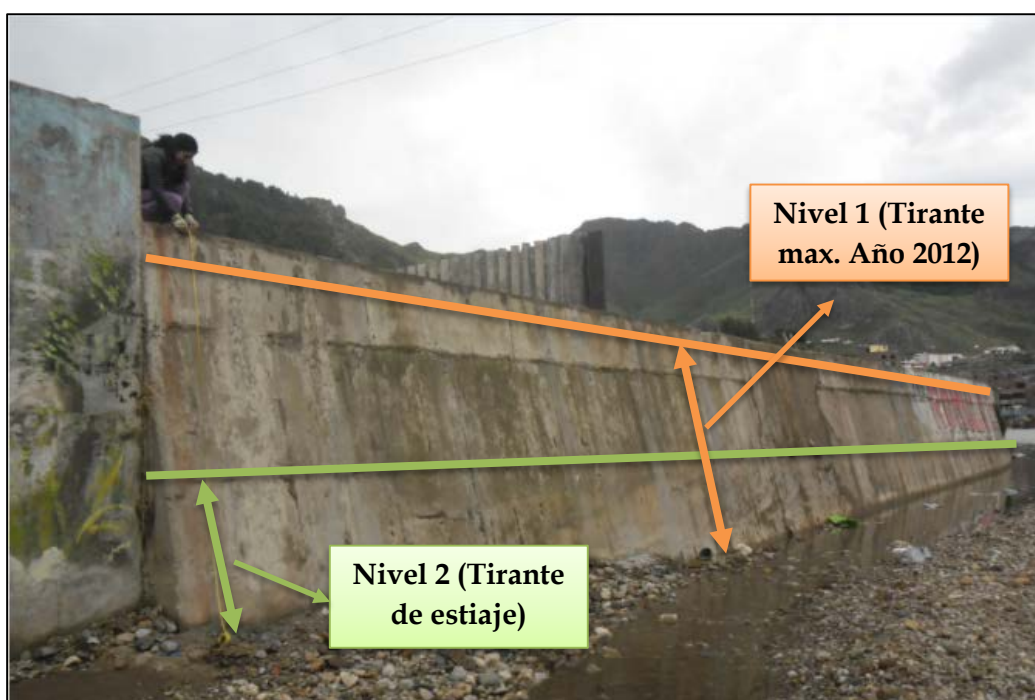


Figura 3.4 : Muro de Contención Planteado.

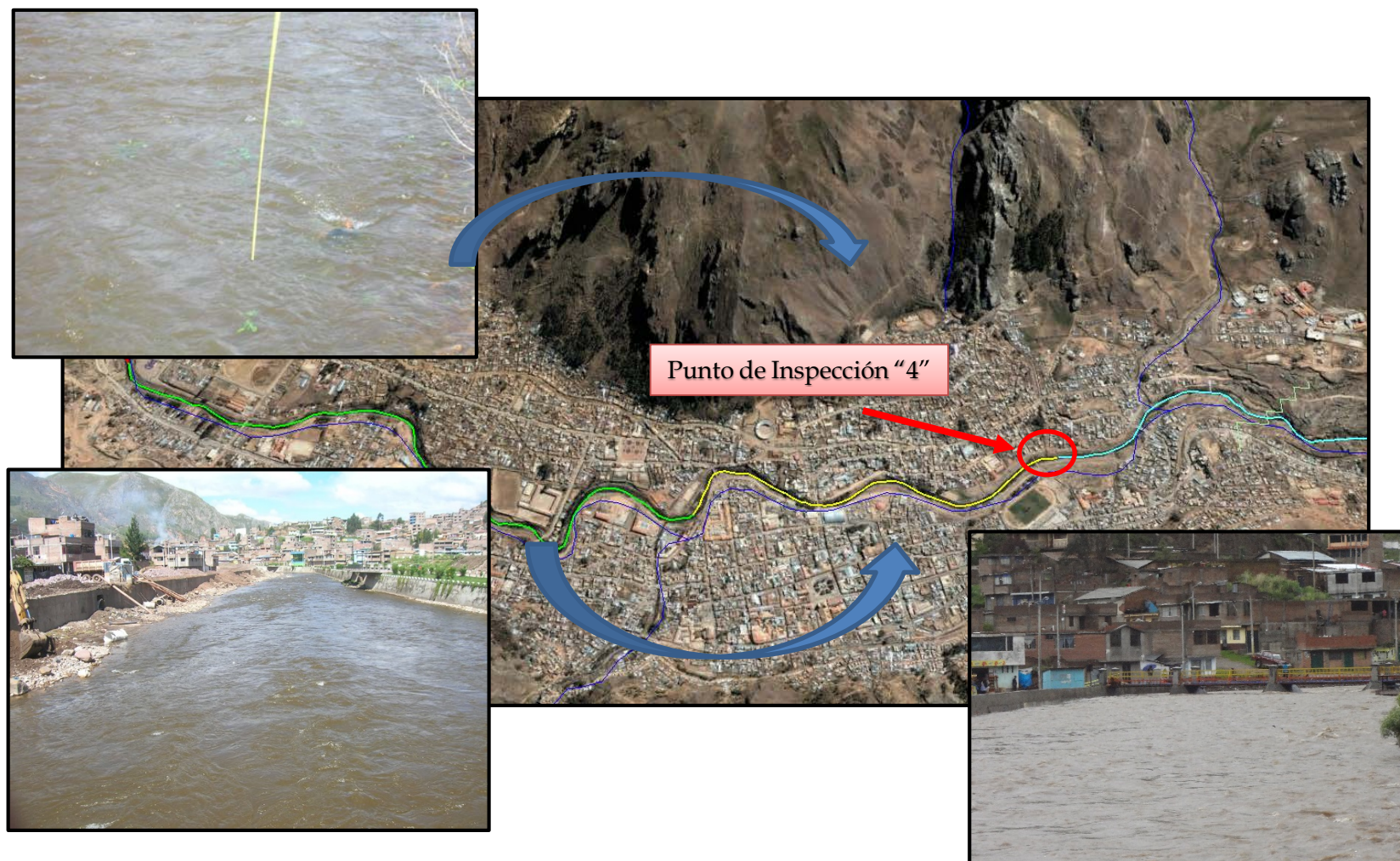
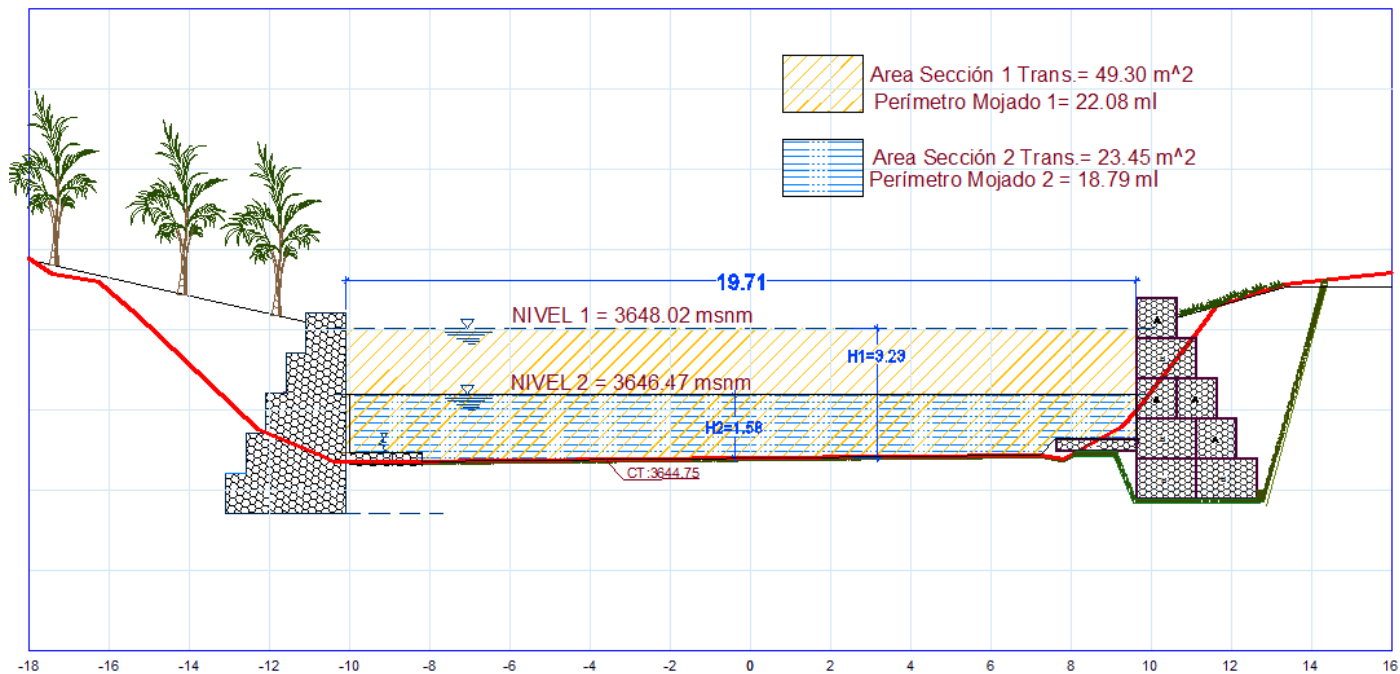


Figura 3.5 : Aforo en el Punto de Inspección "4".



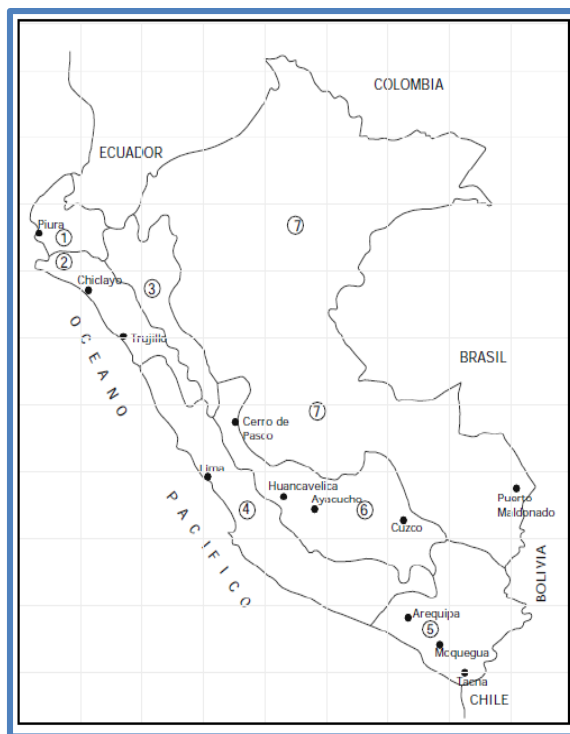
Fuente: Gobierno Regional de Huancavelica

Figura 3.6 : Sección Transversal del Rio Ichu en el Punto de Inspección "4".

Denominación	Caudal (m3/s)	Sección Trans.	Perimetro Mojado	Radio Hidraulico	Pendiente (m/m)	Coficiente de Manning
Nivel 1	106.48	41.47	21.03	1.97	0.02	0.075
nivel 2	23.59	15.69	17.76	0.88	0.02	0.075

- **Método Creager:**

La aplicación de este método permite la estimación de los caudales máximos diarios en cuenca sin información, para diferentes periodos de retorno, tomando el área de la cuenca como el parámetro de mayor incidencia en el ocurrencia de caudales máximos.



Según los autores, el territorio peruano queda subdividido en siete regiones hidráulicas diferenciables, tal como se muestra en el mapa.

Para cada una de las zonas identificadas, se establece el conjunto de coeficientes y exponentes indicado en cuadro siguiente:

REGION	C1	C2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.1	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Para la zona de estudio se tiene los siguientes parámetros.

Cuenca	Región	Area (Km2)	C1	C2	m	n
Huancavelica	6	641.15	0.18	0.31	1.24	0.04

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) * \text{Log}(T_r) * (A^{m*A^{-n}})$$

Tabla 3.2: Resultado de Caudales Máximo según el Método de Creager.

Periodo de Retorno (Tr) años	Caudal Maximo (Qmax) m3/s
10	238.72
25	333.72
50	405.58
100	477.44
200	549.30
300	591.34
400	621.16
500	644.30
1000	716.16

• **Método Según las Ecuaciones IILA-SENAMHI:**

Las precipitaciones máximas e intensidades máximas de tormentas, han sido comparadas regionalmente por el “Estudio de la Hidrología del Perú” hecho por el IILA-SENAMHI-UNI, 1983, cuyas fórmulas que tienen la siguiente forma:

$$P_{t,T} = a(1 + K \log T)(t + b)^{n-1}t$$

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

Donde $p_{t,T}$, $i_{t,T}$ son la precipitación y la intensidad de tormenta para una duración “t” (en horas) y de período de retorno “T” (en años) dados; a, K y n son constantes regionales. Según la metodología empleada por el IILA las fórmulas son válidas para $t \leq 3$ horas.

Se considera una relación creciente de la precipitación con la altitud. Es por esta razón que se ha zonificado el área de influencia, tomándose los parámetros correspondientes según las características regionales de las Cuencas.

Tabla 3.3: Parámetros regionales IILA.

PARAMETROS REGIONALES	
Constante "a"	15.00
Constante "b"	0.400
Constante "k"	0.533
Constante "n"	0.254

Tabla 3.4: Precipitaciones (mm) para distintos periodos de retorno según la IILA.

Duración	Precipitación (mm)								
	Tr: 10 años	Tr: 25 años	Tr: 50 años	Tr: 100 años	Tr: 200 años	Tr: 300 años	Tr: 400 años	Tr: 500 años	Tr: 1000 años
10	5.85	6.66	7.28	7.89	8.50	8.86	9.12	9.31	9.93
20	9.66	11.00	12.01	13.02	14.03	14.62	15.04	15.37	16.38
30	12.44	14.16	15.46	16.76	18.06	18.83	19.37	19.78	21.09
40	14.61	16.63	18.16	19.69	21.22	22.11	22.75	23.24	24.77
50	16.39	18.65	20.37	22.08	23.80	24.80	25.52	26.07	27.78
60	17.89	20.37	22.24	24.11	25.98	27.08	27.86	28.46	30.33
70	19.19	21.85	23.86	25.87	27.87	29.05	29.88	30.53	32.54
80	20.34	23.15	25.28	27.41	29.54	30.79	31.67	32.36	34.49
90	21.37	24.33	26.56	28.80	31.03	32.34	33.27	33.99	36.23
100	22.30	25.38	27.72	30.05	32.39	33.75	34.72	35.47	37.81
110	23.15	26.35	28.78	31.20	33.62	35.04	36.05	36.83	39.25
120	23.93	27.25	29.75	32.26	34.76	36.23	37.27	38.07	40.58
130	24.66	28.07	30.66	33.24	35.82	37.33	38.40	39.23	41.81
140	25.34	28.85	31.50	34.15	36.81	38.36	39.46	40.31	42.96
150	25.98	29.57	32.29	35.01	37.73	39.32	40.45	41.33	44.04
160	26.58	30.26	33.04	35.82	38.60	40.23	41.38	42.28	45.06
170	27.15	30.90	33.75	36.59	39.43	41.09	42.27	43.18	46.03
180	27.69	31.52	34.42	37.31	40.21	41.91	43.11	44.04	46.94

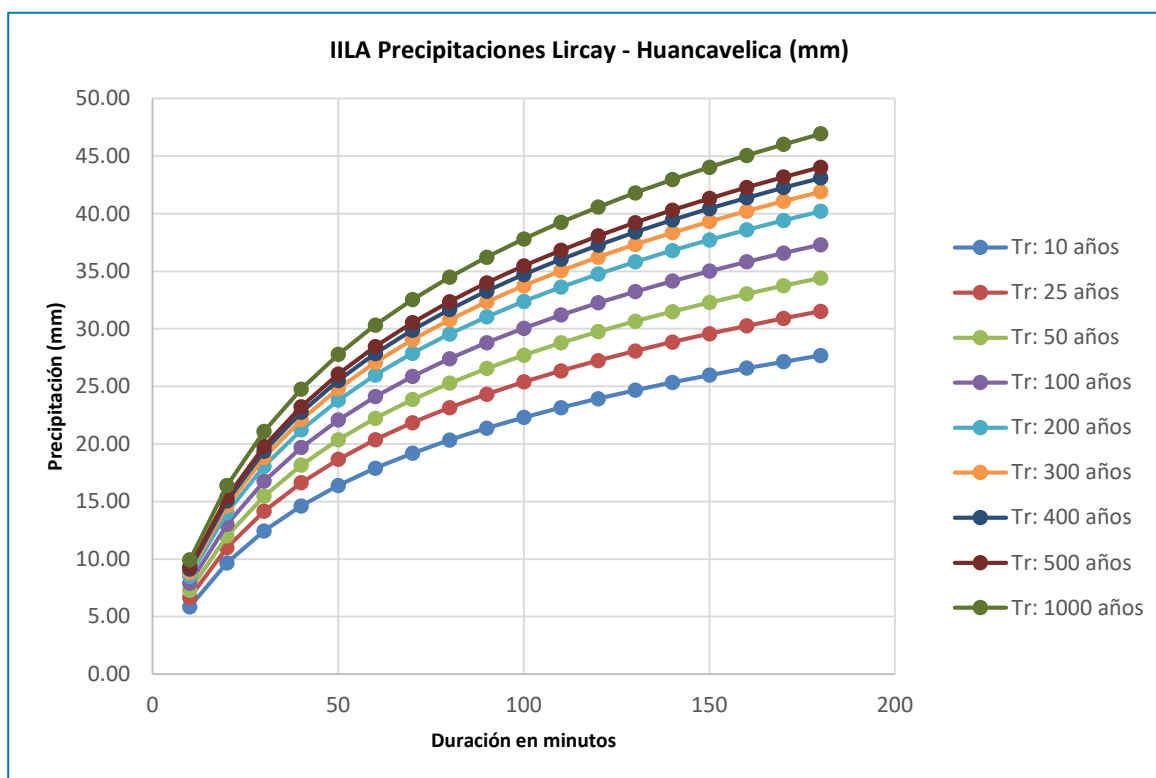


Figura 3.7 : IILA Precipitaciones Lircay - Huancavelica (mm) según la IILA.

Tabla 3.5: Intensidades (mm/hr) para distintos periodos de retorno según la IILA.

Duración	Intensidad (mm/hrs)								
	Tr: 10 años	Tr: 25 años	Tr: 50 años	Tr: 100 años	Tr: 200 años	Tr: 300 años	Tr: 400 años	Tr: 500 años	Tr: 1000 años
10	35.13	39.99	43.66	47.34	51.02	53.17	54.69	55.88	59.55
20	28.98	32.99	36.02	39.06	42.09	43.87	45.12	46.10	49.13
30	24.88	28.32	30.92	33.52	36.13	37.65	38.73	39.57	42.17
40	21.91	24.95	27.24	29.53	31.83	33.17	34.12	34.86	37.15
50	19.66	22.39	24.44	26.50	28.56	29.76	30.62	31.28	33.34
60	17.89	20.37	22.24	24.11	25.98	27.08	27.86	28.46	30.33
70	16.45	18.73	20.45	22.17	23.89	24.90	25.61	26.17	27.89
80	15.26	17.37	18.96	20.56	22.16	23.09	23.75	24.27	25.86
90	14.25	16.22	17.71	19.20	20.69	21.56	22.18	22.66	24.15
100	13.38	15.23	16.63	18.03	19.43	20.25	20.83	21.28	22.68
110	12.63	14.37	15.70	17.02	18.34	19.11	19.66	20.09	21.41
120	11.97	13.62	14.88	16.13	17.38	18.11	18.63	19.04	20.29
130	11.38	12.96	14.15	15.34	16.53	17.23	17.72	18.11	19.30
140	10.86	12.36	13.50	14.64	15.77	16.44	16.91	17.28	18.41
150	10.39	11.83	12.92	14.00	15.09	15.73	16.18	16.53	17.62
160	9.97	11.35	12.39	13.43	14.48	15.09	15.52	15.86	16.90
170	9.58	10.91	11.91	12.91	13.92	14.50	14.92	15.24	16.24
180	9.23	10.51	11.47	12.44	13.40	13.97	14.37	14.68	15.65

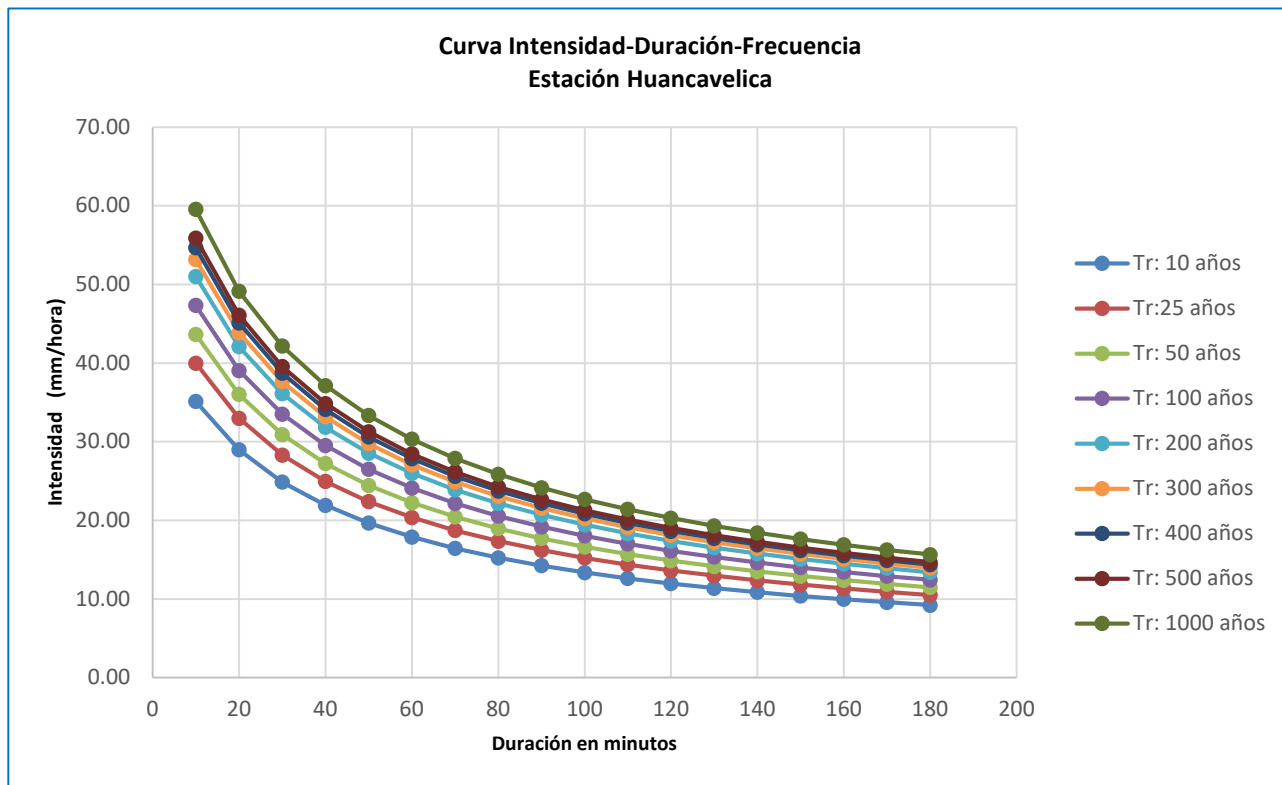


Figura 3.8 : Curvas IDF para distintos periodos según la IILA.

Tabla 3.6: Intensidad Hietograma: Método del Bloque Interno según IILA-SENAMHI

Intervalo	Intensidad Hietograma : Metodo del bloqueo Alterno (mm)																	
	Tr: 10 años		Tr: 25 años		Tr: 50 años		Tr: 100 años		Tr: 200 años		Tr: 300 años		Tr: 400 años		Tr: 500 años		Tr: 1000 años	
(min)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)
0-10	35.13	9.58	39.99	10.91	43.66	11.91	47.34	12.91	51.02	13.92	53.17	14.50	54.69	14.92	55.88	15.24	59.55	16.24
10-20	28.98	10.39	32.99	11.83	36.02	12.92	39.06	14.00	42.09	15.09	43.87	15.73	45.12	16.18	46.10	16.53	49.13	17.62
20-30	24.88	11.38	28.32	12.96	30.92	14.15	33.52	15.34	36.13	16.53	37.65	17.23	38.73	17.72	39.57	18.11	42.17	19.30
30-40	21.91	12.63	24.95	14.37	27.24	15.70	29.53	17.02	31.83	18.34	33.17	19.11	34.12	19.66	34.86	20.09	37.15	21.41
40-50	19.66	14.25	22.39	16.22	24.44	17.71	26.50	19.20	28.56	20.69	29.76	21.56	30.62	22.18	31.28	22.66	33.34	24.15
50-60	17.89	16.45	20.37	18.73	22.24	20.45	24.11	22.17	25.98	23.89	27.08	24.90	27.86	25.61	28.46	26.17	30.33	27.89
60-70	16.45	19.66	18.73	22.39	20.45	24.44	22.17	26.50	23.89	28.56	24.90	29.76	25.61	30.62	26.17	31.28	27.89	33.34
70-80	15.26	24.88	17.37	28.32	18.96	30.92	20.56	33.52	22.16	36.13	23.09	37.65	23.75	38.73	24.27	39.57	25.86	42.17
80-90	14.25	35.13	16.22	39.99	17.71	43.66	19.20	47.34	20.69	51.02	21.56	53.17	22.18	54.69	22.66	55.88	24.15	59.55
90-100	13.38	28.98	15.23	32.99	16.63	36.02	18.03	39.06	19.43	42.09	20.25	43.87	20.83	45.12	21.28	46.10	22.68	49.13
100-110	12.63	21.91	14.37	24.95	15.70	27.24	17.02	29.53	18.34	31.83	19.11	33.17	19.66	34.12	20.09	34.86	21.41	37.15
110-120	11.97	17.89	13.62	20.37	14.88	22.24	16.13	24.11	17.38	25.98	18.11	27.08	18.63	27.86	19.04	28.46	20.29	30.33
120-130	11.38	15.26	12.96	17.37	14.15	18.96	15.34	20.56	16.53	22.16	17.23	23.09	17.72	23.75	18.11	24.27	19.30	25.86
130-140	10.86	13.38	12.36	15.23	13.50	16.63	14.64	18.03	15.77	19.43	16.44	20.25	16.91	20.83	17.28	21.28	18.41	22.68
140-150	10.39	11.97	11.83	13.62	12.92	14.88	14.00	16.13	15.09	17.38	15.73	18.11	16.18	18.63	16.53	19.04	17.62	20.29
150-160	9.97	10.86	11.35	12.36	12.39	13.50	13.43	14.64	14.48	15.77	15.09	16.44	15.52	16.91	15.86	17.28	16.90	18.41
160-170	9.58	9.97	10.91	11.35	11.91	12.39	12.91	13.43	13.92	14.48	14.50	15.09	14.92	15.52	15.24	15.86	16.24	16.90
170-180	9.23	9.23	10.51	10.51	11.47	11.47	12.44	12.44	13.40	13.40	13.97	13.97	14.37	14.37	14.68	14.68	15.65	15.65

Tabla 3.7: Precipitación Hietograma: Método de Bloque Interno según IILA-SENAMHI

Intervalo (min)	Precipitación Hietograma : Metodo del bloqueo Alterno (mm)																	
	Tr: 10 años		Tr: 25 años		Tr: 50 años		Tr: 100 años		Tr: 200 años		Tr: 300 años		Tr: 400 años		Tr: 500 años		Tr: 1000 años	
	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)
0-10	5.85	0.57	6.66	0.65	7.28	0.71	7.89	0.77	8.50	0.82	8.86	0.86	9.12	0.88	9.31	0.90	9.93	0.96
10-20	3.81	0.64	4.33	0.73	4.73	0.79	5.13	0.86	5.53	0.93	5.76	0.96	5.93	0.99	6.05	1.01	6.45	1.08
20-30	2.78	0.73	3.16	0.83	3.45	0.90	3.74	0.98	4.03	1.06	4.20	1.10	4.32	1.13	4.42	1.16	4.71	1.23
30-40	2.17	0.85	2.47	0.97	2.70	1.06	2.93	1.15	3.15	1.24	3.29	1.29	3.38	1.32	3.45	1.35	3.68	1.44
40-50	1.78	1.03	2.02	1.17	2.21	1.28	2.40	1.39	2.58	1.49	2.69	1.56	2.77	1.60	2.83	1.63	3.01	1.74
50-60	1.50	1.30	1.71	1.48	1.87	1.62	2.03	1.75	2.18	1.89	2.28	1.97	2.34	2.03	2.39	2.07	2.55	2.21
60-70	1.30	1.78	1.48	2.02	1.62	2.21	1.75	2.40	1.89	2.58	1.97	2.69	2.03	2.77	2.07	2.83	2.21	3.01
70-80	1.15	2.78	1.31	3.16	1.43	3.45	1.55	3.74	1.67	4.03	1.74	4.20	1.79	4.32	1.83	4.42	1.95	4.71
80-90	1.03	5.85	1.17	6.66	1.28	7.28	1.39	7.89	1.49	8.50	1.56	8.86	1.60	9.12	1.63	9.31	1.74	9.93
90-100	0.93	3.81	1.06	4.33	1.16	4.73	1.25	5.13	1.35	5.53	1.41	5.76	1.45	5.93	1.48	6.05	1.58	6.45
100-110	0.85	2.17	0.97	2.47	1.06	2.70	1.15	2.93	1.24	3.15	1.29	3.29	1.32	3.38	1.35	3.45	1.44	3.68
110-120	0.78	1.50	0.89	1.71	0.97	1.87	1.06	2.03	1.14	2.18	1.19	2.28	1.22	2.34	1.25	2.39	1.33	2.55
120-130	0.73	1.15	0.83	1.31	0.90	1.43	0.98	1.55	1.06	1.67	1.10	1.74	1.13	1.79	1.16	1.83	1.23	1.95
130-140	0.68	0.93	0.77	1.06	0.84	1.16	0.92	1.25	0.99	1.35	1.03	1.41	1.06	1.45	1.08	1.48	1.15	1.58
140-150	0.64	0.78	0.73	0.89	0.79	0.97	0.86	1.06	0.93	1.14	0.96	1.19	0.99	1.22	1.01	1.25	1.08	1.33
150-160	0.60	0.68	0.68	0.77	0.75	0.84	0.81	0.92	0.87	0.99	0.91	1.03	0.93	1.06	0.96	1.08	1.02	1.15
160-170	0.57	0.60	0.65	0.68	0.71	0.75	0.77	0.81	0.82	0.87	0.86	0.91	0.88	0.93	0.90	0.96	0.96	1.02
170-180	0.54	0.54	0.61	0.61	0.67	0.67	0.73	0.73	0.78	0.78	0.82	0.82	0.84	0.84	0.86	0.86	0.91	0.91

Evaluación del Caudal para diferentes periodos de retorno

Para el cálculo del caudal se debe tener los parámetros fisiográficos de la cuenca de interés para los cuales se muestra en la **Tabla 3.11**.

De los datos obtenidos anteriormente se procede a la simulación hidrológica mediante el programa HEC-HMS.

Finalmente los caudales de diseño para los distintos períodos de retorno según IILA-SENAMHI-UNI, 1983 se resumen en el cuadro siguiente.

Tabla 3.8: Resumen de Caudales de diseño en (m³/s) según IILA-SENAMHI

Descripción	Tr = 10 Años	Tr = 25 Años	Tr = 50 Años	Tr = 100 Años	Tr = 200 Años	Tr = 300 Años	Tr = 400 Años	Tr = 500 Años	Tr = 1000 Años
Punto de Inspeccion 4	134.4	232	325.4	433.8	555.8	634.6	691.3	736.2	890.7

Elaboración: Propia



Figura 3.9: Caudales en función a los periodos según IILA-SENAMHI.

3.4 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA CUENCA RIO ICHU.

3.4.1 Morfología de la Cuenca.

Los parámetros de la Cuenca se desarrollaron con el Software de Sistema de Información Geográfica ArcGIS V.10.

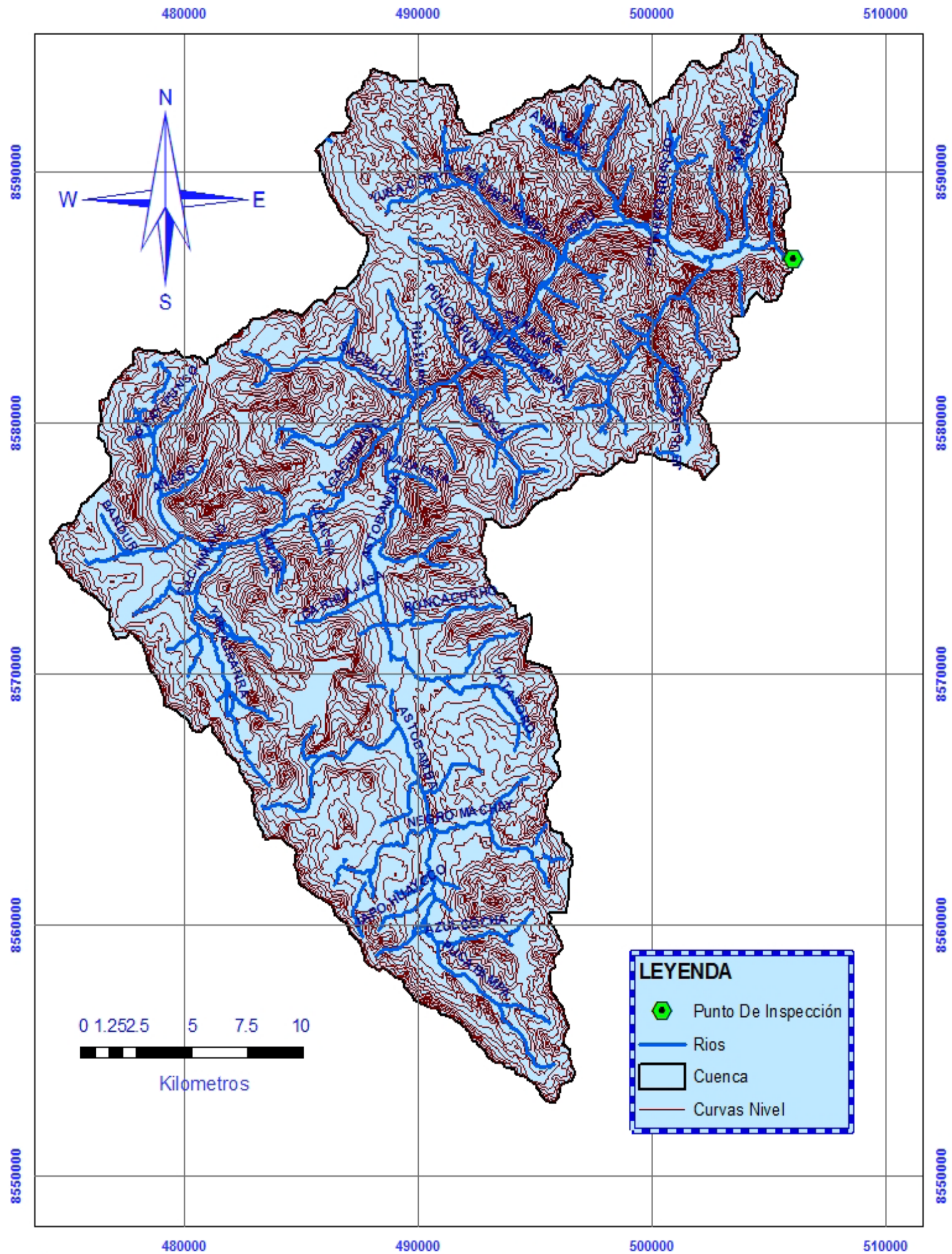


Figura 3.10 : Mapa Físico – Cuenca Río Ichu.

Fuente: Cartas Nacionales

La Red de Drenaje La cuenca del río Ichu es de orden 5, la obtención de la red de drenaje se hizo en forma vectorial con el programa ArcGIS, a partir del modelo digital de elevación.



Figura 3.11 : Orden de Red de Drenaje – Cuenca Río Ichu.

Morfología de la Cuenca: El SIG ha utilizado las redes irregulares (TIN) durante muchos años y son un medio digital para representar la morfología de la superficie. Las TIN son una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos).

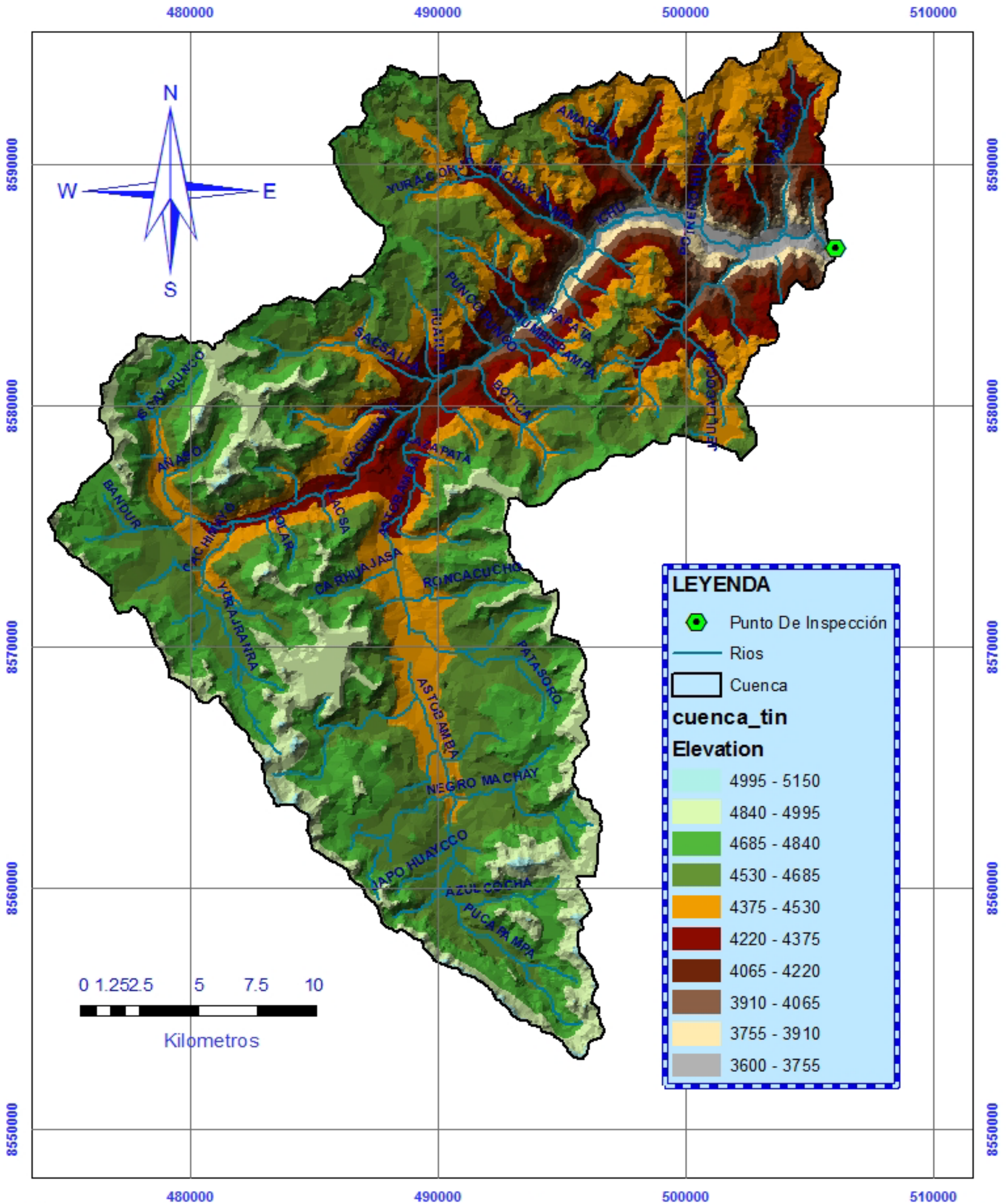


Figura 3.12 : Mapa Altitudinal – Cuenca Río Ichu.

Modelo Digital de Elevaciones (DEM): Los datos digitales más comunes de la forma de la superficie de la tierra son los modelos digitales de elevación (DEM) basados en celdas. Estos datos se utilizan como entrada para cuantificar las características de la superficie del suelo.

El DEM se obtuvo de la Misión Topográfica Radar Shuttle (SRTM) con un tamaño de pixel de 90x90 m.

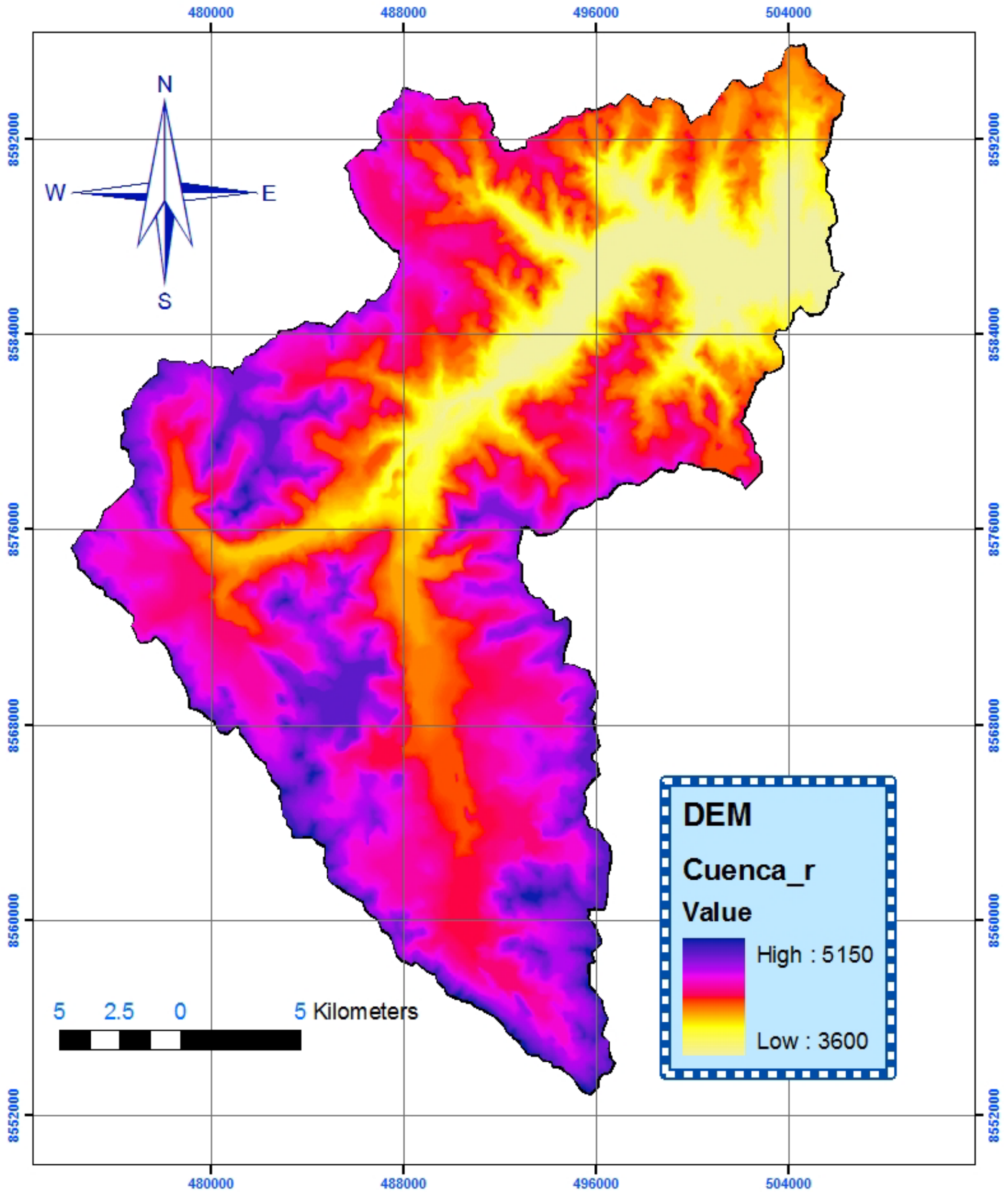


Figura 3.13 : Mapa Digital de Elevación – Cuenca Río Ichu.

Dirección del Flujo: Una de las claves de la derivación de características hidrológicas de una superficie es la capacidad de determinar la dirección de flujo desde cada celda en el ráster. Esto se lleva a cabo con la herramienta Dirección de flujo.

Esta herramienta toma una superficie como entrada y proporciona como salida un ráster que muestra la dirección del flujo que sale de cada celda. Si se elige la opción Ráster de eliminación de salida, se creará un ráster de salida con un radio del cambio máximo de elevación desde cada celda a lo largo de la dirección de flujo hasta la longitud de la ruta entre los centros de las celdas y se expresa en porcentajes.

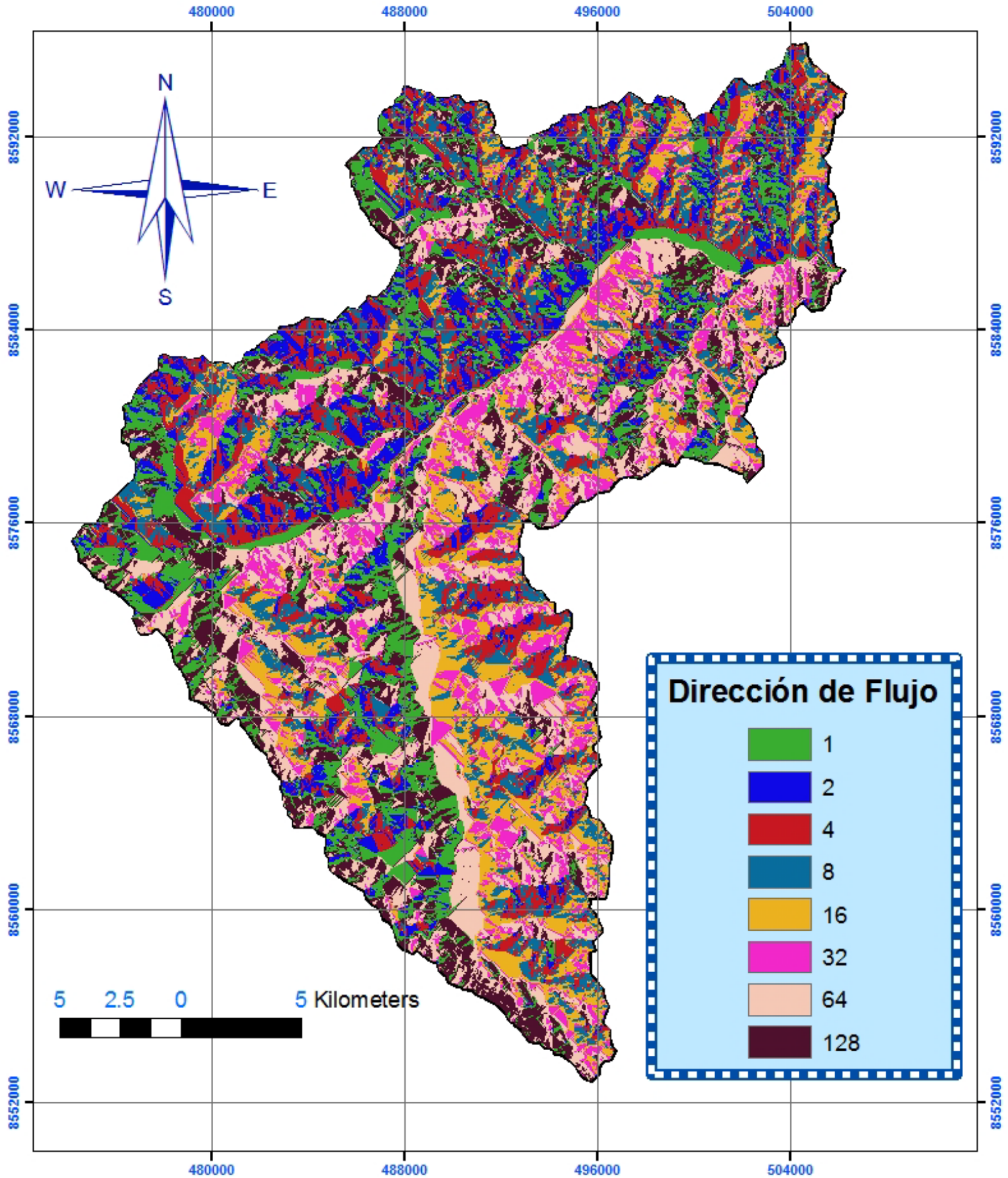


Figura 3.14 : Dirección de Flujo – Cuenca Río Ichu.

Acumulación del Flujo: Uno de los usos de la herramienta Acumulación de flujo con un ráster de peso de entrada puede ser determinar cuánta precipitación ha caído en una cuenca hidrográfica determinada. En ese caso, el ráster de peso puede ser un ráster continuo que representa las precipitaciones promedio durante una tormenta determinada. La salida desde la herramienta puede representar la cantidad de precipitación que puede fluir por cada celda, asumiendo que toda la precipitación se convirtió en escorrentía y que no hubo intercepción, evapotranspiración o pérdida al agua subterránea.

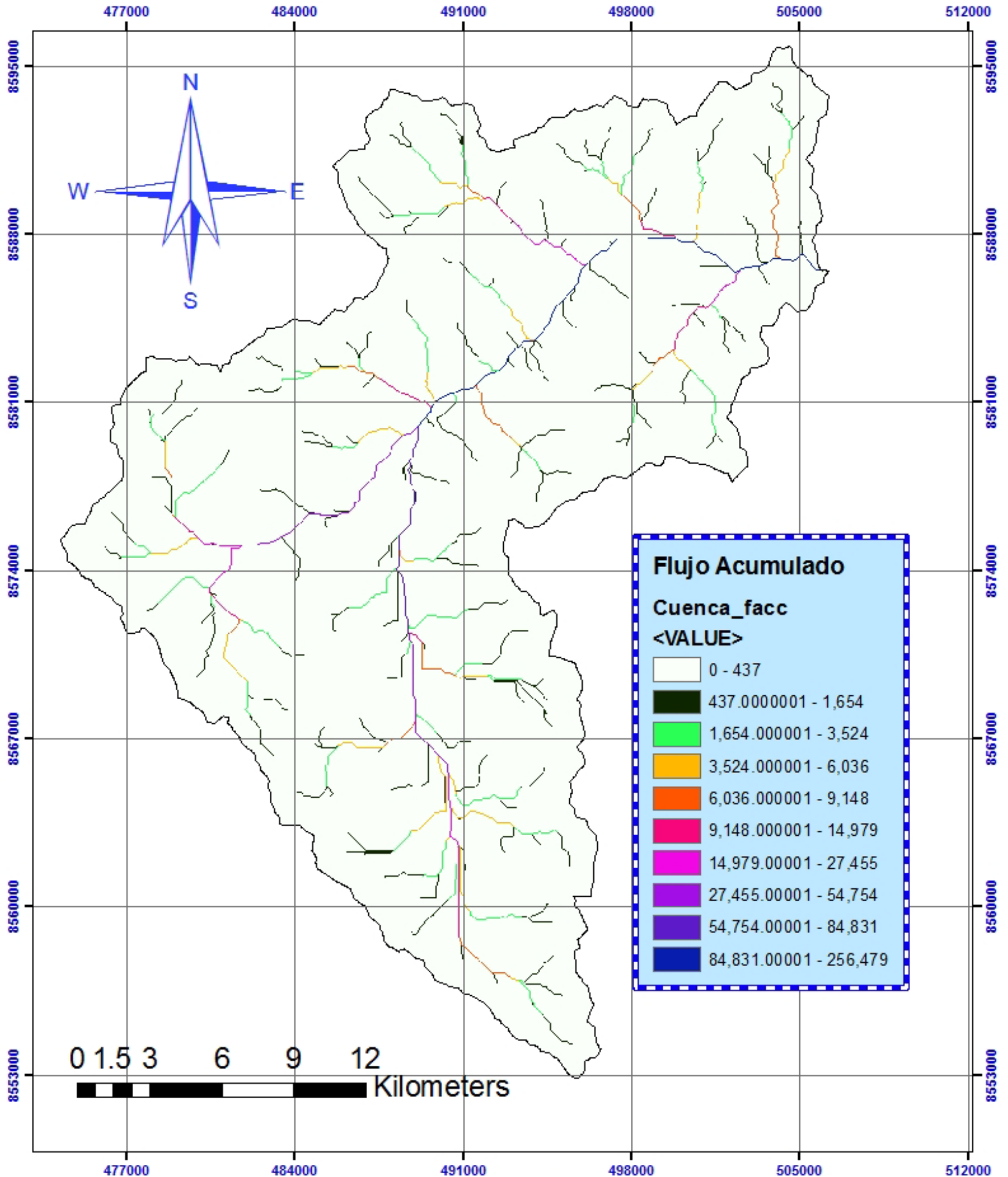


Figura 3.15 : Flujo Acumulado– Cuenca Río Ichu.

Tabla 3.9: Parámetros Fisiográficos de la Cuenca Rio Ichu.

Nº	Parámetros	Unidad	Valor
1	Área de Cuenca	Km2	641.15
2	Perímetro	Km	151.178
3	Cota Máxima de la Cuenca	msnm	5150
4	Cota Mínima de la Cuenca	msnm	3600
5	Cota Media de la Cuenca	msnm	4293
6	X Centroide de La Cuenca	m	488743.841
7	Y Centroide de la Cuenca	m	8577215.96
8	Longitud Mayor del Río	m	57145.82
9	Pendiente de Curso Principal	m/m	0.025129
10	Ancho Promedio	m	11150.24
11	Índice de Compacidad o de Gravelius		1.518
12	Índice de Forma		0.268
13	Orden de Corrientes		5

Curva Hipsométrica y Diagrama de Frecuencias Altimétricas

Los valores de elevación mínima, máxima y área fueron obtenidos con el programa ArcGIS V.10

Tabla 3.10: Datos para la Construcción de la curva hipsométrica.

Nº	ELEVACIÓN MÍNIMA (m.s.n.m)	ELEVACIÓN MAXIMA (m.s.n.m)	PROMEDIO	AREA (M²)	AREA (Km²)
1	3600.00	3677.39	3638.695	1937500.00	1.938
2	3677.61	3754.98	3716.295	7317500.00	7.318
3	3755.09	3832.50	3793.795	5582500.00	5.583
4	3832.53	3909.84	3871.185	5512500.00	5.513
5	3910.00	3987.45	3948.725	7212500.00	7.213
6	3987.55	4064.98	4026.265	10802500.00	10.803
7	4065.02	4142.50	4103.760	13572500.00	13.573
8	4142.51	4220.00	4181.255	19352500.00	19.353
9	4220.01	4297.50	4258.755	20032500.00	20.033
10	4297.51	4374.99	4336.250	34387500.00	34.388
11	4375.01	4452.50	4413.755	57442500.00	57.443
12	4452.50	4530.00	4491.250	71200000.00	71.200
13	4530.00	4607.50	4568.750	98242500.00	98.243
14	4607.50	4685.00	4646.250	86602500.00	86.603
15	4685.00	4762.50	4723.750	81640000.00	81.640
16	4762.50	4840.00	4801.250	53877500.00	53.878
17	4840.01	4917.49	4878.750	39830000.00	39.830
18	4917.52	4994.97	4956.245	22892500.00	22.893
19	4995.01	5072.43	5033.720	3375000.00	3.375
20	5072.81	5150.00	5111.405	337500.00	0.338
TOTAL				641,150,000.00	641.15

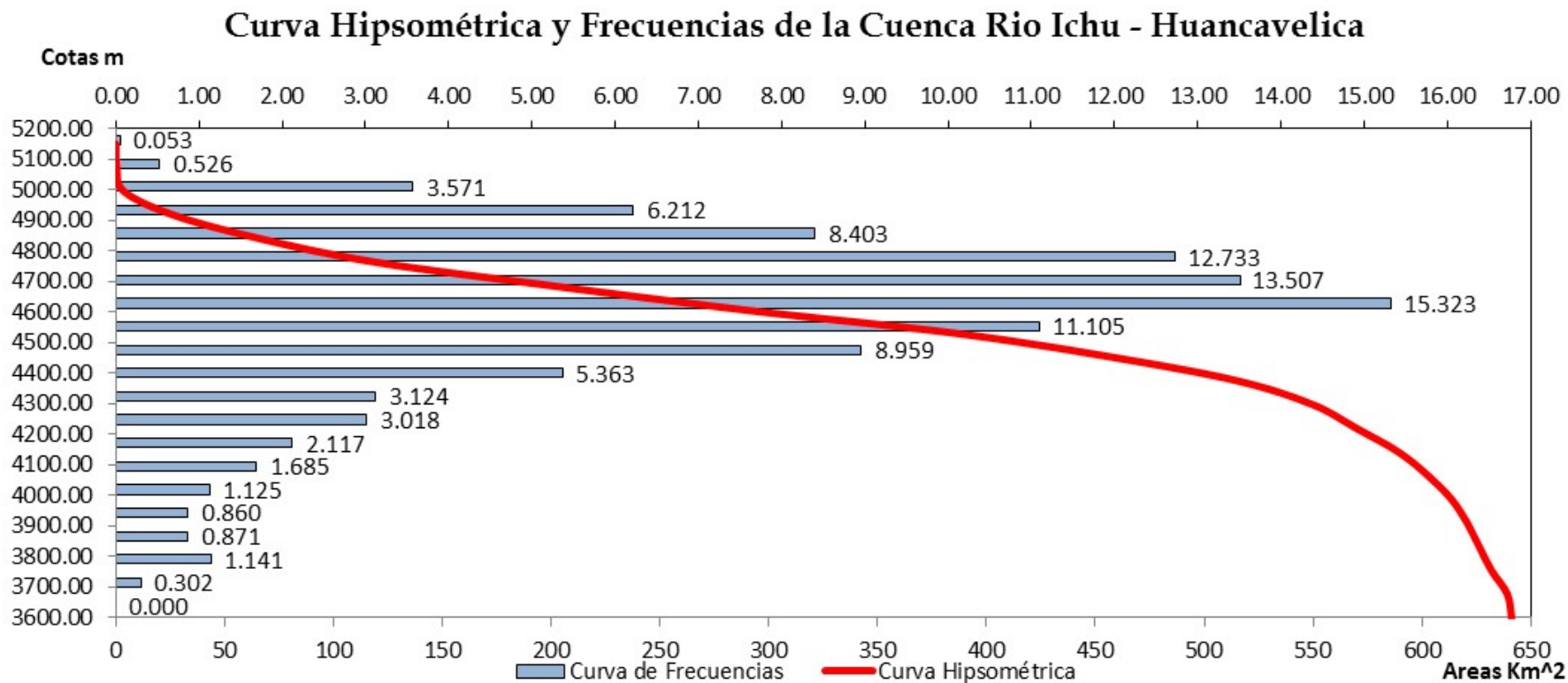


Figura 3.16 : Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes Cuenca Rio Ichu

3.4.2 Sub Cuencas, Usos de Suelos y Capacidad de Uso Mayor.

El área de estudio geográficamente se ubica en departamento de Huancavelica, provincia de Huancavelica. Para el presente estudio la Cuenca del Río Ichu cuya área es de 641.15 Km² se dividió en 28 sub cuencas el cual se estudió cada uno para la determinación de las características morfológicas, tipos de suelos, usos de suelos, entre otros.

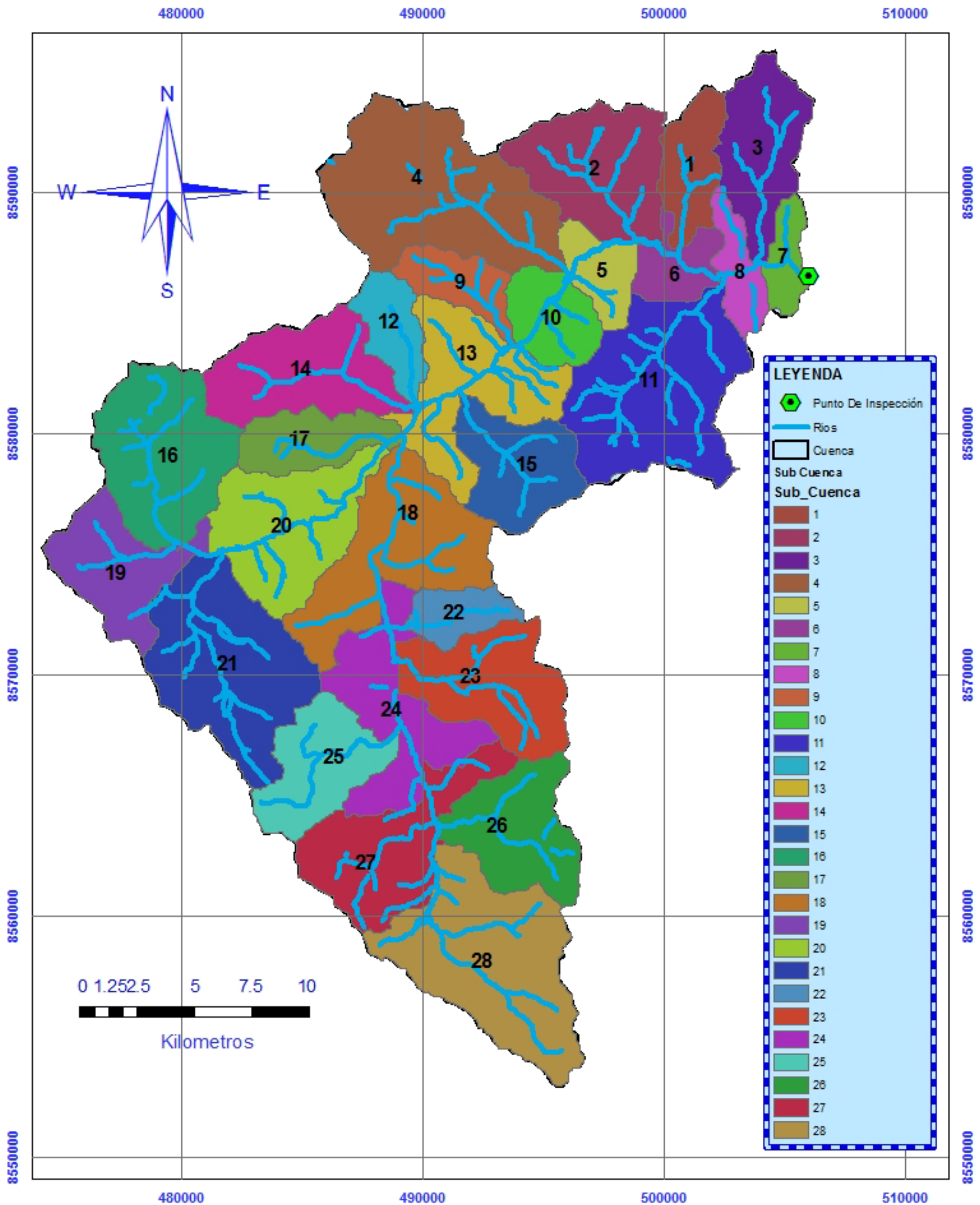


Figura 3.17 : Sub Cuencas– Cuenca Río Ichu.

Tabla 3.11: Parámetros Fisiográficos de la Cuenca Rio Ichu.

Denominación	Area (km2)	Cota Máxima	Cota Mínima	Longitud (m)	Desnivel (m)	Pendiente prom (m/m)	Tiempo de Concentración (hr)	T lag (min)
		Alt. (msnm)	Alt. (msnm)				Bransby Williams	
Sub Cuenca 1	12.40	4,550.00	3,700.00	7,706.00	850.00	0.11	0.38	13.62
Sub Cuenca 2	27.84	4,650.00	3,700.00	9,477.00	950.00	0.10	0.42	15.10
Sub Cuenca 3	20.74	4,500.00	3,650.00	10,474.00	850.00	0.08	0.49	17.58
Sub Cuenca 4	47.40	4,790.00	3,750.00	13,777.00	1,040.00	0.08	0.57	20.45
Sub Cuenca 5	9.14	4,650.00	3,700.00	7,869.00	950.00	0.12	0.39	14.02
Sub Cuenca 6	8.83	4,550.00	3,650.00	5,562.00	900.00	0.16	0.28	10.05
Sub Cuenca 7	6.41	4,300.00	3,600.00	4,657.00	700.00	0.15	0.25	9.14
Sub Cuenca 8	7.95	4,500.00	3,650.00	4,968.00	850.00	0.17	0.25	9.18
Sub Cuenca 9	10.08	4,700.00	3,800.00	7,870.00	900.00	0.11	0.39	14.04
Sub Cuenca 10	12.68	4,600.00	3,750.00	5,586.00	850.00	0.15	0.27	9.85
Sub Cuenca 11	44.03	4,850.00	3,650.00	12,411.00	1,200.00	0.10	0.50	18.03
Sub Cuenca 12	10.14	4,800.00	4,050.00	6,913.00	750.00	0.11	0.35	12.78
Sub Cuenca 13	28.25	4,900.00	3,800.00	10,458.00	1,100.00	0.11	0.45	16.16
Sub Cuenca 14	26.56	4,900.00	4,050.00	10,633.00	850.00	0.08	0.48	17.41
Sub Cuenca 15	19.43	4,900.00	4,000.00	7,915.00	900.00	0.11	0.37	13.22
Sub Cuenca 16	32.48	5,000.00	4,360.00	10,690.00	640.00	0.06	0.50	18.16
Sub Cuenca 17	13.43	5,000.00	4,100.00	8,722.00	900.00	0.10	0.42	15.11
Sub Cuenca 18	35.22	4,950.00	4,100.00	12,942.00	850.00	0.07	0.57	20.60
Sub Cuenca 19	20.48	5,000.00	4,350.00	9,000.00	650.00	0.07	0.44	15.96
Sub Cuenca 20	30.07	5,000.00	4,130.00	11,435.00	870.00	0.08	0.51	18.41
Sub Cuenca 21	40.72	5,050.00	4,350.00	12,697.00	700.00	0.06	0.58	20.71
Sub Cuenca 22	8.18	4,950.00	4,400.00	6,784.00	550.00	0.08	0.38	13.63
Sub Cuenca 23	26.15	4,950.00	4,400.00	10,313.00	550.00	0.05	0.51	18.45
Sub Cuenca 24	26.35	4,870.00	4,400.00	12,853.00	470.00	0.04	0.66	23.71
Sub Cuenca 25	20.36	5,050.00	4,450.00	8,922.00	600.00	0.07	0.45	16.08
Sub Cuenca 26	22.89	4,950.00	4,500.00	8,083.00	450.00	0.06	0.42	15.26
Sub Cuenca 27	28.22	4,900.00	4,500.00	10,491.00	400.00	0.04	0.55	19.85
Sub Cuenca 28	44.73	5,000.00	4,500.00	13,200.00	500.00	0.04	0.63	22.81

Usos de Suelo

En el presente estudio se identificó y analizó la información de Uso Actual de Tierras sobre el área considerada de la cuenca del río Ichu, se tomó como referencia la información del proyecto “**Desarrollo de capacidades para el Ordenamiento Territorial en el Departamento de Huancavelica**”, culminado en Agosto del 2012 por la gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno regional de Huancavelica.

Figura 3.18 : Usos de Suelos

Fuente: Proyecto Desarrollo de Capacidades para el Ordenamiento Territorial en el Departamento de Huancavelica –2012) - Cuenca Rio Ichu.

Capacidad de Uso Mayor de Suelos

En el presente estudio se identificó y analizó la información sobre la Capacidad de Uso Mayor de Suelos sobre el área considerada de la cuenca del río Ichu, se tomó como referencia la información del proyecto “**Desarrollo de capacidades para el Ordenamiento Territorial en el Departamento de Huancavelica**”, culminado en Agosto del 2012 por la gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno regional de Huancavelica.



Figura 3.19 : Capacidad de Uso Mayor de Suelos.

Fuente: Proyecto Desarrollo de Capacidades para el Ordenamiento Territorial en el Departamento de Huancavelica –2012) - Cuenca Rio Ichu.



Figura 3.20 : Clasificación Litológica - Geología.

Fuente: Proyecto Desarrollo de Capacidades para el Ordenamiento Territorial en el Departamento de Huancavelica –2012) - Cuenca Rio Ichu.

3.4.3 Generación del Parámetro Hidrológico Curva Número.

Para el cálculo del Número de Curva de la cuenca se utilizó la extensión CN Runoof Tools para el software ArcGis, el cual a partir de una intersección de temas (Cobertura de Suelos y Grupo Hidrológico) genera el Número de Curva de acuerdo al Servicio de Conservación de Recursos Naturales NRCS, ver **Tabla 2.6**.

El valor de Curva Numero puede variar del “0 – 100”, un valor CN=100 representa una capacidad máxima de retención y una valor NC=0 representa un terreno permeable e insaturable, los valores seleccionados para la cuenca se muestra en la **tabla 3.13**.

Tabla 3.12: Reclasificación según Grupo Hidrológico de Suelo.

USO DE SUELO	GRUPO HIDROLOGICO
Arbustal - herbazal/ Areas intervenida	B
Afloramiento rocosos	D
Vegetacion arbustiva	B
Arbustal	B
Bofedales	A
Tierras desnudas (incluye áreas erosianadas naturales y también degradadas)	D
Plantación forestales	B
Glaciares	D
Areas de extracción de mineria e hidrocarburos	D
Tejido Urbano continuo	D
Herbazal	B
lago, laguna	A

Fuente: Proyecto Desarrollo de Capacidades para el Ordenamiento Territorial en el Departamento de Huancavelica –2012) - Cuenca Rio Ichu.

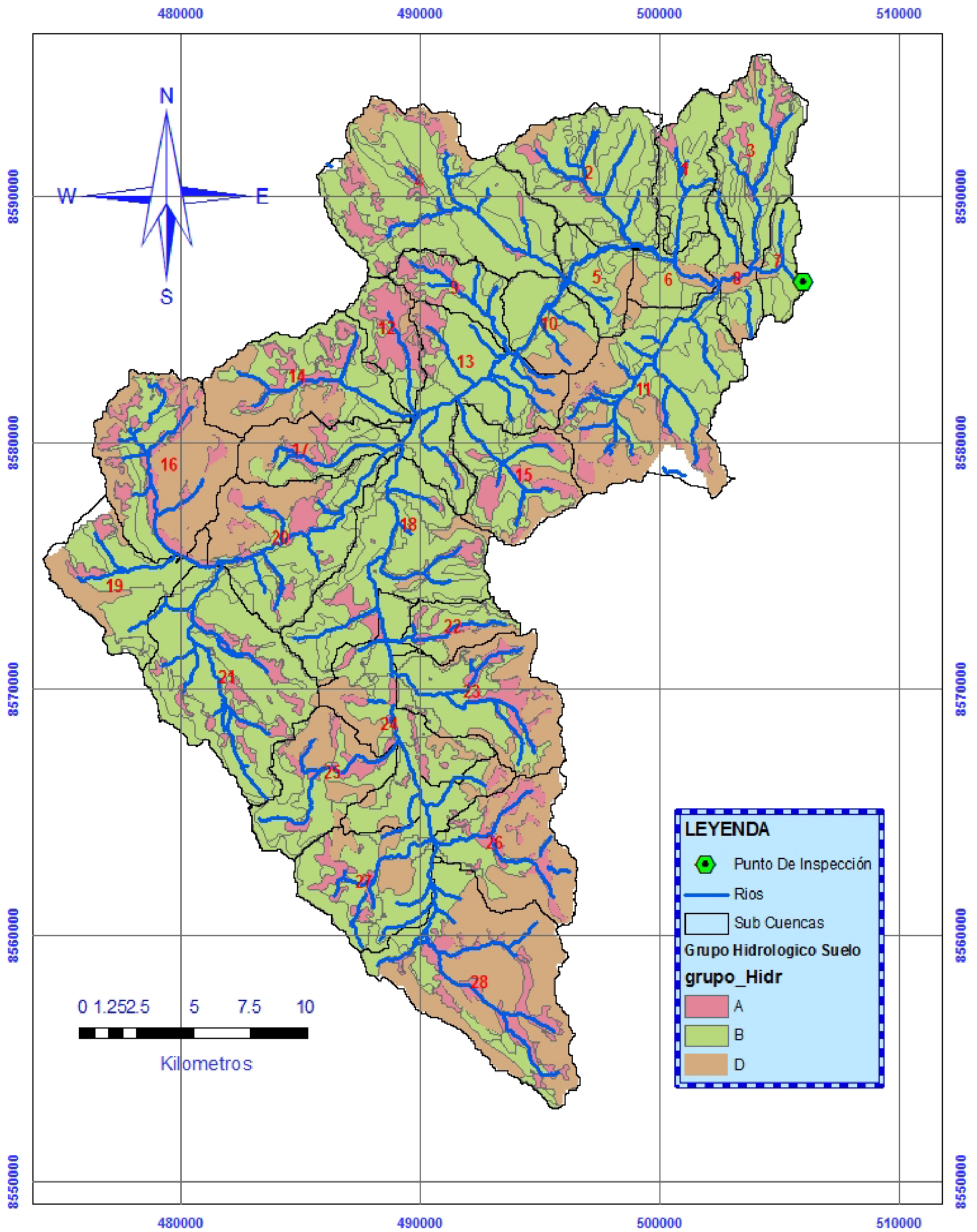


Figura 3.21 : Grupo Hidrológicos según SCS.

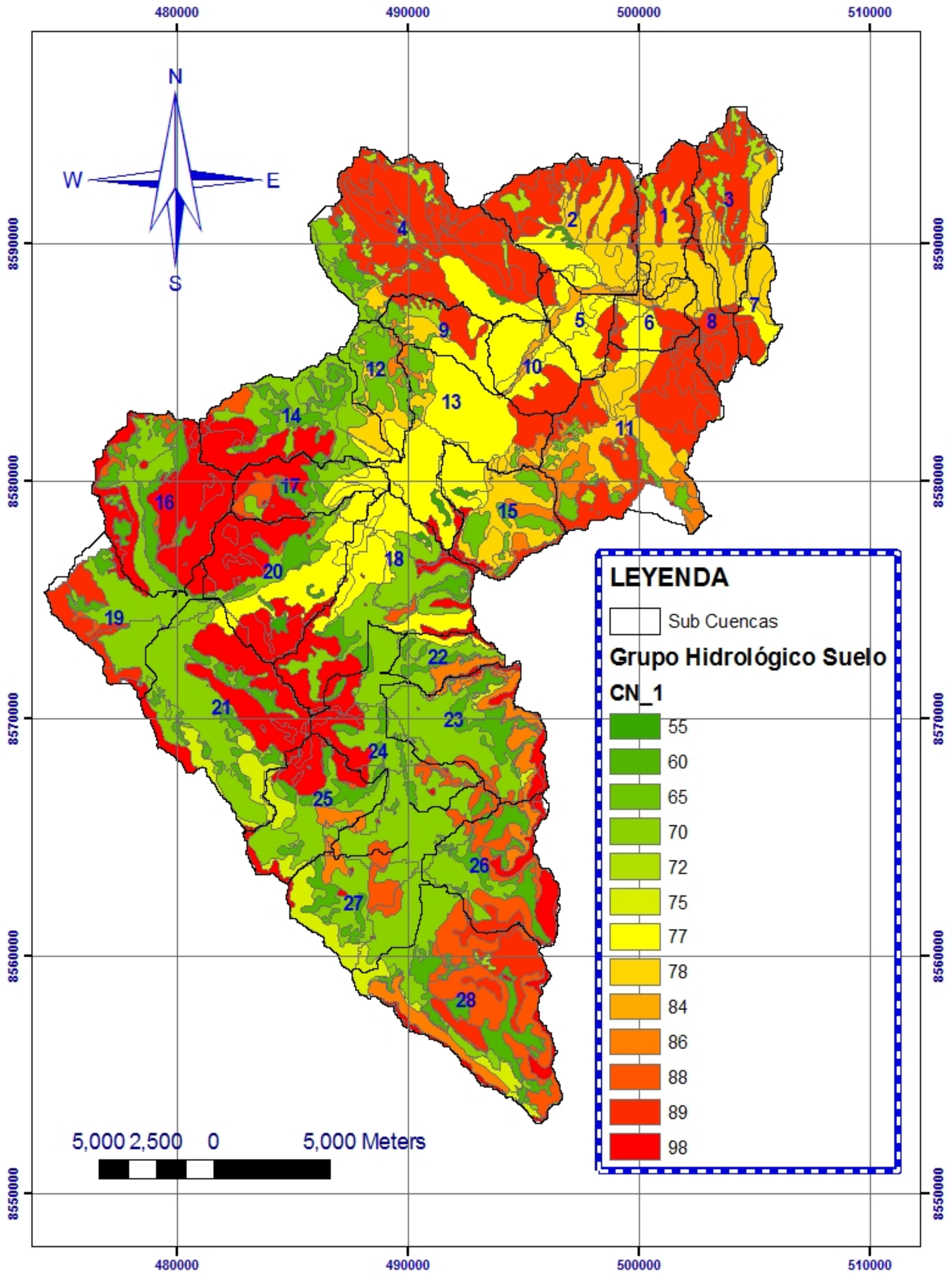


Figura 3.22 : Curva Número Calculado.

- **Cálculo de la Curva Numero:**

Tabla 3.13: Parámetro Hidrológico Curva Numero (CN).

Denominación	CN	Area (Km)	S	Ia (mm)	T lag (min)
Sub Cuenca 1	84.77	12.40	45.63	9.13	13.62
Sub Cuenca 2	83.21	27.84	51.24	10.25	15.10
Sub Cuenca 3	82.45	20.74	54.08	10.82	17.58
Sub Cuenca 4	81.59	47.40	57.31	11.46	20.45
Sub Cuenca 5	80.92	9.14	59.91	11.98	14.02
Sub Cuenca 6	81.01	8.83	59.54	11.91	10.05
Sub Cuenca 7	81.41	6.41	58.00	11.60	9.14
Sub Cuenca 8	85.29	7.95	43.81	8.76	9.18
Sub Cuenca 9	77.09	10.08	75.48	15.10	14.04
Sub Cuenca 10	79.52	12.68	65.41	13.08	9.85
Sub Cuenca 11	82.23	44.03	54.91	10.98	18.03
Sub Cuenca 12	73.40	10.14	92.03	18.41	12.78
Sub Cuenca 13	78.76	28.25	68.50	13.70	16.16
Sub Cuenca 14	82.17	26.56	55.11	11.02	17.41
Sub Cuenca 15	79.09	19.43	67.16	13.43	13.22
Sub Cuenca 16	86.74	32.48	38.84	7.77	18.16
Sub Cuenca 17	87.36	13.43	36.76	7.35	15.11
Sub Cuenca 18	81.94	35.22	55.99	11.20	20.60
Sub Cuenca 19	81.78	20.48	56.60	11.32	15.96
Sub Cuenca 20	86.20	30.07	40.66	8.13	18.41
Sub Cuenca 21	80.21	40.72	62.65	12.53	20.71
Sub Cuenca 22	74.77	8.18	85.69	17.14	13.63
Sub Cuenca 23	76.15	26.15	79.54	15.91	18.45
Sub Cuenca 24	79.35	26.35	66.12	13.22	23.71
Sub Cuenca 25	78.02	20.36	71.56	14.31	16.08
Sub Cuenca 26	79.46	22.89	65.64	13.13	15.26
Sub Cuenca 27	72.66	28.22	95.56	19.11	19.85
Sub Cuenca 28	79.80	44.73	64.29	12.86	22.81

Grupo Hidrológico	Area (km2)	%
A	82.124	12.81
B	411.917	64.25
D	147.109	22.94
TOTAL	641.150	100.00

- **Cálculo de la Abstracción Inicial:**

$$I_a = 0.2 \times S$$

- **Retención Potencial Máxima del Suelo:** para obtención del valor de "S" estudios empíricos determinan que el cálculo se puede obtener a través de:

$$S = \frac{25400 - 254 \times CN}{CN}$$

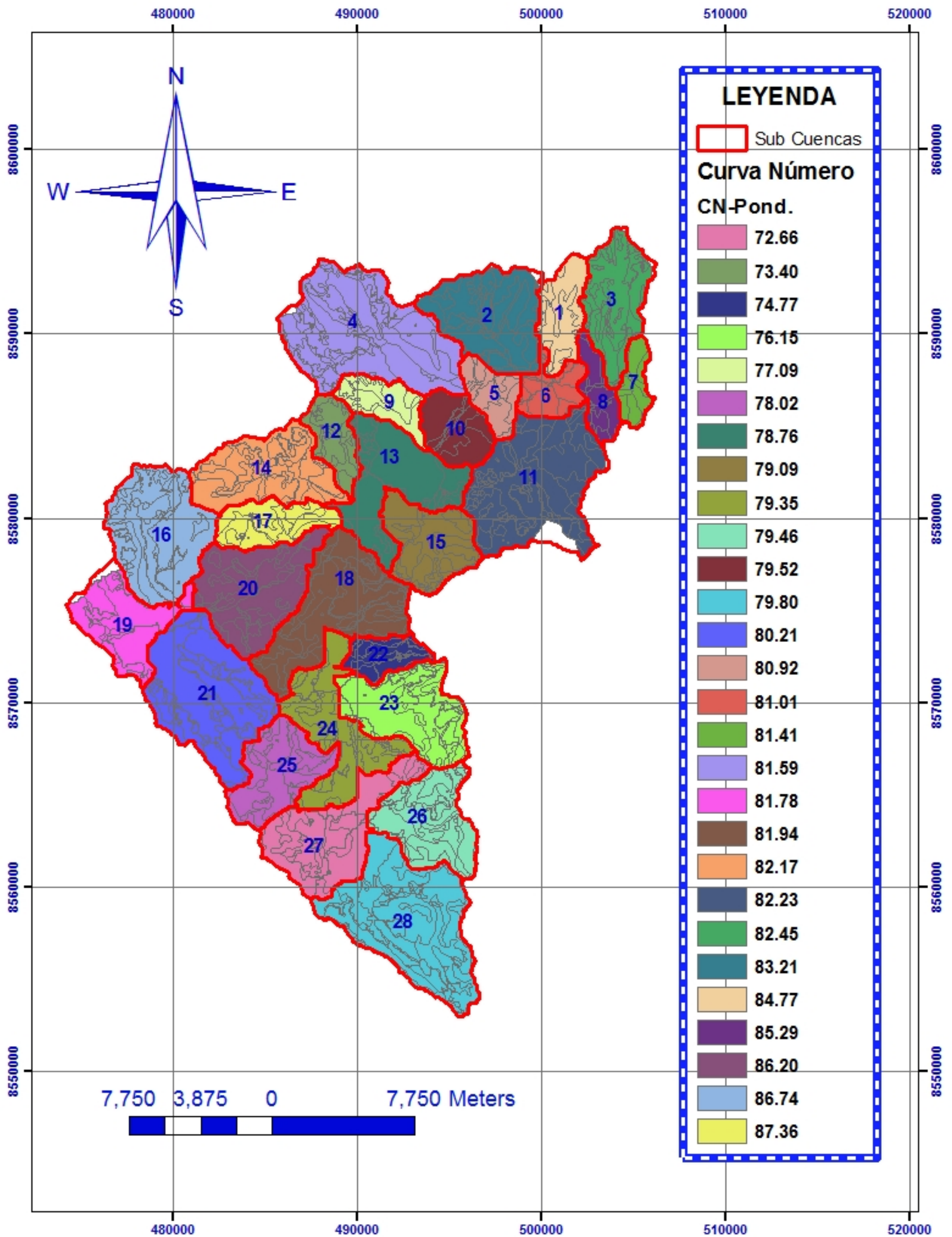


Figura 3.23 : Curva Número Estimado para cada Sub Cuenca

3.5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO CUENCA RÍO ICHU - HUANCAVELICA.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS (MM)

ESTACION : HUANCAVELICA DISTRITO : HUANCAVELICA ALTITUD : 3860 msnm
 CODIGO : 000649/DRE-11 PROVINCIA : HUANCAVELICA LATITUD : 12°46'S
 DEPARTAMENTO : HUANCAVELICA LONGITUD : 75°2'W

Tabla 3.14: Precipitaciones Máximas 24 Horas Analizadas.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1988	20.91	23.05	22.04	14.58	5.65	2.26	0.00	0.00	7.57	9.83	15.82	28.25	149.95
1989	19.21	11.30	21.70	11.53	6.67	7.68	2.26	10.62	11.64	28.59	20.45	6.33	157.97
1990	27.57	7.80	18.87	11.07	10.96	16.27	5.65	10.74	7.23	12.77	11.98	13.56	154.47
1991	11.53	8.59	14.01	29.15	6.78	3.62	0.00	0.00	-	-	-	-	73.68
1992	3.62	10.17	12.88	15.82	2.71	10.96	24.41	7.46	4.86	12.32	1.58	13.56	120.35
1993	-	-	-	-	22.15	21.02	11.75	21.24	24.30	30.51	33.00	25.99	189.95
1994	23.39	28.93	20.79	14.92	15.03	10.40	9.72	7.91	12.88	19.21	13.79	14.92	191.87
1995	23.73	18.42	19.32	17.85	8.36	2.71	7.46	0.00	14.24	8.36	10.17	9.49	140.12
1996	14.24	17.97	16.95	8.59	10.40	5.88	6.22	9.94	10.17	6.89	8.59	13.11	128.93
1997	10.85	12.43	12.43	8.02	4.97	6.33	0.00	8.59	18.08	9.83	19.89	12.88	124.30
1998	16.84	12.20	11.30	10.51	1.24	6.55	0.00	6.67	5.65	9.72	8.14	34.47	123.28
1999	19.10	14.80	10.28	13.22	10.17	3.16	4.41	3.96	13.90	12.77	9.15	10.51	125.43
2000	13.56	14.01	12.32	11.75	4.86	4.18	7.12	6.89	10.85	12.32	10.62	10.06	118.54
2001	13.67	14.92	31.98	9.94	8.25	0.00	12.66	9.27	12.66	11.30	13.79	12.09	150.52
2002	10.96	24.63	29.61	10.62	7.12	6.55	11.30	11.64	12.20	12.66	16.27	17.52	171.08
2003	20.11	32.54	34.35	19.55	6.22	0.00	8.36	11.87	13.79	12.43	7.12	19.21	185.55
2004	9.04	16.61	17.18	10.62	4.75	13.11	12.09	11.75	12.66	8.59	13.22	17.52	147.13
2005	14.92	11.30	12.88	13.45	7.80	4.29	2.37	2.60	10.06	10.17	11.30	9.72	110.85
2006	15.37	15.82	12.32	14.24	0.00	5.88	0.00	9.61	7.68	12.43	11.53	13.45	118.31
2007	10.06	17.18	15.59	10.62	6.22	0.00	3.05	4.07	11.19	10.51	11.19	12.32	111.98
2008	14.35	18.65	11.19	4.07	3.05	2.83	6.67	10.85	8.59	15.26	9.27	11.53	116.28
2009	34.58	24.63	21.36	14.13	6.55	2.37	0.23	5.65	8.36	13.11	18.98	17.63	167.58
2010	24.07	17.52	16.84	11.87	4.29	2.37	0.00	5.42	5.09	26.56	27.46	24.30	165.77
2011	28.14	30.74	28.82	13.67	4.63	1.24	8.81	6.10	13.22	-	27.69	-	163.06
MAXIMA	34.58	32.54	34.35	29.15	22.15	21.02	24.41	21.24	24.30	30.51	33.00	34.47	191.87
MINIMA	3.62	7.80	10.28	4.07	0.00	0.00	0.00	0.00	4.86	6.89	1.58	6.33	73.68
PROMEDIO	17.38	17.57	18.48	13.03	7.03	5.82	6.02	7.62	11.17	13.91	14.39	15.84	141.96
S.D	7.91	7.66	7.83	5.41	4.58	5.28	5.90	4.74	4.85	7.35	7.79	7.98	29.24

Fuente: SENAMHI

- **Análisis Estadístico de la Precipitación Máxima Diaria:** Se emplea el análisis estadísticos de las distribuciones probabilísticas de las precipitaciones máximas diarias (24 horas) de la Estación Huancavelica, donde se dispone el registro de datos desde el año 1988 hasta el año 2011.

Mediante estos datos se lleva a cabo el análisis de frecuencias de las precipitaciones máximas de 24 horas, aplicándose los ajuste de distribución Gamma 2 parámetros, Gumbel, Log Gumbel, Log Normal 2 Parámetros y Normal, cuyos resultados se muestra en los cuadros siguientes, para ello se recurrió al software de cómputo, HidroEsta.

Para un mejor análisis de datos hidrológicos, es necesario conocer el tipo o forma de distribución teórica que puede representar aproximadamente a la distribución empírica (método estadístico) de estos datos. Para averiguar cuan aproximada es esta distribución empírica a la teórica, es necesario realizar algunas pruebas estadísticas conocidas como pruebas de ajuste.

Tabla 3.15: Distribución Normal, ajuste Smirnov Kolmogorov

m	X	P(x)	G(y) Ordinario	G(y) Mon Lineal	Delta
1	14.00	0.0400	0.0533	0.0584	0.0133
2	14.90	0.0800	0.0690	0.0748	0.0110
3	15.80	0.1200	0.0882	0.0945	0.0318
4	17.20	0.1600	0.1255	0.1323	0.0345
5	17.50	0.2000	0.1347	0.1417	0.0653
6	18.00	0.2400	0.1511	0.1581	0.0889
7	18.60	0.2800	0.1725	0.1795	0.1075
8	19.10	0.3200	0.1918	0.1986	0.1282
9	19.90	0.3600	0.2252	0.2317	0.1348
10	23.70	0.4000	0.4202	0.4224	0.0202
11	24.40	0.4400	0.4604	0.4615	0.0204
12	27.50	0.4800	0.6376	0.6338	0.1576
13	27.60	0.5200	0.6430	0.6391	0.1230
14	28.30	0.5600	0.6803	0.6755	0.1203
15	28.60	0.6000	0.6957	0.6906	0.0957
16	28.90	0.6400	0.7108	0.7054	0.0708
17	29.20	0.6800	0.7256	0.7199	0.0456
18	29.60	0.7200	0.7447	0.7386	0.0247
19	30.70	0.7600	0.7933	0.7866	0.0333
20	32.00	0.8000	0.8431	0.8361	0.0431
21	33.00	0.8400	0.8755	0.8687	0.0355
22	34.40	0.8800	0.9126	0.9063	0.0326
23	34.50	0.9200	0.9149	0.9086	0.0051
24	34.60	0.9600	0.9171	0.9109	0.0429

Tabla 3.16: Distribución Log Normal 2P, ajuste Smirnov Kolmogorov

m	X	P(x)	G(y) Ordinario	G(y) Mon Lineal	Delta
1	14.00	0.0400	0.0323	0.0347	0.0077
2	14.90	0.0800	0.0509	0.0539	0.0291
3	15.80	0.1200	0.0754	0.0790	0.0446
4	17.20	0.1600	0.1255	0.1296	0.0345
5	17.50	0.2000	0.1380	0.1422	0.0620
6	18.00	0.2400	0.1602	0.1644	0.0798
7	18.60	0.2800	0.1888	0.1930	0.0912
8	19.10	0.3200	0.2142	0.2182	0.1058
9	19.90	0.3600	0.2570	0.2606	0.1030
10	23.70	0.4000	0.4766	0.4770	0.0766
11	24.40	0.4400	0.5161	0.5158	0.0761
12	27.50	0.4800	0.6725	0.6697	0.1925
13	27.60	0.5200	0.6770	0.6741	0.1570
14	28.30	0.5600	0.7069	0.7037	0.1469
15	28.60	0.6000	0.7191	0.7157	0.1191
16	28.90	0.6400	0.7309	0.7274	0.0909
17	29.20	0.6800	0.7424	0.7388	0.0624
18	29.60	0.7200	0.7571	0.7533	0.0371
19	30.70	0.7600	0.7942	0.7901	0.0342
20	32.00	0.8000	0.8320	0.8278	0.0320
21	33.00	0.8400	0.8569	0.8527	0.0169
22	34.40	0.8800	0.8864	0.8824	0.0064
23	34.50	0.9200	0.8883	0.8843	0.0317
24	34.60	0.9600	0.8902	0.8862	0.0698

Tabla 3.17: Distribución Gamma 2P, ajuste Smirnov Kolmogorov

m	X	P(x)	G(y) Ordinario	G(y) Mon Lineal	Delta
1	14.00	0.04	0.0354	0.1151	0.0046
2	14.90	0.08	0.0527	0.1425	0.0273
3	15.80	0.12	0.0749	0.1728	0.0451
4	17.20	0.16	0.1199	0.2244	0.0401
5	17.50	0.2	0.1312	0.2361	0.0688
6	18.00	0.24	0.1514	0.256	0.0886
7	18.60	0.28	0.1775	0.2805	0.1025
8	19.10	0.32	0.2009	0.3012	0.1191
9	19.90	0.36	0.2409	0.335	0.1191
10	23.70	0.4	0.4571	0.4967	0.0571
11	24.40	0.44	0.4979	0.5254	0.0579
12	27.50	0.48	0.6652	0.6431	0.1852
13	27.60	0.52	0.67	0.6466	0.15
14	28.30	0.56	0.7029	0.6705	0.1429
15	28.60	0.6	0.7164	0.6804	0.1164
16	28.96	0.64	0.732	0.6921	0.092
17	29.20	0.68	0.7421	0.6997	0.0621
18	29.60	0.72	0.7584	0.7121	0.0384
19	30.70	0.76	0.7995	0.7443	0.0395
20	32.00	0.8	0.8413	0.779	0.0413
21	33.00	0.84	0.8686	0.8032	0.0286
22	34.40	0.88	0.9004	0.8336	0.0204
23	34.50	0.92	0.9024	0.8356	0.0176
24	34.60	0.96	0.9044	0.8376	0.0556

Tabla 3.18: Distribución Gumbel ajuste Smirnov Kolmogorov

m	X	P(x)	G(y) Ordinario	G(y) Mon Lineal	Delta
1	14.00	0.04	0.0117	0.0212	0.0283
2	14.90	0.08	0.0233	0.037	0.0567
3	15.80	0.12	0.0416	0.0597	0.0784
4	17.20	0.16	0.0865	0.1097	0.0735
5	17.50	0.2	0.0988	0.1227	0.1012
6	18.00	0.24	0.1215	0.1461	0.1185
7	18.60	0.28	0.1519	0.1768	0.1281
8	19.10	0.32	0.1797	0.2042	0.1403
9	19.90	0.36	0.228	0.251	0.132
10	23.70	0.4	0.4834	0.4896	0.0834
11	24.40	0.44	0.5284	0.5314	0.0884
12	27.50	0.48	0.6994	0.6915	0.2194
13	27.60	0.52	0.7041	0.6959	0.1841
14	28.30	0.56	0.735	0.7254	0.175
15	28.60	0.6	0.7474	0.7374	0.1474
16	28.90	0.64	0.7594	0.7489	0.1194
17	29.20	0.68	0.7709	0.7599	0.0909
18	29.60	0.72	0.7854	0.7741	0.0654
19	30.70	0.76	0.8215	0.8094	0.0615
20	32.00	0.8	0.857	0.8447	0.057
21	33.00	0.84	0.8799	0.8678	0.0399
22	34.40	0.88	0.9062	0.8948	0.0262
23	34.50	0.92	0.9078	0.8965	0.0122
24	34.60	0.96	0.9094	0.8982	0.0506

Tabla 3.19: Distribución LogGumbel ajuste Smirnov Kolmogorov

m	X	P(x)	G(y) Ordinario	G(y) Mon Lineal	Delta
1	14.00	0.04	0.0025	0.0054	0.0375
2	14.90	0.08	0.0103	0.0175	0.0697
3	15.80	0.12	0.0289	0.0415	0.0911
4	17.20	0.16	0.0865	0.1058	0.0735
5	17.50	0.2	0.1033	0.1234	0.0967
6	18.00	0.24	0.1343	0.1551	0.1057
7	18.60	0.28	0.1754	0.1961	0.1046
8	19.10	0.32	0.2122	0.232	0.1078
9	19.90	0.36	0.2735	0.291	0.0865
10	23.70	0.4	0.5459	0.5474	0.1459
11	24.40	0.44	0.5868	0.5858	0.1468
12	27.50	0.48	0.7287	0.7209	0.2487
13	27.60	0.52	0.7323	0.7244	0.2123
14	28.30	0.56	0.7563	0.7475	0.1963
15	28.60	0.6	0.7658	0.7568	0.1658
16	28.90	0.64	0.775	0.7657	0.135
17	29.20	0.68	0.7837	0.7742	0.1037
18	29.60	0.72	0.7948	0.7851	0.0748
19	30.70	0.76	0.8221	0.8119	0.0621
20	32.00	0.8	0.8492	0.8388	0.0492
21	33.00	0.84	0.8668	0.8565	0.0268
22	34.40	0.88	0.8876	0.8776	0.0076
23	34.50	0.92	0.8889	0.8789	0.0311
24	34.60	0.96	0.8902	0.8803	0.0698

- Prueba de Ajuste:** Consiste en comprobar gráficamente y estadísticamente si la frecuencia empírica de la serie de registros analizados se ajustan a un determinado modelo estadístico probabilístico adoptado, con los parámetros estimados en base a los valores maestres. La prueba estadística tiene por objetivo medir la certeza que se obtiene al hacer una hipótesis estadística sobre una población. Es decir, calificar el hecho de suponer que una variable aleatorio se distribuye según un modelo probabilístico.

Tabla 3.20: Resumen de precipitaciones según distribuciones estadísticas

Precipitaciones 24 horas Estación Huancavelica (mm)						
		Normal	Log Normal 2P	Gamma 2P	Gumbel	LogGumbel
TR (años)	10	33.88	35.16	34.38	34.04	35.39
	25	37.11	40.36	38.58	39.12	43.99
	50	39.19	44.13	41.47	42.88	51.70
	100	41.06	47.81	44.17	46.62	60.68
	200	42.77	51.45	46.72	50.35	71.18
	300	43.72	53.57	48.17	52.52	78.13
	400	44.36	55.07	49.16	54.06	83.47
	500	44.85	56.24	49.94	55.26	87.86
	1000	46.31	59.86	52.23	58.67	103.01
Ajuste	Δ teórico	0.1576	0.1925	0.1852	0.2194	0.2487
	Δ tab	0.2776	0.2776	0.2776	0.2776	0.2776



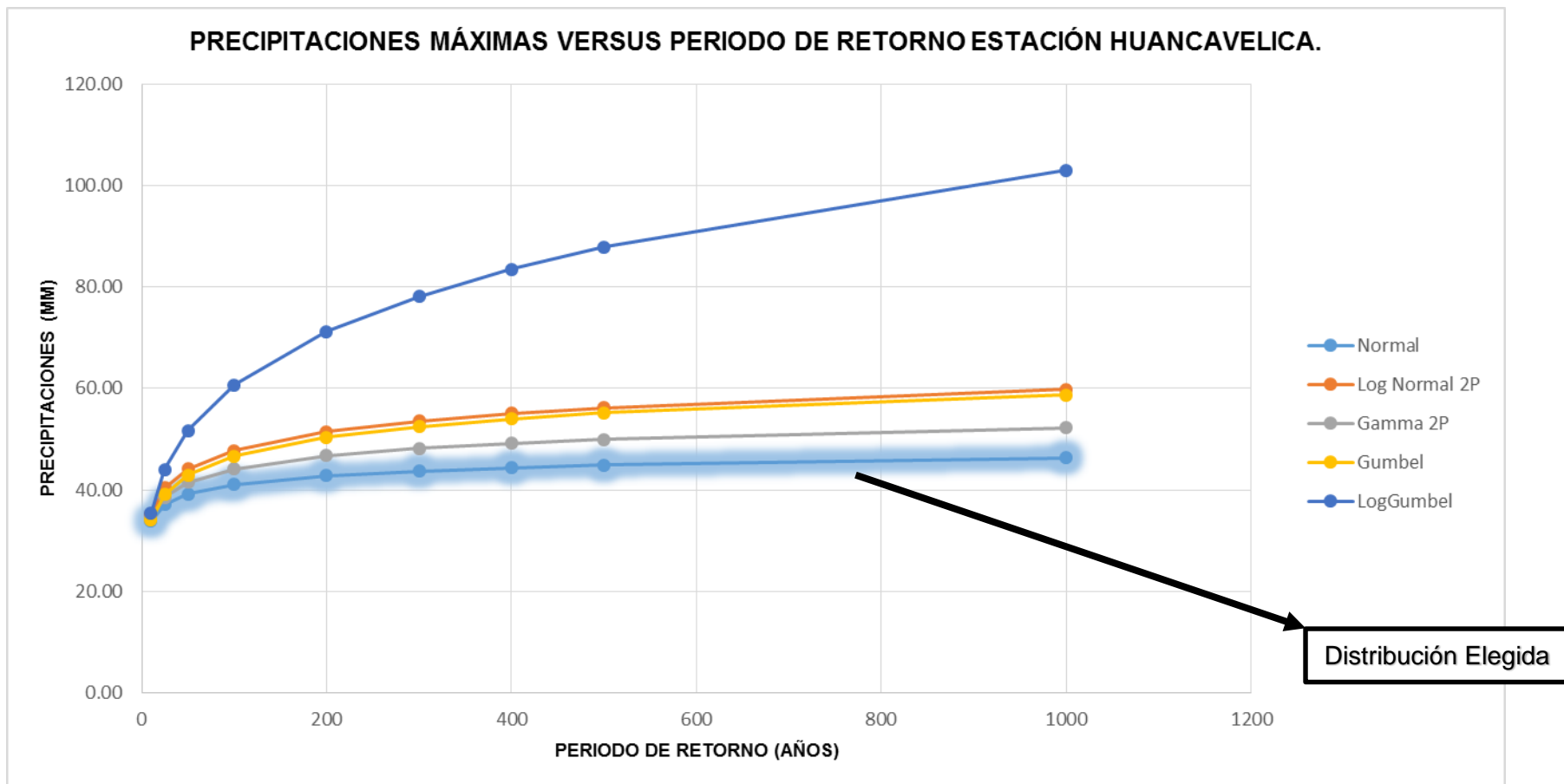


Figura 3.24 : Precipitaciones máximas vs Periodo de Retorno Huancavelica.

- Intensidad de Precipitación:** El estudio de la Precipitación Máxima e Intensidad Máxima es muy importante para tener en conocimiento la intensidad de las precipitaciones, sus magnitudes, así como su frecuencia, que son muy necesarios para el diseño de las diferentes obras hidráulicas que pudieran construirse en las zonas de estudio, en la cuenca del rio Ichu Existen varios modelos para estimar la intensidad a partir de la precipitación máxima en 24 horas. Uno de ellos es el modelo de Frederich Bell que permite calcular la precipitación máxima en función del período de retorno, la duración de la precipitación en minutos y la precipitación máxima de una hora de duración y periodo de retorno de 10 años.

Para el análisis se ha tenido se cuenta la información de precipitación en 24 horas. Con la finalidad de obtener dicha información para diferentes periodos de retorno y que permita tener confiabilidad de su recurrencia, se le evaluó a través de las 7 distribuciones descritas anteriormente, lo cuales se eligió la distribución NORMAL ya que tiene menor error teórico que las demás distribuciones.

Tabla3.21: Distribución de menor error teórico (Normal).

Precipitaciones maximas 24 horas Estudiar en la Distribución Normal (mm)		
TR (años)	Normal	
10	33.88	
25	37.11	
50	39.19	
100	41.06	
200	42.77	
300	43.72	
400	44.36	
500	44.85	
1000	46.31	
Ajuste	Δ teórico	0.16
	Δ tab	0.28

$$P_t^T = (0.21 \log_e T + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_{60}^{10}$$

Donde:

t: Duración en minutos

T: Periodo de retorno en años

P_t^T : Precipitación caída en t minutos con periodo de retorno en T años

P_{10}^{60} : Precipitación caída en 60 minutos con periodo de retorno en 10 años

Tabla 3.22: Precipitación Máximas (mm)- Estación Huancavelica.

T años	P.Max 24 horas	Cuadro Precipitaciones máximas (mm)					
		Duración en minutos					
		5	10	15	20	30	60
1000	46.31	6.1	9.1	11.2	12.7	15.2	19.9
500	44.85	5.7	8.5	10.3	11.8	14.0	18.4
400	44.36	5.5	8.2	10.1	11.5	13.7	18.0
300	43.72	5.3	8.0	9.7	11.1	13.2	17.4
200	42.77	5.1	7.6	9.3	10.6	12.6	16.5
100	41.06	4.6	6.9	8.4	9.6	11.4	15.0
50	39.19	4.2	6.2	7.6	8.7	10.3	13.6
25	37.11	3.7	5.5	6.8	7.7	9.2	12.1
10	33.88	3.1	4.7	5.7	6.5	7.7	10.1

$$I = a \cdot P_{24}^b$$

I = intensidad máxima en mm/h

a, b = parámetros del modelo; 0.4602, 0.876, respectivamente.

P₂₄ = precipitación máxima en 24 horas

Tabla 3.23: Intensidad máximas (mm/hora) – Estación Huancavelica.

T años	P.Max 24 horas	Intensidades máximas (mm/hora)					
		Duración en minutos					
		5	10	15	20	30	60
1000	46.31	73.2	54.8	44.7	38.2	30.3	19.9
500	44.85	67.8	50.8	41.4	35.4	28.1	18.4
400	44.36	66.1	49.5	40.3	34.5	27.4	18.0
300	43.72	63.8	47.8	38.9	33.3	26.4	17.4
200	42.77	60.7	45.4	37.0	31.7	25.1	16.5
100	41.06	55.3	41.4	33.7	28.8	22.9	15.0
50	39.19	49.9	37.3	30.4	26.0	20.6	13.6
25	37.11	44.5	33.3	27.1	23.2	18.4	12.1
10	33.88	37.3	27.9	22.8	19.5	15.4	10.1

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

$$K = 68.03$$

$$m = 0.145$$

$$n = 0.527$$

Tabla 3.24: Resultados del Análisis de Regresión.

Constante	1.8327119	Log K= 1.8327	K = 68.03
Err. estándar de est.Y	0.01788896		m = 0.145
R cuadrada	0.99262909		n = 0.527
Núm. de observaciones	54		
Grado de libertad	51	Donde:	$I = \frac{68.03 T^{0.145}}{t^{0.527}}$
Coeficiente(s) X	0.14526031	-0.52687912	T= años
Error estándar de coef.	0.00392126	0.00710714	t= minutos

Donde:

I : Intensidad máxima (mm/hr)

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

T : Periodo de retorno, en años

t : Duración de la precipitación (en minutos u horas)

$$\text{Log}(I) = \text{Log}(K) + \text{Log}(T) - n \text{Log}(t)$$

Equivalente a:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

Donde:

$$Y = \text{Log}(I) \qquad a_0 = \text{Log}(K)$$

$$x_1 = \text{Log}(T) \qquad a_1 = m$$

$$x_2 = \text{Log}(t) \qquad a_2 = -n$$

Los coeficientes de a_0, a_1, a_2 , y con ello, de K, m, n se obtienen, mediante regresión múltiple.

Tabla 3.25: Datos de la Curva IDF – Estación de Huancavelica.

Duración (t) (minutos)	Intensidades Máximas (mm/h)								
	Período de Retorno (T) en años								
	10	25	50	100	200	300	400	500	1000
10	28.25	32.28	35.70	39.48	43.66	46.31	48.28	49.87	55.16
20	19.61	22.40	24.77	27.40	30.30	32.14	33.51	34.62	38.28
30	15.84	18.09	20.01	22.13	24.47	25.96	27.07	27.96	30.92
40	13.61	15.55	17.19	19.02	21.03	22.31	23.26	24.02	26.57
50	12.10	13.82	15.29	16.91	18.70	19.83	20.68	21.36	23.62
60	10.99	12.56	13.89	15.36	16.99	18.02	18.78	19.40	21.46
70	10.13	11.58	12.80	14.16	15.66	16.61	17.32	17.89	19.79
80	9.45	10.79	11.93	13.20	14.60	15.48	16.14	16.67	18.44
90	8.88	10.14	11.22	12.40	13.72	14.55	15.17	15.67	17.33
100	8.40	9.59	10.61	11.73	12.98	13.76	14.35	14.83	16.40
110	7.99	9.12	10.09	11.16	12.34	13.09	13.65	14.10	15.59
120	7.63	8.72	9.64	10.66	11.79	12.50	13.04	13.47	14.89
130	7.31	8.36	9.24	10.22	11.30	11.99	12.50	12.91	14.28
140	7.03	8.04	8.89	9.83	10.87	11.53	12.02	12.42	13.73
150	6.78	7.75	8.57	9.48	10.48	11.12	11.59	11.97	13.24
160	6.56	7.49	8.28	9.16	10.13	10.75	11.20	11.57	12.80
170	6.35	7.25	8.02	8.87	9.81	10.41	10.85	11.21	12.40
180	6.16	7.04	7.78	8.61	9.52	10.10	10.53	10.88	12.03

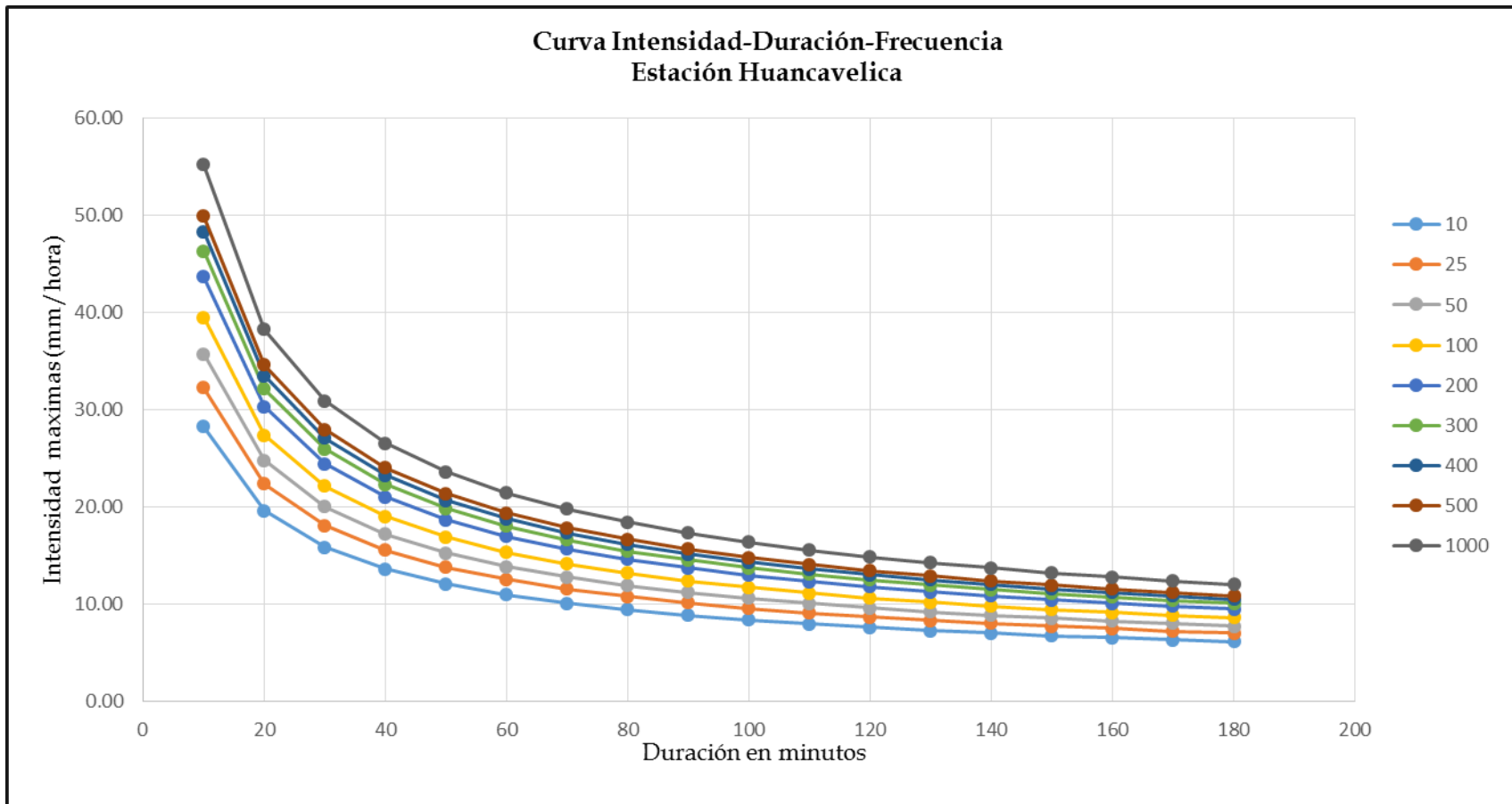


Figura 3.25 : Curva Intensidad – Duración – Frecuencia.

- **Hietogramas de Diseño:** Los hietogramas se elabora con el método de bloque Alterno para Diferentes tipo de Periodos, que está relacionado con la probabilidad o riesgo que el caudal sea excedido durante el periodo para el cual se diseña la luz del puente y obras de protección. En general, se acepta riesgos más altos cuando los daños probables que se produzcan, en caso de que discurra una caudal mayor al de diseño, sean menores y los riesgos aceptables deberán ser pequeños cuando los daños probables sean menores.

Tabla 3.26: Intensidad Hietograma: Método del Bloque Interno

Intervalo (min)	Intensidad Hietograma : Metodo del bloqueo Alterno (mm)																	
	Tr: 10 años		Tr: 25 años		Tr: 50 años		Tr: 100 años		Tr: 200 años		Tr: 300 años		Tr: 400 años		Tr: 500 años		Tr: 1000 años	
	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)	I Increment.	I(mm/hr)
0-10	28.25	6.35	32.28	7.25	35.70	8.02	39.48	8.87	43.66	9.81	46.31	10.41	48.28	10.85	49.87	11.21	55.16	12.40
10-20	19.61	6.78	22.40	7.75	24.77	8.57	27.40	9.48	30.30	10.48	32.14	11.12	33.51	11.59	34.62	11.97	38.28	13.24
20-30	15.84	7.31	18.09	8.36	20.01	9.24	22.13	10.22	24.47	11.30	25.96	11.99	27.07	12.50	27.96	12.91	30.92	14.28
30-40	13.61	7.99	15.55	9.12	17.19	10.09	19.02	11.16	21.03	12.34	22.31	13.09	23.26	13.65	24.02	14.10	26.57	15.59
40-50	12.10	8.88	13.82	10.14	15.29	11.22	16.91	12.40	18.70	13.72	19.83	14.55	20.68	15.17	21.36	15.67	23.62	17.33
50-60	10.99	10.13	12.56	11.58	13.89	12.80	15.36	14.16	16.99	15.66	18.02	16.61	18.78	17.32	19.40	17.89	21.46	19.79
60-70	10.13	12.10	11.58	13.82	12.80	15.29	14.16	16.91	15.66	18.70	16.61	19.83	17.32	20.68	17.89	21.36	19.79	23.62
70-80	9.45	15.84	10.79	18.09	11.93	20.01	13.20	22.13	14.60	24.47	15.48	25.96	16.14	27.07	16.67	27.96	18.44	30.92
80-90	8.88	28.25	10.14	32.28	11.22	35.70	12.40	39.48	13.72	43.66	14.55	46.31	15.17	48.28	15.67	49.87	17.33	55.16
90-100	8.40	19.61	9.59	22.40	10.61	24.77	11.73	27.40	12.98	30.30	13.76	32.14	14.35	33.51	14.83	34.62	16.40	38.28
100-110	7.99	13.61	9.12	15.55	10.09	17.19	11.16	19.02	12.34	21.03	13.09	22.31	13.65	23.26	14.10	24.02	15.59	26.57
110-120	7.63	10.99	8.72	12.56	9.64	13.89	10.66	15.36	11.79	16.99	12.50	18.02	13.04	18.78	13.47	19.40	14.89	21.46
120-130	7.31	9.45	8.36	10.79	9.24	11.93	10.22	13.20	11.30	14.60	11.99	15.48	12.50	16.14	12.91	16.67	14.28	18.44
130-140	7.03	8.40	8.04	9.59	8.89	10.61	9.83	11.73	10.87	12.98	11.53	13.76	12.02	14.35	12.42	14.83	13.73	16.40
140-150	6.78	7.63	7.75	8.72	8.57	9.64	9.48	10.66	10.48	11.79	11.12	12.50	11.59	13.04	11.97	13.47	13.24	14.89
150-160	6.56	7.03	7.49	8.04	8.28	8.89	9.16	9.83	10.13	10.87	10.75	11.53	11.20	12.02	11.57	12.42	12.80	13.73
160-170	6.35	6.56	7.25	7.49	8.02	8.28	8.87	9.16	9.81	10.13	10.41	10.75	10.85	11.20	11.21	11.57	12.40	12.80
170-180	6.16	6.16	7.04	7.04	7.78	7.78	8.61	8.61	9.52	9.52	10.10	10.10	10.53	10.53	10.88	10.88	12.03	12.03

Tabla 3.27: Precipitación Hietograma: Método del Bloque Interno

Intervalo (min)	Precipitaciones Hietograma : Metodo del bloqueo Alterno (mm)																	
	Tr: 10 años		Tr: 25 años		Tr: 50 años		Tr: 100 años		Tr: 200 años		Tr: 300 años		Tr: 400 años		Tr: 500 años		Tr: 1000 años	
	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)	P Increm.	P (mm)
0-10	4.71	0.50	5.38	0.57	5.95	0.64	6.58	0.70	7.28	0.78	7.72	0.83	8.05	0.88	8.31	0.91	9.19	1.00
10-20	1.83	0.55	2.09	0.62	2.31	0.68	2.55	0.76	2.82	0.84	3.00	0.90	3.12	0.93	3.23	0.95	3.57	1.06
20-30	1.38	0.58	1.58	0.67	1.75	0.74	1.93	0.82	2.14	0.90	2.27	0.98	2.37	1.00	2.44	1.03	2.70	1.16
30-40	1.15	0.65	1.32	0.74	1.46	0.82	1.62	0.91	1.79	0.99	1.89	1.07	1.97	1.11	2.03	1.13	2.25	1.25
40-50	1.01	0.72	1.15	0.82	1.28	0.92	1.41	1.00	1.56	1.11	1.65	1.19	1.73	1.24	1.79	1.28	1.97	1.41
50-60	0.91	0.83	1.04	0.95	1.15	1.04	1.27	1.16	1.41	1.28	1.50	1.36	1.55	1.43	1.60	1.47	1.78	1.63
60-70	0.83	1.01	0.95	1.15	1.04	1.28	1.16	1.41	1.28	1.56	1.36	1.65	1.43	1.73	1.47	1.79	1.63	1.97
70-80	0.78	1.38	0.88	1.58	0.97	1.75	1.08	1.93	1.20	2.14	1.26	2.27	1.31	2.37	1.36	2.44	1.50	2.70
80-90	0.72	4.71	0.82	5.38	0.92	5.95	1.00	6.58	1.11	7.28	1.19	7.72	1.24	8.05	1.28	8.31	1.41	9.19
90-100	0.68	1.83	0.77	2.09	0.85	2.31	0.95	2.55	1.05	2.82	1.11	3.00	1.16	3.12	1.21	3.23	1.34	3.57
100-110	0.65	1.15	0.74	1.32	0.82	1.46	0.91	1.62	0.99	1.79	1.07	1.89	1.11	1.97	1.13	2.03	1.25	2.25
110-120	0.61	0.91	0.72	1.04	0.78	1.15	0.86	1.27	0.96	1.41	1.00	1.50	1.06	1.55	1.09	1.60	1.20	1.78
120-130	0.58	0.78	0.67	0.88	0.74	0.97	0.82	1.08	0.90	1.20	0.98	1.26	1.00	1.31	1.03	1.36	1.16	1.50
130-140	0.57	0.68	0.65	0.77	0.72	0.85	0.79	0.95	0.88	1.05	0.92	1.11	0.96	1.16	1.01	1.21	1.10	1.34
140-150	0.55	0.61	0.62	0.72	0.68	0.78	0.76	0.86	0.84	0.96	0.90	1.00	0.93	1.06	0.95	1.09	1.06	1.20
150-160	0.54	0.57	0.60	0.65	0.65	0.72	0.73	0.79	0.81	0.88	0.87	0.92	0.89	0.96	0.93	1.01	1.03	1.10
160-170	0.50	0.54	0.57	0.60	0.64	0.65	0.70	0.73	0.78	0.81	0.83	0.87	0.88	0.89	0.91	0.93	1.00	1.03
170-180	0.49	0.49	0.58	0.58	0.62	0.62	0.70	0.70	0.76	0.76	0.81	0.81	0.85	0.85	0.88	0.88	0.96	0.96

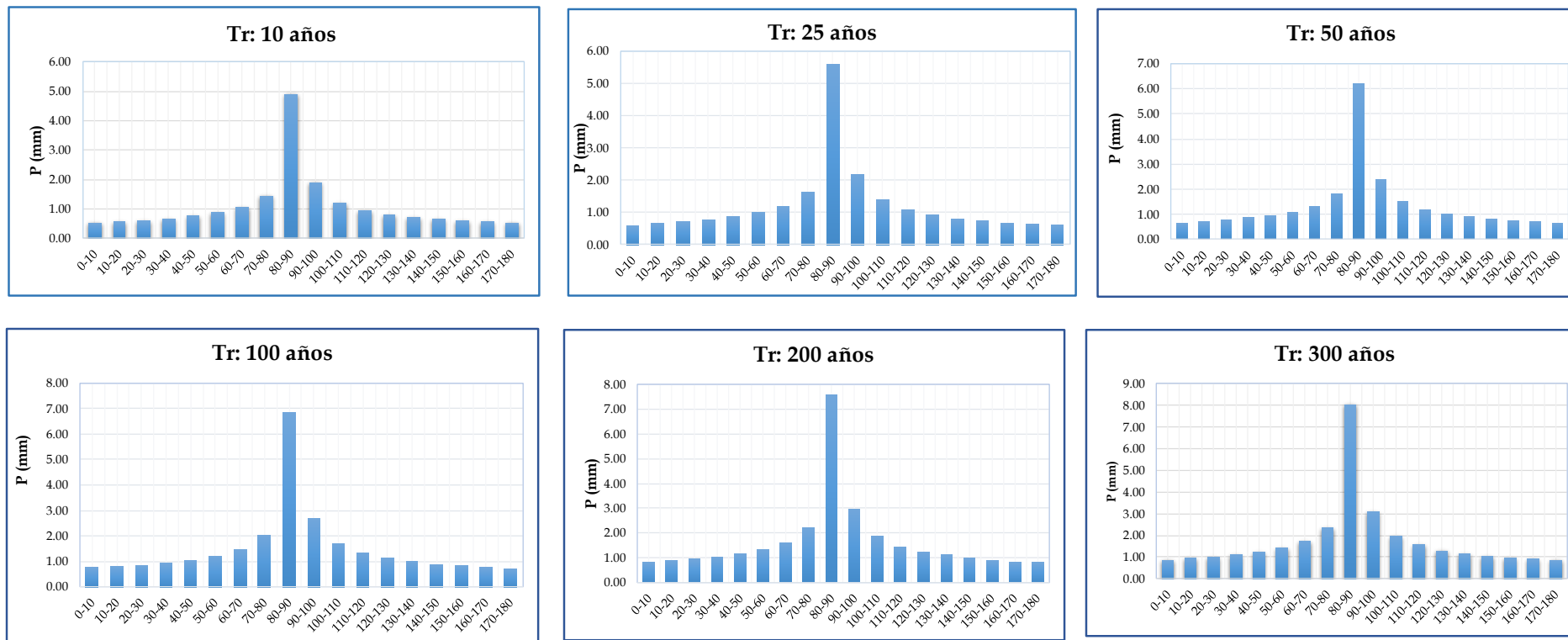


Figura 3.26 : Hietogramas para Diferentes Periodos de Retorno

3.6 MODELACIÓN HIDROLÓGICA CON HEC-HMS EN LA CUENCA RIO ICHU – HUANCAVELICA

Para la modelación de una cuenca en el HEC-HMS se necesita representar la cuenca hidrológica mediante el desarrollo del modelo de la cuenca, en el cual se representan los elementos hidrológicos propios de la misma. En la presente investigación se creó el modelo de la cuenca Río Ichu con la ayuda del ArcView y su extensión HEC-GEO-HMS, siguiendo el procedimiento de trabajo descrito en el capítulo II.

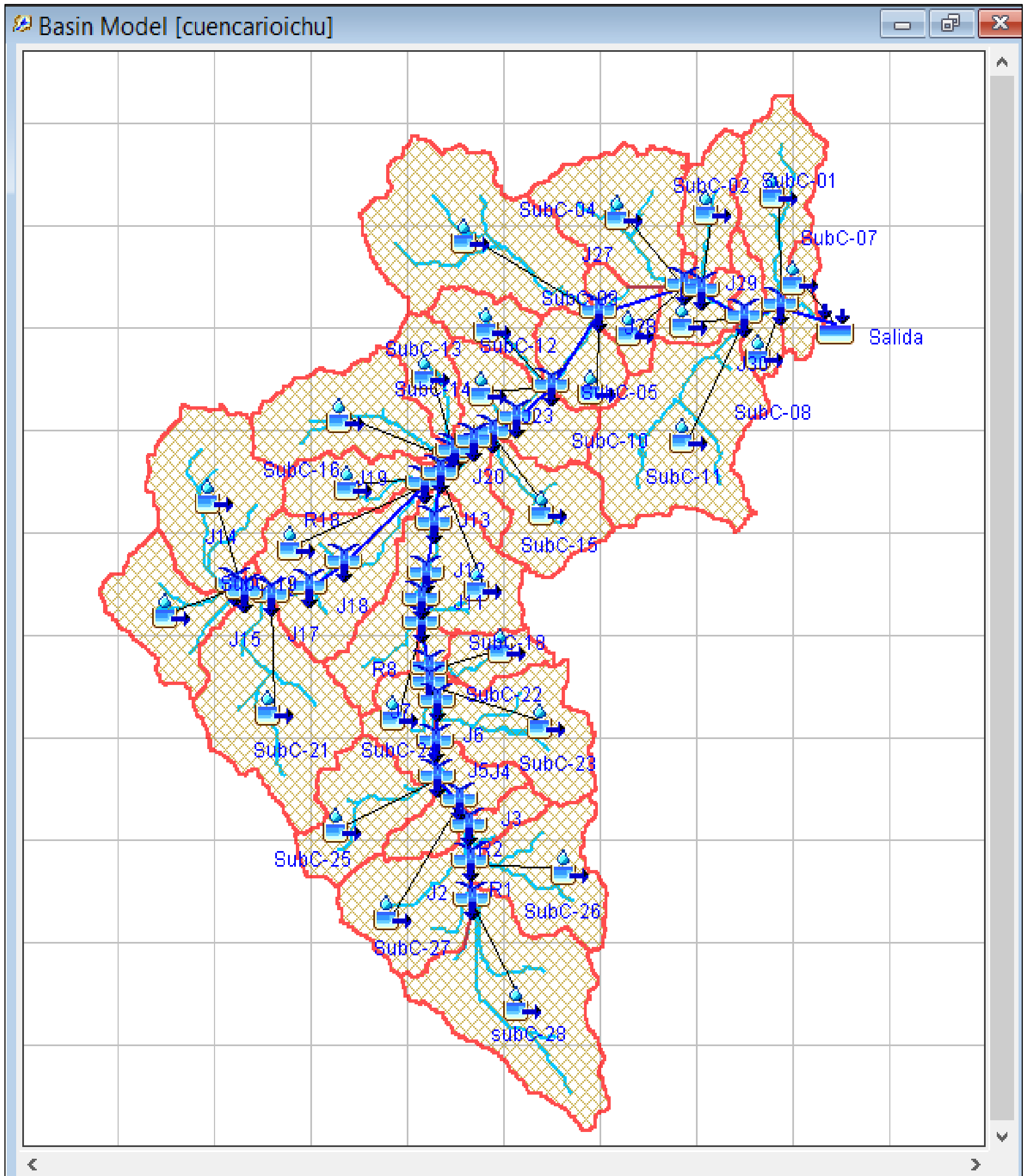


Figura 3.27 : Modelamiento HEC-HMS Cuenca Río Ichu.

- **Modelación con HEC-HMS:** De los datos obtenidos anteriormente se procede a la simulación hidrológica mediante el programa HEC-HMS.

Los resultados más importantes que se pueden obtener mediante la utilización de este software son:

- Los caudales máximos de la cuenca considerada.
- Los tiempos al pico de dichos caudales.
- La forma general del hidrograma considerado.
-

La interpretación de los resultados depende de la confiabilidad misma de la información suministrada al programa. Si se cuenta con poca información, no es posible decidir si los valores de caudales y tiempos se subestiman o se sobreestiman y esto repercute directamente en la confiabilidad de la forma del hidrograma de salida. Ante todo se debe tener presente que el modelo simula una condición extrema de máximos caudales liberados en corto tiempo (hablando en términos de horas o pocos días) para un patrón de precipitaciones definido como crítico.

Son útiles para hacerse a una idea de las magnitudes de caudal que puede llegar a manejar una corriente en cortos períodos, de los tiempos de respuesta para sistemas de alerta contra inundaciones o desbordamientos aguas abajo (en poblaciones o distritos de riego), y de los volúmenes libres que deben mantenerse en los embalses para amortiguar los efectos de las crecientes.

Tabla 3.28: Resumen de Caudales de Diseño (m^3/s) según metodología propuesta (CN).

Puntos	CAUDALES MAXIMO (m^3/s)								
	Tr = 10 Años	Tr = 25 Años	Tr = 50 Años	Tr = 100 Años	Tr = 200 Años	Tr = 300 Años	Tr = 400 Años	Tr = 500 Años	Tr = 1000 Años
Punto de Inspeccion 1	78.30	123.70	176.50	254.20	361.70	443.70	506.00	559.00	760.30
Punto de Inspeccion 2	81.50	128.40	183.70	264.60	376.10	460.50	526.10	580.70	787.70
Punto de Inspeccion 3	90.90	143.00	204.60	294.60	418.40	511.70	585.60	646.00	875.10
Punto de Inspeccion 4	97.00	152.20	218.10	313.80	445.10	543.90	622.90	686.90	927.90
Punto de Inspeccion 5	98.00	153.80	220.40	317.20	449.80	549.90	629.60	694.00	937.40

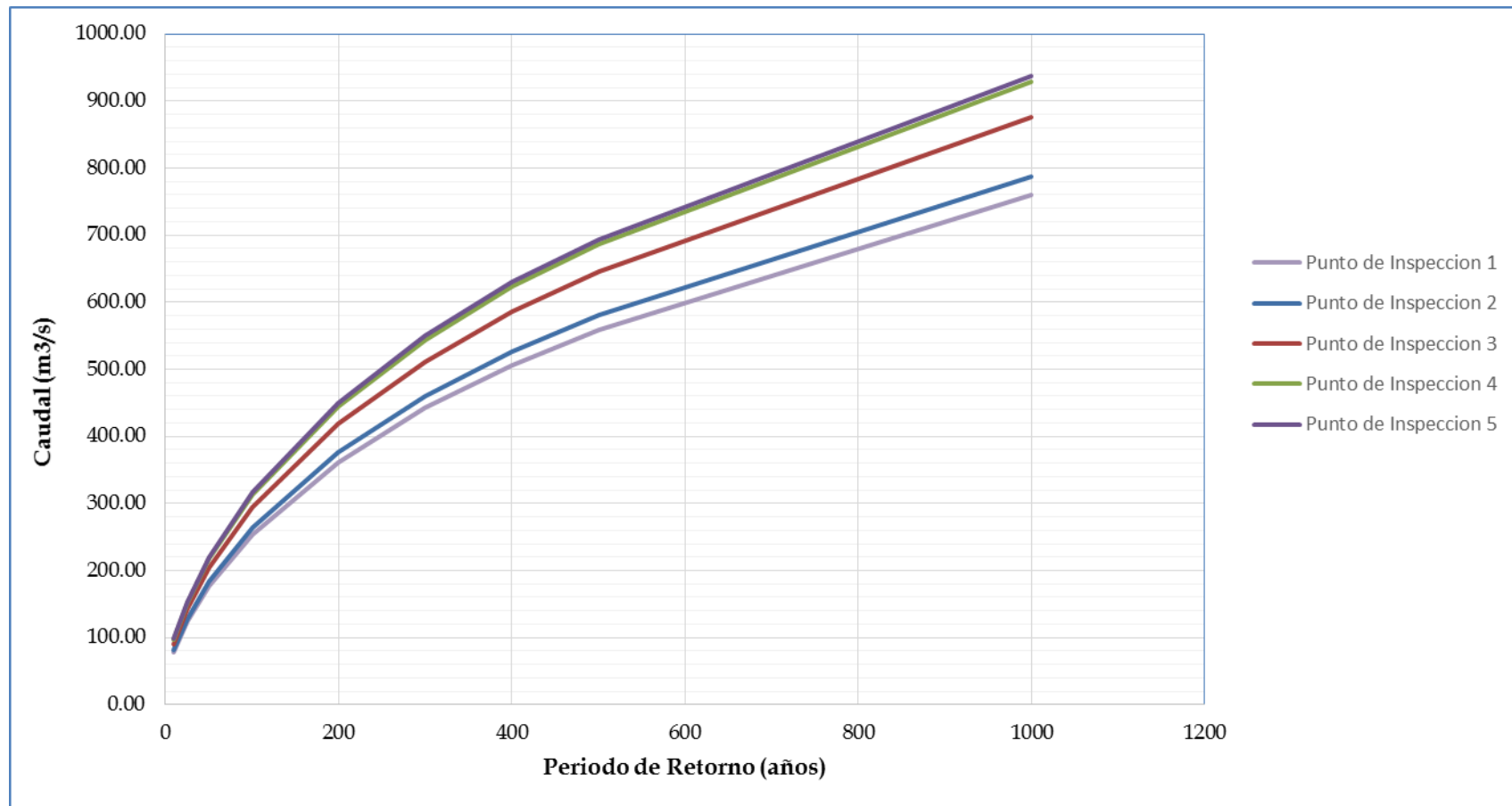


Figura 3.28 : Caudales vs Periodos de Retorno Según Metodología Propuesta.

3.7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADO

Para el presente proyecto de investigación se tomó un registro de precipitación máxima en 24 horas desde 1988 – 2011; para su respectivo análisis.

La clasificación del parámetro hidrológico Curva Número (CN) se generó a partir de los datos como: tipos de suelo, usos de suelo fueron reclasificados según el Servicio de Conservación de Suelo (SCS) y procesados en el ArcGIS; en la **figura 3.23** se muestra la asignación del parámetro hidrológico CN para cada sub cuenca, obtenidos de acuerdo a las condiciones y uso que se encuentra la sub cuenca, cuyos valores asignados varían desde CN = 72.66 a CN = 87.36 para los cuales se muestra en siguiente tabla :

Tabla 3.29: Valores Estimados del Numero Curva.

Denominación	CN	Area (Km)
Sub Cuenca 1	84.77	12.40
Sub Cuenca 2	83.21	27.84
Sub Cuenca 3	82.45	20.74
Sub Cuenca 4	81.59	47.40
Sub Cuenca 5	80.92	9.14
Sub Cuenca 6	81.01	8.83
Sub Cuenca 7	81.41	6.41
Sub Cuenca 8	85.29	7.95
Sub Cuenca 9	77.09	10.08
Sub Cuenca 10	79.52	12.68
Sub Cuenca 11	82.23	44.03
Sub Cuenca 12	73.40	10.14
Sub Cuenca 13	78.76	28.25
Sub Cuenca 14	82.17	26.56
Sub Cuenca 15	79.09	19.43
Sub Cuenca 16	86.74	32.48
Sub Cuenca 17	87.36	13.43
Sub Cuenca 18	81.94	35.22
Sub Cuenca 19	81.78	20.48
Sub Cuenca 20	86.20	30.07
Sub Cuenca 21	80.21	40.72
Sub Cuenca 22	74.77	8.18
Sub Cuenca 23	76.15	26.15
Sub Cuenca 24	79.35	26.35
Sub Cuenca 25	78.02	20.36
Sub Cuenca 26	79.46	22.89
Sub Cuenca 27	72.66	28.22
Sub Cuenca 28	79.80	44.73

La **Tabla 3.13** se muestra los valores promedios del parámetro hidrológico curva número generados para cada sub cuenca planteada, así pues los resultados obtenidos muestran la utilidad que puede tener los sistemas de información

geográfica para actualizar información sobre parámetros hidrológicos, e incluso para generarla si no se dispone de otra fuente de información.

Tabla 3.30: Resumen de Caudales en el Punto de Inspección 4.

Periodo de Retorno	Tr = 10 Años	Tr = 25 Años	Tr = 50 Años	Tr = 100 Años	Tr = 200 Años	Tr = 300 Años	Tr = 400 Años	Tr = 500 Años	Tr = 1000 Años
Caudal De Diseño (m ³ /s)	97.00	152.20	218.10	313.80	445.10	543.90	622.90	686.90	927.90

En la **Tabla 3.30** se muestra los resultados de caudales obtenidos para los diferentes puntos de inspección planteadas a lo largo del Rio Ichu según la metodología planteada, para los cuales se toma los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación de Huancavelica y calculados con el programa HEC-HMS para diferentes periodos de retorno, en condiciones de antecedentes de humedad normales y considerando las características geomorfológica de cada sub cuenca delimitada.

A continuación se muestra en la fotografía de la máxima avenida en diferentes partes del área urbana de la ciudad de Huancavelica.



Figura 3.29 : Cauce del Rio Ichu aguas abajo tiempo de avenidas



Figura 3.30 : Puente de Santa Ana.

Para la presente investigación se tomó en consideración también los análisis regionales de las avenidas en los ríos del Perú (Método de Creager), las ecuaciones de IILA- SENAMHI y la Método de las huellas máximas para la avenida histórica.

Una forma de validar la metodología o calibrar el modelo que se plantea en la investigación es realizando una **Estimación de una Avenida Histórica en el Río Ichu** para ello tomaremos la sección transversal en el punto de inspección “4” y teniendo como antecedente el evento que ocurrió en Febrero del 2012 tomando como registro la huella máxima como se puede observar en la **Figura 3.4** dando como resultado de un caudal instantáneo de $106.48 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 30 a 35 años según testigo de los pobladores de la zona y que posteriormente será comparado con el caudal estimado según la metodología planteada.

Tabla 3.31: Resumen de Caudales estimados por una avenida histórica.

Denominación	Caudal (m ³ /s)	Sección Trans.	Perimetro Mojado	Radio Hidraulico	Pendiente (m/m)	Coficiente de Manning
Evento 2012	106.48	41.47	21.03	1.97	0.02	0.075

El método de Creager proporciona el gasto de diseño en función del área de la cuenca y de un coeficiente que depende de la región correspondiente a la cuenca en estudio.

La cuenca en estudio tiene una área de 641.15 Km^2 y según el método de creager corresponde a la Región N° 6 como se muestra en **figura 2.4**, obteniendo los parámetros correspondientes para dicha región.

Cuenca	Región	Area (Km ²)	C1	C2	m	n
Huancavelica	6	641.15	0.18	0.31	1.24	0.04

Una vez ya determinado los parámetros y el área correspondiente a la cuenca, se procede estimar las máximas avenidas para diferentes periodos de retorno obteniendo los siguientes resultados:

Periodo de Retorno (Tr) años	Caudal Maximo (Qmax) m ³ /s
10	238.72
25	333.72
50	405.58
100	477.44
200	549.30
300	591.34
400	621.16
500	644.30
1000	716.16

Este método se emplea para obtener un idea preliminar sobre el gasto máximo o bien cuando no se conoce las características de la precipitación en la zona correspondiente a la cuenca en estudio, ya que en el interviene como variable únicamente las características físicas de la cuenca.

Según las Ecuaciones IILA-SENAMHI nos permite estimar las intensidades y precipitaciones para diferentes periodos de retorno, en función a distintos parámetros regionales propuesto según el estudio de la Hidrología del Perú hecho por el IILA-SENAMHI-UNI 1983 bajo ciertas condiciones propuesta.

Para este proyecto se toma en cuenta una duración de lluvia de 3 horas y los parámetros regionales según la IILA-SENAMHI se considera lo siguiente:

PARAMETROS REGIONALES	
Constante "a"	15.00
Constante "b"	0.400
Constante "k"	0.533
Constante "n"	0.254

Bajo estas condiciones planteadas es que se genera las curvas IDF, para que posteriormente construyamos el hietograma de diseño, con la ayuda de la metodología de bloques alternos para distintos periodos de retorno, una vez determinado el hietograma de diseño, los parámetros fisiográficos (**Tabla 3.9**), bajo ciertas condiciones es que se procede a realizar la simulación hidrológica obteniendo los siguientes resultados:

Periodo de Retorno (Tr) años	Caudal Maximo (Qmax) m3/s
10	134.40
25	232.00
50	325.40
100	433.80
200	555.80
300	634.60
400	691.30
500	736.20
1000	890.70

Para la calibración y validación del modelo hidrológico planteado en la presente investigación, se tomaron en cuenta las distintas metodologías descritas anteriormente teniendo como resultado los siguientes caudales máximos para diferentes periodos de retorno

Tabla 3.32: Resumen de Caudales estimados con diferentes métodos.

METODO	CAUDALES MAXIMOS (m3/s)								
	Tr = 10 Años	Tr = 25 Años	Tr = 50 Años	Tr = 100 Años	Tr = 200 Años	Tr = 300 Años	Tr = 400 Años	Tr = 500 Años	Tr = 1000 Años
ILLA-SENAMHI	134.40	232.00	325.40	433.80	555.80	634.60	691.30	736.20	890.70
CREAGER	238.72	333.72	405.58	477.44	549.30	591.30	621.16	644.30	716.13
huella máxima de avenida histórica	Caudal Instantaneo = 106.48 , para un Periodo de Retorno de 30 a 35 años								
Metodología planteada Curva Numero	97.00	152.20	218.10	313.80	445.10	543.90	622.90	686.90	927.90

De los resultados obtenidos mediante la modelación propuesta frente a los métodos regionales, nos muestra que para los primeros 100 años se encuentran los caudales estimados inferiores a los métodos regionales, pero que posteriormente para los periodos mayores a 100 años los caudales estimados se van homogenizando con los métodos regionales; por otro lado tomando en cuenta la huella máxima de un evento histórico el caudal instantáneo calculado se encuentra dentro del periodo estimado según la metodología propuesta.

Como podemos observar existen diversos métodos para la estimación de máximas avenidas es por ello que se plantea en la presente investigación una metodología estándar en la cual se ha calibrado y validado bajo ciertas condiciones propuestas.

CAPTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 CONCLUSIONES

- El producto de esta investigación es dar a conocer una metodología estándar para realizar un estudio hidrológico de máximas avenidas cuando solo se poseen precipitaciones máximas
- Se obtuvieron los valores de Curva Número para las sub cuencas de la cuenca del río Ichu, para lo cual se tomaron como información base la cobertura de capacidad de uso mayor del suelo, tipos de coberturas de suelos.
- Se realizó la clasificación hidrológica según el tipo de suelos encontrándose así una clasificación Tipo A, B y D predominando en toda la cuenca el grupo hidrológico B.
- El uso de herramientas SIG permitió por una parte integrar la información cartográfica existente y por otra generar nueva información que sirvió tanto para la caracterización hidrológica como para los modelos finales. La integración de la cartográfica en una base de datos geográfica facilito el cálculo de las perdidas hidrológicas (abstracciones), las mismas fueron calculadas (usando el Método SCS para Abstracciones -Curva Numero).
- La ciudad de Huancavelica es altamente vulnerable para los efectos de avenidas máximas, cuyas estructuras hidráulicas de defensa no garantizan la protección urbana. Los estudio hidrológicos para la determinación de avenidas máximas, son fundamentales para garantizar la seguridad del dimensionamiento de las estructuras hidráulicas.
- De la comparación de los caudales máximos estimados según el modelamiento hidrológico y las mediciones/observaciones (avenida histórica) empírica se corrobora que los caudales estimado según la modelación se ajustan a la condiciones observadas.
- El análisis hidrológico de las sub cuencas estudiadas, según el método ILLA SENAMHI y el método regional de CREAGER son mayores hasta periodos de retornos menores a 100 años, llegando a coincidir los resultados de la ILLA-

SENAMHI, CREAGRE y la metodología planteada para periodos de retornos mayor a 100 años dando resultados más aproximados a los eventos reales.

- El método propuesto en la presente investigación se encuentra calibrado y validado según los métodos regionales y según la huella máxima producida por un evento histórico.
- En todo Hidrograma Unitario Sintético, un factor importante es el tiempo de retardo de la cuenca drenante, definido como el tiempo desde el centro de gravedad del hidrograma de lluvia hasta el pico del hidrograma.
- La aplicación del modelo HEC-HMS en su diagramación permite obtener una caracterización hidrológica de cada sub cuenca, lo cual nos permite operar de una manera más detallada en un área de menor extensión.
- Este modelo (HEC-HMS) nos permite simular los procesos de precipitación-escorrentía y obtener el hidrograma de avenida característico.
- Los resultados de la simulación con el HEC HMS para los diferentes periodos de retorno de 10, 25, 50, 100, 200, 300, 400, 500 y 1000 años, para las cuencas en estudio se presentan en la **Tabla 3.31**.

Puntos	CAUDALES MAXIMO (m ³ /s)								
	Tr = 10 Años	Tr = 25 Años	Tr = 50 Años	Tr = 100 Años	Tr = 200 Años	Tr = 300 Años	Tr = 400 Años	Tr = 500 Años	Tr = 1000 Años
Punto de Inspeccion 1	78.30	123.70	176.50	254.20	361.70	443.70	506.00	559.00	760.30
Punto de Inspeccion 2	81.50	128.40	183.70	264.60	376.10	460.50	526.10	580.70	787.70
Punto de Inspeccion 3	90.90	143.00	204.60	294.60	418.40	511.70	585.60	646.00	875.10
Punto de Inspeccion 4	97.00	152.20	218.10	313.80	445.10	543.90	622.90	686.90	927.90
Punto de Inspeccion 5	98.00	153.80	220.40	317.20	449.80	549.90	629.60	694.00	937.40

Caudales Máximos a diferentes periodos de retorno - Hec Hms

4.2 RECOMENDACIONES

- Recomendar la implementación de estaciones Meteorológicas para el registro de precipitaciones en todo el departamento de Huancavelica para la estimación de resultados más precisos y consistentes.
- Usar aplicaciones de Sistema de Información Geográfica para estudios Hidrológicos para tener mayor precisión en los datos y más reales.
- Se recomienda el encauce del río en las zonas más vulnerables.
- Los proyectos hidráulicos futuros aguas arriba a lo largo del río Ichu, deberán contemplar una simulación hidráulica teniendo en cuenta la vulnerabilidad y la prevención del caso.
- Todas la estimaciones empíricas de cualquier variable hidrológica debe verse solo como métodos alternativos y provisionales, siempre teniendo en la mira la construcción y adaptación de estaciones limnigráficas, en el futuro permitan trabajar con datos reales.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Aparicio Mijares, Javier.** “Fundamentos de Hidrología de Superficie”. Editorial Limusa S.A. de CV. GRUPO NORIEGA EDITORES, México D.F, 1996
2. **Autoridad Nacional de Agua ANA.** “Estudio Hidrológico de la Cuenca de Río tablachaca”, Ancash 2007.
3. **Choquehuanca Solórzano, Emilio.** “Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas, caso : Cuenca del Río Torata”, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Tesis presentada para el título de Ingeniero Civil lima –Perú, 2010 .
4. **Fonseca Salazar, Sigfredo Ernesto.** “Modelamiento Hidrológico con el HEC-HMS y Sistema de Información Geográfica”, tesis- UNALM, Facultad de Ing. Agrícola, 2002.
5. **Chow Ven Te, Maidment David R, W. Mays Larry.** “Hidrología aplicada”, McGRAW-HILL, Santafé de Bogotá, Colombia, 1994
6. **Gámez Morales, Willian R.** “Texto Básico de Hidrología”, Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, Managua-Nicaragua, 2009.
7. **Lynsley, Ray K. y Franzini, Joseph B.** “Ingeniería de los Recursos Hidráulicos”, compañía Editorial Continental, México 1967
8. **Ochoa Acuña, Ramón.** “Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas de la Vertiente del Pacífico- Cuencas de la Costa Sur”, Ministerio de Agricultura, Perú – Lima, 2010
9. **Ponce, Víctor Miguel.** “Engineering Hydrology”, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., U.S.A., 1989.

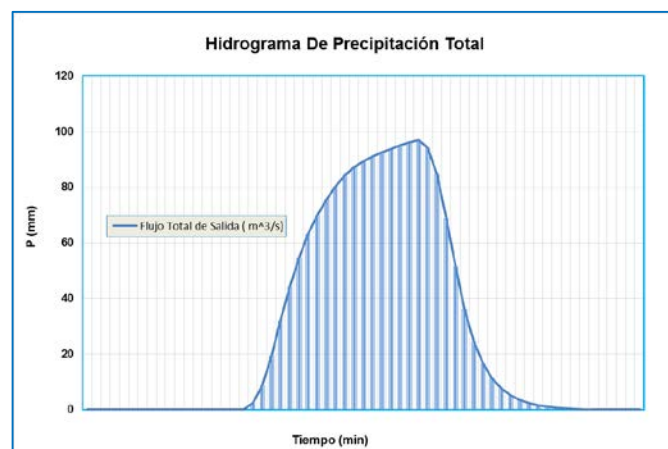
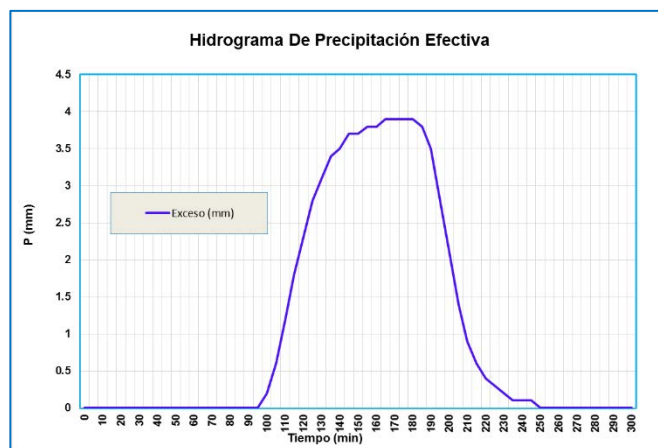
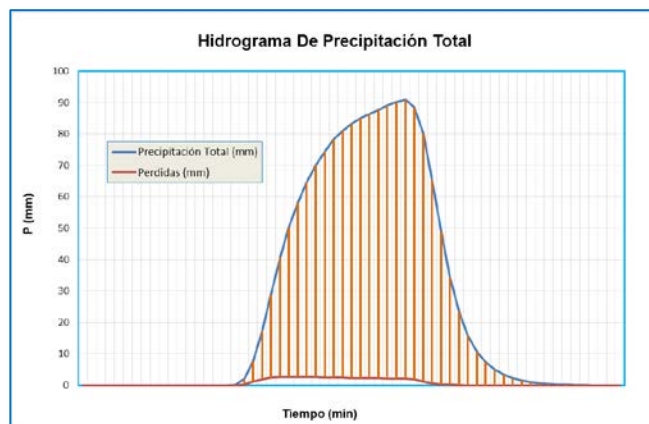
10. **Ramos Taipe, Cayo Leonidas.** "Modelamiento Hidrológico", Universidad Nacional Agraria la Molina – Departamento de Recursos de Agua y Tierra, Lima – Perú, 2008.
11. **U.S. Army Corps of Engineering,** "Hydrologic Engineering Center HEC-1", Flood Hydrograph Package, User's Manual, U.S.A, September 1990.
12. **U.S. Army Corps of Engineering,** "Hydrologic Engineering Center (HEC)", Hydrograph Modeling System (HEC-HMS), User's Manual, U.S.A., Agosto 2009.

ANEXOS.

ANEXO A: Hidrogramas Simulados con el Programa HEC-HMS.

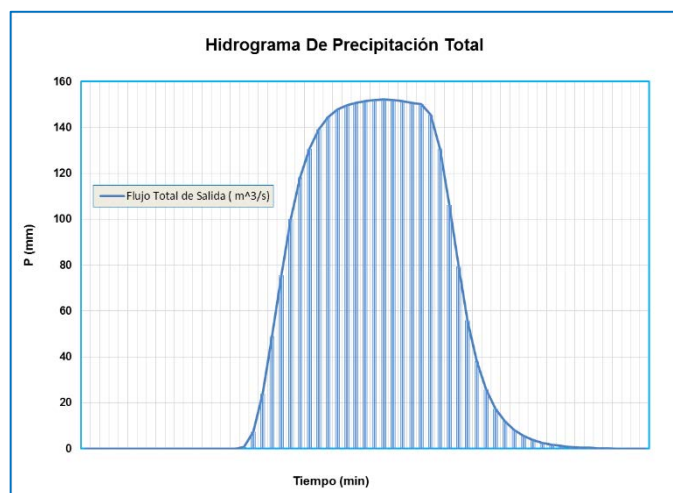
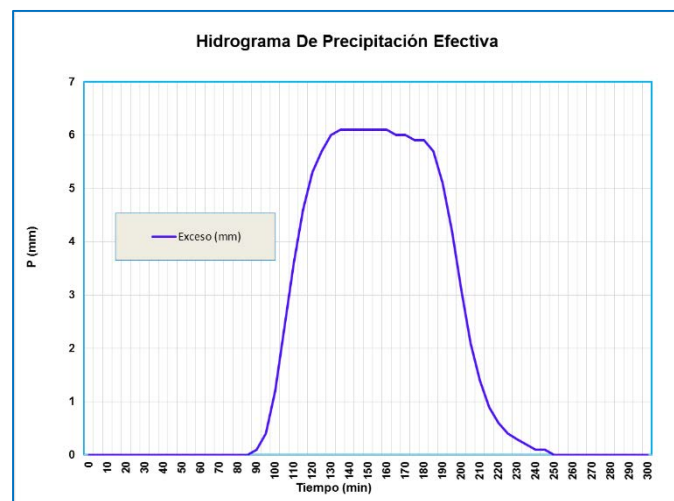
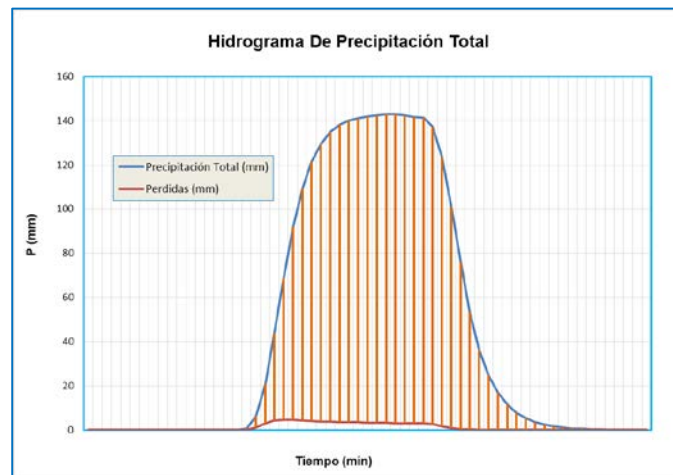
ANEXO A.1: Hidrogramas Simulados en el Punto de Inspección “4” para un periodo de retorno de **10 años**.

Tiempo (Min)	Precipitación Total (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Total de Salida (m ³ /s)
0	0	0	0	0
5	0	0	0	0
10	0	0	0	0
15	0	0	0	0
20	0	0	0	0
25	0	0	0	0
30	0	0	0	0
35	0	0	0	0
40	0	0	0	0
45	0	0	0	0
50	0	0	0	0
55	0	0	0	0
60	0	0	0	0
65	0	0	0	0
70	0	0	0	0
75	0	0	0	0
80	0	0	0	0
85	0.1	0	0	0.1
90	2.1	0.3	0	2.4
95	7.6	1.2	0	8.8
100	17.4	2	0.2	19.6
105	28.9	2.5	0.6	32.1
110	40.5	2.7	1.2	44.3
115	50.2	2.7	1.8	54.7
120	58.1	2.7	2.3	63.1
125	64.5	2.6	2.8	70
130	70	2.6	3.1	75.7
135	74.5	2.5	3.4	80.4
140	78.3	2.5	3.5	84.3
145	81.1	2.4	3.7	87.2
150	83.3	2.3	3.7	89.4
155	85	2.3	3.8	91.1
160	86.4	2.3	3.8	92.5
165	87.7	2.3	3.9	93.8
170	89	2.2	3.9	95.1
175	90.1	2.2	3.9	96.2
180	90.9	2.2	3.9	97
185	88.6	1.9	3.8	94.3
190	80.1	1.2	3.5	84.8
195	65.4	0.6	2.8	68.8
200	49	0.3	2.1	51.4
205	34.5	0.2	1.4	36.1
210	23.5	0.1	0.9	24.5
215	15.9	0	0.6	16.5
220	10.8	0	0.4	11.2
225	7.4	0	0.3	7.6
230	5	0	0.2	5.2
235	3.4	0	0.1	3.5
240	2.3	0	0.1	2.4
245	1.6	0	0.1	1.6
250	1.1	0	0	1.1
255	0.7	0	0	0.7
260	0.5	0	0	0.5
265	0.3	0	0	0.3
270	0.2	0	0	0.2
275	0.1	0	0	0.1
280	0.1	0	0	0.1
285	0	0	0	0
290	0	0	0	0
295	0	0	0	0
300	0	0	0	0



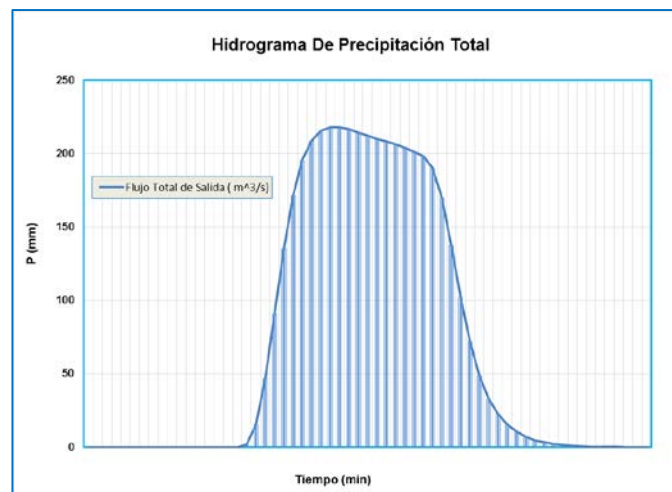
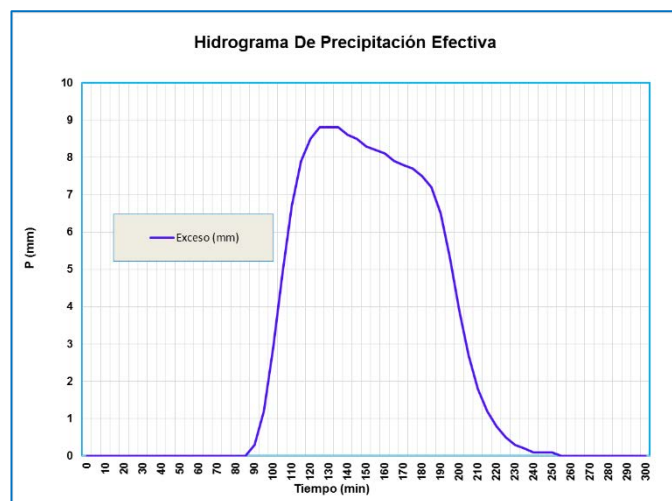
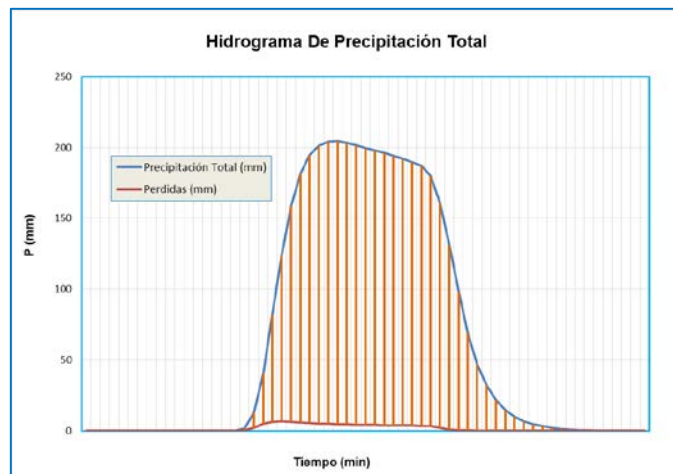
ANEXO A.2: Hidrogramas Simulados en el Punto de Inspección “4” para un periodo de retorno de **25 años**.

Tiempo (Min)	Precipitación Total (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Total de Salida (m ³ /s)
0	0	0	0	0
5	0	0	0	0
10	0	0	0	0
15	0	0	0	0
20	0	0	0	0
25	0	0	0	0
30	0	0	0	0
35	0	0	0	0
40	0	0	0	0
45	0	0	0	0
50	0	0	0	0
55	0	0	0	0
60	0	0	0	0
65	0	0	0	0
70	0	0	0	0
75	0	0	0	0
80	0	0	0	0
85	0.7	0.1	0	0.8
90	6.3	1	0.1	7.4
95	20.5	2.9	0.4	23.9
100	43.5	4.2	1.2	48.9
105	68.7	4.6	2.4	75.7
110	91.9	4.6	3.6	100.1
115	109.3	4.4	4.6	118.3
120	121.4	4.1	5.3	130.9
125	129.5	3.9	5.7	139.2
130	134.9	3.8	6	144.7
135	138.2	3.6	6.1	147.9
140	140.2	3.5	6.1	149.8
145	141.2	3.4	6.1	150.7
150	142	3.3	6.1	151.4
155	142.6	3.3	6.1	152
160	143	3.2	6.1	152.2
165	142.9	3.1	6	152
170	142.4	3.1	6	151.5
175	141.8	3	5.9	150.8
180	141.5	3	5.9	150.3
185	137.3	2.6	5.7	145.6
190	123.9	1.7	5.1	130.8
195	101.1	0.9	4.2	106.2
200	75.9	0.4	3.1	79.5
205	53.5	0.2	2.1	55.9
210	36.4	0.1	1.4	37.9
215	24.7	0.1	0.9	25.7
220	16.8	0	0.6	17.4
225	11.4	0	0.4	11.9
230	7.8	0	0.3	8.1
235	5.3	0	0.2	5.5
240	3.6	0	0.1	3.7
245	2.5	0	0.1	2.5
250	1.6	0	0	1.7
255	1.1	0	0	1.1
260	0.7	0	0	0.7
265	0.5	0	0	0.5
270	0.3	0	0	0.3
275	0.2	0	0	0.2
280	0.1	0	0	0.1
285	0	0	0	0
290	0	0	0	0
295	0	0	0	0
300	0	0	0	0



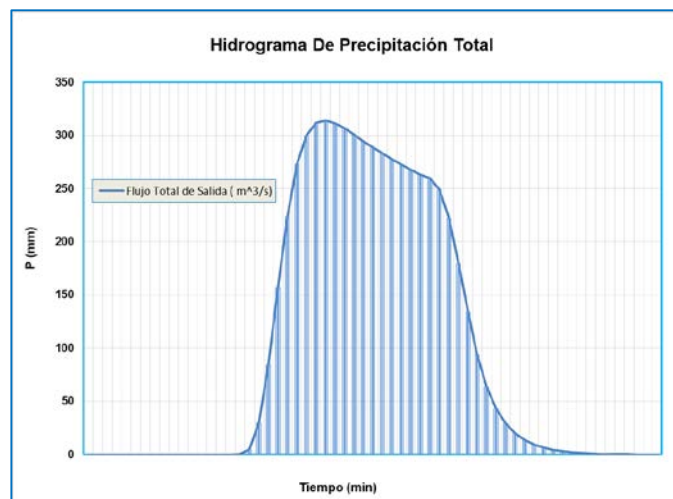
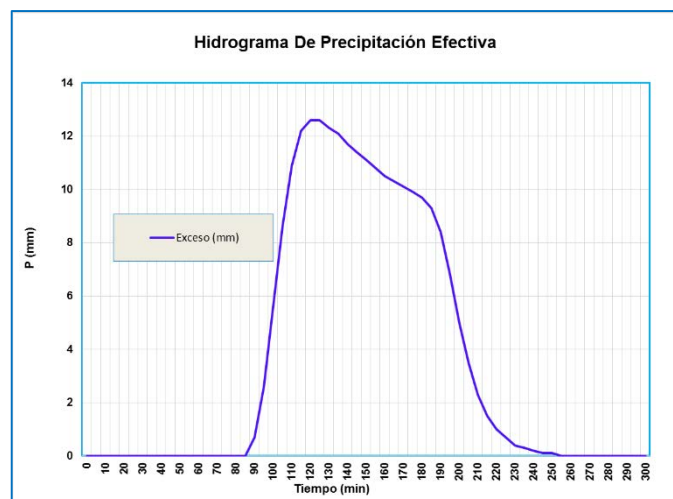
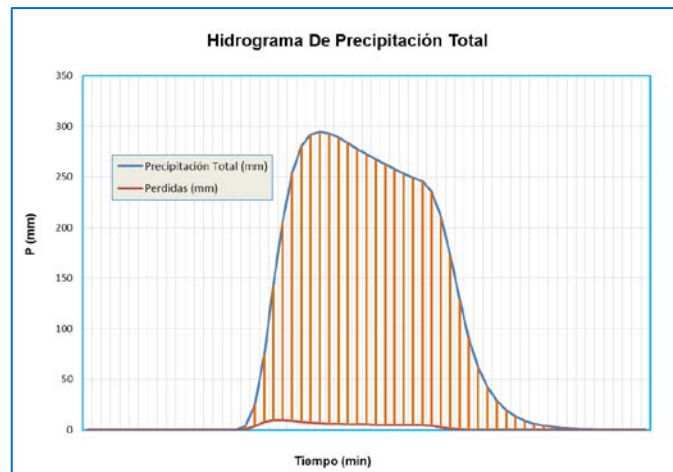
ANEXO A.3: Hidrogramas Simulados en el Punto de Inspección “4” para un periodo de retorno de **50 años**.

Tiempo (Min)	Precipitación Total (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Total de Salida (m ³ /s)
0	0	0	0	0
5	0	0	0	0
10	0	0	0	0
15	0	0	0	0
20	0	0	0	0
25	0	0	0	0
30	0	0	0	0
35	0	0	0	0
40	0	0	0	0
45	0	0	0	0
50	0	0	0	0
55	0	0	0	0
60	0	0	0	0
65	0	0	0	0
70	0	0	0	0
75	0	0	0	0
80	0	0	0	0
85	1.7	0.3	0	2
90	13.1	2.1	0.3	15.5
95	40.6	5	1.2	46.8
100	81.9	6.5	2.9	91.4
105	123.9	6.7	4.9	135.5
110	158.8	6.4	6.7	171.9
115	181.6	5.9	7.9	195.5
120	194.7	5.5	8.5	208.8
125	201.5	5.2	8.8	215.5
130	204.4	4.9	8.8	218.1
135	204.6	4.7	8.8	218.1
140	203.6	4.5	8.6	216.7
145	201.7	4.3	8.5	214.5
150	199.8	4.2	8.3	212.3
155	197.9	4.1	8.2	210.1
160	196.2	4	8.1	208.2
165	194.3	3.9	7.9	206.2
170	192.2	3.8	7.8	203.8
175	189.7	3.7	7.7	201
180	187.3	3.6	7.5	198.4
185	180	3.2	7.2	190.4
190	161.3	2.1	6.5	169.9
195	131.1	1	5.3	137.5
200	98.2	0.5	3.9	102.7
205	69.2	0.3	2.7	72.2
210	47.2	0.1	1.8	49.1
215	32	0.1	1.2	33.2
220	21.7	0	0.8	22.6
225	14.8	0	0.5	15.4
230	10.1	0	0.3	10.5
235	6.9	0	0.2	7.1
240	4.7	0	0.1	4.8
245	3.2	0	0.1	3.3
250	2.1	0	0.1	2.2
255	1.4	0	0	1.5
260	0.9	0	0	0.9
265	0.6	0	0	0.6
270	0.4	0	0	0.4
275	0.2	0	0	0.2
280	0.1	0	0	0.1
285	0.1	0	0	0.1
290	0	0	0	0
295	0	0	0	0
300	0	0	0	0



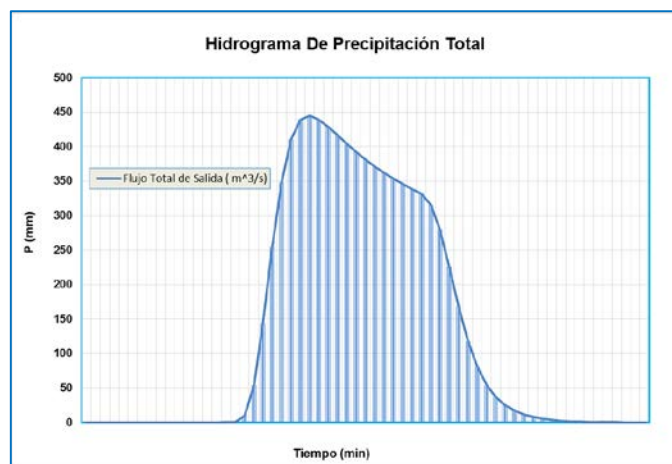
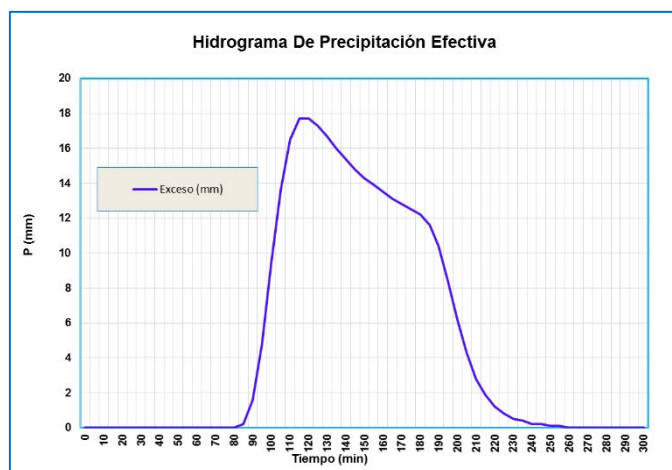
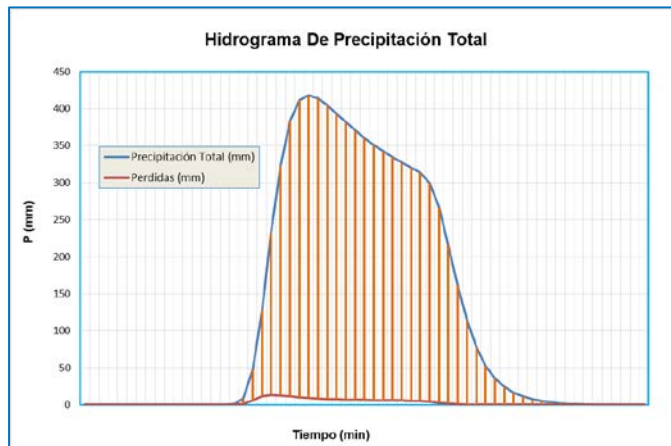
ANEXO A.4: Hidrogramas Simulados en el Punto de Inspección “4” para un periodo de retorno de **100 años**.

Tiempo (Min)	Precipitación Total (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Total de Salida (m ³ /s)
0	0	0	0	0
5	0	0	0	0
10	0	0	0	0
15	0	0	0	0
20	0	0	0	0
25	0	0	0	0
30	0	0	0	0
35	0	0	0	0
40	0	0	0	0
45	0	0	0	0
50	0	0	0	0
55	0	0	0	0
60	0	0	0	0
65	0	0	0	0
70	0	0	0	0
75	0	0	0	0
80	0.2	0	0	0.2
85	3.8	0.7	0	4.6
90	25.4	3.7	0.7	29.9
95	74.2	7.8	2.6	84.6
100	142.4	9.4	5.6	157.4
105	206	9.2	8.6	223.8
110	253.7	8.6	10.9	273.2
115	280.4	7.8	12.2	300.3
120	291.9	7.1	12.6	311.7
125	294.6	6.6	12.6	313.8
130	292.9	6.2	12.3	311.4
135	288.6	5.9	12.1	306.6
140	283.6	5.6	11.7	300.9
145	278	5.4	11.4	294.7
150	272.5	5.2	11.1	288.8
155	267.2	5	10.8	283.1
160	262.3	4.9	10.5	277.8
165	257.6	4.8	10.3	272.7
170	253.2	4.7	10.1	267.9
175	249	4.6	9.9	263.4
180	245.5	4.5	9.7	259.7
185	235.8	4	9.3	249
190	211.3	2.6	8.4	222.2
195	171.7	1.3	6.8	179.8
200	128.6	0.6	5	134.3
205	90.7	0.3	3.5	94.5
210	61.9	0.2	2.3	64.3
215	41.9	0.1	1.5	43.5
220	28.5	0	1	29.6
225	19.5	0	0.7	20.1
230	13.3	0	0.4	13.7
235	9.1	0	0.3	9.3
240	6.2	0	0.2	6.3
245	4.2	0	0.1	4.3
250	2.8	0	0.1	2.9
255	1.9	0	0	1.9
260	1.2	0	0	1.3
265	0.8	0	0	0.8
270	0.5	0	0	0.5
275	0.3	0	0	0.3
280	0.2	0	0	0.2
285	0.1	0	0	0.1
290	0	0	0	0
295	0	0	0	0
300	0	0	0	0



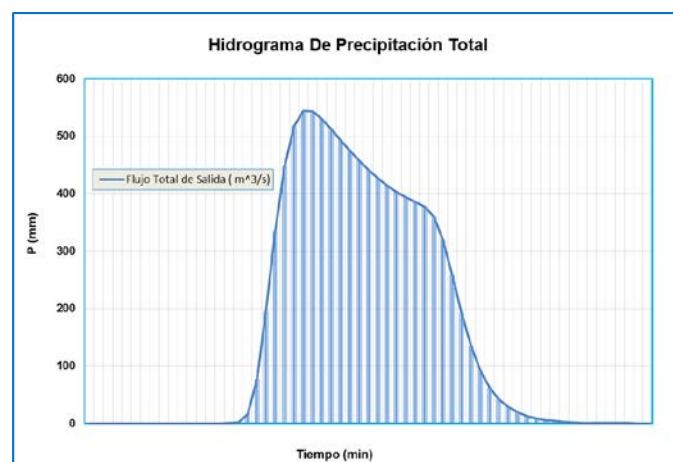
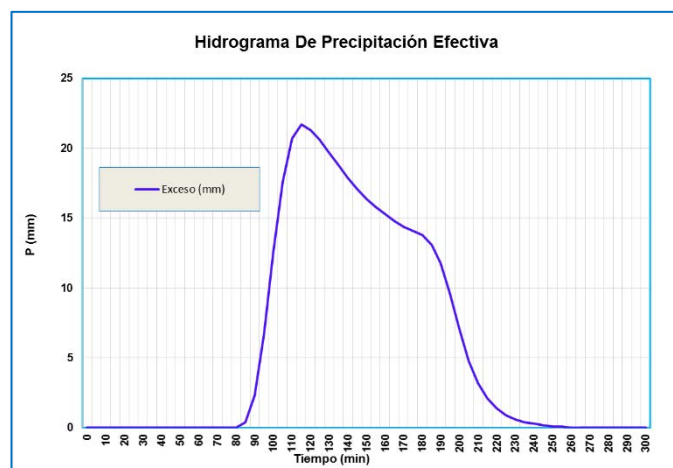
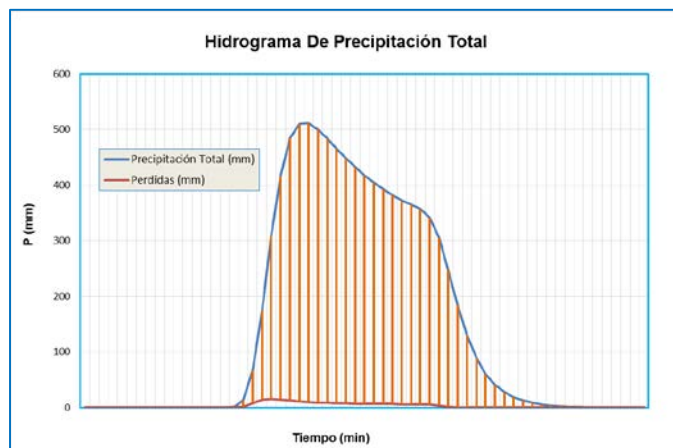
ANEXO A.5: Hidrogramas Simulados en el Punto de Inspección “4” para un periodo de retorno de **200 años**.

Tiempo (Min)	Precipitación Total (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Total de Salida (m ³ /s)
0	0	0	0	0
5	0	0	0	0
10	0	0	0	0
15	0	0	0	0
20	0	0	0	0
25	0	0	0	0
30	0	0	0	0
35	0	0	0	0
40	0	0	0	0
45	0	0	0	0
50	0	0	0	0
55	0	0	0	0
60	0	0	0	0
65	0	0	0	0
70	0	0	0	0
75	0.1	0	0	0.1
80	0.8	0	0	0.9
85	8.5	1.3	0.2	10.1
90	46.9	6	1.6	54.5
95	127.9	11.4	4.8	144.1
100	232.7	13	9.5	255.2
105	322.8	12.3	13.6	348.7
110	383.7	11.2	16.5	411.3
115	411.6	10	17.7	439.3
120	418.4	9	17.7	445.1
125	413.8	8.3	17.3	439.3
130	404.5	7.8	16.7	429
135	393.2	7.3	16	416.6
140	381.8	6.9	15.4	404.1
145	370.4	6.6	14.8	391.9
150	360.1	6.4	14.3	380.8
155	350.7	6.2	13.9	370.8
160	342.4	6	13.5	361.9
165	334.6	5.9	13.1	353.5
170	327.3	5.7	12.8	345.8
175	320.2	5.5	12.5	338.2
180	313.7	5.4	12.2	331.3
185	299.3	4.7	11.6	315.7
190	266.8	3.1	10.4	280.3
195	216.1	1.6	8.4	226.1
200	161.6	0.8	6.2	168.6
205	113.9	0.4	4.3	118.6
210	77.7	0.2	2.8	80.7
215	52.7	0.1	1.9	54.6
220	35.9	0	1.2	37.1
225	24.5	0	0.8	25.3
230	16.7	0	0.5	17.3
235	11.4	0	0.4	11.7
240	7.7	0	0.2	8
245	5.3	0	0.2	5.4
250	3.5	0	0.1	3.6
255	2.3	0	0.1	2.4
260	1.5	0	0	1.6
265	1	0	0	1
270	0.6	0	0	0.6
275	0.4	0	0	0.4
280	0.2	0	0	0.2
285	0.1	0	0	0.1
290	0	0	0	0
295	0	0	0	0
300	0	0	0	0



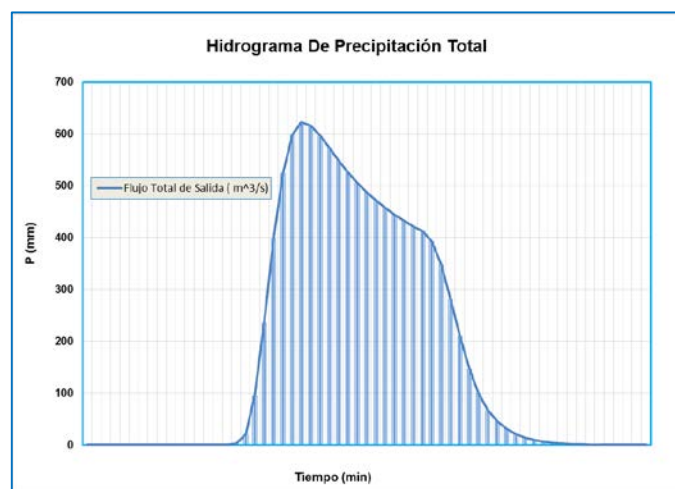
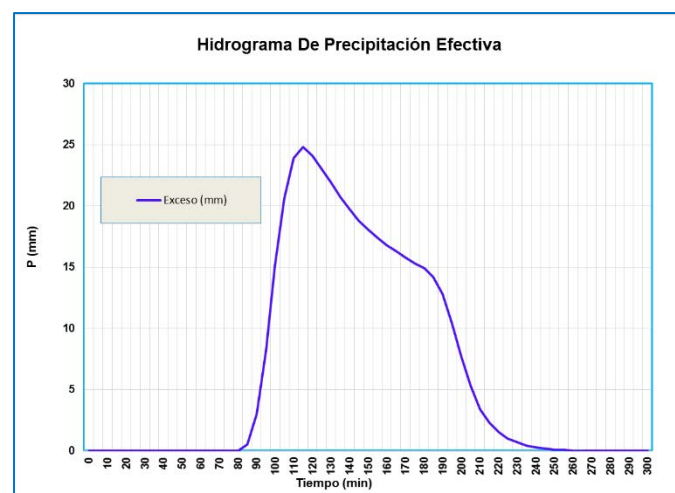
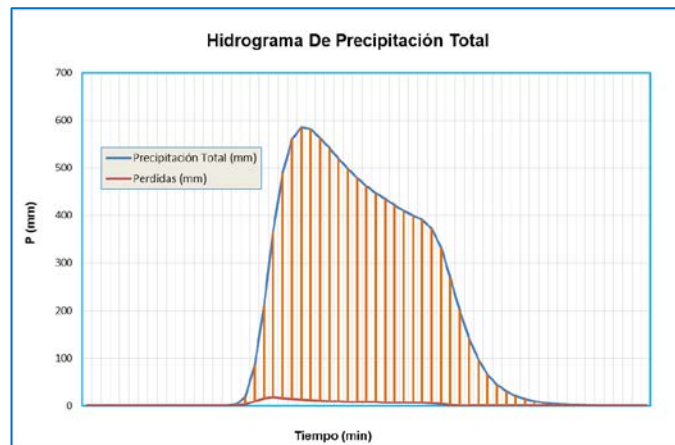
ANEXO A.6: Hidrogramas Simulados en el Punto de Inspección “4” para un periodo de retorno de **300 años**.

Tiempo (Min)	Precipitación Total (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Total de Salida (m ³ /s)
0	0	0	0	0
5	0	0	0	0
10	0	0	0	0
15	0	0	0	0
20	0	0	0	0
25	0	0	0	0
30	0	0	0	0
35	0	0	0	0
40	0	0	0	0
45	0	0	0	0
50	0	0	0	0
55	0	0	0	0
60	0	0	0	0
65	0	0	0	0
70	0	0	0	0
75	0.4	0	0	0.4
80	1.8	0.2	0	2
85	13.8	2	0.4	16.1
90	66.9	7.9	2.3	77.1
95	174.2	14.1	6.7	195
100	307.1	15.6	12.6	335.4
105	415.9	14.5	17.6	448
110	484.4	13	20.7	518.1
115	510.7	11.5	21.7	543.9
120	511.7	10.3	21.3	543.3
125	500	9.5	20.6	530.1
130	483.8	8.8	19.7	512.3
135	466	8.2	18.8	492.9
140	448.8	7.8	17.9	474.4
145	432.4	7.4	17.1	456.9
150	417.6	7.1	16.4	441.2
155	404.2	6.9	15.8	426.8
160	392.3	6.6	15.3	414.2
165	381.7	6.5	14.8	403
170	372.8	6.3	14.4	393.5
175	365	6.2	14.1	385.3
180	358	6.1	13.8	377.9
185	341.9	5.3	13.1	360.4
190	304.9	3.4	11.8	320.1
195	247	1.7	9.6	258.3
200	184.7	0.9	7.1	192.6
205	130.2	0.4	4.8	135.4
210	88.8	0.2	3.2	92.2
215	60.2	0.1	2.1	62.4
220	41	0	1.4	42.4
225	28	0	0.9	28.9
230	19.1	0	0.6	19.7
235	13	0	0.4	13.4
240	8.9	0	0.3	9.1
245	6	0	0.2	6.2
250	4	0	0.1	4.2
255	2.7	0	0.1	2.8
260	1.8	0	0	1.8
265	1.1	0	0	1.1
270	0.7	0	0	0.7
275	0.4	0	0	0.4
280	0.2	0	0	0.2
285	0.1	0	0	0.1
290	0.1	0	0	0.1
295	0	0	0	0
300	0	0	0	0



ANEXO A.7: Hidrogramas Simulados en el Punto de Inspección “4” para un periodo de retorno de **400 años**.

Tiempo (Min)	Precipitación Total (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Total de Salida (m ³ /s)
0	0	0	0	0
5	0	0	0	0
10	0	0	0	0
15	0	0	0	0
20	0	0	0	0
25	0	0	0	0
30	0	0	0	0
35	0	0	0	0
40	0	0	0	0
45	0	0	0	0
50	0	0	0	0
55	0	0	0	0
60	0	0	0	0
65	0	0	0	0
70	0.1	0	0	0.1
75	0.7	0	0	0.7
80	2.8	0.3	0	3.2
85	18.5	2.6	0.5	21.5
90	83.6	9.2	3	95.9
95	211.7	16.1	8.2	236
100	365.7	17.5	15.1	398.3
105	487.8	16.1	20.6	524.6
110	561.2	14.3	23.9	599.4
115	585.6	12.6	24.8	622.9
120	581.4	11.2	24.1	616.7
125	563.6	10.3	23	596.9
130	541.7	9.5	21.9	573
135	519	8.9	20.7	548.6
140	498	8.4	19.7	526.1
145	478.8	8	18.8	505.6
150	462.2	7.7	18.1	488
155	447.4	7.5	17.4	472.2
160	434.1	7.2	16.8	458.2
165	421.6	7	16.3	444.9
170	410.2	6.8	15.8	432.7
175	399.7	6.6	15.3	421.7
180	390.8	6.5	14.9	412.2
185	372.8	5.7	14.2	392.7
190	332.4	3.7	12.8	348.9
195	269.4	1.9	10.4	281.6
200	201.6	0.9	7.7	210.2
205	142.1	0.5	5.3	147.8
210	97	0.2	3.4	100.6
215	65.7	0.1	2.3	68.1
220	44.7	0.1	1.5	46.3
225	30.6	0	1	31.6
230	20.9	0	0.7	21.5
235	14.2	0	0.4	14.7
240	9.7	0	0.3	10
245	6.6	0	0.2	6.7
250	4.4	0	0.1	4.5
255	2.9	0	0.1	3
260	1.9	0	0	2
265	1.2	0	0	1.2
270	0.8	0	0	0.8
275	0.4	0	0	0.4
280	0.2	0	0	0.2
285	0.1	0	0	0.1
290	0.1	0	0	0.1
295	0	0	0	0
300	0	0	0	0



ANEXO A.8: Hidrogramas Simulados en el Punto de Inspección “4” para un periodo de retorno de **500 años**.

Tiempo (Min)	Precipitación Total (mm)	Perdidas (mm)	Exceso (mm)	Flujo Total de Salida (m ³ /s)
0	0	0	0	0
5	0	0	0	0
10	0	0	0	0
15	0	0	0	0
20	0	0	0	0
25	0	0	0	0
30	0	0	0	0
35	0	0	0	0
40	0	0	0	0
45	0	0	0	0
50	0	0	0	0
55	0	0	0	0
60	0	0	0	0
65	0	0	0	0
70	0.1	0	0	0.1
75	1	0.1	0	1
80	3.7	0.5	0	4.2
85	22.4	3	0.6	26.1
90	97.4	10.3	3.5	111.2
95	242	17.6	9.4	269
100	412.9	19	17.1	449.1
105	545.9	17.4	23	586.4
110	623.3	15.3	26.5	665.1
115	646	13.4	27.2	686.6
120	637.8	12	26.2	676
125	615.3	10.9	25	651.3
130	589.4	10.1	23.6	623.1
135	563.4	9.5	22.4	595.3
140	539.9	9	21.3	570.2
145	518.6	8.6	20.3	547.5
150	499.9	8.2	19.4	527.5
155	483	7.9	18.7	509.6
160	468.2	7.7	18	494
165	455	7.5	17.5	480
170	443.1	7.3	17	467.4
175	432.1	7.1	16.5	455.7
180	422.2	6.9	16.1	445.2
185	402.2	6.1	15.3	423.5
190	358.1	3.9	13.7	375.8
195	290	2	11.1	303.1
200	216.8	1	8.2	226.1
205	152.8	0.5	5.6	159
210	104.3	0.2	3.7	108.2
215	70.7	0.1	2.4	73.3
220	48.1	0.1	1.6	49.8
225	32.9	0	1.1	34
230	22.4	0	0.7	23.2
235	15.3	0	0.5	15.8
240	10.4	0	0.3	10.7
245	7.1	0	0.2	7.3
250	4.8	0	0.1	4.9
255	3.2	0	0.1	3.2
260	2.1	0	0	2.1
265	1.3	0	0	1.3
270	0.8	0	0	0.8
275	0.5	0	0	0.5
280	0.3	0	0	0.3
285	0.1	0	0	0.1
290	0.1	0	0	0.1
295	0	0	0	0
300	0	0	0	0

