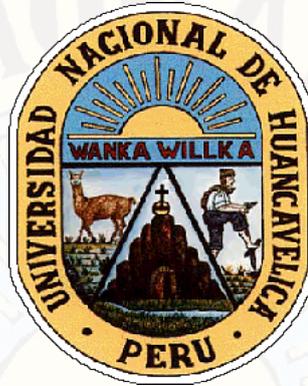


# UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por ley Nro. 25265)



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS:

**“CAUDALES DE PRECIPITACIÓN EN EL DRENAJE  
PLUVIAL EN LA CUENCA URBANA DE LA CIUDAD DE  
HUANCAMELICA”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA SANEAMIENTO Y

MEDIO AMBIENTE

DISCIPLINA:

INGENIERÍA CIVIL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

VALENTÍN ACUÑA HUAMÁN

HUANCAMELICA-PERÚ

2018



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

## FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 10 días del mes de octubre del año 2018, a horas 12:00 m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **Arq. Abdón Dante OLIVERA QUINTANILLA (PRESIDENTE)**, **Ing. Hugo Rubén LUJAN JERI (SECRETARIO)**, **M.Sc. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES (VOCAL)**, designados con Resolución de Consejo de Facultad N° 308-2016-FCI-UNH, de fecha 22 de julio del 2016, y ratificados con Resolución de Decano N° 136-2018-FCI-UNH de fecha 09 de octubre del 2018, a fin de proceder con la calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "CAUDALES DE PRECIPITACIÓN EN EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA URBANA DE LA CIUDAD DE HUANCAVELICA", presentado por el Bachiller **Valentín ACUÑA HUAMÁN**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**; en presencia del **M.Sc. Iván Arturo AYALA BIZARRO**, Asesor y el **Ing. Reyder Eusef BENDEZU BOZA** y **Ing. Joel Belisario ORE IWANAGA** como Co-Asesores del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas 1:00 pm, se invitó al público presente y al sustentante abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

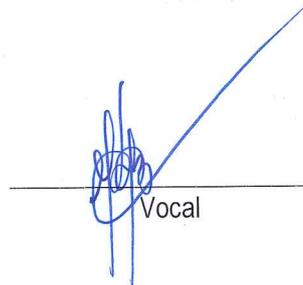
APROBADO  POR..... UNANIMIDAD

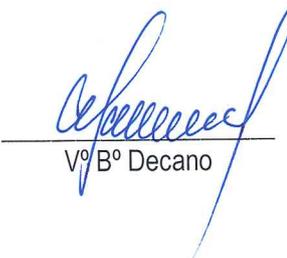
DESAPROBADO

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Vocal

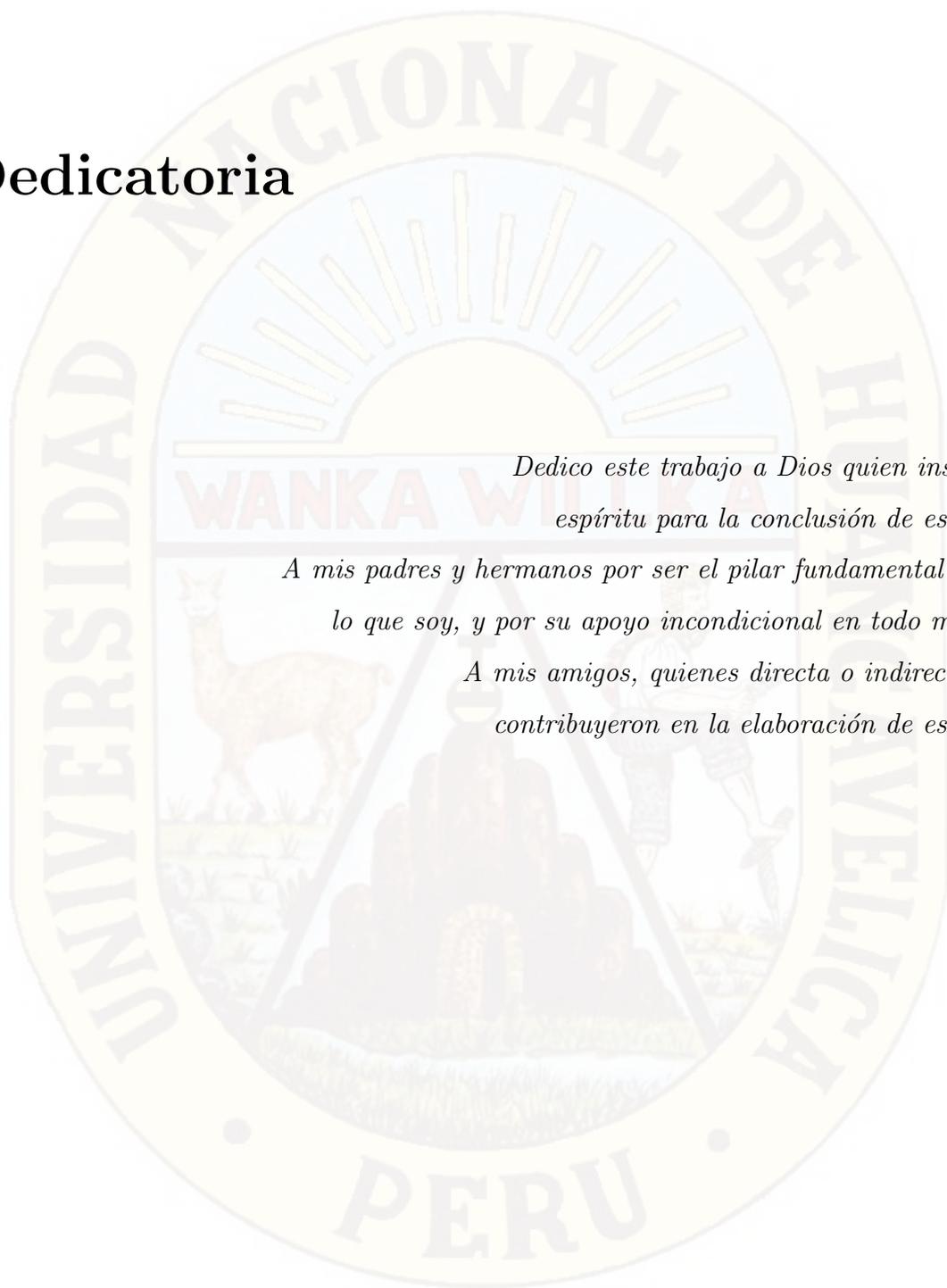
  
\_\_\_\_\_  
Vº Bº Decano

# Dedicatoria

*Dedico este trabajo a Dios quien inspiró mi espíritu para la conclusión de esta tesis.*

*A mis padres y hermanos por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, y por su apoyo incondicional en todo momento*

*A mis amigos, quienes directa o indirectamente contribuyeron en la elaboración de esta tesis.*

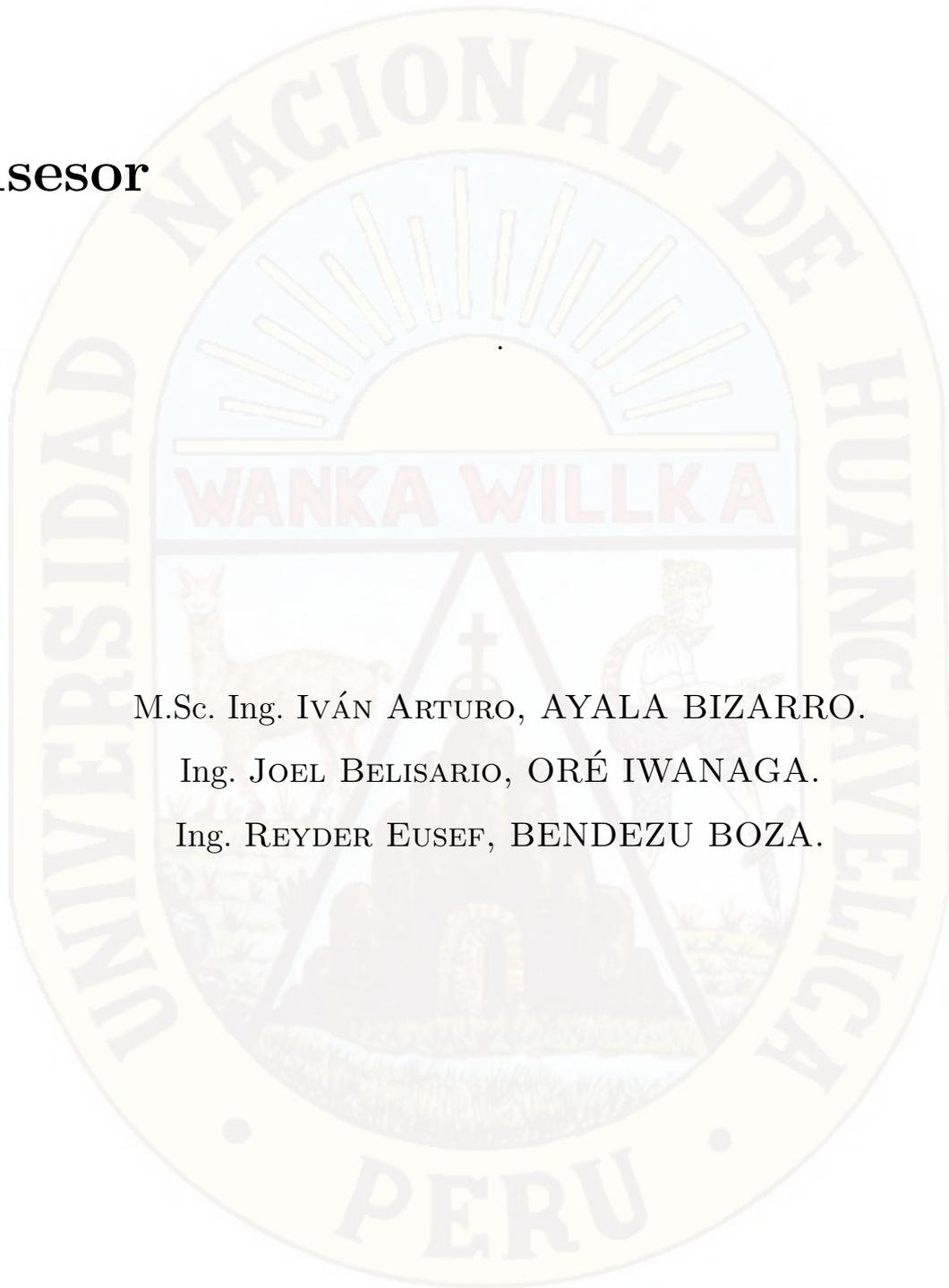


## Asesor

M.Sc. Ing. IVÁN ARTURO, AYALA BIZARRO.

Ing. JOEL BELISARIO, ORÉ IWANAGA.

Ing. REYDER EUSEF, BENDEZU BOZA.



# Resumen

El presente trabajo de investigación describe los problemas de inundaciones en las calles, avenidas y el propio drenaje pluvial de la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica, las inundaciones causadas principalmente por las intensas precipitaciones y deficiente sistema de drenaje pluvial.

Esta investigación se realizó con el objetivo de determinar los hidrogramas de escorrentía directa en cada una de las cunetas y sumideros, el mismo comprende un desarrollo progresivo de diferentes etapas que inicia desde la identificación de las zonas inundadas, el sentido del flujo, discretización de la cuenca urbana, cálculo de hidrogramas de diseño, cálculos de hidrogramas de escorrentía directa a través del modelo de onda cinemática.

Dónde, se concluyó que las calles y avenidas de la ciudad de Huancavelica se inundan durante la temporada de lluvia, donde el 72 % de las cunetas resultaron colapsadas, 14 % vulnerables y 14 % eficientes.

Por último, el 75 % de los sumideros se encuentran en condición deficiente, 13 % colapsado y los otros 13 % regular. En cuanto a su ubicación el 75 % de los sumideros se encuentran ubicados adecuadamente, pero el 25 % se encuentran ubicados inadecuadamente.

**Palabras Clave:** *Onda Cinemática, precipitación, hidrogramas, cuenca urbana, drenaje pluvial.*

## Abstrac

The present research work describes the problems of flooding in the streets, avenues and the pluvial drainage of the urban basin of the city of Huancavelica, the floods caused mainly by heavy rainfall and poor drainage system.

This investigation was carried out with the objective of determining the hydrographs of direct runoff in each of the ditches and drains, it includes a progressive development of different stages that starts from the identification of the flooded areas, the flow direction, discretization of the urban basin, calculation of design hietograms, calculations of direct runoff hydrographs through the kinematic wave model.

Where, it was concluded that the streets and avenues of the city of Huancavelica are flooded during the rainy season, where 72 % of the gutters were collapsed, 14 % vulnerable and 14 % efficient.

Finally, 75 % of the sinks are in poor condition, 13 % collapsed and the other 13 % regular. Regarding its location, 75 % of the sinks are adequately located, but 25 % are inadequately located.

**Keywords:** *Kinematic wave, precipitation, hydrographs, urban basin, storm drainage.*

# Índice general

Portada	
Dedicatoria	I
Asesor	II
Resumen	III
Abstrac	IV
Índice general	V
Índice de cuadros	IX
Índice de figuras	XI
Introducción	XIII
<b>1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema . . . . .	1
1.2. Formulación del Problema . . . . .	3
1.2.1. Problema General . . . . .	3
1.2.2. Problemas Específicos . . . . .	3
1.3. Objetivos . . . . .	4
1.3.1. Objetivo General . . . . .	4
1.3.2. Objetivos Específicos . . . . .	4
1.4. Justificación . . . . .	4

<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>6</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	6
2.2. Bases Teóricas . . . . .	10
2.2.1. Cuencas . . . . .	10
2.2.2. Influencia de la Urbanización en el Proceso de Escorrentía . . . . .	11
2.2.3. Respuesta Hidrológica de una Cuenca . . . . .	12
2.2.4. Definición de la Hidrología . . . . .	13
2.2.5. Análisis de la Lluvia . . . . .	13
2.2.5.1. Ciclo Hidrológico . . . . .	13
2.2.5.2. Precipitación . . . . .	15
2.2.5.3. Lluvia de Proyecto . . . . .	15
2.2.5.4. Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia . . . . .	17
2.2.5.5. Intensidad de la lluvia . . . . .	18
2.2.5.6. Duración . . . . .	19
2.2.5.7. Frecuencia . . . . .	20
2.2.6. Tormentas de Proyecto a Partir de Curvas IDF: . . . . .	20
2.2.7. Método de los Bloques Alternados . . . . .	21
2.2.8. Factores de Diseño . . . . .	22
2.2.8.1. Periodo de Retorno . . . . .	23
2.2.8.2. Tiempo de Concentración . . . . .	23
2.2.9. Pérdidas de Precipitación . . . . .	29
2.2.9.1. La evapotranspiración: . . . . .	29
2.2.9.2. La interceptación: . . . . .	29
2.2.9.3. Almacenamiento en depresiones: . . . . .	30
2.2.9.4. Infiltración: . . . . .	30
2.2.10. Precipitación Neta . . . . .	31
2.2.11. Distribución de probabilidad para las variables hidrológicas . . . . .	35
2.2.11.1. Distribución Gumbel . . . . .	36
2.2.12. Estimación del Número de Curva . . . . .	38
2.2.13. Modelos Hidrológicos en la Transformación Lluvia-Escorrentía . . . . .	41
2.2.13.1. Modelo de Onda Cinemática . . . . .	42
2.2.13.2. Ecuaciones de Saint Venant . . . . .	43

2.2.13.3. Hidrograma Unitario Sintético. . . . .	49
2.2.13.4. Hidrograma Adimensional del SCS. . . . .	50
2.2.14. Propagación de Caudales . . . . .	51
2.2.14.1. Propagación distribuida o hidráulica . . . . .	52
2.2.14.2. Propagación mediante el modelo de la onda cinemática . . . . .	54
2.2.15. Drenaje pluvial en medio urbano . . . . .	59
2.2.15.1. Flujo en el canal o cuneta . . . . .	60
2.2.15.2. Sumideros y rejillas . . . . .	60
2.2.15.3. Capacidad de una rejilla ranurado . . . . .	66
2.3. Hipótesis . . . . .	69
2.4. Definición de términos . . . . .	69
2.5. Definición Operativa de Variables e Indicadores . . . . .	71
<b>3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>72</b>
3.1. Tipo y Nivel de Investigación . . . . .	72
3.1.1. Tipo de investigación . . . . .	72
3.1.2. Nivel de investigación . . . . .	72
3.2. Método de Investigación . . . . .	73
3.2.1. Método científico . . . . .	73
3.2.2. Método descriptivo . . . . .	73
3.2.3. Método estadístico . . . . .	73
3.3. Diseño de Investigación . . . . .	73
3.4. Población y muestra . . . . .	74
3.4.1. Población . . . . .	74
3.4.2. Muestra . . . . .	74
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos . . . . .	74
3.5.1. Técnicas . . . . .	74
3.5.2. Instrumentos . . . . .	75
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos . . . . .	75
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>76</b>
4.1. Presentación de resultados . . . . .	76
4.1.1. Hietogramas . . . . .	76

4.1.1.1.	Estación Huancavelica-(ICHU-RIVER CALIBRATION)	76
4.1.1.2.	ILLA SENAMHI-UNI	78
4.1.1.3.	Distribución estadístico-Gumbel	80
4.1.2.	Parámetros hidráulicos de las cunetas	81
4.1.3.	Resultados de hidrogramas de escorrentía.	83
4.1.4.	Resultados de caudales y tirantes en las cunetas.	85
4.1.5.	Ubicación y condición de los sumideros y cunetas	88
4.1.6.	Cuadro de resumen de los resultados.	91
4.2.	Discusión	92
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>96</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>97</b>
<b>Bibliografía</b>		<b>98</b>
<b>Anexos</b>		<b>102</b>

# Índice de cuadros

2.1. Parámetro Regional b . . . . .	17
2.2. Grupo de Suelos Hidrológicos . . . . .	39
2.3. Número de curva por grupo de suelo hidrológico . . . . .	40
2.4. Definición operativa de variables e indicadores . . . . .	71
3.1. <i>Población</i> . . . . .	74
3.2. <i>Muestra</i> . . . . .	74
4.1. <i>Parámetros hidráulicos, sumideros y tipo de cunetas-barrio San Cristóbal.</i>	81
4.2. <i>Parámetros hidráulicos, sumideros y tipo de cunetas-barrio Santana.</i> . . .	82
4.3. <i>Parámetros hidráulicos, sumideros y tipo de cunetas-cercado Huancavelica.</i>	82
4.4. <i>Parámetros hidráulicos, sumideros y tipo de cunetas-barrio Yananaco.</i> . .	82
4.5. <i>Parámetros hidráulicos, sumideros y tipo de cunetas-barrio Ascensión.</i> . .	83
4.6. <i>Resultado de tirantes medido en lugar insitu y estimados a partir de hidrogramas-barrio San Cristóbal; Cu: cuneta; Vulne: vulnerable; Colap: colapsado</i> . . . . .	85
4.7. <i>Resultado de tirantes medido en lugar insitu y estimados a partir de hidrogramas-barrio Santana; Cu: cuneta; Vulne: vulnerable; Colap: colapsado</i>	86
4.8. <i>Resultado de tirantes medido en lugar insitu y estimados a partir de hidrogramas-cercado Huancavelica; Cu: cuneta; Vulne: vulnerable; Colap: colapsado</i> . . . . .	86
4.9. <i>Resultado de tirantes medido en lugar insitu y estimados a partir de hidrogramas-barrio Yananaco; Cu: cuneta; Vulne: vulnerable; Colap: colapsado</i> . . . . .	87

4.10. Resultado de tirantes medido en lugar insitu y estimados a partir de hidrogramas-barrio Ascensión; Cu: cuneta; Vulne: vulnerable; Colap: colapsado . . . . .	87
4.11. Ubicación y condición de los sumideros-barrio San Cristóbal . . . . .	88
4.12. Ubicación y condición de los sumideros-barrio Santana . . . . .	88
4.13. Ubicación y condición de los sumideros-cercado Huancavelica . . . . .	88
4.14. Ubicación y condición de los sumideros-barrio Yananaco . . . . .	89
4.15. Ubicación y condición de los sumideros-barrio Ascensión . . . . .	89
4.16. Condición de las cunetas y zona de ubicación de los sumideros-barrio San Cristóbal; Cu: cuneta; Vulne: vulnerable; Colap: colapsado . . . . .	89
4.17. Condición de las cunetas y zona de ubicación de los sumideros-barrio Santana; Cu: cuneta; Vul: Vulnerable; Colap: Colapsado; Efic: Eficiente . . . . .	89
4.18. Condición de las cunetas y zona de ubicación de los sumideros-cercado Huancavelica; Cu: cuneta; Colap: Colapsado; Efic: Eficiente . . . . .	90
4.19. Condición de las cunetas y zona de ubicación de los sumideros-barrio Yananaco; Cu: cuneta . . . . .	90
4.20. Condición de las cunetas y zona de ubicación de los sumideros-barrio Ascensión; Cu: cuneta . . . . .	90
4.21. Cuadro de resumen general de las condiciones en términos porcentuales y numéricos de las cunetas. . . . .	91
4.22. Cuadro de resumen general respecto a su condición y ubicación de los sumideros en términos porcentuales y numéricos. . . . .	91

# Índice de figuras

2.1. Influencia de la Urbanización sobre la respuesta hidrológica. . . . .	12
2.2. Principios del análisis de la respuesta de la cuenca hidrográfica. . . . .	13
2.3. Cielo Hidrológico . . . . .	14
2.4. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia . . . . .	17
2.5. Método de los Bloques Alternados . . . . .	21
2.6. Precipitación Neta o Efectiva . . . . .	31
2.7. Relación entre Precipitación, Escurrimiento y Retención . . . . .	33
2.8. Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS . . . . .	35
2.9. Comportamiento Hidrológico de una Cuenca . . . . .	41
2.10. Perfil longitudinal del plano inclinado . . . . .	46
2.11. Esquema de solución para la onda cinemática . . . . .	46
2.12. Esquema de solución de diferencias finitas . . . . .	48
2.13. a) Hidrograma Adimensional de SCS y b) Hidrograma Unitario Triangular	51
2.14. Tránsito de una onda cinemática a lo largo de un cauce de longitud L. . . .	57
2.15. Esquema en diferencias finitas para resolver la ecuación de la onda cinemática	59
2.16. Sumidero de cuneta . . . . .	61
2.17. Sumidero tipo mixto . . . . .	61
2.18. Sumidero tipo ranurado . . . . .	61
2.19. Rejilla tipo P-50 x 100 . . . . .	62
2.20. Rejilla tipo P-50 . . . . .	62
2.21. Rejilla tipo P-30 . . . . .	63
2.22. Gráfico para determinar $V_o$ y $R_f$ para tipos comunes de rejilla . . . . .	65
2.23. Sección transversal de una cuneta . . . . .	67

4.1. Distribución de Intensidad-Precipitación . . . . .	77
4.2. Hietograma-Precipitación sin abstracciones . . . . .	77
4.3. Hietograma-Precipitación con abstracciones . . . . .	78
4.4. Curva IDF . . . . .	78
4.5. Hietograma-sin abstracciones . . . . .	79
4.6. Hietograma-con abstracciones . . . . .	79
4.7. Curva IDF . . . . .	80
4.8. Hietograma sin abstracciones . . . . .	80
4.9. Hietograma con abstracciones . . . . .	81
4.10. Hidrogramas obtenidos para SC-01 hasta SC-07-Barrio San Cristóbal SC:Sub Cuenca Fuente: Elaboración propia . . . . .	83
4.11. Hidrogramas obtenidos para SC-08 hasta SC-12-Barrio Santana SC:Sub Cuenca Fuente: Elaboración propia . . . . .	84
4.12. Hidrogramas obtenidos para SC-13 hasta SC-20-Cercado Huancavelica SC:Sub Cuenca Fuente: Elaboración propia . . . . .	84
4.13. Hidrogramas obtenidos para SC-21 hasta SC-22-Barrio Yananaco SC:Sub Cuenca Fuente: Elaboración propia . . . . .	84
4.14. Hidrogramas obtenidos para SC-23 hasta SC-24-Ascensión SC:Sub Cuenca Fuente: Elaboración propia . . . . .	85

# Introducción

La presente investigación se encuentra orientado al tema de caudales de precipitación, en el drenaje pluvial de la ciudad de Huancavelica, que se define como tema principal los caudales que generan las inundaciones en las calles y avenidas rebasando la capacidad de las cunetas y sumideros. La función principal de estas cunetas es transportar los caudales de escurrimiento, hacia los sumideros donde serán interceptados.

Para analizar esta problemática es necesario conocer sus causas. Una de ellas es el deficiente sistema de drenaje pluvial y las intensas precipitaciones.

La investigación de este problema de inundaciones se realizó con el interés de conocer por qué se ha de rebasar las aguas pluviales inundando las calles de la ciudad de Huancavelica. Esto permitió identificar la cantidad de caudal que se genera en cada una de las cunetas.

En el marco de la teoría de hidrología urbana, la investigación se realizó con datos de precipitación real (ICHU River Calibration), Senamhi y el método ILLA SENAMHI-UNI, de las cuales se usó el primero, debido a que el registro de las precipitaciones está considerado cada 5 min, que son las más adecuadas para estudios de hidrología urbana, también se midió las dimensiones de las cunetas en el lugar insitu, para corroborar los tirantes medidos con los calculados a través de los hidrogramas.

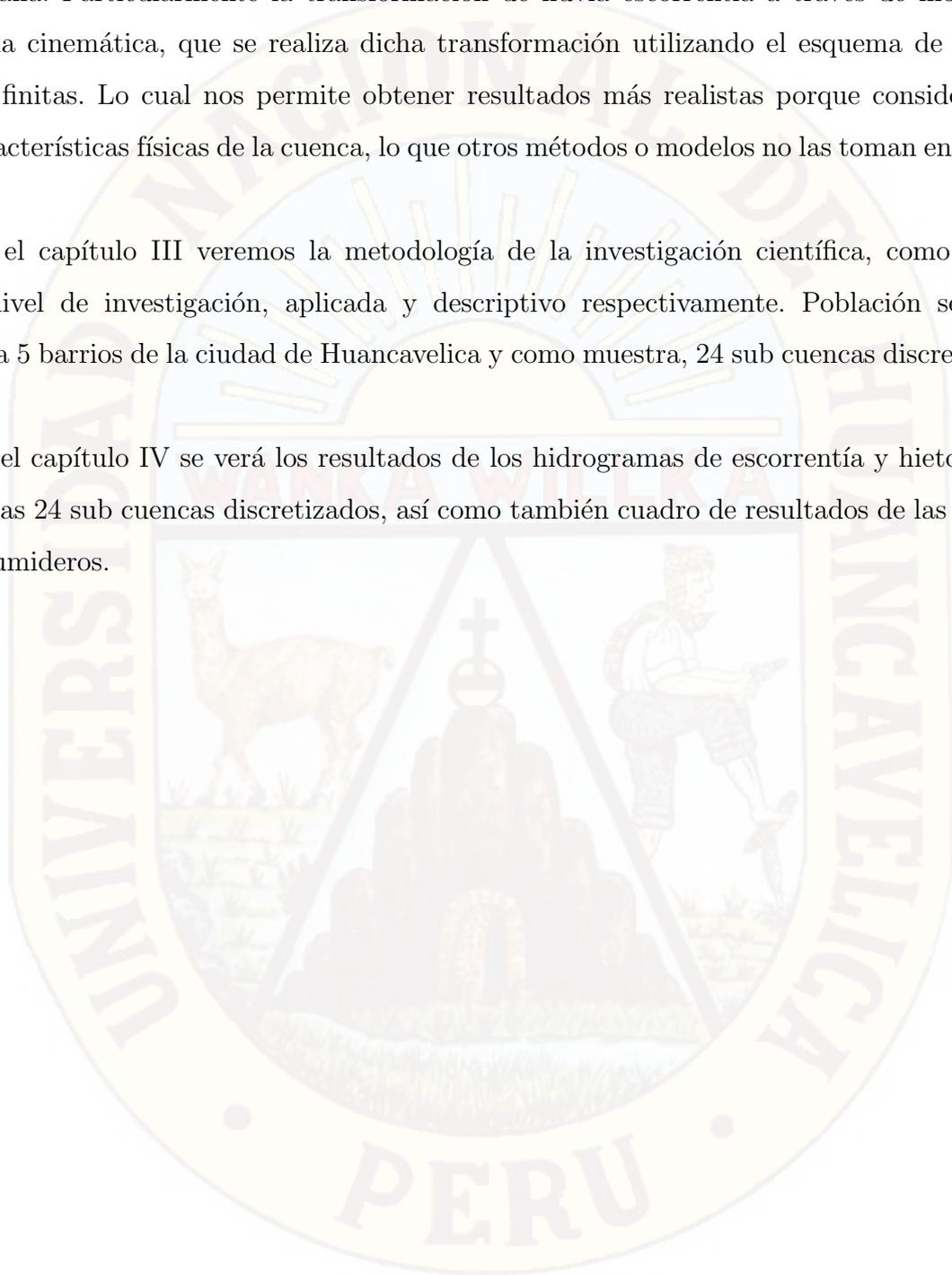
En el capítulo I se realiza el planteamiento de problema en contexto internacional, nacional y local, objetivos y justificación de la investigación.

En el capítulo II veremos los antecedentes de otras investigaciones en materia de drenaje

urbano, y el desarrollo de las bases teóricas, principalmente en el tema de hidrología urbana. Particularmente la transformación de lluvia escorrentía a través de modelo de onda cinemática, que se realiza dicha transformación utilizando el esquema de diferencia finitas. Lo cual nos permite obtener resultados más realistas porque consideran las características físicas de la cuenca, lo que otros métodos o modelos no las toman en cuenta.

En el capítulo III veremos la metodología de la investigación científica, como el tipo y nivel de investigación, aplicada y descriptivo respectivamente. Población se considera 5 barrios de la ciudad de Huancavelica y como muestra, 24 sub cuencas discretizados.

En el capítulo IV se verá los resultados de los hidrogramas de escorrentía y hietogramas de las 24 sub cuencas discretizados, así como también cuadro de resultados de las cunetas y sumideros.



# Capítulo 1

## PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema

En el contexto internacional, El cambio climático originó problemas de modificaciones discernibles en el aumento de la temperatura media global y las alteraciones en los patrones de precipitación, ocasionando inundaciones y encharcamiento de aguas pluviales en zonas urbanas en distintos pueblos de América Latina y el mundo, como sostiene (Cepal, 2014) (p.7). A causa de estos fenómenos, cientos de pobladores británicos han sido evacuados de sus hogares por las inundaciones que azotó al Reino Unido, las zonas más afectadas, fueron Escocia y el norte de Inglaterra, según los datos preliminares de la Agencia del Medioambiente británica, reportaron que han podido caer precipitaciones de hasta 340 milímetros cúbicos en 24 horas en dichos lugares. RPP Noticias (2015a) (07 de Diciembre) También estos problemas ocurrieron en seis provincias del este y sureste de República Dominicana, donde las calles se inundaron por las intensas lluvias obstaculizando el libre tránsito de los vehículos y peatones. RPP Noticias (2015b) (30 de Mayo). La ciudad de Mazatenango de Guatemala tampoco fue ajeno al problema de estos fenómenos, donde varias calles de dicha ciudad se vieron afectados por inundaciones y colapso de las cloacas por las intensas precipitaciones, mencionó García Óscar (2015)(Prensa Libre, 20 de Noviembre).

### *1.1. Descripción del problema*

También las ciudades de los países vecinos, como Timbiquí, Guapi, Cauca y Bogotá en Colombia sufrieron las inundaciones y encharcamientos de sus calles, casas y vías, según La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo y Desastres (UNGRD) calculó que más de 7.000 familias en Cauca se han visto afectadas por estas torrenciales lluvias. En total, 13.000 familias de dicho país han recibido el impacto de 120 emergencias causadas por las fuertes precipitaciones. El tiempo (2016) (11 de Marzo). La ciudad de Quito de Ecuador tampoco fue ajeno a estos problemas de inundaciones debido a un fuerte aguacero y la poca capacidad de las infraestructuras de evacuación de las aguas pluviales. Tras la acumulación de las aguas en las calles, algunos puntos de la capital ecuatoriana se vieron afectados obstaculizando el tránsito vehicular y peatonal. EL Comercio (2016)(30 de Marzo).

En el contexto Nacional, varias ciudades del Perú sufrieron los problemas de inundaciones ocasionados por colapso de los imbornales y sistemas de evacuación de las aguas pluviales en zonas urbanas del interior del país, originadas por el aumento de precipitación de manera variable, consecuencia del calentamiento global Vargas (2009). Las calles de la ciudad de Cajamarca se convirtieron en pequeños ríos, por una torrencial lluvia que duró más de dos horas, ocasionando inundación de viviendas en la parte baja de dicha ciudad, estos casos en su mayoría son por déficit de infraestructuras de evacuación de aguas pluviales y falta de estudios de transformación lluvia esorrentía. Estos mismos fenómenos azotaron por más de una hora a la ciudad de la Oroya (Región Junín), donde causó inundaciones a 10 viviendas y dos centros educativos a causa del colapso de desagües, otros de los casos ocurridos está la Provincia de San Román (Región Puno), Los sectores más vulnerables fueron los mercados de San José y Túpac Amaru donde el agua ingresó a algunos de sus puestos de venta por la falta de canales de evacuación de aguas pluviales Achahui (2015)(RPP Noticias, 09 de Noviembre), según los estudios realizados por JICA (2015). El incremento de las superficies pavimentadas y las edificaciones también son factores que influyen directamente en el aumento del escurrimiento superficial y una disminución de la infiltración, concentrándose las aguas en calles y avenidas.

En el contexto local, las intensas precipitaciones no fue ajeno en la ciudad de Huancavelica, donde varios sectores como, el Distrito de Ascensión, Barrio San Cristóbal, Barrio

Yananaco y Barrio Santana fueron afectados por graves problemas de inundación, por las intensas precipitaciones donde se presenciaron, buzones colapsados, rejillas de captación atascadas por sedimentos, canales de evacuación pluvial rebasados, y por algunos puntos colmatados por sedimentos; perjudicando el comercio y el libre tránsito de los peatones; en la actualidad ninguna de las instituciones ligadas a los desastres naturales cuentan con registros de estos fenómenos pese a que cada temporada de lluvias, la ciudad de Huancavelica es azotada por las intensas precipitaciones ocasionando graves problemas como se mencionó; tales situaciones nos conllevaron emprender este trabajo de investigación en base a observaciones directas y fotografías tomadas durante la temporada de lluvias. A esto se suma los problemas de rápido y desordenado crecimiento urbano que generó déficits de infraestructuras urbanas para el drenaje de las aguas de lluvia y estos problemas ameritan realizar estudios, aplicando los conceptos clásicos de la Hidráulica e Hidrología al medio urbano, como el estudio de los caudales de escorrentía, los cuales deben introducirse en los puntos previstos de la red de drenaje, para que el agua no circule descontroladamente por la superficie de la ciudad; ante los reportes mencionados la enunciación del problema queda de la siguiente manera.

## 1.2. Formulación del Problema

### 1.2.1. Problema General

¿Cuáles son los caudales de precipitación en el drenaje pluvial de la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica?

### 1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los caudales de precipitación en la dimensión de los hidrogramas de escorrentía en el drenaje pluvial en la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica?
- ¿Cuáles son los caudales de precipitación en la dimensión del manejo adecuado de las aguas pluviales en el drenaje pluvial en la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo General

Determinar los caudales de precipitación en el drenaje pluvial en la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los caudales de precipitación en la dimensión de los hidrogramas de escorrentía en el drenaje pluvial en la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica.
- Determinar los caudales de precipitación en la dimensión del manejo adecuado de las aguas pluviales en el drenaje pluvial en la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica

## 1.4. Justificación

La presente investigación se realizó aplicando el modelo hidrológico de la onda cinemática en la transformación de lluvia-escorrentía, para la obtención de los caudales de escurrimiento, para el manejo adecuado de las aguas pluviales en la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica.

El proyecto de investigación se vuelve necesario para la búsqueda de alternativas de solución en minimizar los problemas de colapsos de rejillas, buzones y encharcamiento de aguas pluviales en las calles y avenidas, ya que hasta la actualidad no se han controlado con estudios hidrológicos pertinentes a este tipo de fenómenos en la ciudad de Huancavelica, que causa perjuicios a la población urbana. Por ello surgió la necesidad de realizar estudios hidrológicos aplicados a zonas urbanas, como la transformación de lluvia escorrentía usando el modelo hidrológico de la onda cinemática que es el método más adecuado y moderno para los problemas mencionados, con la finalidad de dar un aporte importante para el diseño de alcantarillas, buzones, rejillas de captación de aguas pluviales, canales de evacuación y entre otros, en la cuenca urbana de la ciudad Huancavelica.

#### 1.4. Justificación

El proyecto investigación será importante aporte científico para los futuros proyectos de ingeniería civil en nuestra ciudad y región Huancavelica debido a que utilizarán base de datos más confiables y objetivas para que pueden diseñarse las alcantarillas, buzones, rejillas de captación de aguas pluviales y canales de evacuación.



## Capítulo 2

# MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

*Jiménez (2012) Modelaje de un Sistema de Alcantarillado Pluvial en el Área de Drenaje de los Esteros Miraflores y Represado, Ciudad de Guayaquil.* La investigación fue realizada con el objetivo de plantear nuevas alternativas de diseños basados en modelos matemáticos de alcantarillado pluvial, determinar en donde se producen los sitios críticos de inundación por topografía o por fallos del sistema de alcantarillado pluvial. El programa que utilizaron para el modelaje del sistema urbano fue (SWMM-Storm Water Management Model). Lo cual permitió simular las diferentes etapas del escurrimiento, transporte, almacenamiento y tratamiento de las aguas lluvias.

Concluyeron que el sistema de alcantarillado de drenaje pluvial está colapsado, y que las herramientas de modelación de redes de drenaje tienen mucha aplicación y es necesaria su utilización para ubicar focos probables de inundación, para luego mitigar el impacto. Al comparar las áreas de encharcamientos con las áreas de inundación registradas por la Municipalidad de Guayaquil, se dieron cuenta que existe mucha similitud, y que fue necesario realizar un cálculo exacto de las alturas de inundación con la ayuda de una buena topografía del sitio de inundación y un cálculo de daños materiales producto de estas inundaciones.

*Vicente (2006) Adecuación del modelo HEC-1 para el estudio del flujo en*

**calles con régimen rápido durante inundaciones en medio urbano.** Estudió con la finalidad de modificar el programa HEC-1 que está diseñado para modelizar cuencas naturales (arborescentes), y conseguir que pueda resolver cuencas urbanas (redes malladas), para lo cual distinguieron tres tipos de elementos básicos: las calles, los imbornales y los cruces. Las calles fueron asimiladas a canales en lámina libre en los que se recogió y por los que circuló el agua de lluvia. Los imbornales fueron los únicos elementos de captación que se consideraron, finalmente el cruce de calles fue el componente de conexión entre calles y por la complicada geometría de las calles el autor realizó las simplificaciones adecuadas para que: por un lado, los resultados sean lo más fiables posible; y por el otro, que el cálculo se pueda llevar a cabo. concluyó que el modelo HEC-1 es una potente herramienta hidrológica que, mediante las nuevas instrucciones desarrolladas en el presente trabajo, gana en flexibilidad para calcular cuencas de geometría intrincada como son las urbanas; además es un modelo hidrológico no hidráulico, pensado para caudales no para calados. El componente hidráulico que tiene es la propagación mediante onda cinemática y ésta es válida para régimen rápido.

**García (2010). Modelo de ayuda a la decisión para el diseño de un sistema de captación de escorrentía en medio urbano.** Estudió con la intención de solucionar uno de los parámetros básicos de diseño todavía poco estudiado como es la distancia óptima entre imbornales. Dicha interdistancia debe respetar los citados criterios de riesgo, para lo cual desarrollaron y puesto a punto una herramienta de cálculo (EXCELMAPLE) que permitió obtener el espaciamiento óptimo entre imbornales basándose en la teoría de la **onda cinemática**. Dicha teoría se ha aplicado en los procesos de **transformación lluvia-escorrentía**, así como propagación que acontecen en una cuenca modelo regida por unos criterios de riesgo conocidos y bajo unas condiciones de lluvia determinadas. La novedad que introdujeron es que es una base de cálculo que los permitió decidir la distancia óptima entre imbornales dados un suceso de lluvia, una geometría de calle, un cierto tipo de imbornal, así como unos valores límites conocidos.

Para estos procesos usaron las *ecuaciones simplificadas de Saint-Venant - Onda Cinemática*, y ha sido resuelta numéricamente por el **método de las diferencias finitas** en una hoja Excel considerando distintos escenarios posibles como son: Lluvia estándar (Curva IDF de período de retorno 10 años y correspondiente a Barcelona), Diferentes

tipos de calles (partiendo de una sección preestablecida pero variando la pendiente longitudinal) y Distintos tipos de imbornales, así como desigual estado de conservación. La validez de los resultados obtenidos ha sido contrastada de manera satisfactoria con otros programas de prestigio reconocidos tales como HEC-HMS del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos.

**Aragón (2013). Modelación numérica integrada de los procesos hidráulicos en el drenaje urbano.** Estudió con el objetivo de desarrollar un modelo numérico integrado que permita calcular de forma totalmente acoplada las variables hidráulicas (área/calado y caudal/velocidad) en cada uno de los elementos que conforman el drenaje urbano, empleando las técnicas numéricas más adecuadas en cada uno. Donde consideró que el crecimiento continuo de las ciudades, o la ocurrencia de un evento extraordinario de lluvia, en muchas ocasiones sobrepasa las medidas de diseño de algunos de los elementos del drenaje urbano (principalmente elementos de captación y colectores) provocando que el sistema de drenaje de una población sea incapaz de desalojar el escurrimiento por dicho evento. Finalmente concluyeron que la realización en una amplia validación del esquema numérico en 1D para la aplicación en conductos con flujo en lámina libre fue exitoso. Este modelo numérico se aplicó en conductos con flujo en lámina libre en régimen lento, régimen rápido y con cambios de régimen (de lento a rápido y de rápido a lento a través de un resalto hidráulico) con estado permanente y transitorio mostrando un comportamiento aceptable. En cuanto a las uniones determinaron que juegan un papel fundamental en la modelación numérica de los conductos, ya que estas imponen condiciones de contorno hacia aguas abajo y en función de la elevación de la lámina de agua en la unión hacia aguas arriba. Es por ello que la solución de las mismas de la mejor manera posible sin duda repercutió en la calidad de los resultados.

**Domingos (2014). Estimación de Caudales máximos en una cuenca urbana de Luanda.** Estudiaron con la finalidad de estimar los caudales máximos de escurrimiento superficial en la cuenca urbana perteneciente al barrio Marzal, ubicado en la ciudad de Luanda, Angola. Se tomaron como punto de partida el Plan Director de Saneamiento de la ciudad y el estudio realizado por la Unidad del Gabinete Técnico de Saneamiento de Luanda (UTGSL) para la cuenca Marzal. En la modelación hidrológica

se aplicó el modelo de depósito no lineal del bloque RUNOFF del programa SWMM ante diferentes usos de suelo (actual y una proyección al año 2030). Los resultados permitieron comprobar de forma preliminar la factibilidad de las soluciones que reducen los caudales máximos y el tiempo de permanencia de las inundaciones en el barrio de Marzal. Y concluyeron que la experiencia llevada a cabo con el Modelo de Depósito No Lineal (MDNL) para el pronóstico preliminar máximos en la cuenca urbana correspondiente en el barrio Marzal a partir de hietogramas sintéticos ha resultado satisfactoria en esa etapa de trabajo, al constituir la antesala para la aplicación inmediata de modelos hidrológico-hidráulicos de mayor robustez. Se considera que los resultados obtenidos son representativos para el escenario actual y para futuro hasta el 2030.

**Granda (2013). *Análisis numérico de la red de drenaje pluvial de la urb.***

**Angamos.** Para ello se propusieron como objetivo la estimación de la magnitud de los problemas cualitativos y cuantitativos de drenaje previo a una inversión de tiempo y recursos en un modelo más complejo de computador y fueron usados para realizar una evaluación general del problema del drenaje urbano, y estimar la eficacia y costo de los sistemas de alcantarillado. Al mismo tiempo también fueron usados para un primer análisis somero del proceso precipitación-escorrentía, la ilustración de las variaciones en el flujo con diferentes opciones de control, y la identificación de los eventos hidrológicos de especial interés para el diseño, finalmente concluyó que el proceso inadecuado de urbanización es perjudicial a los intereses públicos y representa un perjuicio extremadamente alto para toda la sociedad a lo largo del tiempo. La sociedad paga más por la canalización, contra una solución de amortiguamiento, y aun así aumentan las inundaciones para la población que viven aguas abajo. De los resultados obtenidos en SWMM, concluyeron que la Urb. Angamos no sufriría inundación (debido a las lluvias) de sus calles; para intensidades de hasta 67 mm/h ( $Tr= 25$  años). Sin embargo, para un evento de fenómeno de "El niño" similar al de 1988, es decir con intensidades máximas entre los 86 y 96 mm/h ( $Tr = 50$  años), la capacidad del dren de descarga quedaría superado en un 23 % y las calles se verían inundadas.

**Rendón (2013). *Drenaje Pluvial de la Ciudad de Juliaca (Sector los Virreyes) - Puno - Perú.*** Desarrolló la simulación del comportamiento hidrológico urbano

del Sector los Virreyes de la ciudad de Juliaca, Puno- Perú con la finalidad de prevenir las futuras inundaciones y el comportamiento de las lluvias, la forma de captarlas y conducir las, sin causar perjuicios a sus habitantes. Para lo cual determinó, la lluvia de diseño, y aborda búsquedas, dentro de las formulaciones de Precipitaciones Máximas de diseño, Patrones de precipitación, Curvas Intensidad Duración y Frecuencia de la zona, que arrojó la variabilidad de la lluvia en intervalos de tiempo adecuados para la hidrología Urbana. Dentro de ello resaltó la influencia de la duración de la lluvia de diseño en el espaciamiento de los imbornales, por lo que un proyecto bien concebido debe partir de Hietogramas de lluvias registradas para la zona, y concluyó los siguientes:

- Las pruebas de bondad de ajuste, son sensibles a la función no paramétrica utilizada.
- Las distribuciones de dos parámetros fijan el valor del coeficiente de asimetría, lo que en algunos casos puede no ser recomendable. La distribución Log - Normal de dos parámetros sólo es recomendable sí el coeficiente de asimetría es cercano a cero.
- El óptimo espaciamiento, depende principalmente de la calidad del Hietograma del Proyecto.
- En la medida que se incluya en la metodología de los Bloques alternados, el aspecto de los Hietogramas de la zona, será más realista la simulación.
- Se debe evaluar con gran detalle, el coeficiente de rugosidad de Manning, en zonas donde el mobiliario urbano, pueda ser un obstáculo al flujo o lo facilite.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Cuencas

El concepto de la cuenca es mucho más complejo de lo que podría parecer, porque como unidad de referencia geográfica básica para el estudio del ciclo hidrológico, su definición debe ser inequívoca. Pero, además, el concepto de cuenca es compleja, ya que puede entenderse de diversas maneras más allá de su definición en el sentido más estricto. (Musy and Higy, 2010).

- **Otros conceptos de la cuenca**

El concepto de cuenca hidrográfica propuesto anteriormente no es único. Como señaló Newson (1992), la elección de la definición de cuencas está estrechamente relacionada con uno de los objetivos de punto de vista o de gestión. (Musy and Higy, 2010) (p.73).

El geomorfologista tiende a considerar una cuenca como una cuenca hidrográfica con una red ordenada de los ríos. El gestor de los recursos hídricos de la cuenca, ve como un sistema delineado por límites naturales. La visión del ingeniero es una sucesión de problemas hidráulicos, de inundar al transporte de sedimentos, o tal vez la formación de meandros o el estudio de determinados modelos hidráulicos. La cuenca termina siendo descrito de acuerdo con toda una serie de valores antropocéntricos, y en última instancia se reduce a un grupo de elementos o esquemas hidráulicos que pueden o no pueden estar conectados. (p.74), sostuvo Musy and Higy (2010).

### ■ Cuenca Urbana

(Marín, 2012), mencionaron que la cuenca urbana es: donde se asientan poblaciones o que abastecen a zonas urbanas en particular aquellas que están ocupadas por grandes sectores poblacionales, mineros e industriales. Bajo esta definición, la cuenca hidrográfica ha adquirido una connotación peculiar, asociada a las actividades propias de la urbanización, que la consolida como fuente de servicios ambientales, (citado por García, 2006).

### 2.2.2. Influencia de la Urbanización en el Proceso de Escorrentía

Es conocida la tendencia al desplazamiento de la población desde zonas rurales hacia zonas urbanas. En la actualidad casi el 50% de la población mundial vive en zonas urbanas, habiéndose incrementado en más de un 80% en los últimos 20 años.

La urbanización de una cuenca modifica su respuesta hidrológica frente a una determinada lluvia. La urbanización conlleva la alteración de las redes de drenaje natural (construcción de colectores y encauzamientos que aumentan la velocidad del agua hacia aguas abajo de la cuenca) y un incremento de las zonas impermeables en superficie. La urbanización aguas arriba modifica el hidrograma que reciben estas zonas de forma que se incrementan el volumen de escorrentía y el caudal máximo. Asimismo, es menor el tiempo que transcurre

entre el inicio de la escorrentía provocada por la lluvia y el máximo caudal (Gómez, 2007).

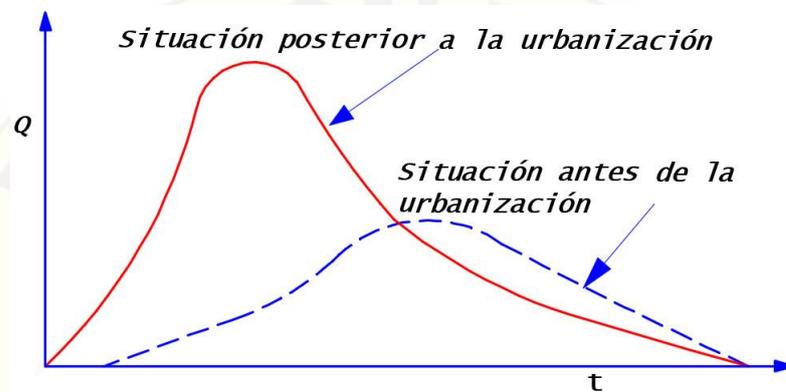


Figura 2.1: Influencia de la Urbanización sobre la respuesta hidrológica.

Fuente: Gómez (2007).

### 2.2.3. Respuesta Hidrológica de una Cuenca

El análisis del comportamiento hidrológico de una cuenca se realiza generalmente mediante el estudio de la respuesta hidrológica de este sistema hidrológico a un impulso (precipitación). Esta respuesta se mide observando la cantidad de agua que sale en la salida del sistema. La reacción de la descarga  $Q$  con respecto al tiempo  $t$  se representa gráficamente por un hidrograma de escorrentía. Donde la figura 2.2.3 muestran, el principio para analizar el comportamiento hidrológico.

La respuesta hidrológica de una cuenca para un evento en particular se caracteriza, entre otras cosas, por su velocidad (tiempo hasta el pico  $t_p$  que es el tiempo entre el comienzo del flujo de agua y el pico del hidrograma), y su intensidad (flujo máximo  $Q_{\text{máx}}$ , el volumen máximo  $V_{\text{máx}}$ ...). Sin embargo, la comprensión de la respuesta hidrológica no puede reducirse solamente a estos dos parámetros. El análisis en realidad es más delicado de lo que parece porque el flujo medido en la salida está relacionado con la escala de la cuenca. Existen otras características que nos permiten analizar la respuesta hidrológica de una cuenca, también, y en particular los derivados del estudio de la Hietograma y el Hidrograma resultante. Un parámetro particularmente útil es el tiempo de la concentración. (Musy and Higy, 2010).

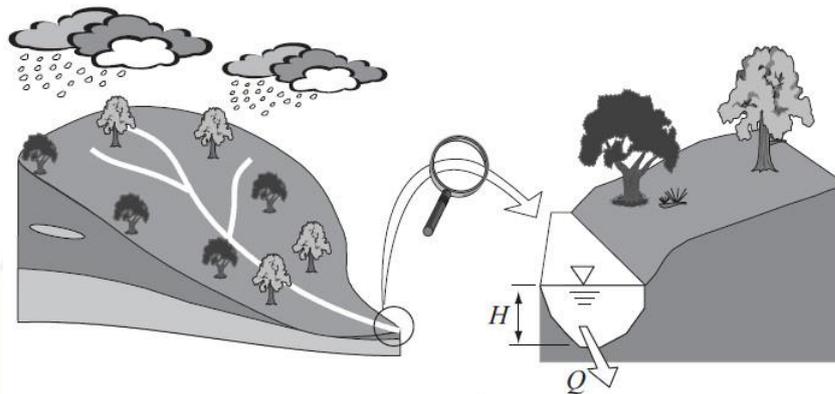


Figura 2.2: Principios del análisis de la respuesta de la cuenca hidrográfica.

Fuente: Musy y Higy (2010).

#### 2.2.4. Definición de la Hidrología

Las ciencias hidrológicas ocupan un espacio en el nexo de diversas disciplinas, con el objetivo de comprender los mecanismos que regulan la distribución de agua en la superficie de la Tierra, así como sus propiedades bio-geoquímico. Por lo tanto, la hidrología es ciencia de los estudios, como el flujo del agua y las reservas en la Tierra, ya sea en la superficie, bajo tierra, o atmosféricos. Así, en su definición más simple, la hidrología es la ciencia del agua y su ciclo en la Tierra, que es más o menos la definición utilizada por las Naciones Unidas. (Musy and Higy, 2010).

#### 2.2.5. Análisis de la Lluvia

##### 2.2.5.1. Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico es un proceso continuo de movimiento de agua de los océanos a la atmósfera, a la tierra y nuevamente al mar. Dentro de este proceso existen varios subciclos. La evaporación de cuerpos de agua continentales y la subsecuente precipitación sobre el suelo antes de regresar al mar, sostienen. (Pérez y Rodríguez, 2009)

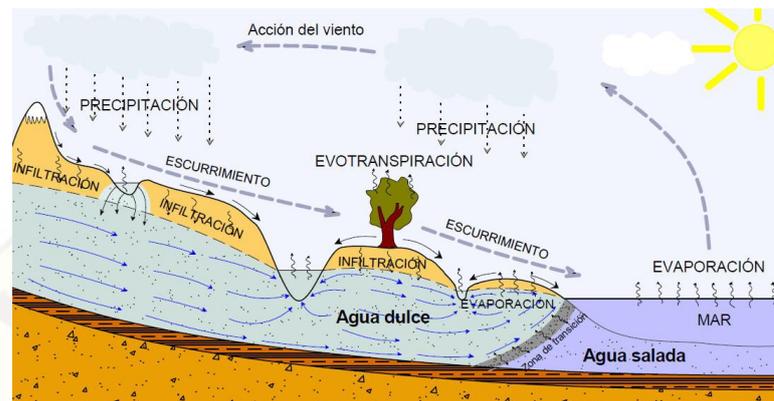


Figura 2.3: Ciclo Hidrológico

Fuente: Pérez y Rodríguez (2010).

(Sánchez, 2015), sostiene, que los componentes básicos del ciclo hidrológico son las siguientes: precipitación (P), evaporación (E), transpiración (T), infiltración (F), escurrimiento superficial (R.) y flujo subterráneo (G). El ciclo del agua es un proceso continuo en el cual el agua se evapora de los océanos, lagos, ríos y otras fuentes, se mueve en la atmósfera formando masas de aire húmedo y luego se produce la precipitación cuando existen condiciones adecuadas. (p. 17)

La lluvia que cae en la superficie de la tierra se dispersa a través de muchos medios; pero una porción es retenida en el suelo cerca del sitio donde cayó y retorna a la atmósfera por evaporación, es decir, la conversión del líquido a vapor de agua y también por transpiración, la cual consiste en la pérdida de agua a través de las plantas; esta pérdida de agua combinada se denomina: evapotranspiración (ET: E + T). (p. 17)

El ciclo hidrológico no tiene ni principio ni fin, y su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y es transportado por las masas de aire en movimiento (viento) hacia los continentes. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. (p. 17)

### 2.2.5.2. Precipitación

Según la meteorología, se denomina **precipitación** a la caída de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre donde se depositará y, en algunas ocasiones, se acumulará y se clasifican en los siguientes tipos: Lluvia, Llovizna, nieve granizo y neviscas. A su vez, existen tres tipos de lluvia según el modo en el que se dé la condensación que deriva en la lluvia. Estos son:

**lluvias orográficas** (vinculado a la diferencia de altura y temperatura en cordilleras montañosas), **convectivas**(masa de aire caliente que al ascender se enfría y condensa) y **frontales**(choque frontal de masas de aire a distinta temperatura).

(<http://www.tipos.co/tipos-de-precipitaciones/#ixzz47uAe5bvD>)

**Caudales de proyecto:** Dado que los datos de lluvia suelen ser más abundantes que los de caudales, normalmente el caudal de proyecto en un colector de pluviales de una determinada cuenca será fijado teniendo en cuenta, entre otros factores, sus características pluviométricas. Es obvio que los episodios lluviosos en una cuenca dada no son siempre idénticos: existe una distribución espacial y temporal de la lluvia que varía de un episodio a otro. Normalmente *las cuencas urbanas son de pequeña dimensión y por ello suele considerarse que la lluvia afecta a su totalidad (se asume una distribución espacial uniforme de la precipitación)*. Hemos visto que al urbanizar una cuenca se incrementan los caudales asociados a una lluvia dada. Por este motivo, el periodo de retorno del caudal asociado a una lluvia determinada disminuye con la urbanización de la cuenca. (Gómez, 2007)

### 2.2.5.3. Lluvia de Proyecto

Lluvias de proyecto, obtenidas a partir de información globalizada en forma de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. Podemos definir a esta lluvia de proyecto como una lluvia tipo, o lluvia sintética que se puede asociar a un cierto periodo de retorno, y se admite (a pesar de que no sea estrictamente cierto) que el caudal de escorrentía calculado a partir de esta lluvia de proyecto tiene el mismo periodo de retorno. Esta idea introduce un concepto de seguridad/riesgo, al asociar una noción de periodo de retorno

al Hietograma de lluvia a utilizar, y por ende al caudal de diseño. (Gómez, 2007)

**Obtención de la lluvia:** Para la obtención de una lluvia (o caudal) asociada a un determinado periodo de retorno se han propuesto diferentes distribuciones de probabilidad, pero la bondad del cálculo estará en gran medida condicionada por la calidad y amplitud de la serie de datos de campo disponibles para ajustar dicha distribución.

Habitualmente se utilizan las curvas intensidad-duración- frecuencia (curvas IDF) para la obtención del valor de una determinada lluvia. Estas curvas nos proporcionan para cierta región y una frecuencia dada (periodo de retorno), la relación entre intensidad media máxima y la duración de lluvia. Cabe indicar que estas curvas sólo nos dan información sobre la máxima intensidad media esperable a lo largo de cierto intervalo de tiempo, y no sobre el resto de la tormenta: lluvia caída antes y después de dicho intervalo. O sea, la duración de la tormenta es, en principio, superior al tiempo considerado en las curvas IDF. *La IDF constituye el demento básico de partida en todo estudio hidrológico en medio urbano.* (Gómez, 2007)

**ILLA- SENAMHI - UNI:** proporciona informaciones que nos permitirán obtener curvas IDF a partir de la ecuación regional, el método ILLA - SENAMHI - UNI, proporciona, ecuaciones para menor exactitud, en cuencas urbanas los errores determinados no serán relevantes en la utilización de periodos de retorno bajos.

El estudio muestra la siguiente ecuación regional para duraciones comprendidas hasta horas:

$$i_{i,t} = a(1 + k \log_T)(t + b)^{n-1}, \text{ para } (t) \leq 3 \text{ horas} \quad (2.2.1)$$

$$i_{i,t} = a(1 + k \log_T)(t)^{n-1}, \text{ para } 3 \leq (t) \leq 34 \text{ horas} \quad (2.2.2)$$

Donde:

I: Intensidad de lluvia (mm/hr)

a: Parámetro de Intensidad (mm)

K: Parámetro de Frecuencia (adimensional)

N: Parámetro de duración (adimensional)

T: Tiempo de retorno (años)

Cuadro 2.1: Parámetro Regional b

Región	Parámetro b
Costa Centro y Sur	0.5
Sierra	0.4
Costa Norte y Selva	0.2

Fuente: R.N.E.

#### 2.2.5.4. Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia

Las curvas I-D-F son curvas que relacionan la intensidad de la lluvia con su duración. Para cada frecuencia (periodo de retorno) tenemos una curva diferente, cuanto menor es la frecuencia del evento analizado, mayor es la intensidad. (Nanía, 2003).

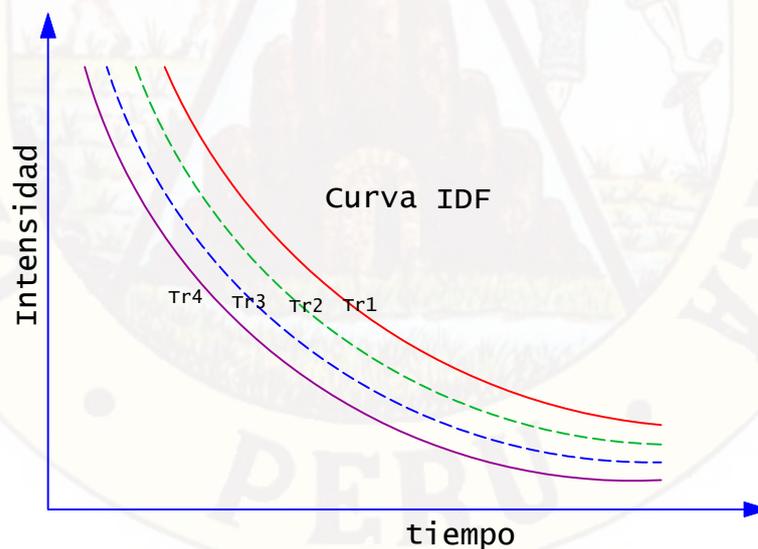


Figura 2.4: Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

Fuente: Gómez (2007)

Procedimiento para la Obtención curva IDF

- Considerar todas las precipitaciones registradas a lo largo del tiempo del hietograma y en intervalos de registro mínimo de 10 min

- Ordenar las precipitaciones clasificándolas en función a los diferentes intervalos de referencia (10, 15, 20, 25, 30 minutos...)
- Obtener para cada intervalo de referencia, la serie de intensidades medias máximas anuales para cada año de registro.
- Obtener, a partir de una distribución de extremos, como por ejemplo una ley tipo Gumbel para cada intervalo de referencia, las intensidades medias máximas anuales para cada período de retorno, y finalmente.
- En base a los resultados anteriores, definir las curvas Intensidad- Duración-Frecuencia de la estación de estudio a partir de los puntos con igual período de retorno.

En virtud del anterior (Gómez, 2007) recomienda de que las curvas IDF, se tienen que ajustar mediante ecuaciones analíticas que faciliten su operación, las más usadas son las expresiones tipo Talbot o Montana.

Curva tipo Talbot (expresión hiperbólica), donde  $a$  y  $b$ , son parámetros de ajuste.

$$I = \frac{a}{(D + b)} \quad (2.2.3)$$

Curva tipo Montana (expresión exponencial), donde  $a$  y  $b$ , son parámetros de ajuste

$$I = a.D^b \quad (2.2.4)$$

Expresión generaliza

$$I = \frac{a}{(D + b)^c} \quad (2.2.5)$$

#### 2.2.5.5. Intensidad de la lluvia

(Villón, 2011), define la intensidad como la cantidad de agua caída por unidad de tiempo, lo que interesa particularmente de cada tormenta, es la intensidad máxima que se haya

presentado, ella es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo, también Sánchez afirma que, la intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio. (Sánchez, p. 21), que puede expresarse como:

$$i = \frac{P}{T_d} \quad (2.2.6)$$

Por otro lado (Sánchez, 2015) en su tesis *Modelación precipitación escorrentía en cuencas urbanas - caso de estudio: distrito de Carmen Alto*, afirma lo siguiente:

La intensidad de lluvia varía ampliamente en el tiempo y espacio, en la práctica es necesario recurrir a promedios temporales y espaciales: Para cuencas pequeñas el promedio de la intensidad de lluvia dura un periodo igual al tiempo de concentración, es usualmente el parámetro primario de la lluvia. (p. 21)

Las tormentas de alta intensidad son principalmente de corta duración y cubre pequeñas áreas, contrariamente las tormentas de baja intensidad son típicamente de larga duración y cubre relativamente áreas grandes dependiendo del tamaño de la cuenca. (p. 21)

La intensidad de lluvia de diseño para un determinado punto de sistema de drenaje es la intensidad promedio de lluvia, ***cuya duración es igual al tiempo de concentración de la cuenca en estudio.*** (p. 21)

#### 2.2.5.6. Duración

Corresponde al tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta. Aquí conviene definir el periodo de duración, que es un determinado periodo de tiempo, tomado en minutos u horas, dentro del espacio total que dura la tormenta. Sostuvo (Villón, 2011).

También Sánchez (2015), sostiene que, la duración de un evento de lluvia varía fuertemente

desde pocos minutos a varios días. La propiedad de concentración del escurrimiento, indica que todas las cuencas, sin considerar el tamaño alcanzan una condición de equilibrio de escurrimiento para un tiempo determinado de lluvia efectiva constante, esto implica que en cuencas pequeñas es probable alcanzar condiciones de equilibrio de escurrimiento mucho más fácil que en cuencas medianas y grandes. Es por ello que en cuencas pequeñas son analizados asumiendo caudal de captación concentrada. La fórmula racional es un ejemplo típico donde se asume las concentraciones del escurrimiento. (p. 22)

#### **2.2.5.7. Frecuencia**

Es el número de veces que se repite una tormenta, de características de intensidad y duración, definidas en un periodo de tiempo más o menos largo, tomado generalmente en años. (Villón, 2011)

#### **2.2.6. Tormentas de Proyecto a Partir de Curvas IDF:**

Gómez (2007) en su Libro *Hidrología Urbana*, afirma lo siguiente:

Las curvas intensidad - duración - frecuencia (IDF) representan un nivel de información global referente al comportamiento pluviométrico de una zona. Su construcción se realiza analizando los registros de todas las tormentas y sus periodos más intensos de precipitación. (p. 59)

Estas intensidades se ordenan para cada uno de los periodos de tiempo considerados (5, 10, 15 minutos, etc) en función de su valor, realizando un tratamiento estadístico de los datos y asignando periodos de retorno. (p. 59)

Los resultados se presentan en forma de curva, pudiéndose ajustar a alguna expresión de tipo analítico, como son los del tipo Montana, Talbot o Keifer Chu. (p. 59)

Dado que las curvas IDF recogen una información histórica de la pluviometría de una cuenca específica, esto es un punto de partida importante para construir la lluvia de diseño que se empleará en un proceso de transformación de lluvia esorrentía. (p. 59)

Los principales tipos de lluvias de proyecto son:

- La lluvia constante o de bloque
- La tormenta triangular
- La tormenta tipo Sifalda
- Los Flood Studies Report
- Las lluvias tipo Keifer-Chu
- Las lluvias de doble triángulo
- El método de los bloques alternados

De todo lo mencionado, el método más utilizado y que se ha generalizado más, es el método de los bloques alternados.

### 2.2.7. Método de los Bloques Alternados

El hietograma producido a través de dicho procedimiento, especifica la precipitación en un número  $n$  de intervalos de tiempo  $\Delta t$  para una lluvia de duración total  $n\Delta t$ . Una vez seleccionado el período de retorno deseado se toman los datos de intensidad de precipitación de la curva IDF para duraciones  $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$ , así como la precipitación total obtenida multiplicando las intensidades por las duraciones de la lluvia. (Gómez, 2007), como indica en la figura 2.5 .

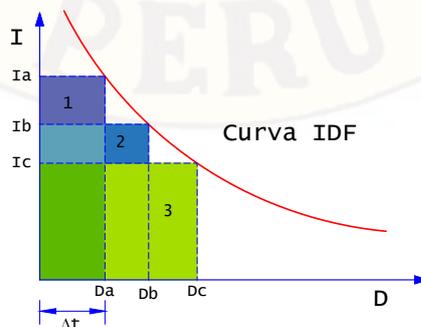


Figura 2.5: Método de los Bloques Alternados

Fuente: Gómez (2007)

Para un tiempo  $\Delta t$ , la cantidad de lluvia máxima en ese intervalo considerado corresponde al dato de la curva IDF, por lo tanto, se tiene un bloque de lluvia con duración  $\Delta t$  minutos y con una intensidad de precipitación, como indica en la curva IDF. (Sánchez, 2015)

$$P_{bloque1} = I_a \cdot D_a \quad (2.2.7)$$

Sánchez (2015), sostiene que, para un tiempo  $2\Delta t$ , la cantidad de la lluvia máxima corresponde al dato de la curva IDF, un bloque de lluvia de duración  $2\Delta t$  minutos. Pero dentro de esos  $2\Delta t$  minutos se admite que los  $\Delta t$  minutos más desfavorables corresponden a una precipitación igual al bloque de lluvia calculado en el primer paso. Luego para los segundos  $\Delta t$  minutos, el bloque de lluvia que se incluirá en el hietograma de diseño será uno que tenga un resultado de una precipitación igual a:

$$P_{bloque2} = I_b \cdot D_b - P_{bloque1} \quad (2.2.8)$$

Para un tiempo  $3\Delta t$ , la precipitación del tercer bloque de  $\Delta t$  minutos de lluvia es:

$$P_{bloque3} = I_c \cdot D_c - P_{bloque2} \quad (2.2.9)$$

Estos bloques de lluvia se van distribuyendo de forma alternada, alrededor del bloque de lluvia de mayor intensidad, uno a cada lado, o también se redistribuyen en el tiempo, dando al hietograma una forma acorde con el aspecto de las tormentas de la zona. (Gómez, 2007)

### 2.2.8. Factores de Diseño

Sánchez (2015) Sostiene que, “las intensidades de precipitación que se utilizan para el diseño de cada tramo de un sistema o subsistema de drenaje pluvial se determinan en base a los elementos siguientes”:

- Periodo de retorno u ocurrencia

- Tiempo de concentración

### 2.2.8.1. Período de Retorno

El período de retorno también llamado intervalo de recurrencia  $T$ , es el promedio en el cual un evento de cierta fenómeno va a ser igualado o superado por lo menos en una vez en el periodo del suceso; su determinación es función del grado de importancia que tenga la estructura, así como del grado de seguridad que desee. En resumen, el periodo de retorno de un evento con una magnitud dada puede definirse como el intervalo de ocurrencia promedio entre eventos que igual o exceden una magnitud especificada. sostuvo (Chow, 1994)

$$T = \frac{1}{p} \quad (2.2.10)$$

La estimación de crecientes de diseño es uno de los análisis hidrológicos más importantes, ya que es la base para el diseño hidráulico de alcantarillas y puentes, (...), bordos de protección contra inundaciones (...) el diseño hidrológico dimensiona las obras y el diseño hidráulico asegura su funcionamiento. (Campos, 2006)

### 2.2.8.2. Tiempo de Concentración

Período de tiempo necesario para que el escurrimiento de una tormenta fluya desde el punto más alejado de la cuenca de drenaje a la salida de la misma. dentro en una zona urbana puede considerarse como el tiempo necesario para que el agua fluya por las distintas superficies. (Pérez y Rodríguez, 2009)

Gómez (2007) en su Libro, *Hidrología Urbana*, afirma lo siguiente:

La especificidad del hecho urbano se refleja en que el agua recorre habitualmente dos tipos de camino: uno superficial, hasta alcanzar alguna de las estructuras de captación y ser engullida en la red, y dos, por la propia red de drenaje. (p. 74)

Las características de los dos caminos son radicalmente distintas. Por un lado, la superficie de la ciudad, tejados, acera, cunetas, rigolas junto a bordillo, presentan un comportamiento más bidimensional, con un material más rugoso y un camino menos definido. (p. 74)

Por el contrario, la red de drenaje presenta una trama de drenaje muy bien definida, con sus conductos secundarios, primarios, donde el flujo es fundamentalmente de tipo unidimensional, y en general con materiales en las paredes más lisos que en la superficie. (p. 74)

En estas condiciones se suele dividir el tiempo de concentración en dos sumandos, a saber, tiempo de entrada y tiempo de viaje:

$$t_c = t_{entrada} + t_{viaje} \quad (2.2.11)$$

- **Tiempo de Entrada:** Hasta que el agua entra en la red de drenaje, esta puede recorrer diferentes tipos de superficies y caminos. Cuando contamos con un terreno natural, el tiempo de entrada será estimado con ayuda de las mismas expresiones que se emplean para los estudios hidrológicos de cuencas rurales. (Gómez, 2007) (p. 79)

Si el terreno de escorrentía es más urbano, se puede aproximar el tipo de flujo creado por el denominado overland flow, típico de flujo en un plano. Dicho flujo puede ser descrito por una aproximación de tipo onda cinemática como la siguiente, expresando las ecuaciones de continuidad y de equilibrio de fuerzas. (Gómez, 2007) (p. 79)

- **Tiempo de Viaje:** Es el tiempo de viaje que tarda el agua en discurrir por el interior de la red. En primera aproximación podemos estimarlo como el cociente entre la longitud recorrida y la velocidad del agua. (Gómez, 2007)(p. 81)

$$t_{viaje} = \frac{L}{v} \quad (2.2.12)$$

Gómez (2007) en su Libro, *Hidrología Urbana*, afirma lo siguiente:

La longitud recorrida se estima de los planos en planta de la red, pudiendo definirse con bastante precisión. La velocidad del agua dentro de la red no es conocida a priori. El valor de la velocidad depende de las condiciones geométricas de la red (sección, pendiente, rugosidad) y también del caudal circulante. (p. 82).

Pero recordemos que el tiempo de concentración, y por tanto sus componentes tiempo de entrada y tiempo de viaje, se estima antes de realizar el estudio hidrológico, cuando aún no conocemos cual es el caudal máximo de circulación. Quiere decir que, en el desarrollo y aplicación del método racional, la estimación del tiempo de viaje por la red puede ser en algunos casos un proceso iterativo. (p. 82).

▪ **Relaciones Empíricas para la Obtención del Tiempo de Concentración:**

El tiempo de concentración  $t_c$  de una determinada cuenca hidrográfica es el tiempo necesario para que el caudal saliente se estabilice, cuando la ocurrencia de una precipitación con intensidad constante sobre toda la cuenca. (Sánchez, p. 26)

M.T.C. (2012)) en su Manual, *Hidrología, Hidráulica y Drenaje*, afirma lo siguiente:

La fórmula de Kirpich, fue desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10 %); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar  $t_c$  por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas. (p. 32)

**Kirpich (1940)**

$$t_c = 0.01947L^{0.77} \cdot S^{-0.385} \quad (2.2.13)$$

Donde:

L: Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (m)

S: Pendiente promedio de la cuenca (m/m)

### California Culverts Practice (1942)

$$t_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (2.2.14)$$

Donde:

L: Longitud del curso de agua más largo (m).

H: Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m)

Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California. (p. 32)

### Izzard (1946)

$$t_c = \frac{525 (0.0000276 \cdot i + c) \cdot L^{0.33}}{S^{0.333} \cdot i^{0.667}} \quad (2.2.15)$$

Donde:

i: intensidad de lluvia (mm/h).

c: Coeficiente de retardo

L: Longitud de la trayectoria de flujo (m)

S: Pendiente de la trayectoria de flujo (m/m).

Desarrollada experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Public Roads para flujo superficial en caminos y Áreas de céspedes; los valores del coeficiente de retardo varían desde 0.0070 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de  $i$  por  $L$  debe ser  $\leq 3800$ . (p. 32)

#### **Federal Aviation Administration (1970)**

$$t_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C) \cdot L^{0.50}}{S^{0.333}} \quad (2.2.16)$$

Donde:

C: Coeficiente de escorrentía del método racional.

L: Longitud del flujo superficial (m).

S: Pendiente de la superficie (m/m.).

Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers: el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos, pero ha sido frecuentemente usado para flujo superficial en cuencas urbanas. (p. 32)

#### **Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley (1965) Aron y Erborge (1973)**

$$t_c = \frac{L^{0.6} \cdot n^{0.6}}{I^{0.4} \cdot S^{0.3}} \quad (2.2.17)$$

Donde:

L : Longitud del flujo superficial (m)

N : Coeficiente de rugosidad de Manning.

I : Intensidad de lluvia (mm/h)

S : Pendiente promedio del terreno (m/m.).

Ecuación para flujo superficial desarrollada a partir de análisis de onda cinemática de la escorrentía superficial desde superficies desarrolladas; el método requiere iteraciones debido a que la intensidad de lluvia, como  $t_c$  son desconocidos, la superposición de una curva de intensidad-duración-frecuencia da una solución gráfica directa para  $t_c$ . (p. 32)

#### **Ecuación de retardo SCS (1973)**

$$t_c = \frac{0.0136 \cdot L^{0.8} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{S^{0.5}} \quad (2.2.18)$$

Donde:

L : Longitud hidráulica de la cuenca (Mayor trayectoria de flujo) (m).

CN : Número de curva SCS.

S : Pendiente promedio de la cuenca (m/m.).

Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 800 Ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que  $t_c = 1.67$  por retardo de la cuenca. (p. 33)

### 2.2.9. Pérdidas de Precipitación

García (2010) en su Tesis, *Modelo de ayuda a la decisión para el diseño de un sistema de captación de escorrentía en medio urbano*, afirma lo siguiente:

El agua originada por la precipitación no se transforma al 100 % en escorrentía directa puesto existe una cierta cantidad que se pierde durante dicho proceso. (p, 12)

Estas pérdidas, pueden ser debidas a la acción de distintos fenómenos como son:

- La evapotranspiración
- Interceptación
- almacenamiento en depresiones
- infiltración

#### 2.2.9.1. La evapotranspiración:

incorpora básicamente dos conceptos:

**La evaporación:** que depende de dos parámetros como son la velocidad del viento y el gradiente de humedad específica del aire, ambos poco significativos en hidrología urbana. (García, 2010, p. 12)

**La transpiración:** de las estomas de las hojas, que, dado los cortos intervalos de tiempo estudiados, también es poco importante. (García, 2010, p. 12)

#### 2.2.9.2. La interceptación:

Es un fenómeno mas conocido y difícil de estudiar, tiene su origen en la cubierta vegetal y sus efectos son el de retener una cierta cantidad de agua, el mismo posteriormente se transformará en evaporación, así como el de modificar la intensidad de precipitación en función del tiempo. A priori también es poco influyente en las cuencas urbanas. (García, 2010)(p. 12).

### 2.2.9.3. Almacenamiento en depresiones:

La cantidad almacenada en las depresiones del terreno, son las que se convierten en pérdidas, dado que es un volumen que se infiltra, o bien, si la depresión es impermeable se evapora.(García, 2010)(p. 12).

### 2.2.9.4. Infiltración:

El fenómeno de las acciones de infiltración, se consideran muy complejos, ya que intervienen en él los siguientes factores:

- Características del suelo: Granulometría, porosidad, humedad, etc.
- Características de la vegetación.
- Condiciones climáticas.

Este fenómeno de las pérdidas de precipitaciones, es muy importante en hidrología urbana porque retarda la escorrentía que viene de las superficies permeables respecto a las superficies impermeables. Por esta razón, se debe considerar con mayor interés para planeación de un desarrollo urbano sostenible. (Sánchez, 2015)(p. 44).

En la práctica, para el cálculo de las pérdidas o abstracciones, se consideran dos casos: primero, cuando se cuenta con información de precipitación y caudales, o bien, se tiene información sólo de precipitación (que será en la mayoría de los casos).

*En el primer supuesto*, pueden usarse métodos de programación no lineal, o bien, un método mucho más sencillo como el del índice  $\varphi$ .

*En el segundo caso*, pueden usarse métodos basados en las ecuaciones de infiltración, o bien, el del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS), que es adecuado cuando no se tiene mucha información disponible del suelo de la cuenca que queremos estudiar.(Nanía, 2003).



De los métodos mencionados, el método que se adapta en una cuenca urbana es el método de número de curva.

- **Modelo del número de curva (CN) del SCS**

(Nanía, 2003), afirma que, este método ha sido desarrollado por el SCS (1972). Los conceptos generales utilizados en este método son: la precipitación efectiva  $P_e$  es siempre menor o a lo sumo igual que la precipitación total ( $P$ ), que la retención acumulada,  $F_a$  es siempre menor o a lo sumo igual que la retención potencial máxima ( $S$ ), y que la escorrentía potencial.

El SCS analizó también la relación entre  $P$  y  $P_e$  para muchas cuencas y encontró curvas que son función del tipo de superficie de las cuencas. Para estandarizarlas definió el número de curva  $CN$ , tal que  $0 \leq CN \leq 100$ .

A las superficies impermeables les corresponden un  $CN$  igual a 100, ya que toda el agua que cae en ellas se convierte en escorrentía. Para las superficies naturales, en general permeables, el  $CN$  será menor que 100. (Nanía, 2003)(p. 29).

De esta manera el Curva Número (CN) se constituye en una herramienta de gran valor para realizar estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas, fundamentalmente cuando hay una deficiencia de registros extensos y confiables. Esta metodología requiere del conocimiento del tipo y uso de suelo de la cuenca en estudio y registros pluviográficos.(Sánchez, 2015)

El volumen de escurrimiento ( $P_e$ ) depende del volumen de Precipitación ( $P$ ) y del volumen de retención ( $F_a$ ), donde ( $F_a$ ) es la diferencia entre los volúmenes de precipitación y escurrimiento. Existe otro tipo de volumen de precipitación que se presenta al comienzo de la tormenta pero que no aparecerá como escurrimiento, a este volumen se le llama abstracción inicial ( $I_a$ ). El Servicio de Conservación de Suelos (SCS) asumió la siguiente relación precipitación-escurrimiento. (Sánchez, 2015)

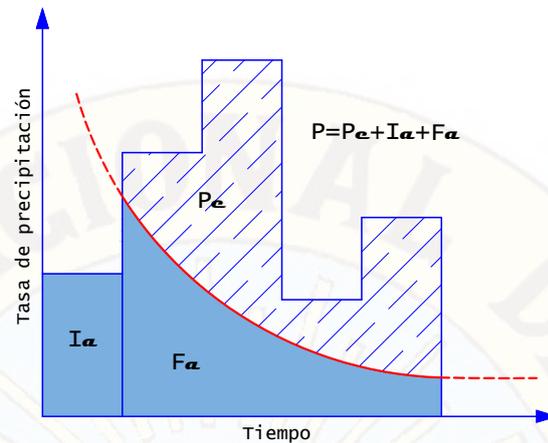


Figura 2.7: Relación entre Precipitación, Escurrimiento y Retención

Fuente: Chow, et al. (1994)

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (2.2.19)$$

En donde ( $S$ ) es la retención máxima potencial y ( $F_a$ ) es la diferencia entre los volúmenes de precipitación y escurrimiento, cuando la abstracción inicial ( $I_a$ ) es considerada como:

$$F_a = (P - I_a) - P_e \quad (2.2.20)$$

La cual si se sustituye en la ecuación 2.2.19, y se obtiene:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2.2.21)$$

Inicialmente se tiene como dato ( $P$ ) y pero el objetivo es estimar el valor de ( $Q$ ). El procedimiento del número de curva permite estimar las dos variables que aun no estan estimados,  $S$  e  $I_a$ , para lo cual se propone una relación entre la capacidad de retención máxima del suelo y la composición y ocupación del mismo. este método

clasifica los terrenos asignándoles un número entre 0 y 100, al que denomina número de curva CN de manera que la retención máxima, expresada en mm será. (Chow, 1994),

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2.2.22)$$

La abstracción inicial está en función de características y uso de suelo. Un análisis empírico hecho por el CSC encontró que la mejor forma para estimar el valor de  $I_a$ :

$$I_a = 0.2.S \quad (2.2.23)$$

En estas condiciones, el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o esorrentía directa de una tormenta utilizando el método del SCS. Se realiza a través de la siguiente expresión.

$$P_e = \frac{(P - 0.2.S)^2}{P + 0.8.S} \quad (2.2.24)$$

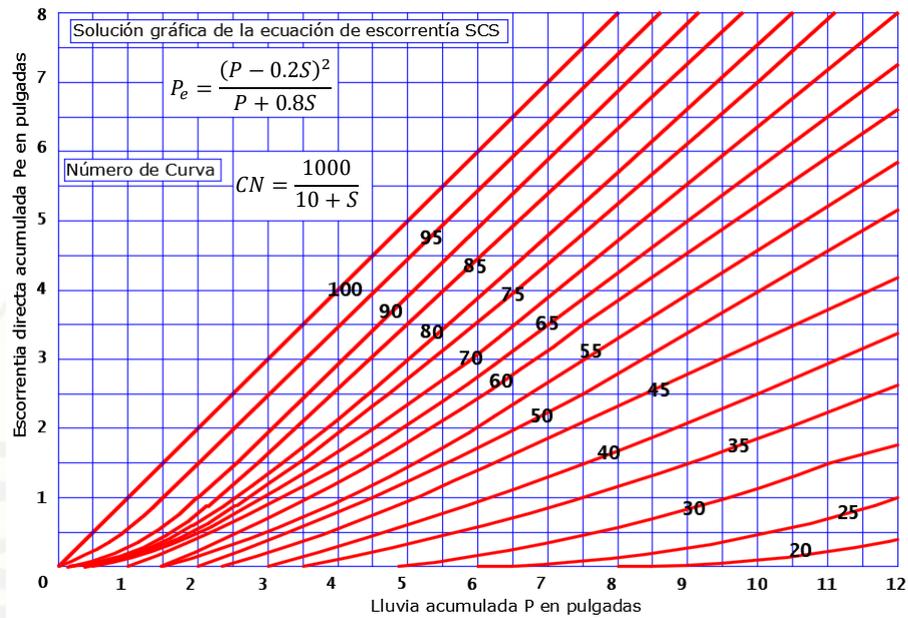


Figura 2.8: Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS

Fuente: Chow, et al. (1994)

### 2.2.11. Distribución de probabilidad para las variables hidrológicas

Una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Mediante el ajuste a una distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una gran cantidad de información probabilística en la muestra puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados. (Chow, 1994)

Para utilizar estos modelos probabilísticos, se deben calcular sus parámetros y realizar la prueba de bondad de ajuste. Si el ajuste es bueno, se puede utilizar la distribución elegida, una vez encontrada la ley de distribución que rige a las variables aleatorias, se podrá predecir con determinada probabilidad, la ocurrencia de una determinada magnitud de un fenómeno hidrometeorológico. También se podrá determinar la magnitud de un fenómeno para un determinado periodo de retorno. (Villón, 2011)

Las distribuciones teóricas comúnmente utilizadas en hidrología son entre otras:

- Distribución normal

- Distribución log-normal de 2 ó 3 parámetros
- Distribución gamma de 2 ó 3 parámetros
- Distribución log-Pearson tipo III
- Distribución Gumbel
- Distribución log-Gumbel

En la presente tesis se hará uso de la distribución tipo Gumbel.

### 2.2.11.1. Distribución Gumbel

La distribución Gumbel, es una de las distribuciones de valor extremo, es también llamado *valor extremo tipo I ó distribución doble exponencial*.

**Función Acumulada:** La función de distribución acumulada de la distribución Gumbel, tiene la siguiente forma:

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}} \quad (2.2.25)$$

Para:  $-\infty < x < \infty$

Donde:

$0 < x < \infty$ : Parámetro de escala

$-\infty < \mu < \infty$ : Parámetro de posición (valor central o moda)

### Función Densidad:

Derivando la función de distribución acumulada, ecuación (2.2.25), con respecto a  $x$ , se obtiene la función densidad de probabilidad, es decir:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} - e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} \quad (2.2.26)$$

Para:  $-\infty < x < \infty$

La variable aleatoria reducida Gumbel, se define como:

$$y = \frac{x - \mu}{\alpha} \quad (2.2.27)$$

Con lo cual, la función densidad reducida Gumbel es:

$$g(y) = e^{-y-e^{-y}} \quad (2.2.28)$$

y la función acumulada reducida Gumbel, es >

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad (2.2.29)$$

Los valores correspondientes  $x$  e  $y$ , están relacionados por:

$$F(x) = G(y)$$

$$y = \frac{x - \mu}{\alpha} \implies x = \mu + \alpha y$$

#### Estimación de parámetros-método de momentos:

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

- **Moda:**  $x_{moda} = \mu$
- **Media:**

$$E(x) = \bar{X} = \mu + \alpha C \quad (2.2.30)$$

Donde  $C$ , es la constante de Euler, cuyo valor es:

$$C = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[ 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{n} - \ln(n) \right]$$

$$C = 0.57721566490153286061\dots$$

Por lo tanto, la ecuación (2.2.30), quedaría de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \mu + 0.5772156649\alpha \quad (2.2.31)$$

▪ **Varianza:**

$$E[(x - E(c))^2] = S^2 = \frac{\Pi^2 \alpha^2}{6} \quad (2.2.32)$$

De donde se obtiene:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\Pi} \cdot S = 0.779696801 \cdot S$$

Finalmente se obtiene la ecuación simplificada (2.2.33), para el cálculo de parámetros de la distribución Gumbel ( $\alpha$  y  $\mu$ ) en función de los parámetros  $\bar{X}$  y  $S$  de la muestra.

$$\mu = \bar{X} - 0.5772156649\alpha \implies \mu = \bar{X} - 0.45(S) \quad (2.2.33)$$

### 2.2.12. Estimación del Número de Curva

El número de curva para una área o sub cuenca discretizado para el caso de esta investigación, puede estimarse, haciendo uso de los cuadros 2.2 y 2.3, como una función de uso del terreno, tipo de terreno, y humedad antecedente de la cuenca. Para una cuenca que consiste de varias características de suelos y usos del mismo, el número de curva compuesto para tal situación se calcula con la expresión siguiente:

$$CN_{compuesto} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i CN_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.2.34)$$

Donde:

$NC_{compuesto}$ : Número de curva compuesto usado para los cálculos del volumen de escorrentía.

$i$ : Índice de subdivisiones de la cuenca, por uso uniforme del terreno y tipo de suelo.

$NC_i$  : Número de curva para la subdivisión  $i$ .

$A_i$  : Área de drenaje de la subdivisión  $i$ .

Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra, y se definen en cuatro grupos de suelos (Chow, 1994).

Cuadro 2.2: Grupo de Suelos Hidrológicos

---

**Grupo A:** Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento y limos agregados

**Grupo B:** Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.

**Grupo C:** Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

**Grupo D:** Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos

---

Fuente: Chow, Et al. (1994)

Cuadro 2.3: Número de curva por grupo de suelo hidrológico

Descripción de Cobertura	% Áreas impermeables	NC / G.S.H.			
		A	B	C	D
<b>Tipo de cobertura y condición hidrológica</b>					
Áreas Urbanas Completamente Desarrolladas Espacios abiertos (céspedes, parques, campos de golf, cementerios, etc.)					
Condición mala (Cubierta con grass < 50 %)		68	79	86	89
Condición regular (Cubierta con grass 50 % a 75 %)		49	69	79	84
Condición buena (Cubierta con grass > 50 %)		39	61	74	80
<b>Áreas Impermeables.</b>					
Estacionamientos pavimentados, techos y caminos de acceso.		98	98	98	98
<b>Calles y carreteras</b>					
Pavimentado con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Pavimentado: Zanjas abiertas		86	89	92	93
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89
<b>Áreas Urbanas del desierto Occidental:</b>					
Desierto natural (áreas permeables)		63	77	85	88
Desierto artificial		96	96	96	96
<b>Distritos Urbanos</b>					
Comercial y negocios	85 %	89	92	94	95
Industrial	72 %	81	88	91	93
<b>Distritos Residenciales por tamaño de lote promedio</b>					
500,00 m <sup>2</sup> ó menos (casas de ciudad)	65 %	77	85	90	92
1000,00 m <sup>2</sup>	38 %	61	75	83	87
1350,00 m <sup>2</sup>	30 %	57	72	81	86
2000,00 m <sup>2</sup>	25 %	54	70	80	85
4000,00 m <sup>2</sup>	20 %	51	68	79	84
8000,00 m <sup>2</sup>	12 %	46	65	77	82
<b>Áreas Urbanas en Desarrollo</b>					
Áreas nuevas en desarrollo (áreas permeables, sin vegetación)		77	86	91	94

Fuente (Sánchez, 2015)

### 2.2.13. Modelos Hidrológicos en la Transformación Lluvia-Escorrentía

Nanía (2003) en su Libro de Apunte de Clases, *métodos de transformación lluvia-escorrentía y de propagación de caudales*, afirma lo siguiente:

Una vez estudiado el régimen de precipitaciones de una cuenca, obtenido una lluvia de diseño asociada a un determinado periodo de retorno y estimado las pérdidas con alguno de los modelos disponibles, de manera tal de encontrar la lluvia neta o efectiva, el paso siguiente es transformar esa lluvia efectiva en escorrentía o caudal. (p. 01)

Nanía (2003, p.01) afirma que “esta transformación puede realizarse mediante diferentes métodos. El más popular es el hidrograma unitario, introducido por Sherman en los años 30, (...) también se pueden usar modelos basados en las ecuaciones del movimiento del fluido, especialmente en zonas urbanas.”

Si consideramos la cuenca hidrológica objeto de estudio como un sistema dinámico, el proceso que se produce en ella desde el enfoque de la dinámica de sistemas, sería la acción de una señal de entrada, la lluvia, que sufre una modificación debida a las características de la cuenca, proceso lluvia - escorrentía, para transformarse en una señal de salida como es el caudal. (Gómez, 2007) (p. 34)

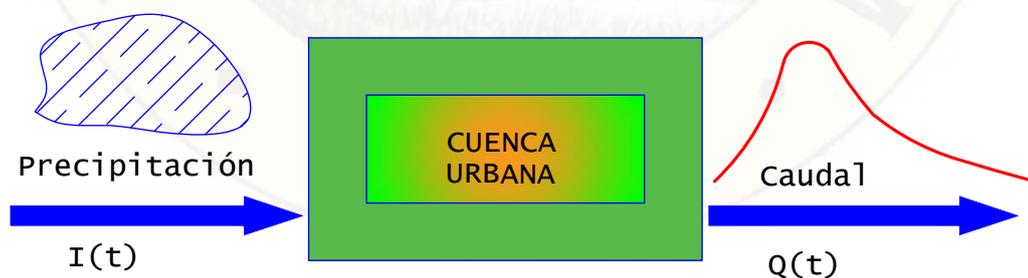


Figura 2.9: Comportamiento Hidrológico de una Cuenca

Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.13.1. Modelo de Onda Cinemática

“... El modelo de la Onda Cinemática se desarrolló en EEUU a mediados de los años 50, en los albores de la informática, por Lighthill y Whitham que propusieron simplificar al máximo la ecuación de equilibrio de fuerzas prescindiendo de los términos inerciales y presión... o que es lo mismo, que se parte de la hipótesis, que el flujo es uniforme y permanente... [Considerando] las ecuaciones de conservación de masa, equilibrio de fuerzas y conservación de la cantidad de movimiento.”(García, 2010)(p. 15).

*“ La aproximación basada en la denominada onda cinemática (considera como las fuerzas más importantes del movimiento del agua, la gravedad y la fricción)”,* asume que si analizamos el flujo en el plano inclinado, en un ancho unidad, el caudal unitario es proporcional al calado... Ya que la escorrentía del agua de lluvia sobre un plano, que aparece referenciada en ocasiones con el término de overland flow, puede describirse con ayuda de las ecuaciones del “flujo no permanente (Saint Venant)”(p. 126),...[por otro lado] la aproximación por “ onda cinemática... se basa en la utilización conjunta de una información topográfica de buena calidad y de suficiente detalle espacial”...y de una descripción matemática lo más precisa posible del movimiento del agua en la superficie de la cuenca. (Gómez, 2007).

“...[ Puesto que el modelo de la Onda Cinemática] se trata de un modelo físico al 100 %. El punto de partida son las ecuaciones completas de Saint Venant para flujo 1-D propuestas por él mismo en el año 1871”(García, 2010) (p. 15), para ello, según Gómez (2007). El concepto de superficie de la cuenca también sufre una ligera modificación: la superficie real con todo su conjunto de imperfecciones y obstáculos que presenta (irregularidades de las Calles, buzones, cabinas de teléfonos, árboles, etc.) es reducida a porciones de plano inclinado, definidos por una longitud de escorrentía superficial, un ancho del mismo, una inclinación y un coeficiente de rugosidad.

*“ Al mismo tiempo el modelo de onda cinemática del proceso lluvia-escorrentía ofrece la ventaja, sobre el método del hidrograma unitario, de que es una solución de las ecuaciones físicas que rigen en el flujo superficial”,* pero la solución es solamente para flujos

unidimensionales, mientras que el flujo superficial real en la cuenca es bidimensional ya que el agua sigue el contorno superficial del terreno, como consecuencia, los parámetros de Onda Cinemática, tales como el coeficiente de rugosidad de Manning, deben ajustarse para producir un hidrograma de salida realista. sostuvo (Chow, 1994).

### 2.2.13.2. Ecuaciones de Saint Venant

El flujo de agua a través del suelo y de los canales en una cuenca es un proceso distribuido porque el caudal, la velocidad y la profundidad varían en el espacio a través de la cuenca. Estimaciones de los caudales o niveles de agua en puntos importantes del sistema de canales pueden obtenerse utilizando un modelo de tránsito distribuido de crecientes. Este tipo de modelo está basado en ecuaciones diferenciales parciales (Ecuaciones de Saint Venant para flujo unidimensional) que permiten el cálculo de caudal y del nivel de agua como funciones del espacio y del tiempo... el cálculo del nivel de agua de una creciente es necesario porque este nivel delinea la planicie de inundación y determina la altura requerida por estructuras.(Chow, 1994)

*Los modelos de tránsito distribuido de crecientes pueden utilizarse para **describir la transformación de lluvia en escorrentía en una cuenca para producir el hidrograma de flujo a la salida de ésta**, y luego tomar este hidrograma como la información de entrada en el extremo de la corriente aguas arriba de un río o un sistema de tuberías y transitarlo hacia el extremo de la corriente aguas abajo (Chow, 1994)*

También las ecuaciones de Saint Venant están referidos a veces como ecuaciones de onda dinámica, y los modelos utilizados para resolver estas ecuaciones en forma completa se llaman los modelos de onda dinámica. También hay modelos simplificados reportados en la literatura en la que uno o más de los términos en la ecuación de momento se suprimen (Chaudhry, 2008).

la deducción de las ecuaciones de saint-venant considera las siguientes suposiciones.

- El flujo es unidimensional; la profundidad y la velocidad varían solamente en la dirección longitudinal del canal. Esto implica que la velocidad del agua es constante y

que la superficie del agua es horizontal en cualquier sección transversal perpendicular al eje longitudinal del canal

- Se supone que el flujo varía gradualmente a lo largo del canal, de tal manera que la presión hidrostática prevalece y las aceleraciones verticales pueden despreciarse
- El eje longitudinal del canal es aproximadamente una línea recta
- La pendiente del fondo del canal es pequeña y el lecho es fijo; es decir, los efectos de socavación y deposición son despreciables
- Los coeficientes de resistencia para flujo uniforme permanente turbulento son aplicables de tal forma que relaciones tales como la ecuación de Manning pueden utilizarse para describir los efectos de resistencia.
- El fluido es incompresible y de densidad constante a lo largo del flujo.

**Ecuaciones de Saint-Venant**(Chow, et. al, 1994)

*Ecuación de continuidad (Forma conservativa)*

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (2.2.35)$$

*Ecuación de momentum (Forma conservativa)*

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g (S_o - S_f) = 0 \quad (2.2.36)$$

Donde

$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t}$  : Término de aceleración local

$\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right)$  : Término de aceleración convectiva

$g \frac{\partial y}{\partial x}$  : Término de fuerza de presión.

$gS_o$  : Término de fuerza Gravitacional.

$gS_f$  : Término de fuerza de fricción.

Los modelos de onda dinámica emplean la ecuación en su forma completa. Los modelos de onda dinámica cuasi-estacionario simplifica la ecuación suprimiendo el término  $\frac{\partial Q}{\partial t}$ , la ecuación se simplifica aún más en los modelos de onda difusa porque se suprime el término  $\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right)$ . En los modelos de onda cinemática, la ecuación 2.2.36 se reduce a  $S_o = S_f$  (Chaudhry, 2008).

Lo que significa que para todo  $\Delta t$  y dentro de cada intervalo  $\Delta x$ , la superficie libre del agua es paralela al fondo de la superficie, lo que equivale a considerar localmente movimiento uniforme. (Aragón, 2013)

*Ecuación de continuidad simplificado para onda cinemática.*

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = i - f \quad (2.2.37)$$

*Ecuación simplificada de cantidad de movimiento o equilibrio de fuerzas.*

$$q = \alpha y^m \quad \rightarrow \quad q = \frac{y^{\frac{5}{3}} S_o^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (2.2.38)$$

Donde  $y$  es el calado,  $q$  el caudal unitario,  $i$  la lluvia en exceso,  $f$  las pérdidas por infiltración,  $\alpha$  y  $m$  son parámetros de la propagación de la onda que son directamente relacionados a las características del flujo. De esta forma, si comparamos la ecuación 2.2.38 con la fórmula de Manning obtenemos la ecuación 2.2.39:

$$\alpha = \frac{1}{n} S_o^{\frac{1}{2}} \quad (2.2.39)$$

Para Gómez (2007), la aproximación basada en la denominada onda cinemática (considera como las fuerzas más importantes del movimiento del agua, la gravedad y la fricción), asume que, si analizamos el flujo en el plano inclinado, en un ancho unidad, el caudal unitario es proporcional al calado.

$$\frac{\partial y}{\partial x} = 0 \rightarrow S_o = S_f \quad (2.2.40)$$

Donde

$S_o$ : es la pendiente del canal

$S_f$ : la pendiente de fricción.

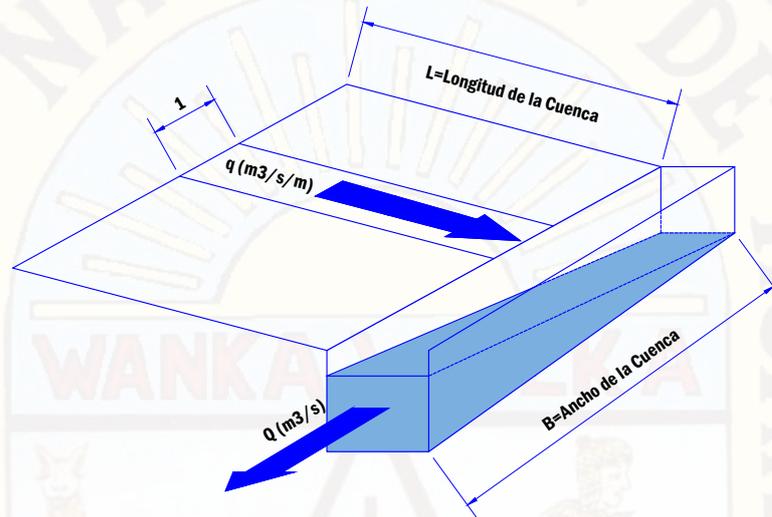


Figura 2.10: Perfil longitudinal del plano inclinado

Fuente: Chow, et al. 1994.

La solución de la ecuación, se realiza a través del esquema numérico en diferencias finitas, como se muestra en la figura 2.11

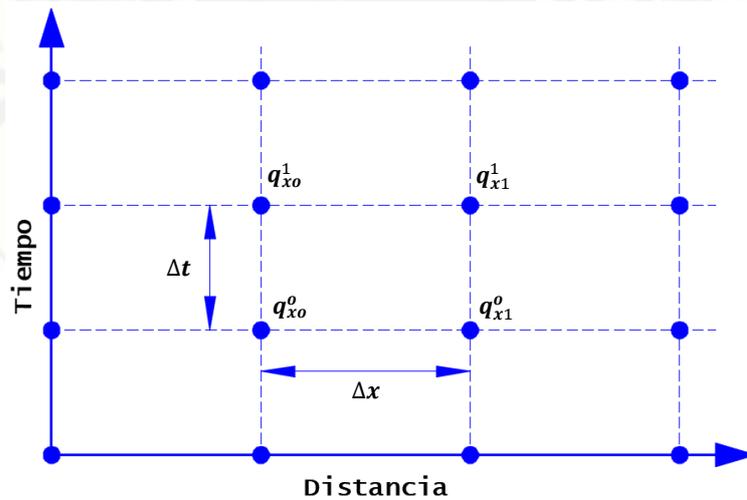


Figura 2.11: Esquema de solución para la onda cinemática

Fuente: Elaboración Propia

Discretización de la ecuación de *continuidad*, para la solución del esquema de la onda

cinemática, a partir de la ecuación 2.2.35 .

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (2.2.41)$$

Donde  $q$  se puede expresar en función de  $Q$  y  $B$ , y el área  $A$  en función de  $B$  y  $y$

$$q = \frac{Q}{B} \quad \wedge \quad A = By \quad (2.2.42)$$

Remplazando y ordenando las ecuaciones de 2.2.42 en 2.2.41 se obtiene:

$$B \frac{\partial q}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = q \rightarrow \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{q}{B} = (i - f) \quad (m/s; mm/s) \quad (2.2.43)$$

Donde

$q$ : Caudal de escorrentía por unidad de anchura.

$y$ : Altura de lámina de agua de escorrentía.

$i$ : Intensidad de precipitación.

$f$ : Tasa de infiltración.

Aplicando la derivada en la ecuación 2.2.38 (equilibrio de fuerzas), con respecto al calado  $y$ , queda en:

$$\frac{\partial q}{\partial y} = \frac{5 y^{\frac{2}{3}} S_o^{\frac{1}{2}}}{3 n} \quad (2.2.44)$$

La ecuación anterior previo multiplicacion del numerador y el denominador por el calado o altura del flujo  $y$  resulta:

$$\frac{\partial q}{\partial y} = \frac{5 y^{\frac{5}{3}} S_o^{\frac{1}{2}}}{3 y n} = \frac{5 q}{3 y} = \frac{5}{3} \nu = c \quad (2.2.45)$$

Donde:  $c$  es la celeridad con que se propaga un perturbación, en este caso una onda de caudal por efecto exclusivo de la gravedad y de fricción, por lo tanto combinando esta ecuación con la de continuidad, se obtiene:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + c \frac{\partial q}{\partial x} = c(i - f) \quad (2.2.46)$$

Que es una ecuación diferencial de primer orden en términos del caudal unitario  $q$ , considerando  $c = dx/dt$ , igual a la pendiente de una línea característica, se llega a que la derivada total de  $q$  en esa línea, es igual a la celeridad por diferencia entre la intensidad  $i$  y la tasa de infiltración  $f$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = c(i - f) \quad (2.2.47)$$

Para resolver la ecuación, recurrimos a esquemas numéricos en diferencias finitas, como el representado en la figura 2.12

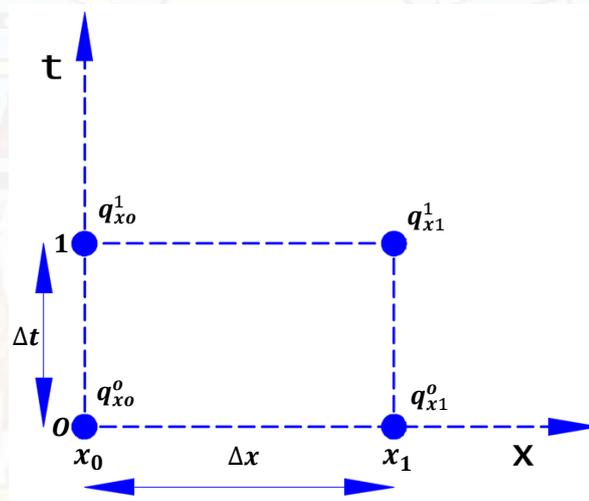


Figura 2.12: Esquema de solución de diferencias finitas

Fuente: Nanía, 2003

Utilizando el esquema de la figura 2.12, la ecuación del movimiento quedaría de la siguiente manera.

$$\frac{q_{x_1}^1 - q_{x_1}^0}{\Delta t} + c \frac{q_{x_1}^1 - q_{x_0}^1}{\Delta x} = c(i - f) \quad (2.2.48)$$

Para resolver esta ecuación es necesario proveerle de solo una condición de contorno, *la de aguas arriba*, es decir se toma un caudal nulo en el extremo aguas arriba del plano.

*“El caudal unitario  $q$  obtenido de la aplicación de esta metodología es el resultante en el extremo de aguas abajo del plano inclinado y será el que reciba, ... el colector de red de drenaje pluvial de la cuenca urbana.”* (Nanía, 2003)(p. 28)

Despejando el valor de ( $y$ ) de la ecuación 2.2.38, y esta remplazando en la ecuación de la celeridad ( $c$ ), se obtiene.

$$c = \frac{5}{3} q^{\frac{2}{5}} S_o^{\frac{3}{10}} n^{-\frac{3}{5}} \quad (2.2.49)$$

Y ésta a la vez se remplaza en la ecuación 2.2.48, obteniendo una ecuación final de la transformación lluvia escorrentía.

$$\frac{q_{x1}^1 - q_{x1}^0}{\Delta t} + \left[ \frac{5}{3} q^{\frac{2}{5}} S_o^{\frac{3}{10}} n^{-\frac{3}{5}} \right] \frac{q_{x1}^1 - q_{x0}^1}{\Delta x} = \left[ \frac{5}{3} q^{\frac{2}{5}} S_o^{\frac{3}{10}} n^{-\frac{3}{5}} \right] (i - f) \quad (2.2.50)$$

Resolviendo esta ecuación (2.2.50) para cada punto de cálculo, obtenemos la evolución de los caudales en el tiempo y en el espacio.

Para ello se recurre a métodos numéricos como, métodos iterativos de Newton-Raphson.

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)} \quad (2.2.51)$$

### 2.2.13.3. Hidrograma Unitario Sintético.

Nanía (2003), sostiene que, el hidrograma unitario calculado a partir de la información de lluvia y caudal de una cuenca se aplica solamente a la cuenca y al punto del cauce en donde se midieron los caudales. (p. 10)

Además, los hidrogramas unitarios sintéticos se utilizan para calcular hidrogramas unitarios en otros puntos del cauce dentro de la misma cuenca, o bien, en cuencas adyacentes de carácter similar. Para ellos existen tres tipos de hidrogramas unitarios sintéticos. (p. 10)

1. Los que relacionan las características del hidrograma unitario con las características de la cuenca (Snyder, Gray)

2. Los basados en hidrogramas unitarios adimensionales (SCS)
3. Los basados en modelos de almacenamiento y tránsito de la cuenca (Clark)

De los cuales, la segunda opción es el más utilizado, el hidrograma unitario Adimensional (SCS)

La metodología desarrollada por el Servicio de Conservación del Suelos-SCS (hoy Servicio de Conservación de Recursos Naturales de Estados Unidos - NRCS) ocupa un lugar en el “diseño hidrológico” por su practicidad, capacidad operativa y aceptables resultados, a medida que ha sido usada con más frecuencia y en un mayor número de escenarios. Los primeros trabajos del SCS se refieren principalmente a áreas cultivadas, luego se ha extendido a áreas naturales y urbanas. Sánchez (2015)(p. 41)

#### 2.2.13.4. Hidrograma Adimensional del SCS.

Chow (1994) afirma que, el hidrograma adimensional del SCS es un hidrograma unitario sintético en el cual los caudales se expresan en función del caudal pico,  $q_p$  y los tiempos en función del tiempo al pico,  $T_p$  figura 2.13 (a). Los valores de  $q_p$  y  $T_p$  se estiman basándose en el hidrograma unitario triangular del SCS, figura 2.13 (b).

Basándose en una gran cantidad de hidrogramas unitarios, el SCS sugiere que el tiempo de recesión puede aproximarse a  $1,67T_p$ . Como el área del hidrograma es igual a 1 cm, se demuestra que. Basándose en una gran cantidad de hidrogramas unitarios, el SCS sugiere que el tiempo de recesión puede aproximarse a  $1,67 T_p$ . Como el área del hidrograma es igual a 1 cm. (Nanía, 2003)(p. 14)

$$q_p = \frac{2.08A}{T_p} \quad (2.2.52)$$

Donde

$q_p$  : Caudal pico [m<sup>3</sup>/s·cm]

$A$  : Área de drenaje [km<sup>2</sup>]

$T_p$  : Tiempo al pico [hs]

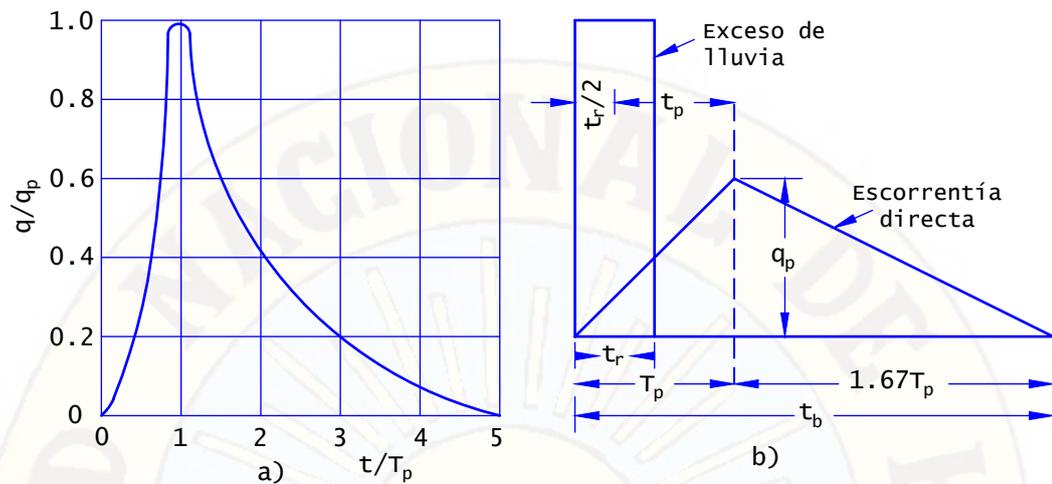


Figura 2.13: a) Hidrograma Adimensional de SCS y b) Hidrograma Unitario Triangular  
Fuente: Chow, et al. 1994

El tiempo de ocurrencia del pico (también conocido como el tiempo de levantamiento), se relaciona a la duración de la unidad de exceso de precipitación como: (Chow, et al. 1994)

$$T_p = \frac{T_r}{2} + T_p \quad (2.2.53)$$

Donde:

$T_p$ : Duración de la lluvia efectiva

$T_r$ : Tiempo de retardo

El tiempo de retardo es considerado como el tiempo transcurrido entre la ocurrencia de una precipitación unitaria y la ocurrencia de una escorrentía unitaria. El SCS sugiere que el tiempo de retardo del HU,  $t_r$  se relaciona con el tiempo de concentración,  $t_c$ . (Sánchez, 2015)(p. 42)

$$t_r = 0.6t_c \quad (2.2.54)$$

### 2.2.14. Propagación de Caudales

Se denomina propagación de caudales al procedimiento a través del cual se puede determinar el hidrograma de caudal en un punto de un curso de agua utilizando hidrogramas conocidos en uno o más puntos aguas arriba. Dicho procedimiento puede aplicarse a

sistemas agregados o distribuidos. Cuando se aplica a sistemas agregados, el flujo se calcula como una función del tiempo en un lugar en particular, lo que también se conoce como propagación hidrológica. Cuando se aplica a sistemas distribuidos, el flujo se calcula como una función del espacio y del tiempo a través del sistema, lo que se conoce también como propagación hidráulica. (Nanía, 2003) (p. 30)

En la presente investigación como tema complementario se menciona la *propagación hidráulica ó sistemas distribuidos*

### 2.2.14.1. Propagación distribuida o hidráulica

Nanía (2003) Indica que los métodos hidráulicos de propagación se basan en la resolución de las ecuaciones de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento para flujo no permanente unidimensional, también conocidas como ecuaciones de *Saint-Venant*. La ecuación de conservación de la masa o de continuidad está dada, en su forma no conservativa, es decir, para un ancho unitario de flujo, por: (p. 43)

$$V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (2.2.55)$$

y la ecuación de la cantidad de movimiento, también en forma no conservativa, que expresa la conservación:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g (S_o - S_f) = 0 \quad (2.2.56)$$

En ambas ecuaciones:

$V$  : Velocidad media del flujo en una sección transversal.

$y$  : Calado o nivel de agua en dicha sección.

$g$  : Aceleración gravitatoria.

$S_o$  : Pendiente de fondo del tramo de cauce considerado.

$S_f$  Pendiente de fricción de dicho tramo de cauce.

$x$  y  $t$ : Son variables independientes, el espacio y el tiempo, respectivamente.

Las hipótesis que se tienen en cuenta para la validez de las ecuaciones de Saint-Venant son las siguientes:

1. El flujo es unidimensional: el calado y la velocidad varían sólo en la dirección longitudinal; la velocidad es constante y la superficie del agua horizontal en cualquier sección transversal perpendicular al eje del cauce.
2. El flujo varía gradualmente a lo largo del canal, lo que implica que la distribución de presiones es hidrostática y que las aceleraciones verticales son despreciables.
3. El eje del cauce es una línea recta.
4. La pendiente del fondo es pequeña y el lecho es fijo, lo que implica que no hay erosión ni sedimentación.
5. Los coeficientes de resistencia para flujo uniforme permanente turbulento son aplicables, por ejemplo, se utiliza la ecuación de Manning para describir el efecto de la resistencia.
6. El fluido es incompresible y de densidad constante.

Cada uno de los términos con los que cuenta la ecuación de cantidad de movimiento, en su forma *no conservativa* tiene en cuenta alguno de los procesos físicos que gobiernan el movimiento del fluido:

$$\underbrace{\frac{\partial V}{\partial t}}_{\text{Aceleración-local}} + \underbrace{V \frac{\partial V}{\partial x}}_{\text{Aceleración-Convectiva}} + \underbrace{g \frac{\partial y}{\partial x}}_{\text{Fuerza-Presión}} - \underbrace{g S_o}_{\text{Fuerza-Gravedad}} - \underbrace{g S_f}_{\text{Fuerza-Fricción}} = 0$$

(2.2.57)

Aceleración local: variación de cantidad de movimiento debido al cambio de velocidad con el tiempo.

Aceleración convectiva: variación de cantidad de movimiento debido al cambio de velocidad a lo largo del canal.

Fuerza de presión: variación en la presión producida por un cambio en la profundidad

del agua.

Fuerza de gravedad: fuerza que mueve al fluido, proporcional a su peso y a la pendiente del lecho.

Fuerza de fricción: resistencia a la fricción ocasionada por las paredes del cauce.

La clasificación de los modelos de propagación distribuida se realiza en función del número de términos de la ecuación de la cantidad de movimiento que se utilizan para el cálculo.

El modelo de la **onda cinemática** desprecia los términos de aceleración y el de presión, por lo que la ecuación de la cantidad de movimiento quedaría como:

$$S_o = S_f \quad (2.2.58)$$

El modelo de la **onda difusiva** desprecia los términos de aceleración y la ecuación de la cantidad de movimiento queda:

$$\frac{\partial y}{\partial x} - S_o + S_f = 0 \quad (2.2.59)$$

Finalmente, el modelo de la **onda dinámica** considera todos los términos de la ecuación.

La ecuación de conservación de cantidad de movimiento puede escribirse también en formas que tienen en cuenta si el flujo es permanente o no permanente y uniforme o variable.

$$-\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial y}{\partial x} + S_o = S_f \quad (2.2.60)$$

El modelo de **onda cinemática**, significa que el **flujo es uniforme y permanente** a lo largo del canal.

#### 2.2.14.2. Propagación mediante el modelo de la onda cinemática

En virtud del anteriormente, se puede mencionar en el modelo de la onda cinemática, a través de la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento queda, lo cual quedaría expresado de la siguiente manera:

$$S_o = S_f$$

Donde  $S_o$  es la pendiente del fondo del canal en el tramo considerado, calculable a partir de información topográfica,  $S_f$  es la pendiente de fricción o de la línea de energía del fluido, calculable a partir de alguna fórmula de resistencia, como el mas considerado sería la de Manning.

Si expresamos la velocidad media del flujo a través de la ecuación de Manning, el caudal quedaría igual a:

$$Q = AV = A \frac{R_h^{2/3} S_o^{1/2}}{n} = A^{5/3} \frac{S_o^{1/2}}{nP^{2/3}} \quad (2.2.61)$$

Donde A es el área de la sección transversal y P es el perímetro mojado. Despejando A, tenemos:

$$A = \left[ \frac{nP^{2/3}}{S_o^{1/2}} \right]^{3/5} Q^{3/5} = \alpha Q^\beta \quad (2.2.62)$$

Donde:

$$\alpha = \left[ \frac{nP^{2/3}}{S_o^{1/2}} \right]^{3/5}$$

$$\beta = 3/5$$

Si derivamos A con respecto al tiempo, nos queda:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \alpha \beta Q^{\beta-1} \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (2.2.63)$$

que sustituyendo en la ecuación de la continuidad en forma conservativa:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Reaulta:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \alpha \beta Q^{\beta-1} \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad (2.2.64)$$

Las ondas cinemáticas son resultado de cambios en el caudal,  $Q$ . La derivada total del caudal con respecto al espacio,  $x$ , es igual a:

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial x} \quad (2.2.65)$$

Comparando esta ecuación con la de la continuidad en su forma conservativa, vemos que son idénticas, si:

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \quad \wedge \quad \frac{dx}{dt} = \frac{1}{\alpha\beta Q^{\beta-1}}$$

Con lo que queda demostrado:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial A} = c_k \quad (2.2.66)$$

que es la celeridad de la onda cinemática. Esto significa que un observador moviéndose a una velocidad  $c_k$ , vería que  $dQ/dx = 0$ , es decir, que el caudal es constante. Estas dos últimas ecuaciones son las **ecuaciones características** para una onda cinemática, es decir, dos ecuaciones diferenciales ordinarias que son matemáticamente equivalentes a las ecuaciones de la continuidad y de la cantidad de movimiento. (Nanía, 2003)

Si derivamos el caudal,  $Q$ , con respecto al área,  $A$ , utilizando la ecuación de Manning, considerando  $n$ ,  $S_o$  y  $P$  constantes, lo que es aproximadamente cierto cuando se trata de cauces mucho más anchos que profundos, podemos encontrar que la celeridad,  $c_k$  es igual a:

$$c_k = \frac{dQ}{dA} = \frac{5}{3} \left[ \frac{S_o^{1/2}}{nP^{2/3}} \right] A^{2/3} \frac{A}{A} = \frac{5}{3} \left[ \frac{S_o^{1/2}}{nP^{2/3}} \right] \frac{A^{5/3}}{A} = \frac{5Q}{3A} = \frac{5}{3}V \quad (2.2.67)$$

Es decir, que la celeridad de la onda cinemática es superior a la velocidad media del flujo y utilizando la ecuación de Manning, igual a 5/3 la velocidad media del flujo.

### Solución analítica de la onda cinemática

Nanía (2003) en su Libro de Apunte de Clases, *métodos de transformación lluvia-escorrentía y de propagación de caudales*, afirma lo siguiente:

Para resolver el valor de  $Q$  en función del tiempo, a una distancia  $L$  del extremo aguas arriba del cauce, es necesario conocer las condiciones iniciales, es decir, el valor de  $Q$  en todo punto del espacio para  $t = 0$  y las condiciones de contorno, es decir, el valor de  $Q$  en todo instante de tiempo para  $x = 0$ . Las condiciones iniciales podrían ser las de un caudal base uniforme a todo lo largo del cauce analizado en el instante  $t = 0$  y las condiciones de contorno podrían ser las de un hidrograma de entrada en el extremo aguas arriba del cauce, en el punto  $x = 0$ . (p. 46)

Las ecuaciones características nos dicen que  $dQ/dx = 0$ , es decir, que el caudal es constante si nos movemos a una velocidad igual a la celeridad de la onda:

$$c_k = \frac{dx}{dt} \quad (2.2.68)$$

Lo que se puede esquematizar en la figura 2.14

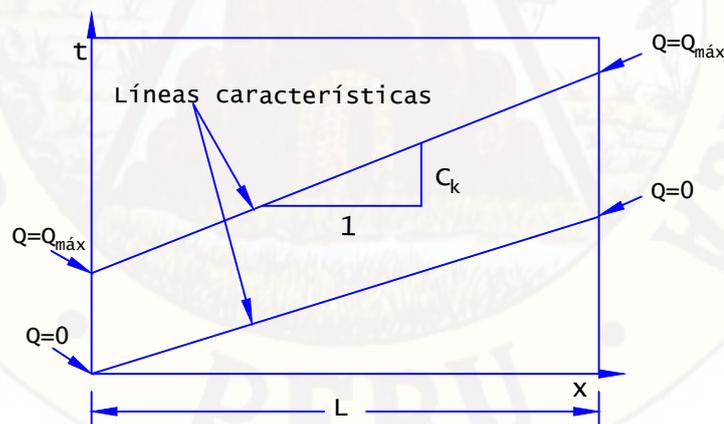


Figura 2.14: Tránsito de una onda cinemática a lo largo de un cauce de longitud  $L$ .

Fuente: Nanía, 2003

Quiere decir, que en el modelo de la onda cinemática el caudal no se atenúa nunca. Si integramos la ecuación de la celeridad a todo lo largo del cauce, nos queda:

$$\int_0^L dx = \int_{t_o}^t c_k dt \implies L = c_k (t - t_o) \quad (2.2.69)$$

Luego el tiempo en el cual un caudal  $Q$  transitará desde el extremo aguas arriba del cauce hasta el extremo aguas abajo será:

$$t = t_o + \frac{L}{c_k} \quad (2.2.70)$$

En este caso particular las líneas características son rectas debido a que se ha considerado que el caudal no varía a lo largo del tramo del cauce, pero si existiera un caudal lateral de entrada o salida, estas líneas serían curvas (Nanía, 2003).

### Solución numérica lineal para la onda cinemática

La solución numérica para la onda cinemática consiste en resolver numéricamente, en cada uno de los puntos de una malla  $x - t$ , la ecuación:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha \beta Q^{\beta-1} \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad (2.2.71)$$

para los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  en un canal y las condiciones iniciales y de contorno. Se utilizan las aproximaciones por diferencias finitas, para solucionar el flujo en una malla  $x - t$  tal como se puede apreciar en la figura 2.15, entonces, la ecuación anterior se expresa como sigue:

$$\frac{Q_{x1}^1 - Q_{xo}^1}{\Delta x} + \alpha \beta \left[ \frac{Q_{xo}^1 - Q_{x1}^0}{2} \right]^{\beta-1} \left[ \frac{Q_{x1}^1 - Q_{x1}^0}{2} \right] = 0 \quad (2.2.72)$$

en la cual se calcularía el valor de  $Q_{x1}^1$  en función de los valores conocidos, bien de las condiciones iniciales y de contorno o también de los valores obtenidos en instantes de tiempo y espacio,  $Q_{x1}^0$  y  $Q_{xo}^1$ .

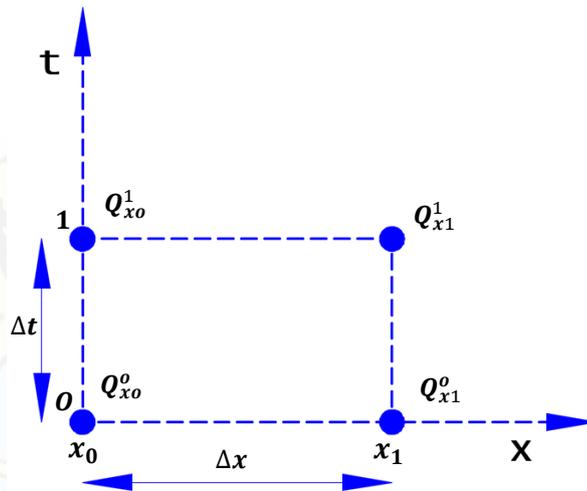


Figura 2.15: Esquema en diferencias finitas para resolver la ecuación de la onda cinemática

Fuente: Nanía, 2003

El esquema de diferencias finitas antes mencionado, se denomina diferencias finitas hacia atrás y requiere para ser resuelto sólo los valores de aguas arriba. Por tal razón, el modelo es insensible a la influencia del flujo aguas abajo. A este esquema también se le denomina explícito, debido que cada valor de la incógnita  $Q_{x_1}^1$  es calculado uno a uno en cada punto de la malla, y su valor quedaría de la siguiente manera: (Nanía, 2003)

$$Q_{x_1}^1 = \frac{\left[ \frac{\Delta t}{\Delta x} Q_{x_0}^1 + \alpha \beta Q_{x_1}^o \left[ \frac{Q_{x_0}^1 + Q_{x_1}^o}{2} \right]^{\beta-1} \right]}{\left[ \frac{\Delta t}{\Delta x} + \alpha \beta \left[ \frac{Q_{x_0}^1 + Q_{x_1}^o}{2} \right]^{\beta-1} \right]} \quad (2.2.73)$$

Para que un esquema explícito sea estable, el tamaño de la malla de cálculo debe cumplir en todo momento con la condición de Courant-Friedrichs, que es necesaria pero no suficiente y está dada por:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{c_k} \quad (2.2.74)$$

### 2.2.15. Drenaje pluvial en medio urbano

El análisis de la escorrentía de aguas pluviales es un aspecto importante de todo proyecto de desarrollo urbano. La seguridad del tránsito de vehículos y peatones dentro del medio urbano, depende del drenaje superficial. Un diseño de drenaje adecuado puede eliminar,

o al menos minimizar los riesgos,...Para las calles con bordes y cunetas, la escorrentía es recogida y transportada por un sistema de drenaje compuesto de entradas y salidas a través de redes de drenaje pluvial. La provisión de un número suficiente de entradas es la clave para la eliminación efectiva de las aguas pluviales desde los pavimentos.(Hormoz, 2011)

### 2.2.15.1. Flujo en el canal o cuneta

La capacidad hidráulica de una cuneta depende de su geometría y la pendiente longitudinal. La aplicación de la ecuación de Manning a una cuneta de forma triangular, que es una sección típica.

$$Q = \frac{K}{n} S_x^{5/3} S^{1/2} T^{8/3} \implies K = 0.375 \quad (2.2.75)$$

dónde

$S$ : Pendiente longitudinal (m/m).

$S_x$ : Pendiente transversal (m/m).

$T$ : Espejo de flujo(m).

$Q$ : Tasa de descarga (m<sup>3</sup>/s).

Expresando  $Q$  en términos de la profundidad  $d$  del flujo en la acera:

$$Q = \left( \frac{K}{n} \right) \left[ \frac{S^{1/2}}{S_x} \right] d^{8/3} \quad (2.2.76)$$

### 2.2.15.2. Sumideros y rejillas

Los métodos para evaluar la capacidad de captación de los sumideros, como se muestra en las figuras 2.16, 2.17 y 2.18, difieren dependiendo de, si la entrada está ubicada en una pendiente continua o en un plano.

La capacidad de intercepción de una rejilla de captación, en un grado continuo depende de la profundidad del flujo, el tamaño y la configuración de la rejilla, y la velocidad aproximada del flujo.(Durrans y Dietrich, 2003)

La Administración Federal de Carreteras (FHWA) de Estados Unidos, ha desarrollado una serie de diseños de rejillas estandarizados, como se puede apreciar en las figuras 2.19, 2.20 y 2.21 que son los mas usuales en un medio urbano. Estas rejillas se pueden usar con secciones de canal uniformes o compuestas, o en el fondo de un canal como una zanja mediana o una zanja a los bordes de una vía.

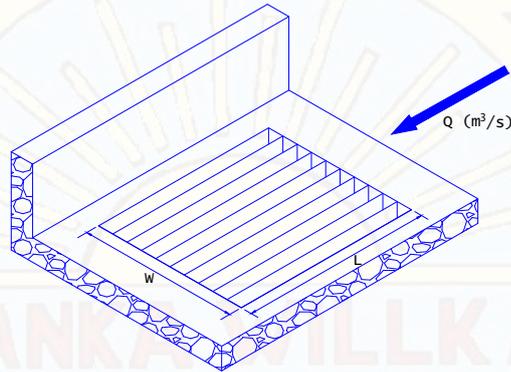


Figura 2.16: Sumidero de cuneta

Fuente: Durrans y Dietrich, 2003

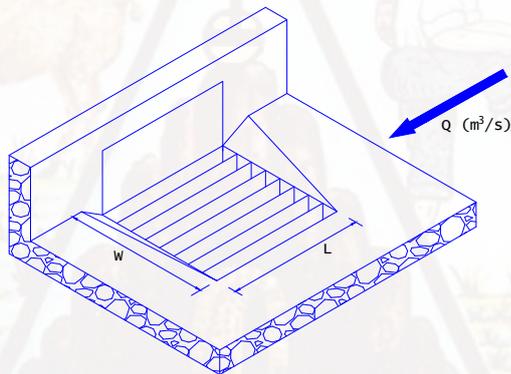


Figura 2.17: Sumidero tipo mixto

Fuente: Durrans y Dietrich, 2003

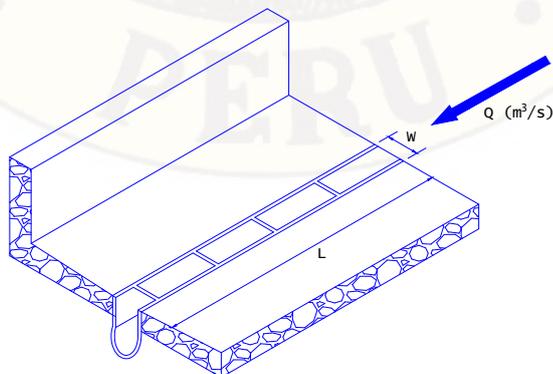


Figura 2.18: Sumidero tipo ranurado

Fuente: Durrans y Dietrich, 2003

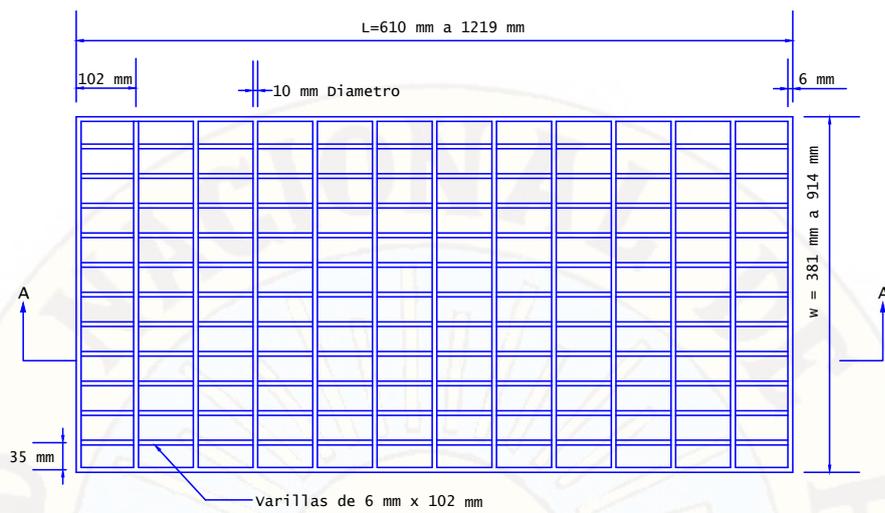


Figura 2.19: Rejilla tipo P-50 x 100

Fuente: Durrans y Dietrich, 2003

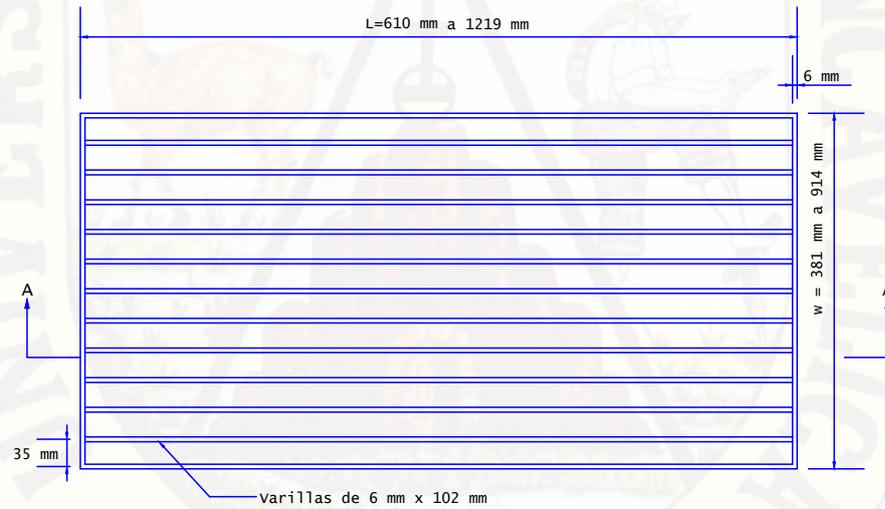


Figura 2.20: Rejilla tipo P-50

Fuente: Durrans y Dietrich, 2003

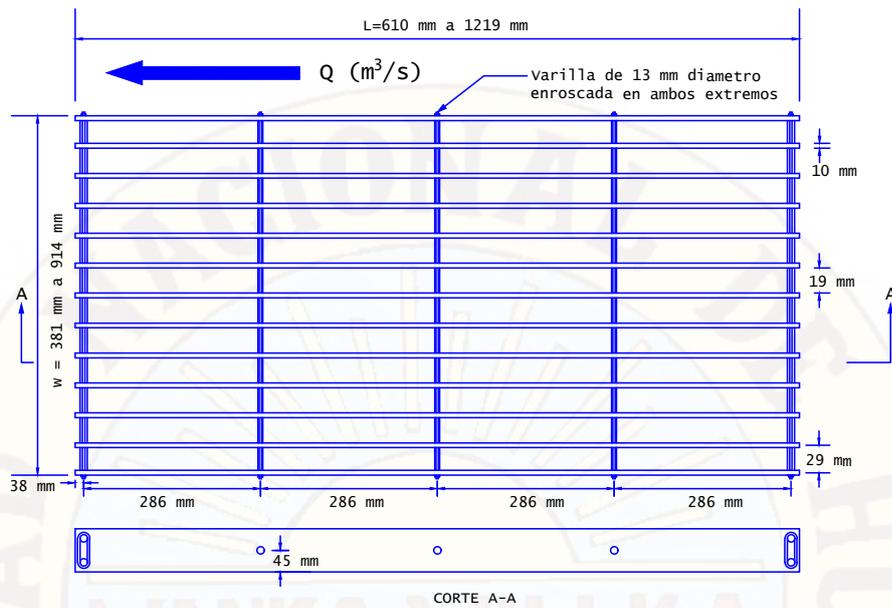


Figura 2.21: Rejilla tipo P-30

Fuente: Durrans y Dietrich, 2003

Según Durrans y Dietrich (2003), el análisis de la capacidad de interceptación de una rejilla en una pendiente continua requiere la determinación del flujo frontal,  $Q_w$ , que es la descarga en la canaleta sobre el ancho  $W$  de la rejilla, y el flujo lateral  $Q_s$ , que es la descarga en el canal por encima del ancho de la rejilla. Si la sección del canal es uniforme, la relación  $E_o$  del flujo frontal entre el flujo total está dada por.

$$E_o = 1 - \left[ 1 - \frac{W}{T} \right]^{2.67} \quad (2.2.77)$$

En una sección de canal compuesto, el ancho de la rejilla es casi igual al ancho de la depresión del canal (punto de sumidero). Por lo tanto, la relación  $E_o$  para el canal compuesto cuando el margen es mayor que el ancho de la rejilla se determina usando la ecuación 2.2.78.

$$E_o = \left[ 1 + \frac{S_w/S_x}{\left[ 1 + \frac{S_w/S_x}{(T/W)^{-1}} \right]^{8/3} - 1} \right]^{-1} \quad (2.2.78)$$

Dónde:

$E_o$  = Relación del flujo frontal al flujo total del canal ( $Q_w/Q$ )

$S_w$  = Pendiente transversal de la parte de depresión del canal

$S_x$  = Pendiente transversal de la porción del canal sobre la depresión del canal

$T$  = Espejo de agua (m)

$W$  = Ancho de la rejilla (m)

Para una sección de canal compuesta que tiene un ancho de rejilla más pequeño que el ancho de la zona de depresión,  $E_o$  primero se calcula usando la ecuación 2.2.78, asumiendo que el ancho  $W$  total es igual al ancho de la zona de depresión.

Luego el valor ajustado  $E'_o$  se calcula usando la ecuación 2.2.79. Este valor ajustado se debe usar en lugar de  $E_o$  para las ecuaciones 2.2.80 y 2.2.88

$$E'_o = E_o \left[ \frac{A'_w}{A_w} \right] \quad (2.2.79)$$

Dónde:

$E'_o$  = relación ajustada del área de flujo frontal para rejillas en secciones compuestas

$A'_w$  = área de sección transversal de la cuneta para el ancho de la rejilla ( $m^2$ )

$A_w$  = área de sección transversal del flujo en la zona de depresión de la cuneta ( $m^2$ )

Una vez conocido  $E_o$  ó  $E'_o$ , el flujo en la cuneta y el flujo lateral que se acerca a la rejilla, están dadas por las siguientes ecuaciones.

$$Q_w = E_o Q \quad (2.2.80)$$

$$Q_s = (1 - E_o) Q \quad (2.2.81)$$

El flujo frontal interceptado por la rejilla, está denotado por  $(Q_w)_{int}$ .

$$(Q_w)_{int} = R_f Q_w \quad (2.2.82)$$

Dónde:

$$R_f = 1 - K_c (V - V_o); Si \implies V \geq V_o \quad (2.2.83)$$

$$R_f = 1; Si \implies V \leq V_o \quad (2.2.84)$$

Dónde:

$K_c = 0.295$  (Sistema Internacional de Unidades)

$V = Q/A$  Velocidad del flujo en el canal (m/s)

$V_o =$  Velocidad de resalto sobre la rejilla (m/s)

Tener en cuenta que  $R_f$  no puede ser **mayor que uno ni menor que cero**.  $V_o$  está definido como la velocidad mínima en la que parte del agua del flujo comenzará a saltar sobre toda la longitud de la rejilla sin ser interceptado, esta velocidad depende del tipo de rejilla y longitud en la dirección del flujo,  $V_o$  y  $R_f$  se puede determinar a partir de la figura 2.22 .

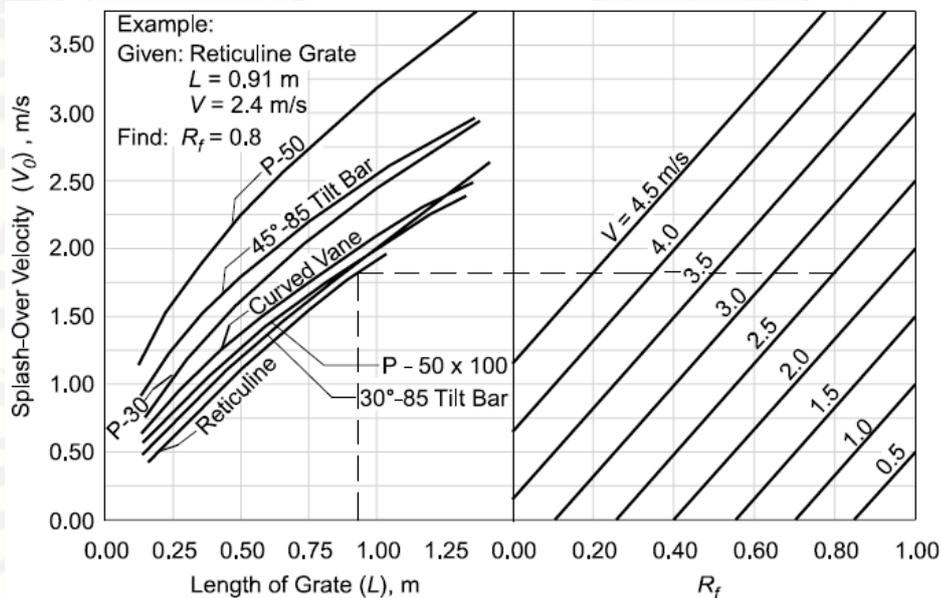


Figura 2.22: Gráfico para determinar  $V_o$  y  $R_f$  para tipos comunes de rejilla

Fuente: Durrans y Dietrich, 2003

El flujo lateral interceptado por una rejilla de captación en un grado continuo, está denotado por  $(Q_s)_{int}$ .

$$(Q_s)_{int} = R_s Q_s \quad (2.2.85)$$

Dónde:

$$R_s = \left[ 1 + \frac{K_s V^{1.8}}{S_x L^{2.3}} \right]^{-1} \quad (2.2.86)$$

$K_s = 0.0828$  (Sistema Internacional de Unidades)

$S_x$  = Pendiente transversal de la vía

$L$  = Longitud de la rejilla

Tener en cuenta que  $R_s$  calculada por la ecuación 2.2.86 siempre será menor que uno, y, por lo tanto, parte del flujo lateral siempre pasará por encima de la rejilla, en una pendiente continuo, independientemente de la velocidad de flujo o la longitud de entrada. Esta es una deficiencia de la ecuación, pero no es de gran preocupación para fines prácticos. (Durrans y Dietrich, 2003)(p.388)

La combinación de las ecuaciones anteriores, da la descarga total interceptada por una rejilla de captación

$$R_{int} = (Q_w)_{int} + (Q_s)_{int} = R_f Q_w + R_s Q_s = Q [R_f E_o + R_s (1 - E_o)] \quad (2.2.87)$$

Por lo tanto la eficiencia de la captación quedaría:

$$E = R_f E_o + R_s (1 - E_o) \quad (2.2.88)$$

### 2.2.15.3. Capacidad de una rejilla ranurado

La entrada de una rejilla en una ubicación de depresión se comporta hidráulicamente como un vertedero a pequeñas profundidades de encharcamiento y como un orificio a grandes profundidades. La profundidad a la que se produce la transición del comportamiento del vertedero al orificio depende del espaciado de la barra de la rejilla y dimensiones generales. (Durrans y Dietrich, 2003)

La longitud del perímetro de la abertura de la rejilla es la variable de rendimiento crítico cuando la entrada se comporta como un vertedero. Por lo tanto la capacidad de una rejilla que **funciona como vertedero** se puede estimar como:

$$Q = C_w P d^{3/2} \quad (2.2.89)$$

Dónde:

$Q$ : Capacidad de rejilla que funciona como vertedero.

$C_w$ : Coeficiente de vertedero.

$P$ : Longitud efectivo del perímetro de la rejilla.

$d$ : Profundidad promedio del flujo.

Cuando se coloca un borde en la entrada de una rejilla, la longitud de ese borde debe descartarse al calcular el valor de  $P$ . Por lo tanto la capacidad de una rejilla que **funciona como orificio** se puede estimar como:

$$Q = 0.67A_g (2gd)^{1/2} \quad (2.2.90)$$

Dónde:

$Q$ : Capacidad de rejilla que funciona como orificio.

$A_g$ : Área de la ranura libre de la rejilla.

$g$ : Aceleración debido a la gravedad.

El área de abertura de una rejilla utilizada en la ecuación 2.2.90 es igual al área total de la rejilla menos el área ocupada por las barras longitudinales y transversales cuando se proyecta en un plano horizontal.

Para los problemas de diseño en los que se determinan las dimensiones de entrada requeridas, se debe utilizar el mayor de los tamaños obtenidos al resolver las dos ecuaciones 2.2.89 y 2.2.90.

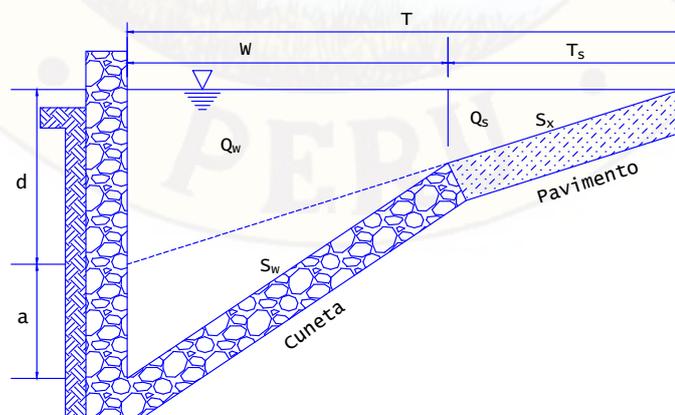


Figura 2.23: Sección transversal de una cuneta

Fuente: Durrans y Dietrich, 2003

Dónde:

$T$ : Espejo de agua (m)

$S_x$ : Pendiente de sección transversal del pavimento(m/m)

$S_w$ : Pendiente de sección transversal de la cuneta (m/m)

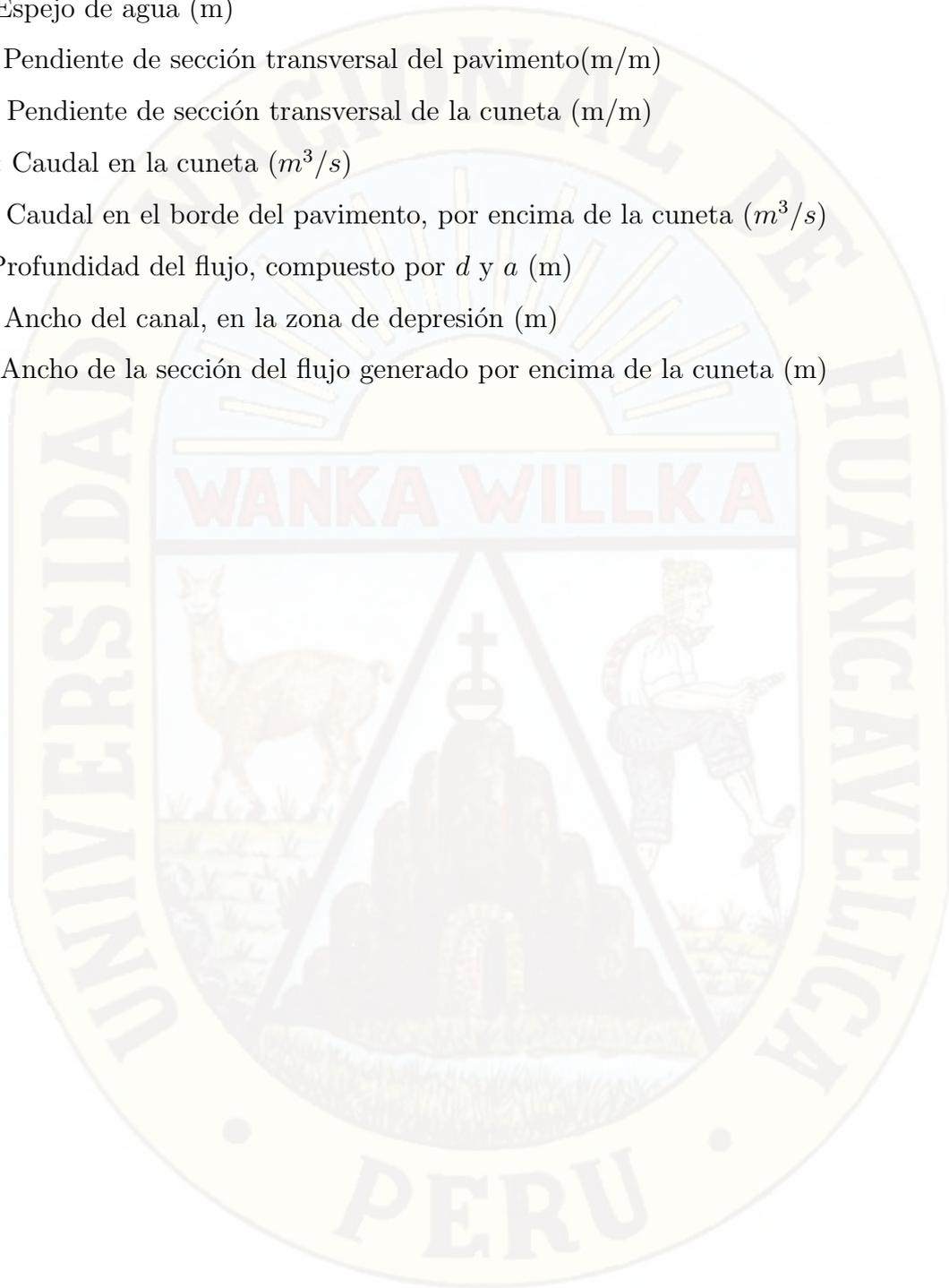
$Q_w$ : Caudal en la cuneta ( $m^3/s$ )

$Q_s$ : Caudal en el borde del pavimento, por encima de la cuneta ( $m^3/s$ )

$y$ : Profundidad del flujo, compuesto por  $d$  y  $a$  (m)

$W$ : Ancho del canal, en la zona de depresión (m)

$T_s$ : Ancho de la sección del flujo generado por encima de la cuneta (m)



## 2.3. Hipótesis

### Hipótesis General

Los caudales de precipitación tienen un efecto negativo en el drenaje pluvial de la ciudad de Huancavelica.

### Hipótesis Específicos

- Los caudales de precipitación tienen un efecto negativo en la dimensión de los hidrogramas de escorrentía en el drenaje pluvial de la ciudad de Huancavelica.
- Los caudales de precipitación tienen un efecto negativo en la dimensión del Manejo Adecuado de las aguas pluviales en el drenaje pluvial de la ciudad de Huancavelica.

## 2.4. Definición de términos

**Cuenca:** La cuenca (o cuenca hidrográfica) es la unidad espacial de referencia en la ciencia de la hidrología. Se define como el área de drenaje de un lago o río y sus afluentes, y que está separada de otras cuencas mediante divisiones de drenaje. Musy y Higy (2010).

**Cuenca hidrográfica:** es el territorio en el que las aguas convergen hacia los puntos más bajos de la superficie del mismo y se une en una corriente resultante o río principal. (Saltav, 1975).

**Cuenca hidrológica:** se define como la unidad del territorio, normalmente delimitada por un parteaguas o divisoria de las aguas.

**Parteaguas:** Línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa dos cuencas adyacentes. (Breña y Jacobo, 2006).

**Área de la cuenca:** Es la proyección del parteaguas a un plano horizontal, caracterizándose así el tamaño de la cuenca. (Breña y Jacobo, 2006).

**Hietograma:** El Hietograma es la representación en barras de la variación de la altura de lluvia o de la intensidad de la lluvia en el tiempo. (Breña y Jacobo, 2006).

**Hidrograma:** Es una representación gráfica o tabular de la variación en el tiempo de los gastos que escurren por un cauce. (Breña y Jacobo, 2006)

**Conservación de masa:** La ley de conservación implica que los caudales volumétricos en las secciones transversales son iguales. (Es decir, la densidad de masa del líquido es constante.) Chaudhry (2008)

**Ecorrentía:** La escorrentía es la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje.

**Precipitación:** Es la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo).

**Tormenta:** Se entiende por tormenta al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas.

**Intensidad:** Es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo.

**Duración:** Es el tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta

**Frecuencia:** Es el número de veces que se repite una tormenta de características de intensidad y duración definidas en un período de tiempo más o menos largo, tomado generalmente en años.

**Tormenta de diseño:** Se define una tormenta de diseño como un patrón de precipitación para ser usado en el diseño de un sistema hidrológico.

## 2.5. Definición Operativa de Variables e Indicadores

- **Variable Independiente:**

Caudales de precipitación

- **Variable dependiente:**

Drenaje Pluvial

Cuadro 2.4: Definición operativa de variables e indicadores

<b>Caudales de precipitación en el drenaje pluvial en la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica</b>			
<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Subdimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Independiente</b> Caudales de precipitación	Onda Cinemática	Pendiente media de las subcuencas	Pendiente Alta
		Ancho y longitud de las subcuencas	Media Baja
<b>Dependiente</b> Drenaje Pluvial.	Hidrogramas de Escorrentía.	Evolución de los caudales de escurrimiento.	Hidrogramas de escorrentía.
	Manejo adecuado de las aguas pluviales	Volúmen por unidad de área de almacenamiento	Puntos de evacuación de las aguas pluviales.

Fuente: Elaboración propia

## Capítulo 3

# METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. Tipo y Nivel de Investigación

#### 3.1.1. Tipo de investigación

La presente tesis está enfocada al tipo de investigación *Aplicada* debido a que esta investigación es una parte de la realidad concreta que se da en el tiempo y ocupa espacio, como indica, (Caballero, 2013), por lo tanto en virtud de esta definición, se describió las características de los caudales de precipitación a través de los hidrogramas en cada una de las zonas de estudio.

#### 3.1.2. Nivel de investigación

La presente tesis está enfocada al *nivel descriptivo*, ya que este nivel consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan. Con lo cual se busca especificar las propiedades, las características, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. (Sampiere, 2014), por ende, la presente investigación recae en el nivel descriptivo, ya que se evaluó los caudales de la transformación lluvia-escorrentía a través de los hidrogramas de salida.

## 3.2. Método de Investigación

### 3.2.1. Método científico

Se hizo uso del método científico debido a que esto se caracteriza por su utilización combinada y sistemática de las diferentes estrategias de investigación, dirigidas a la comprobación empírica del planteamiento, y que a su vez este está adecuada a las características del objeto de estudio y a los objetivos de la investigación, (Velasquez y Rey, 2007), por lo tanto este método nos permitió utilizar las diferentes estrategias y métodos durante el proceso de investigación para llegar a concretar nuestros objetivos trazados, como se planteó inicialmente.

### 3.2.2. Método descriptivo

Se hizo uso de este método, ya que este nos permitió describir los datos y características de los caudales del escurrimiento en la transformación lluvia-escorrentía como resultado de la observación de situaciones controladas y de los cálculos hidrológicos.

### 3.2.3. Método estadístico

Se hizo uso del método estadístico debido a que este, permitió el proceso de obtención, representación, simplificación, análisis, interpretación y proyección de las características, variables o valores numéricos de la tesis, para una mejor comprensión de la realidad y una optimización en la toma de decisiones.

## 3.3. Diseño de Investigación

El diseño de investigación que se aplicó en la presente tesis es de tipo Transversal, debido a que se considera como la base del desarrollo en una investigación específica.

$$G \implies X \implies O$$

Donde:

G=Subcuencas

X=Onda cinemática

O= Caudales escurrimiento y manejo de las aguas pluviales

### 3.4. Población y muestra

#### 3.4.1. Población

En la presente tesis se consideró como **población** a 5 barrios de la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica.

Cuadro 3.1:  
*Población*

5 Barrios				
Ascensión	Yananaco	Centro	Santana	San Cristóbal

*Fuente: Elaboración propia*

#### 3.4.2. Muestra

En la presente tesis se consideró como **muestra** a 24 sub cuencas discretizados de la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica.

Cuadro 3.2:  
*Muestra*

24 Sub Cuencas				
Ascensión	Yananaco	Centro	Santana	San Cristóbal
2-SC	2-SC	8-SC	5-SC	SC-7

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.5.1. Técnicas

- Técnica de Observación:** Es una técnica que se define como el proceso sistemático de obtención, recopilación y registro de datos empíricos de un objeto, un suceso, un acontecimiento con el propósito de procesarlo y convertirlo en información (Carrasco, 2008). Por tales razones utilizaremos esta técnica porque nos permitirá observar e identificar los diferentes fenómenos de escurrimiento y/o variable de estudio, en el presente proyecto de Investigación.

### 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- **Técnica de Descripción:** Esta técnica nos permitirá abstraer las características de la cuenca y los datos de precipitaciones a queridas del SENAMHI, en la transformación de lluvia-escorrentía.
- **Técnica de Medición:** Para (Sampiere, 2014)(p.199) "... medir significa asignar números, símbolos o valores a las propiedades de objetos o eventos de acuerdo con reglas"(Stevens, 1951). Por ende esta técnica nos permitirá cuantificar y caracterizar los datos de la cuenca urbana.
- Toma de fotos de la zona de estudio insitu
- Toma de fotos aéreos de las zonas de Estudio, con DRON Phantom Pro 4
- Utilización del plano catastral de la Ciudad de Huancavelica.
- Adquisición de registro de datos de precipitación.

#### 3.5.2. Instrumentos

Los instrumentos de recolección y registro de datos fueron: Fotografías, Imágenes satelitales (google earth pro), Plano catastral de Huancavelica y Vuelo de Drone phantom 4 pro

### 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En las técnicas de procesamiento de datos y análisis de datos se utilizaron los siguientes medios:

Software: Python 3.4, Microsoft Excel, Latex, SWMM 5v E y ArcGis 10.2 y AutoCAD V 2017

## Capítulo 4

# RESULTADOS

### 4.1. Presentación de resultados

#### 4.1.1. Hietogramas

##### 4.1.1.1. Estación Huancavelica-(ICHU-RIVER CALIBRATION)

El hietograma obtenido en este apartado corresponden a la estación Huancavelica del proyecto: “FOCAM-CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN LLUVIA ESCORRENTÍA PARA LA PREVISIÓN DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA EXPERIMENTAL DEL RÍO ICHU DEL DISTRITO Y PROVINCIA Y REGIÓN HUANCAVELICA”.

Donde se consideró datos de precipitación de los años 2015, 2016, 2017 y 2018. De los cuales se tomó en consideración para el cálculo de los hidrogramas, la tormenta máximo del año 2015, debido a que, el tiempo de registro se encuentra cada 5 min, y es la más adecuada para estudios hidrológicos en un medio urbano, lo que refieren muchos autores, como (Gómez, 2007).

Los datos de precipitación de los años 2016, 2017 y 2018, sólo se presentará como hietogramas, debido a que sus valores son inferiores a los del año 2015 y el intervalo de tiempo de registro está considerado cada 15 y 30 minutos, los cuales no son las más adecuadas para estudios hidrológicos en zonas urbanas.

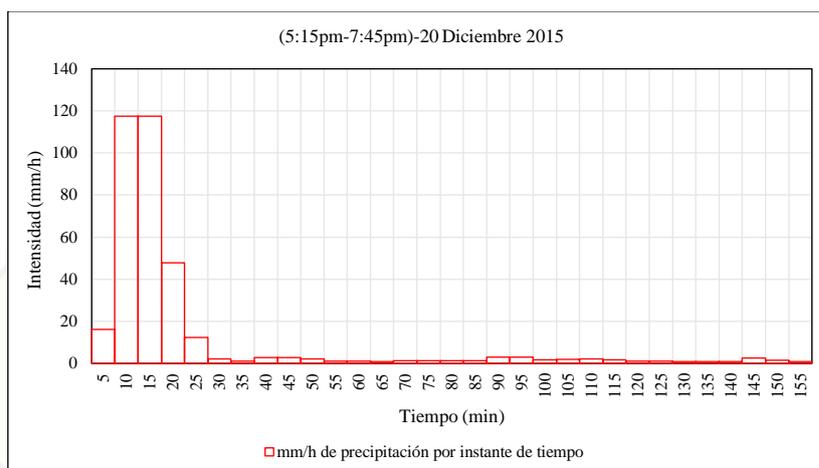


Figura 4.1: Distribución de Intensidad-Precipitación

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.1, corresponde a una distribución de intensidad-Precipitación, obtenidos desde la estación meteorológica Huancavelica (ICHU-RIVER CALIBRATION), el mismo representa el máximo valor de los cuatro años de registro de precipitaciones, considerados en esta investigación.

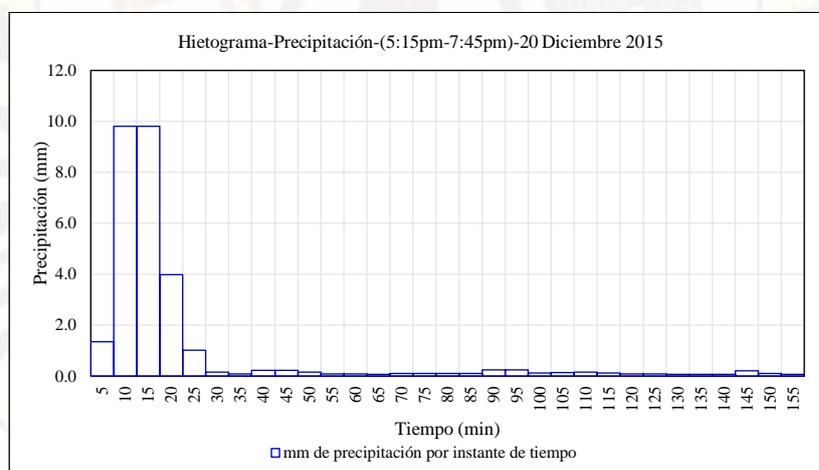


Figura 4.2: Hietograma-Precipitación sin abstracciones

Fuente: Elaboración propia

Como parte del proceso de obtención del hietogramas de diseño, para su posterior transformación en una escorrentía, se obtiene a priori un hietograma sin abstracciones o pérdidas por acciones de infiltración a partir de la figura 4.1, éste resultado se presenta en la figura 4.2 como hietograma sin pérdidas.

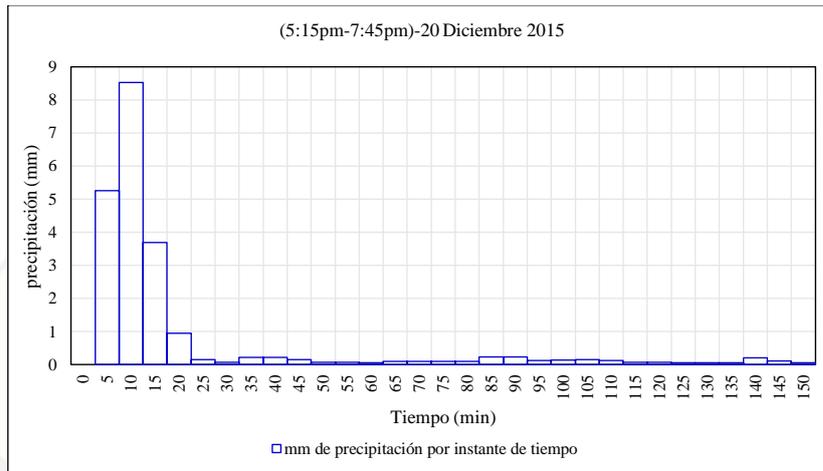


Figura 4.3: Hietograma-Precipitación con abstracciones

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto la lluvia ó hietograma de diseño se muestra en la figura 4.3, este resultado es obtenido aplicando las ecuaciones 4.1.1 y 4.1.2 del método de SCS para abstracciones, y sus valores se encuentran en el cuadro C5 del anexo.

$$F_a = \frac{S(P - I_a)}{P - I_a + S}; \quad I_a = 0.2S \quad \text{Para } P \geq I_a \quad (4.1.1)$$

$$P_e = P - I_a - F_a \quad (4.1.2)$$

#### 4.1.1.2. ILLA SENAMHI-UNI

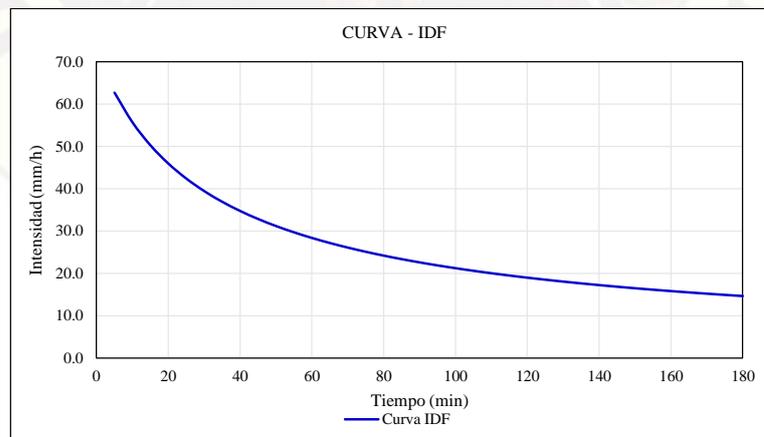


Figura 4.4: Curva IDF

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.4 representa la curva IDF para un periodo de retorno  $T = 10$  años, fue

#### 4.1. Presentación de resultados

calculado por el método ILLA SENAMHI-UNI, haciendo uso la ecuación 4.1.3, y sus parámetros regionales,  $b = 0.4$ ;  $n = 0.254$ ;  $a = 12.12$  y  $K = 0.553$ . que corresponden a la región Huancavelica.

$$i_{i,t} = a(1 + k \log_T)(t + b)^{n-1}, \text{ para } (t) \leq 3 \text{ horas} \quad (4.1.3)$$

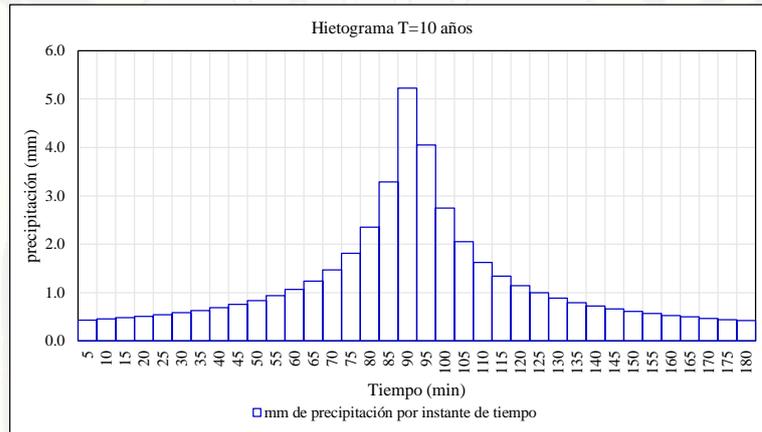


Figura 4.5: Hietograma-sin abstracciones

Fuente: Elaboración propia

A partir de la curva IDF mostrado en la figura 4.4, se obtuvo el hietograma sin abstracciones de la figura 4.5.

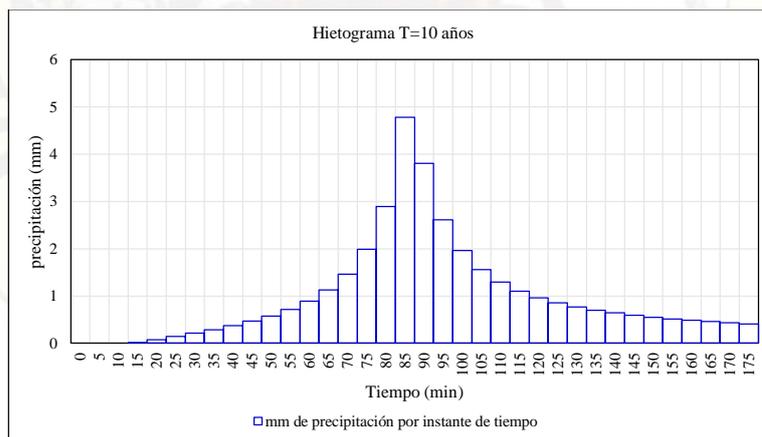


Figura 4.6: Hietograma-con abstracciones

Fuente: Elaboración propia

Haciendo uso de las ecuaciones del método de SCS para abstracciones de 4.1.1 y 4.1.2 se estimó las pérdidas por infiltración y como resultado se muestra en la figura 4.6, ya con valores disminuidos para una cuenca discretizado específico.

4.1.1.3. Distribución estadístico-Gumbel

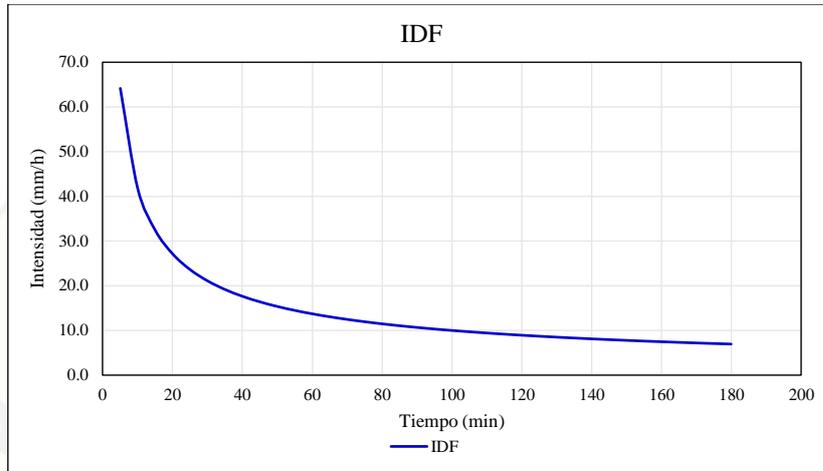


Figura 4.7: Curva IDF

Fuente: Elaboración propia

El resultado de la figura 4.7 representa la curva IDF para un periodo  $T = 10$  años, resuelto a través del método estadístico GUMBEL.

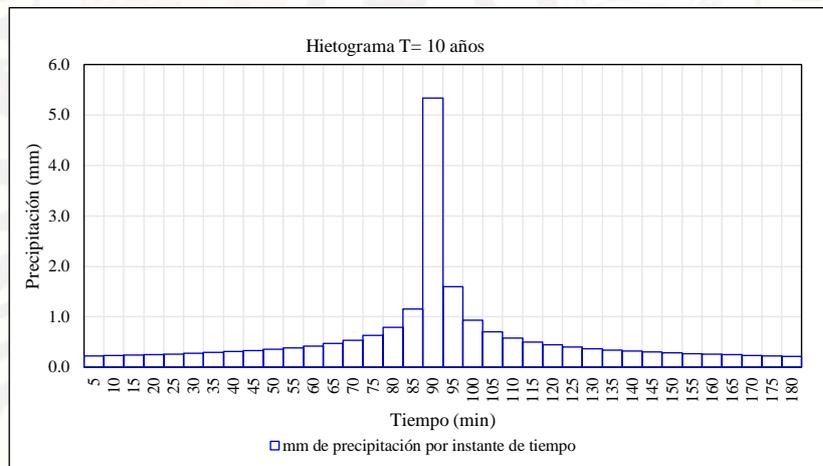


Figura 4.8: Hietograma sin abstracciones

Fuente: Elaboración propia

El resultado de la figura 4.8 representa el hietograma sin pérdidas por abstracciones, obtenido desde los valores de la curva IDF mostrado en la figura 4.7.

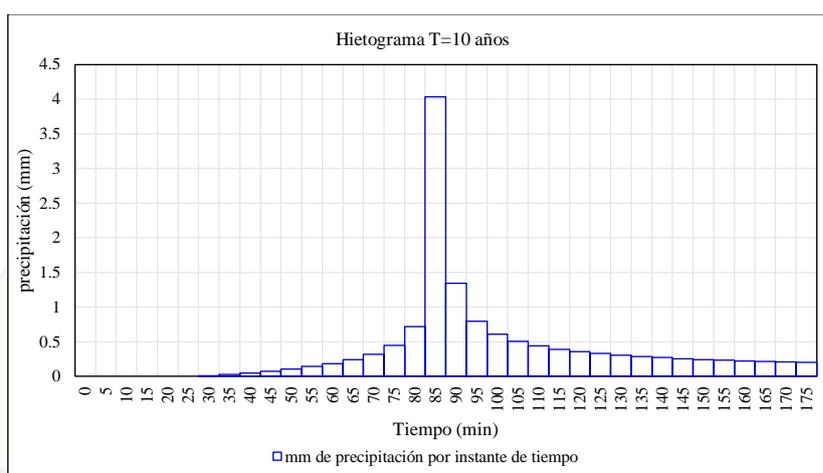


Figura 4.9: Hietograma con abstracciones

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se tiene el hietograma con abstracciones, quiere decir hietograma neta como resultado de la influencia de las pérdidas por acciones de infiltración en áreas permeables, para lo cual se hizo uso de las ecuaciones 4.1.1 y 4.1.2 del método de SCS.

#### 4.1.2. Parámetros hidráulicos de las cunetas

Los parámetros hidráulicos mostrados en los cuadros 4.1; 4.2; 4.3; 4.4 y 4.5 son medidos en el lugar insitu de cada Sub Cuenca y corresponden a la situación actual.

Cuadro 4.1:

*Parámetros hidráulicos, sumideros y tipo de cunetas-barrio San Cristóbal.*

SC Cu	Sum.	Tipo Cun.	T (m)	b (m)	Yr (m)	Z	S (m/m)
SC-3,Cu-1	A	Triang.	0.18	-	0.17	1.06	0.137
SC-4,Cu-2	B	Parab.	0.28	-	0.05	-	0.160
SC-5,Cu-3	C	Parab.	0.30	-	0.06	-	0.112
SC-6,Cu-4	D	Triang.	0.18	-	0.16	1.13	0.069
SC-7,Cu-5	D	Triang.	0.18	-	0.16	1.13	0.035
SC-1,Cu-7	E	Rectan.	0.24	0.24	0.18	-	0.049
SC-2,Cu-6	E	Rectan.	0.24	0.24	0.18	-	0.010
SC: SubCuen.	Cu: Cuneta	T: Espejo	b: Base	Yr: Tirante	Z: Talud	S: Pend.	

*Fuente: Elaboración propia.*

4.1. Presentación de resultados

Cuadro 4.2:  
Parámetros hidráulicos, sumideros y tipo de cunetas-barrio Santana.

SC Cu	Sum.	Tipo Cun.	T (m)	b (m)	Yr (m)	Z	S (m/m)
SC-8,Cu-8	F	Triang.	0.30	-	0.20	1.5	0.028
SC-9,Cu-9	F	Parab.	0.30	-	0.09	-	0.099
SC-10,Cu-10	F	Triang.	0.28	-	0.18	1.56	0.032
SC-11,Cu-11	G	Rectan.	0.30	0.30	0.13	-	0.002
SC-12,Cu-12	H	Rectan.	0.26	0.26	0.23	-	0.005
SC: SubCuen.	Cu: Cuneta	T: Espejo	b: Base	Yr: Tirante	Z: Talud	S: Pend.	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.3:  
Parámetros hidráulicos, sumideros y tipo de cunetas-cercado Huancavelica.

SC Cu	Sum.	Tipo Cun.	T (m)	b (m)	Yr (m)	Z	S (m/m)
SC-13,Cu-13	I	Triang.	0.30	-	0.16	1.87	0.007
SC-14,Cu-14	J	Triang.	0.30	-	0.17	1.76	0.062
SC-15,Cu-15	J	Rectan.	0.20	0.2	0.17	-	0.015
SC-16,Cu-16	K	Triang.	0.30	-	0.18	1.67	0.011
SC-17,Cu-17	K	Triang.	0.3	-	0.16	1.87	0.053
SC-18,Cu-18	L	Triang.	0.27	-	0.15	1.80	0.049
SC-19,Cu-19	M	Triang.	0.30	-	0.17	1.76	0.020
SC-20,Cu-20	N	Rectan.	0.60	0.6	0.64	-	0.065
SC: SubCuen.	Cu: Cuneta	T: Espejo	b: Base	Yr: Tirante	Z: Talud	S: Pend.	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.4:  
Parámetros hidráulicos, sumideros y tipo de cunetas-barrio Yananaco.

SC Cu	Sum.	Tipo Cun.	T (m)	b (m)	Yr (m)	Z	S (m/m)
SC-21,Cu-21	O	Triang.	0.30	-	0.15	2	0.015
SC-22,Cu-21	O	Triang.	0.30	-	0.15	2	0.015
SC: SubCuen.	Cu: Cuneta	T: Espejo	b: Base	Yr: Tirante	Z: Talud	S: Pend.	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.5:  
Parámetros hidráulicos, sumideros y tipo de cunetas-barrio Ascensión.

SC Cu	Sum.	Tipo Cun.	T (m)	b (m)	Yr (m)	Z	S (m/m)
SC-23,Cu-22	P	Triang.	0.30	-	0.15	2	0.037
SC-24,Cu-22	P	Triang.	0.30	-	0.15	2	0.037
SC: SubCuen.	Cu: Cuneta	T: Espejo	b: Base	Yr: Tirante	Z: Talud	S: Pend.	

Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.3. Resultados de hidrogramas de escorrentía.

Se determinó los caudales de precipitación en la dimensión de los hidrogramas de escorrentía para las 24 sub cuencas discretizadas respectivamente, los cuales se muestran a continuación:

Hidrogramas para subcuencas (1;2;3;4;5;6 y 7)-barrio San Cristóbal. ver figura 4.10.

Hidrogramas para subcuencas (8;9;10;11 y 12)-barrio Santana. Ver 4.11.

Hidrogramas para subcuencas (13;14;15;16;17;18;19 y 20)-cercado Huancavelica. Ver 4.12.

Hidrogramas para subcuencas (21 y 22)-barrio Yananaco. Ver 4.13.

Hidrogramas para subcuencas (23 y 24)-barrio Ascensión. Ver 4.14.

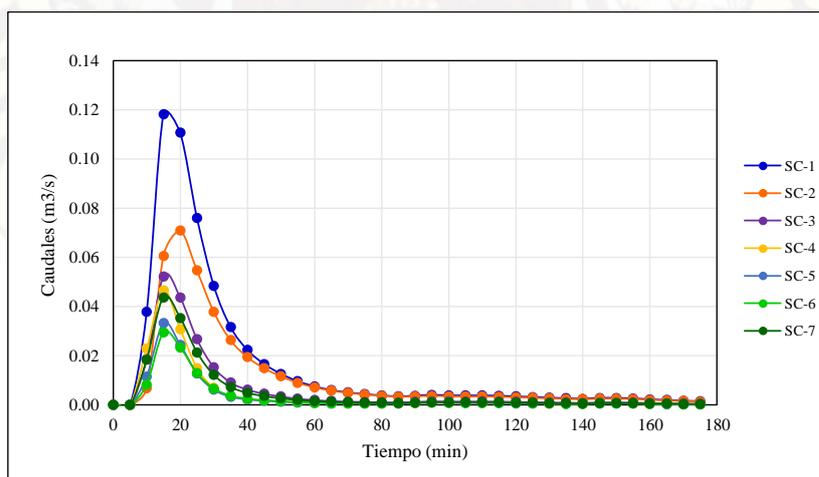


Figura 4.10: Hidrogramas obtenidos para SC-01 hasta SC-07-Barrio San Cristóbal  
SC:Sub Cuenca

Fuente: Elaboración propia

4.1. Presentación de resultados

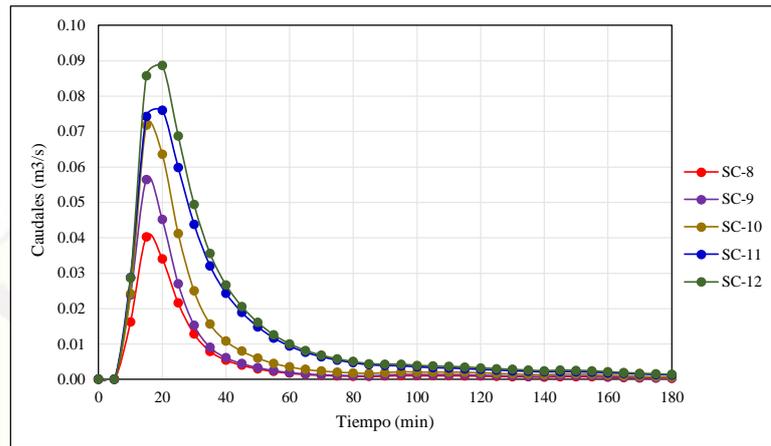


Figura 4.11: Hidrogramas obtenidos para SC-08 hasta SC-12-Barrio Santana  
SC:Sub Cuenca

Fuente: Elaboración propia

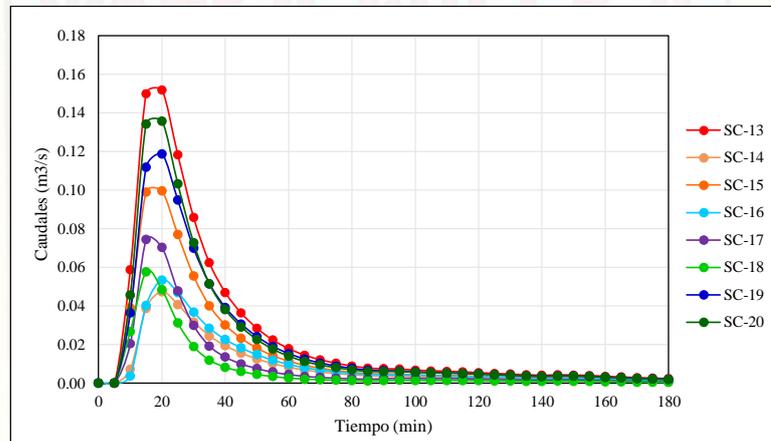


Figura 4.12: Hidrogramas obtenidos para SC-13 hasta SC-20-Cercado Huancavelica  
SC:Sub Cuenca

Fuente: Elaboración propia

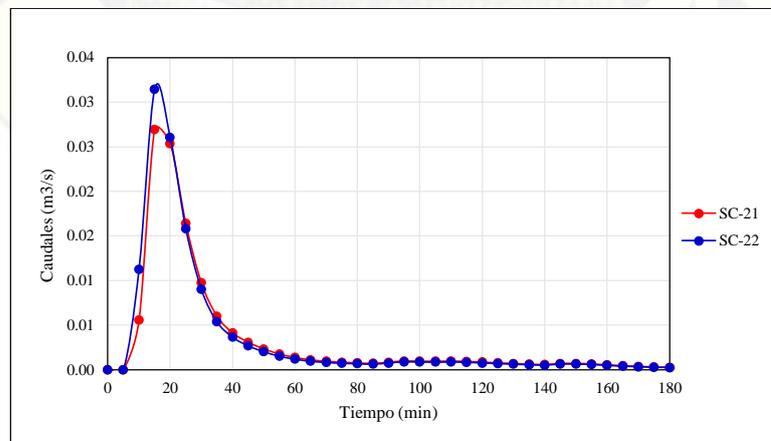


Figura 4.13: Hidrogramas obtenidos para SC-21 hasta SC-22-Barrio Yananaco  
SC:Sub Cuenca

Fuente: Elaboración propia

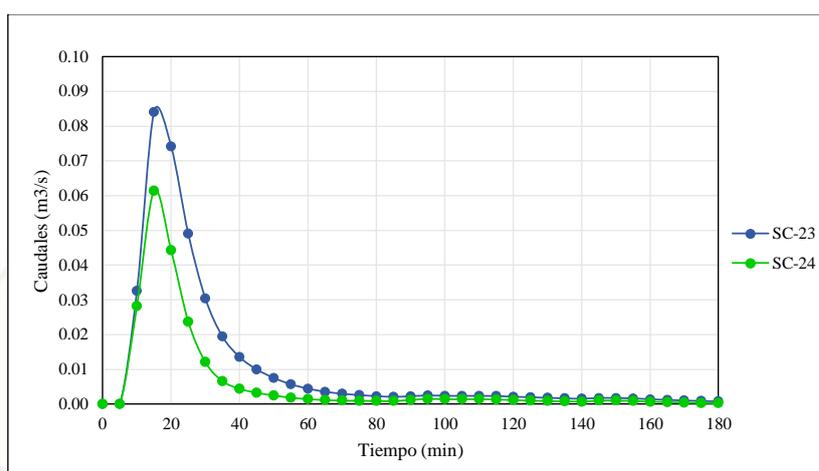


Figura 4.14: Hidrogramas obtenidos para SC-23 hasta SC-24-Ascensión  
SC:Sub Cuenca

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4. Resultados de caudales y tirantes en las cunetas.

Se determinó los caudales de precipitación en la dimensión del manejo adecuado de las aguas pluviales, previo cálculos hidráulicos para las 22 cunetas existentes, donde se obtuvo sus respectivos tirantes  $Y_e$ ; los cuáles nos permitió identificar el grado de vulnerabilidad de los mismos. Las cunetas (1;2;3;4;5;6 y 7) corresponden a barrio San Cristóbal. Ver4.6 ; (8;9;10;11 y 12) a barrio Santana.Ver4.7; (13;14;15;16;17;18;19 y 20) a cercado Huancaavelica.Ver4.8; (21) a barrio Yananaco.Ver4.9 y (22) al barrio de Ascensión.Ver4.10

Cuadro 4.6:

Resultado de tirantes medido en lugar insitu y estimados a partir de hidrogramas-barrio San Cristóbal; Cu: cuneta; Vulne: vulnerable; Colap: colapsado

SC Cu	Sum.	Tipo Cuneta	S (m/m)	Yr (m)	Qmáx (m <sup>3</sup> /s)	Ye (m)	Cond. Cun.
SC-3,Cu-1	A	Triang.	0.14	0.170	0.052	0.180	Colap.
SC-4,Cu-2	B	Parab.	0.16	0.050	0.047	0.073	Colap.
SC-5,Cu-3	C	Parab.	0.11	0.060	0.033	0.062	Colap.
SC-6,Cu-4	D	Triang.	0.07	0.160	0.029	0.159	Vulne.
SC-7,Cu-5	D	Triang.	0.04	0.160	0.044	0.211	Colap.
SC-1,Cu-7	E	Rectan.	0.05	0.180	0.118	0.180	Vulne.
SC-2,Cu-6	E	Rectan.	0.01	0.180	0.071	0.226	Colap.
Ye: Tirante estimado	Yr: Tirante Med.Insitu	Qmáx: Caudal	SC: SubCuen	Cu: Cuneta			

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1. Presentación de resultados

Cuadro 4.7:

Resultado de tirantes medido en lugar insitu y estimados a partir de hidrogramas-barrio Santana; Cu: cuneta; Vulne: vulnerable; Colap: colapsado

SC Cu	Sum.	Tipo Cun.	S (m/m)	Yr (m)	Qmáx (m <sup>3</sup> /s)	Ye (m)	Cond. Cun.
SC-8,Cu-8	F	Triang.	0.03	0.20	0.04	0.18	Eficient
SC-9,Cu-9	F	Parab.	0.10	0.09	0.06	0.09	Vulne.
SC-10,Cu-10	F	Triang.	0.03	0.18	0.07	0.22	Colap.
SC-11,Cu-11	G	Rectan.	0.00	0.13	0.08	0.36	Colap.
SC-12,Cu-12	H	Rectan.	0.01	0.23	0.09	0.33	Colap.
Ye: Tirante estimado	Yr: Tirante Med.Insitu	Qmáx: Caudal	SC: SubCuen	Cu: Cuneta			

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.8:

Resultado de tirantes medido en lugar insitu y estimados a partir de hidrogramas-cercado Huancavelica; Cu: cuneta; Vulne: vulnerable; Colap: colapsado

SC Cu	Sum.	Tipo Cun.	S (m/m)	Yr (m)	Qmáx (m <sup>3</sup> /s)	Ye (m)	Cond. Cun.
13,Cu-13	I	Trian.	0.01	0.16	0.15	0.35	Colap.
14,Cu-14	J	Trian.	0.06	0.17	0.05	0.15	Efic.
15,Cu-15	J	Rect.	0.02	0.17	0.10	0.32	Colap.
16,Cu-16	K	Trian.	0.01	0.18	0.05	0.23	Colap.
17,Cu-17	K	Trian.	0.05	0.16	0.07	0.18	Colap.
18,Cu-18	L	Trian.	0.05	0.15	0.06	0.17	Colap.
19,Cu-19	M	Trian.	0.02	0.17	0.12	0.27	Colap.
20,Cu-20	N	Rect.	0.07	0.64	0.14	0.23	Efic.
Ye: Tirante estimado	Yr: Tirante Med.Insitu	Qmáx: Caudal	SC: SubCuen	Cu: Cuneta			

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.9:

Resultado de tirantes medido en lugar insitu y estimados a partir de hidrogramas-barrio Yananaco; Cu: cuneta; Vulne: vulnerable; Colap: colapsado

SC Cu	Sum.	Tipo Cun.	S (m/m)	Yr (m)	Qmáx (m <sup>3</sup> /s)	Ye (m)	Cond. Cun.
SC-21,Cu-21	O	Trian.	0.015	0.15	0.03	0.15	Vuln.
SC-22,Cu-21	O	Trian.	0.015	0.15	0.03	0.16	Colap.
			Qt:	0.15	0.06	0.20	Colap.
Ye: Tirante estimado	Yr: Tirante Med.Insitu	Qmáx: Caudal	SC: SubCuen	Cu: Cuneta			

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.10:

Resultado de tirantes medido en lugar insitu y estimados a partir de hidrogramas-barrio Ascensión; Cu: cuneta; Vulne: vulnerable; Colap: colapsado

SC Cu	Sum.	Tipo Cun.	S (m/m)	Yr (m)	Qmáx (m <sup>3</sup> /s)	Ye (m)	Cond. Cun.
23,Cu-22	P	Triang.	0.037	0.15	0.084	0.20	Colap.
24,Cu-22	P	Triang.	0.037	0.15	0.061	0.18	Colap.
			Qt:	0.15	0.145	0.24	Colap.
Ye: Tirante estimado	Yr: Tirante Med.Insitu	Qmáx: Caudal	SC: SubCuen	Cu: Cuneta			

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5. Ubicación y condición de los sumideros y cunetas

Como parte de la investigación de los caudales de precipitación en la ciudad de Huancavelica, se identificó la ubicación de los 16 sumideros que están asignados con letras en orden alfabético desde (A) hasta (P).

Los mismos se contrastó con los criterios establecidos en la norma OS.060 de drenaje pluvial urbano que comprenden la recolección, transporte y evacuación de las aguas pluviales que se precipitan sobre una área urbana.

Cuadro 4.11:  
*Ubicación y condición de los sumideros-barrio San Cristóbal*

Sumideros	A	B	C	D	E
Ubicación	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado	Adecuado	Adecuado
Condicion	Deficiente	Deficiente	Regular	Colapsado	Deficiente
Pend. Ubica	13.7%	16.0%	11.2%	6.9%	4.9%

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4.12:  
*Ubicación y condición de los sumideros-barrio Santana*

Sumideros	F	G	H
Ubicación	Adecuado	Adecuado	Adecuado
Condicion	Deficiente	Deficiente	Deficiente
Pend. Ubica	9.9%	0.2%	0.5%

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4.13:  
*Ubicación y condición de los sumideros-cercado Huancavelica*

Sumideros	I	J	K	L	M	N
Ubicación	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado
Condicion	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Colapsado	Deficiente	regular
Pend. Ubica	0.7%	6.2%	5.3%	4.9%	2.0%	0.3%

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4.14:  
Ubicación y condición de los sumideros-barrio Yananaco

Sumideros	O
Ubicación	Adecuado
Condicion	Deficiente
Pend. Ubica	1.5 %

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.15:  
Ubicación y condición de los sumideros-barrio Ascensión

Sumideros	P
Ubicación	Adecuado
Condicion	Deficiente
Pend. Ubica	3.7 %

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.16:  
Condición de las cunetas y zona de ubicación de los sumideros-barrio San Cristóbal;  
Cu: cuneta; Vulne: vulnerable; Colap: colapsado

Condición	Cunetas	Sumidero	Calle-Ubicación (Barrio San Cristóbal)
Colapsado	Cu-01	A	Jr. Echenique / Malecón Virgen del Carmen
Colapsado	Cu-02	B	Jr. Sucre / Malecón Virgen del Carmen
Colapsado	Cu-03	C	Jr. San Martín / Malecón Virgen del Carmen
Vulne;Colap	Cu-04;05	D	Jr. José Olaya / Malecón Virgen del Carmen
Colap;Vulne	Cu-06;07	E	Pje. Atahualpa / Av. Universitaria

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.17:  
Condición de las cunetas y zona de ubicación de los sumideros-barrio Santana;  
Cu: cuneta; Vul: Vulnerable; Colap: Colapsado; Efic: Eficiente

Condición	Cunetas	Sumidero	Calle-Ubicación (Barrio Santana)
Efic;Vul;Colap	Cu-08;09;10	F	Pje. Orbegoso / Malecón Santa Rosa
Colapsado	Cu-11	G	Jr. Odonovan / Plaza Santana
Colapsado	Cu-12	H	Av. Manchego Muñoz / Plaza Santana

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.18:

*Condición de las cunetas y zona de ubicación de los sumideros-cercado Huancavelica;  
Cu: cuneta; Colap: Colapsado; Efic: Eficiente*

<b>Condición</b>	<b>Cunetas</b>	<b>Sumidero</b>	<b>Calle-Ubicación (Cercado Huancavelica)</b>
Colapasado	Cu-13	I	Jr. Odonovan / Jr. Gonzales Prada
Efic;Colap	Cu-14;15	J	Jr. Carabaya / Jr. Torre Tagle
Colapasado	Cu-16;17	K	Jr. Manuel Fernández / Jr. Virrey Toledo
Colapasado	Cu-18	L	Jr. Manuel Fernández / Jr. Virrey Toledo
Colapasado	Cu-19	M	Jr. Manco Capac / Jr. Agustín Gamarra
Eficiente	Cu-20	N	Jr. Carabaya / Malecón Santa Rosa

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4.19:

*Condición de las cunetas y zona de ubicación de los sumideros-barrio Yananaco;  
Cu: cuneta*

<b>Condición</b>	<b>Cunetas</b>	<b>Sumidero</b>	<b>Calle-Ubicación (Barrio Yananaco)</b>
Colapasado	Cu-21	O	Jr. Castrovirreyna / Jr. Lircay

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4.20:

*Condición de las cunetas y zona de ubicación de los sumideros-barrio Ascensión;  
Cu: cuneta*

<b>Condición</b>	<b>Cunetas</b>	<b>Sumidero</b>	<b>Calle-Ubicación (Barrio Ascensión)</b>
Colapasado	Cu-22	P	Jr. Garcilazo de la Vega / Jr. Hildauro Castro

*Fuente: Elaboración propia*

## 4.1.6. Cuadro de resumen de los resultados.

Cuadro 4.21:

Cuadro de resumen general de las condiciones en términos porcentuales y numéricos de las cunetas.

Condiciones	Cantidad de cunetas	Porcentaje
Vulnerable	3	14 %
Colapsado	16	72 %
Eficientes	3	14 %
Total	22	100 %

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.22:

Cuadro de resumen general respecto a su condición y ubicación de los sumideros en términos porcentuales y numéricos.

Sumideros				
Ubicación		Condición		
Adecuado	Inadecuado	Regular	Deficiente	Colapsado
12	4	2	12	2
75 %	25 %	13 %	75 %	13 %
Total	16	100 %		

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. **Discusión**

### **Discusión global sobre las inundaciones**

Los caudales de precipitación en la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica constituyen un problema inminente de inundaciones en las diferentes calles y avenidas, debido a las intensas precipitaciones y déficit del sistema de drenaje pluvial, los resultados de esta investigación nos ha permitido conocer, la realidad del problema de inundaciones, en las cunetas y sumideros, dónde la mayor parte de las zonas de estudio en consideración, presentan deficiencia en su sistema de drenaje de aguas pluviales.

### **Discusión específica de las inundaciones en las cuencas**

Los caudales obtenidos en el resultado, para los diferentes barrios, son aportados directamente de las Sub Cuencas (SC) discretizados, a través de las cunetas, transportando los caudales hacía zonas bajas, donde generalmente se ubican los sumideros.

#### **Barrio San cristóbal:**

Se consideró 7 Sub Cuencas discretizados, donde se identificó 5 sumideros (A, B, C, D y E) y 7 cunetas aportantes a cada sumidero, de los cuales dos cunetas Cu-4 y Cu-7 resultaron como **vulnerables** ver cuadro 4.6, quiere decir, el tirante calculado a través de los hidrogramas, y el tirante geométrico medido en la zona de estudio insitu, se aproximan numéricamente. Y las otras cinco cunetas Cu-1 Cu-2 Cu-3 Cu-5 Cu-6, resultaron **colapsados** debido a que los tirantes calculados a través de los hidrogramas tienen valores numéricos superiores a los medidos en el lugar insitu. Ver cuadro 4.6.

#### **Barrio Santana:**

Se consideró 5 Sub Cuencas discretizados, 3 sumideros (F, G y H) y 5 cunetas aportantes a cada sumidero, de los cuales la cuneta Cu-5 resultó **vulnerable**, cunetas Cu-10, Cu-11 y Cu-12 resultaron **colapsados** y, sólo la Cu-8 resultó eficiente. Ver cuadro 4.7

#### **Cercado Huancavelica:**

Se consideró 8 Sub Cuencas discretizados, 6 sumideros (I, J, K, L, M y N) y 8 cunetas aportantes a cada sumidero, de los cuales las cunetas Cu-13, Cu-15, Cu-16, Cu-17, Cu-18,

Cu-19 resultaron **colapsados** y, solo las cunetas Cu-14 y Cu-20 resultaron eficientes. Ver cuadro 4.8

**Barrio Yananaco:**

Se consideró 2 Sub Cuencas discretizados, 1 sumidero (O) y 1 cuneta aportantes al sumidero en mención, por lo que se afirma que, la cuneta Cu-21 resultó **colapsado**, debido a que las dimensiones de la cuneta son deficientes como para transportar los caudales generados en las dos sub cuencas SC-21 y SC-21 por las intensas precipitaciones. Ver cuadro 4.9

**Ascensión:**

Se consideró 2 Sub Cuencas discretizados, 1 sumidero (P) y 1 cuneta aportantes al sumidero en mención, por lo que se afirma que, la cuneta Cu-22 resultó **colapsado**, debido a que las dimensiones de la cuneta son deficientes como para transportar los caudales generados en las dos sub cuencas aportantes SC-23 y SC-24 hacia el sumidero (P). Ver cuadro 4.10

**Discusión específica de las inundaciones en los sumideros**

Según la norma OS.060 (Drenaje pluvial urbano) los sumideros tendrán que ser ubicadas según la pendiente de la zona, cuando la pendiente de dicha zona es menor a 3 % se usará sumideros de tipo lateral de sardinel, estos pudiendo ser con depresión, sin depresión o con deflector.

Cuando la pendiente de la zona tiene mayor a 3 %, la norma OS.060 recomienda usar sumideros de tipo fondo, estos pudiendo tener depresión o sin depresión, en caso de que existiera ambos casos, la norma recomienda usar sumideros de tipo mixto o combinado

Los sumideros **A, B, C, D y E**, corresponden al barrio **San Cristóbal**, y Bajo la premisa de la norma OS.060, se contrastaron que los sumideros **A, B y C** se encuentran ubicadas inadecuadamente, no cumpliendo con los criterios establecidos en la norma OS.060, donde los sumideros mencionados debieron ser ubicadas acorde a la pendiente, y como tales, puestas según los tipos de sumideros adecuados para esta condición, donde debieron considerar mínimamente sumideros de tipo fondo o mixto, por estar situados

en una zona con pendientes superior a 3%. Y los resultados sobre los otros sumideros **D** y **E** nos indica que, estos se encuentran ubicadas adecuadamente, pero en cuanto a su condición resultaron **colapsado y deficiente**, respectivamente. Ver cuadro 4.11

En barrio **Santana** se consideró tres zonas donde se ubican los sumideros **F**, **G** y **H**, todos estos sumideros en cuanto a su ubicación se encuentran adecuados, pero sus condiciones para captar las aguas pluviales son deficientes, y el tipo de sumideros con que cuentan estas zonas son inadecuadas, mínimamente el sumidero **F** debió ser de tipo fondo con o sin depresión, por estar en una zona de pendiente mayor a 3%. Y los otros sumideros **G** y **H**, debieron ser de tipo lateral de sardinel, por estar ubicadas en una zona con pendiente menores a 3%, como refiere la norma OS.060. Ver cuadro 4.12

Los sumideros **I**, **J**, **K**, **L**, **M** y **N**, corresponden a la zona de **cercado de Huanca-velica**, donde se afirma que se encuentran ubicados adecuadamente, pero de los cuales los sumideros **I**, **J**, **K** y **M** resultaron deficientes debido a que se encuentran en malas condiciones, algunos construidos de materiales inapropiados y obstruidos de residuos sólidos. De acuerdo a su condición u ubicación estos sumideros debieron ser puestas de tipo Mixto o combinado con depresiones para aumentar su capacidad de captación, como lo refiere la norma de drenaje pluvial urbano. Asimismo, el sumidero **L** resultó completamente colapsado por encontrarse en un estado saturado por sedimentos, dejando que los caudales ocasionen inundaciones en las calles y avenidas. También se tiene el sumidero **N** en condiciones regulares, por lo que se encuentra habilitado parcialmente para captar los caudales de escurrimiento. Ver cuadro 4.13

En barrio **Yananaco** se consideró un solo punto de ubicación del sumidero **O**, la cual en la temporada de intensas precipitaciones suele inundarse debido a que su condición de captar las aguas pluviales es deficiente y el tipo del mismo no es adecuado para las condiciones dadas de la zona, aquello debió ser diseñado contemplando las exigencias de la norma de drenaje pluvial urbano, donde mínimamente debió considerarse sumidero de tipo fondo con depresión, por encontrarse ubicada en una zona con pendiente menor a 3%. Ver cuadro 4.14

Finalmente, en la zona de **Ascensión**, también se consideró un solo punto y/o ubicación de sumidero **P**, que el mismo se encuentra adecuadamente ubicado, pero en condiciones deficientes como para interceptar todo el caudal generado para ese punto. Por su ubicación esta zona se encuentra en una pendiente superior a 3%, lo cual amerita considerar sumideros de tipo mixto con o sin depresión, acorde a la norma OS.060. Ver cuadro 4.15



# CONCLUSIONES

Se concluye :

- Los resultados de la investigación en función al objetivo trazado inicialmente, sobre los caudales de precipitación indican que el 72 % de las cunetas resultaron **colapsados**, debido a que los tirantes calculados a través de los hidrogramas indican valores superiores a los medidos geoméricamente en el lugar insitu, los otros 14 % **Vulnerables** y 14 % **eficientes**. Ver cuadro 4.21. Por lo que se concluye, que las calles y avenidas de la ciudad de Huancavelica se inundan durante la temporada de intensas precipitaciones.
- El 75 % de los sumideros se encuentran en condición **deficiente**, 13 % **colapsado** y los otros 13 % **regular**. En cuanto a su ubicación el 75 % de los sumideros se encuentran ubicados **adecuadamente**, pero el 25 % se encuentran ubicados **inadecuadamente**. Ver cuadro 4.22
- Los hietogramas obtenidos a través de métodos de IILA SENAMHI-UNI y distribución estadística Gumbel, para un periodo de retorno de 10 años, resultaron con valores menores respecto a hietogramas obtenidos de los registros de la estación Huancavelica del proyecto: “FOCAM-CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN LLUVIA ESCORRENTÍA PARA LA PREVISIÓN DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA EXPERIMENTAL DEL RÍO ICHU DEL DISTRITO Y PROVINCIA Y REGIÓN HUANCAVELICA”.

# RECOMENDACIONES

- A los estudiantes de la escuela profesional de ingeniería civil Huancavelica, de la Universidad Nacional de Huancavelica, continuar con la investigación de esta tesis. Específicamente modelar las rejillas mostrados en el apartado 2.2.15 en el laboratorio de hidráulica
- A la Universidad Nacional de Huancavelica implementar mayor cantidad de estaciones meteorológicas dentro de la zona urbana de la ciudad de Huancavelica. Para las futuras investigaciones.
- A las entidades públicas como gobiernos regionales y locales, tomar en consideración estudios más rigurosos en materia de drenaje urbano.
- A la Universidad Nacional de Huancavelica, buscar formas de canalizar y/o convenios, con otras entidades públicas o privadas, para que las investigaciones realizadas por los estudiantes de esta casa superior se conviertan en un aporte objetiva para el desarrollo de la sociedad.
- A personas que quieran emprender la investigación en materia de drenaje urbano, Realizar estudios de topografía de buena calidad.

# Bibliografía

- Achahui, G. (2015). San román: inicio de temporada de lluvias empieza causar estragos en juliaca. recuperado de <https://rpp.pe/peru/puno/inicio-de-temporada-de-lluvias-empieza-causar-estragos-en-juliaca-noticia-912190>.
- Aragón, J. (2013). *Modelación numérica integrada de los procesos hidráulicos en el drenaje urbano*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Catalunya, Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=96403>.
- Caballero, A. (2013). *Metodología integral innovadora para planes y tesis*. Cengage Learning Editores. D.R. 2014.
- Campos, D. (2006). *Probabilístico Univariado de Datos Hidrológicos*. Asociación Mexicana de Hidráulica, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- Carrasco, D. (2008). *Metodología de la Investigación Científica*. Editorial San Marcos E.I.R.L, Lima Perú.
- Cepal, C. (2014). La economía del cambio climático en américa latina y el caribe. Disponible en <https://www.cepal.org/es>.
- Chaudhry, H. (2008). *Open Channel Flow*. Springer Science Business Media, LLC, NY, USA.
- Chow, Maidment, M. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGRAW/HILL INTERAMERICANA, S.A, Bogotá-Colombia.
- Domingos, Martínez, J. (2014). Estimación de caudales máximos en una cuenca urbana de luanda. *Scielo Art. La Habana*, 35:1,16.

- Durrans y Dietrich, M. (2003). *Stormwater Conveyance Modeling and Design*. Haestad Methods, Inc. 37 Brookside Rd. Waterbury, CT 06708-1499 USA.
- EL Comercio, Q. (2016). Acumulaciones de agua se reportaron en quito por la lluvia de esta tarde. recuperado de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito-lluvia-acumulaciondeagua-transito.html>.
- El tiempo, B. (2016). Calentamiento por el fenómeno del niño, causa de tormentas en bogotá. recuperado de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16534838>.
- García, V. (2010). *Modelo de ayuda a la decisión para el diseño de un sistema de captación de escorrentía en medio urbano*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Catalunya, Disponible en <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6517>.
- García Óscar, P. I. (2015). Lluvia causa inundaciones en el área urbana de mazatenango. recuperado de <https://www.prensalibre.com/guatemala/suchitepequez/lluvias-causando-daos-en-el-area-urbana-de-mazatenango>.
- Gómez, V. (2007). *Hidrología Urbana*. Flumen, Dinámica fluvial e Ingeniería Hidrológica.
- Granda, R. (2013). *Análisis numérico de la red de drenaje pluvial de la urb. Angamos*. PhD thesis, Universidad de Píura, Disponible en <http://pirhua.udep.edu.pe/handle/123456789/1751>.
- Hormoz, P. (2011). *Urban Storm Water Management*. CRC Press is an imprint taylor, Francis Group, an Informa business.
- JICA (2015). Inundaciones urbanas y cambio climático. *D.C.C. Doc. Buenos Aires*, 152:33–36.
- Jiménez, D. (2012). *Modelaje de un Sistema Urbano de Alcantarillado Pluvial en el Área de Drenaje de los Esteros Miraflores y Represado, Ciudad de Guayaquil*. PhD thesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral Centro de Investigación Científica y Tecnológica, Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/21260>.
- Marín, A. (2012). La cuenca hidrográfica en la ciudad media: relaciones de conflicto entre ecosistema y ciudad. *Universidad Nacional de Colombia. Colombia*, 1:5.

- M.T.C., M. (2012). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima, Perú.
- Musy and Higy (2010). *Hydrology a Science of Nature*. Science Publishers.
- Nanía, L. (2003). *Métodos de transformación lluvia-escorrentía y de propagación de caudales*. Universidad de Granada, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Pérez y Rodríguez, G. (2009). *Hidrología Superficial*. UMSNH.
- Rendón, V. (2013). *Drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca (Sector Los Virreyes)-Puno-Perú*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Catalunya. Disponible en <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/18386>.
- RPP Noticias, E. (2015a). Cientos de británicos evacuados de sus hogares por inundaciones. recuperado de <https://rpp.pe/mundo/desastres-naturales/cientos-de-britanicos-evacuados-de-sus-hogares-por-inundaciones-noticia-919727>.
- RPP Noticias, E. (2015b). República dominicana: Seis provincias en alerta verde por lluvias. recuperado de <https://rpp.pe/lima/actualidad/republica-dominicana-seis-provincias-en-alerta-verde-por-lluvias-noticia-802571>.
- Sampiere, H. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGRAW-HILL-ITERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Punta Santa fe, México.
- Sánchez, E. (2015). *Modelación precipitación escorrentía en cuencas urbanas-caso de estudio: distrito de Carmen alto*. PhD thesis, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Disponible en <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/800>.
- Vargas, P. (2009). El cambio climático y sus efectos en el Perú. *B. C. R. Doc trabajo*. Lima, 59:13.
- Velasquez y Rey, F. (2007). *Metodología de la Investigación*. Editorial San Marcos E.I.R.L, Lima Perú.
- Vicente, S. (2006). *Adecuación del modelo HEC-1 para el estudio del flujo en calles durante inundaciones en medio urbano*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Catalunya, Disponible en <http://www.recercat.cat/handle/2072/14372>.

Villón, M. (2011). *Hidrología*. Editorial Villón, Lima-Perú.



# Anexos

## **Ámbito de Estudio.**

### **Ámbito Espacial:**

Huancavelica Tierra del Mercurio, es uno de los veinticuatro departamentos que, junto con la Provincia Constitucional del Callao, forman la República del Perú. Su capital y ciudad más poblada es la misma Huancavelica. Está ubicado en el centro oeste del país, limitando al norte con Junín, al este y sur con Ayacucho, al oeste con Ica y al noroeste con Lima. Tiene como área de extensión, 22,131.000 kilómetros cuadrados. Se fundó el 26 de abril de 1822.

### **Ubicación política:**

Lugar : Área urbana de la ciudad de Huancavelica.

Distrito : Huancavelica.

Provincia : Huancavelica.

Departamento : Huancavelica.

### **Ubicación Geográfica**

latitud Sur : 12°47'14.54"

longitud Oeste : 74°58'23.23"

El área de estudio específico, está ubicada dentro de la ciudad de Huancavelica, denominado cuenca Urbana del mismo nombre, donde en el mapa se visualiza de color azul, y el mismo está dividido en cinco zonas denominados barrios: (Santana, San Cristóbal, Yananaco, Cercado y Ascensión).

### A. Mapa de ubicación de la ciudad de Huancavelica

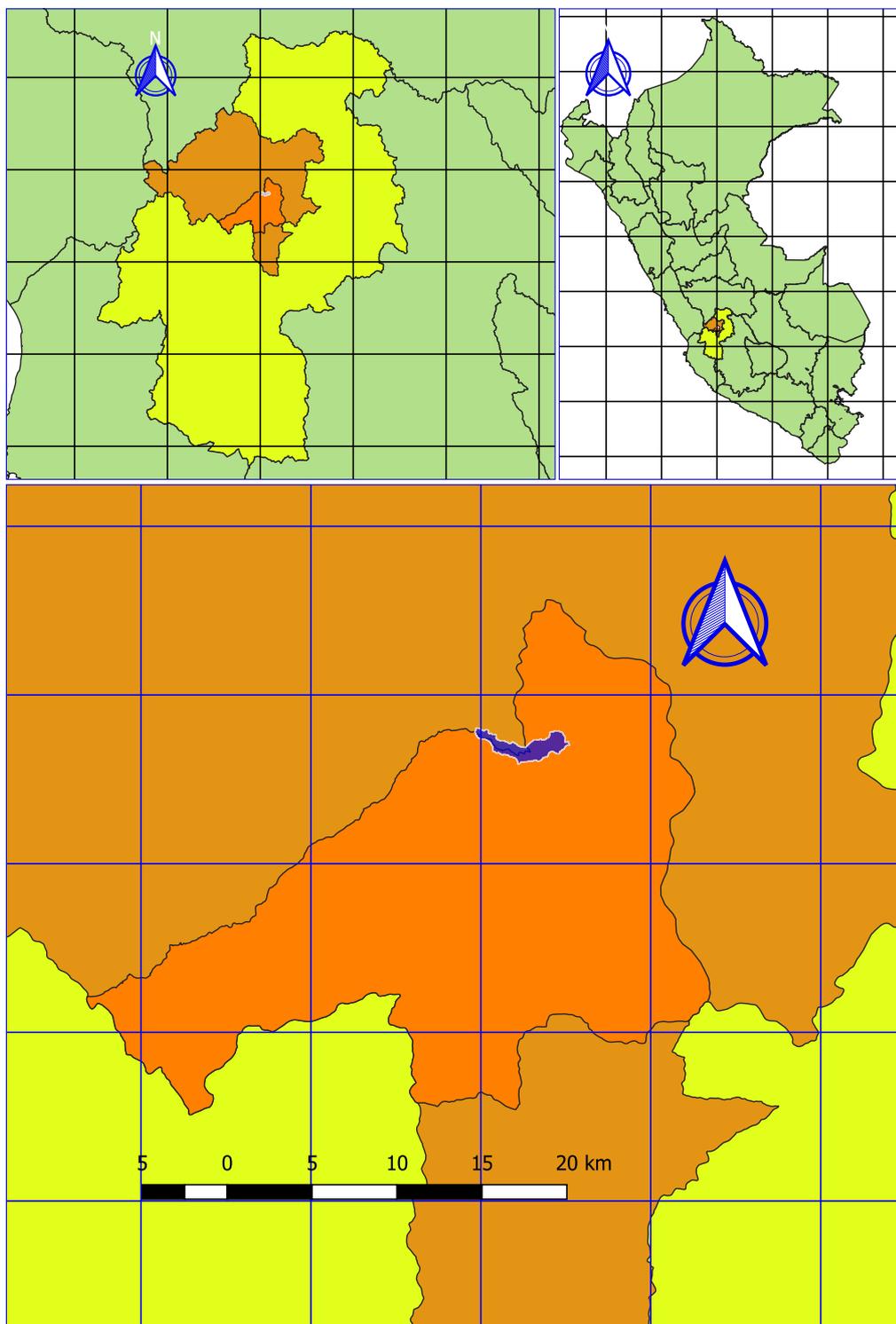


Figura A.1.: Mapa de Ubicación de la ciudad de Huancavelica

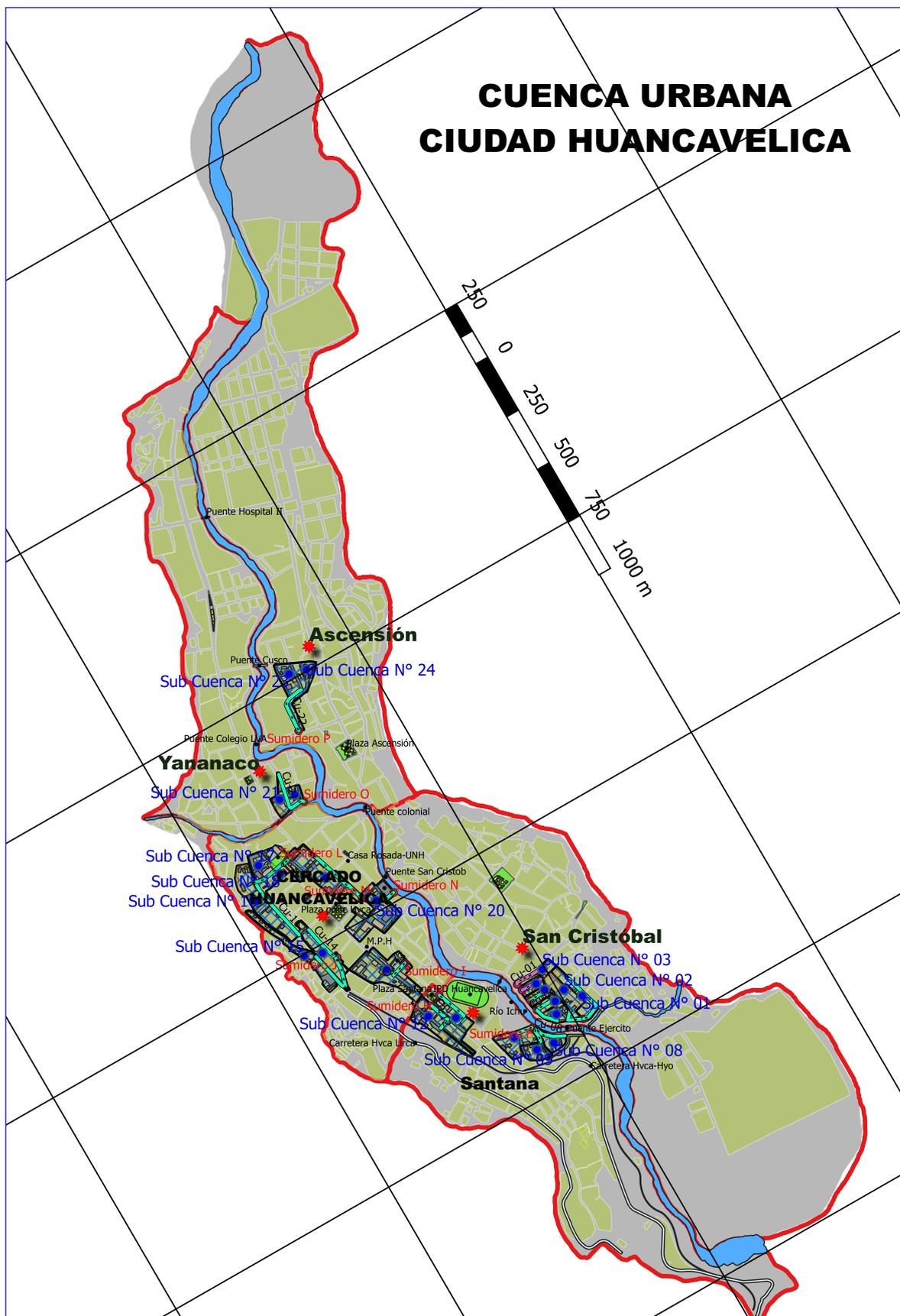


Figura A.2.: Cuenca urbana-ciudad de Huancavelica

B. Mapas de las sub cuencas discretizadas de los 5 barrios (San Cristóbal, Santana, Cercado, Yananaco y Ascensión)

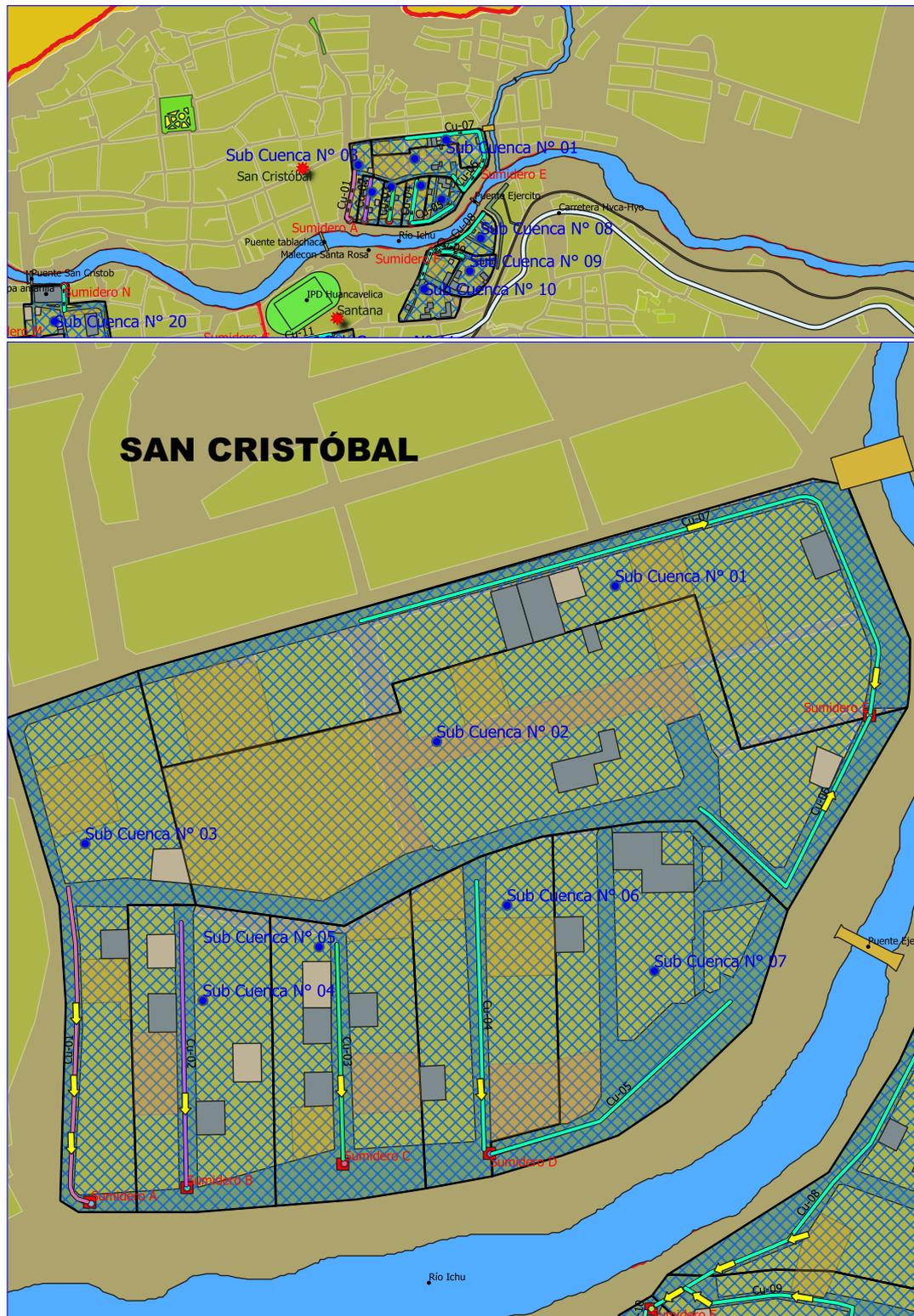


Figura B.1.: Mapa de las sub cuencas-San Cristóbal

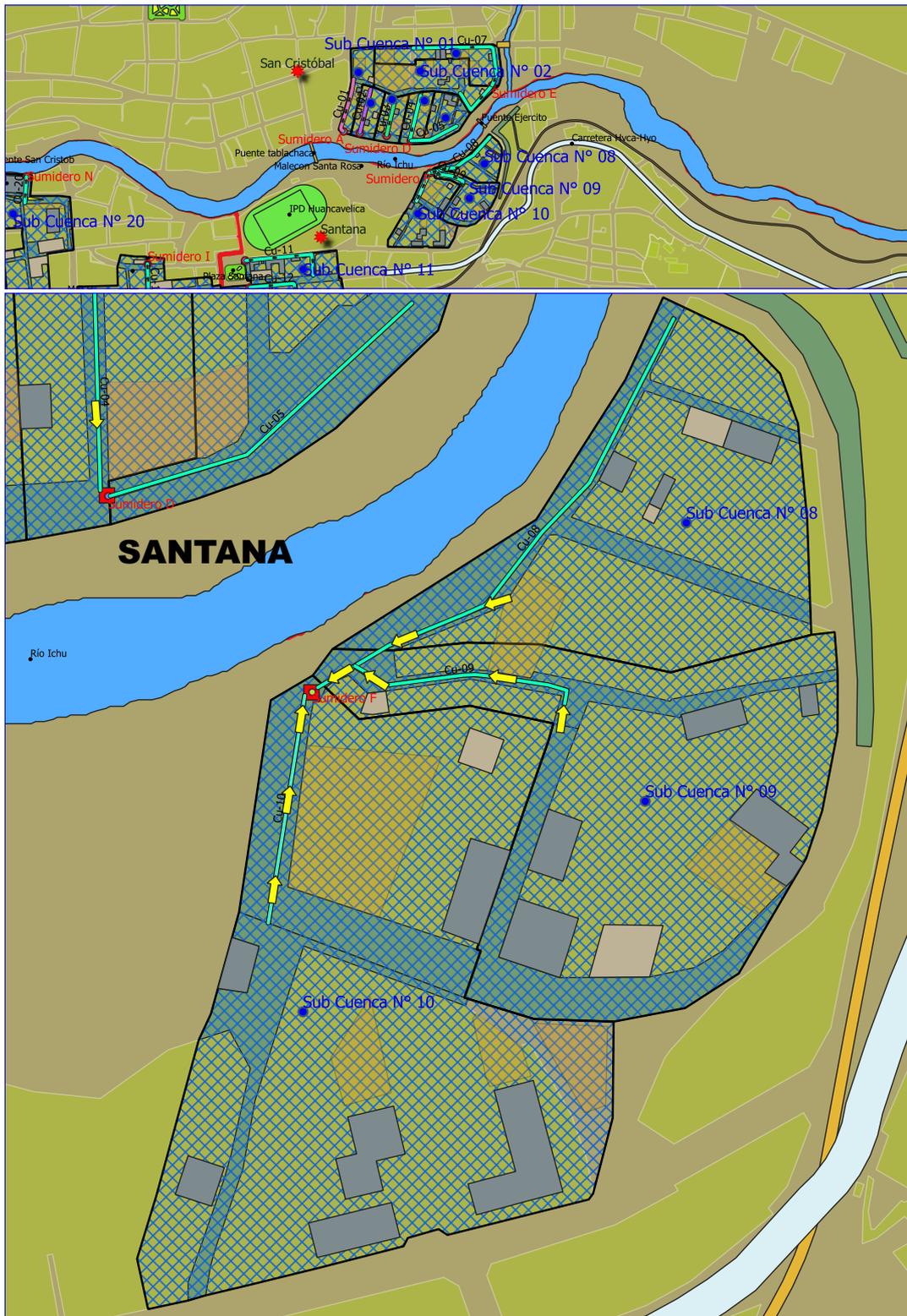


Figura B.2.: Mapa de las sub cuencas-Santana (parte I)

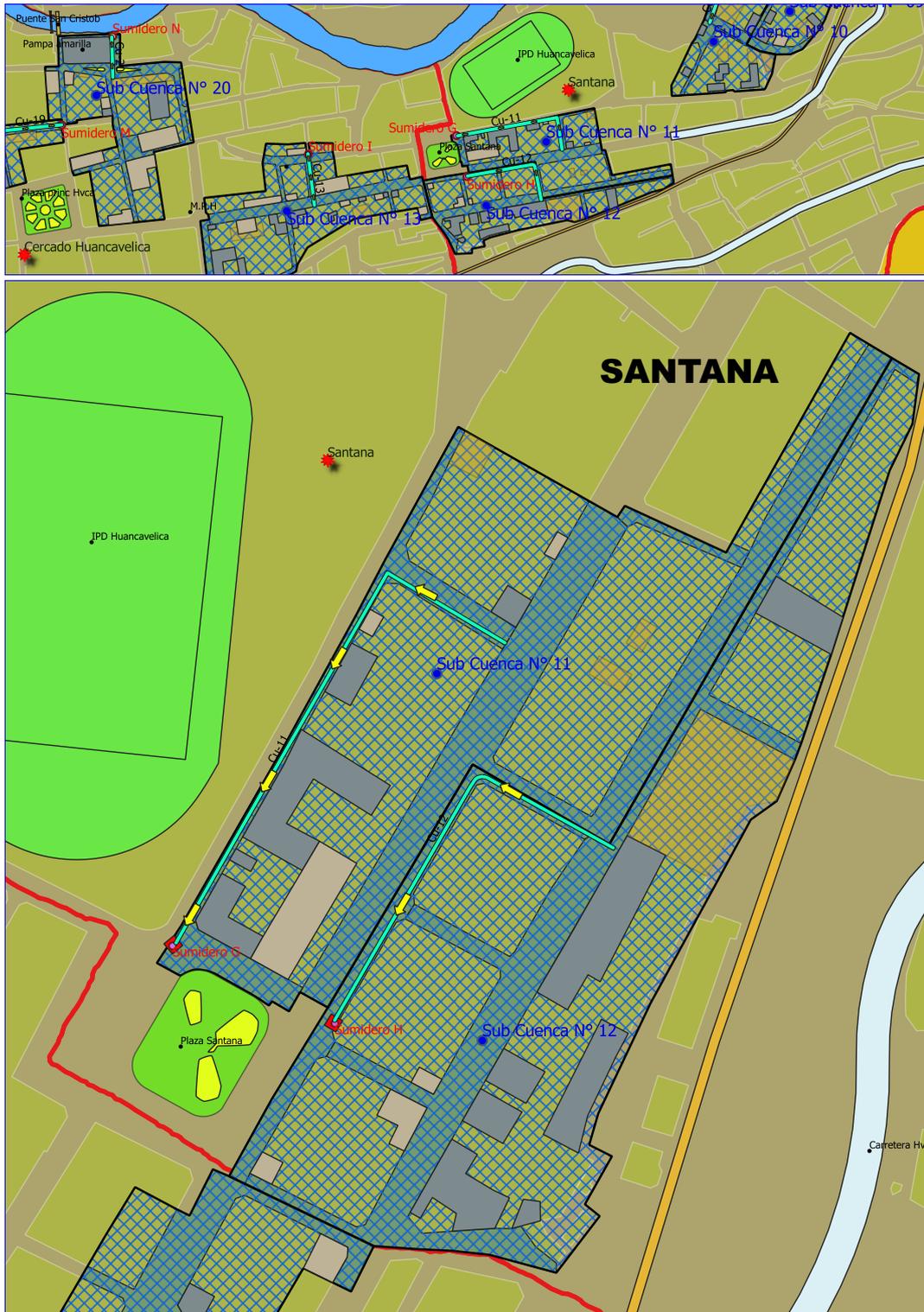


Figura B.3.: Mapa de las sub cuencas-Santana (parte II)



Figura B.4.: Mapa de las sub cuencas-Cercado Hvc (parte I)



Figura B.5.: Mapa de las sub cuencas-Cercado Hvca (parte II)

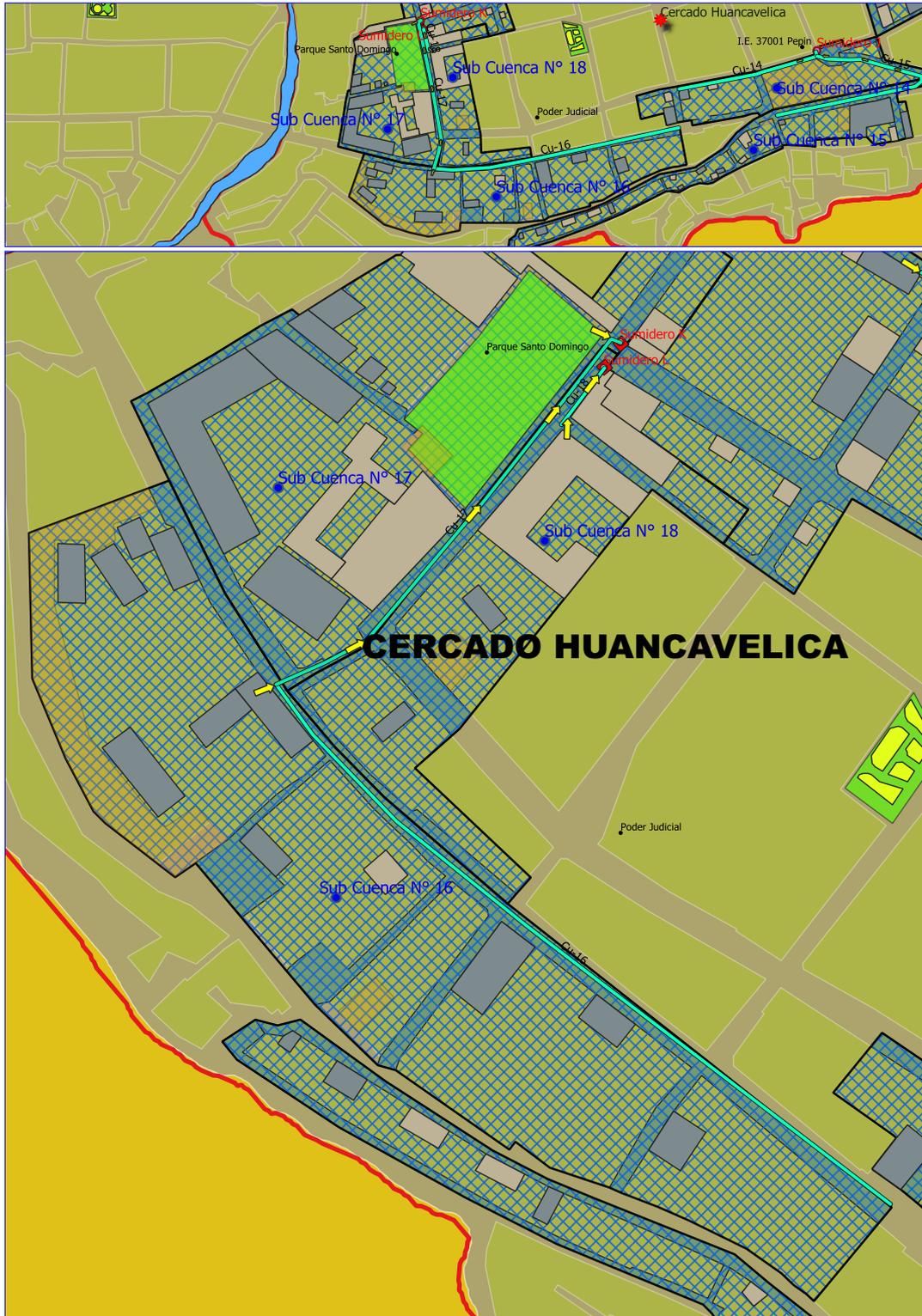


Figura B.6.: Mapa de las sub cuencas-Cercado Hvca (parte III)

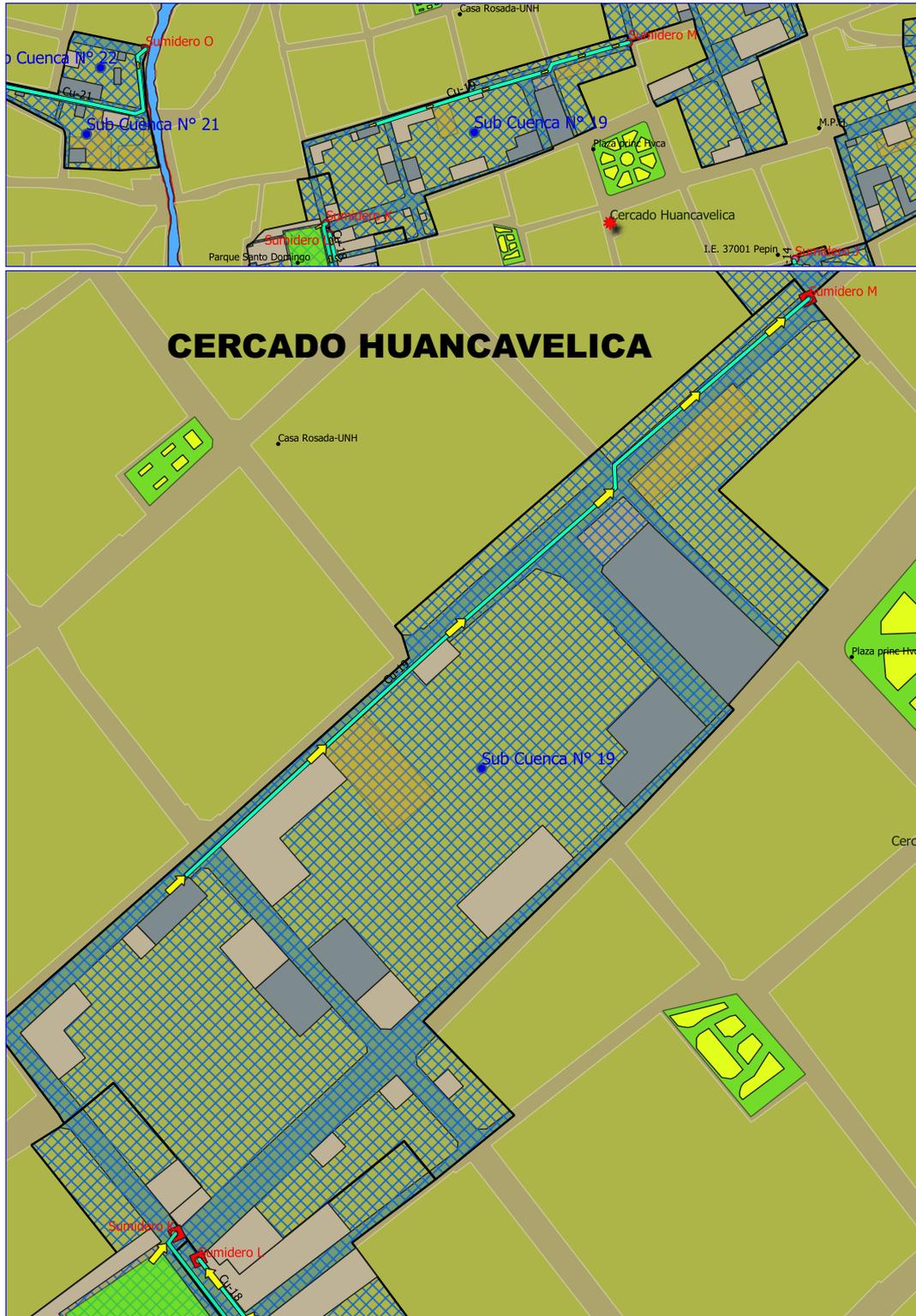


Figura B.7.: Mapa de las sub cuencas-Cercado Hvca (parte IV)

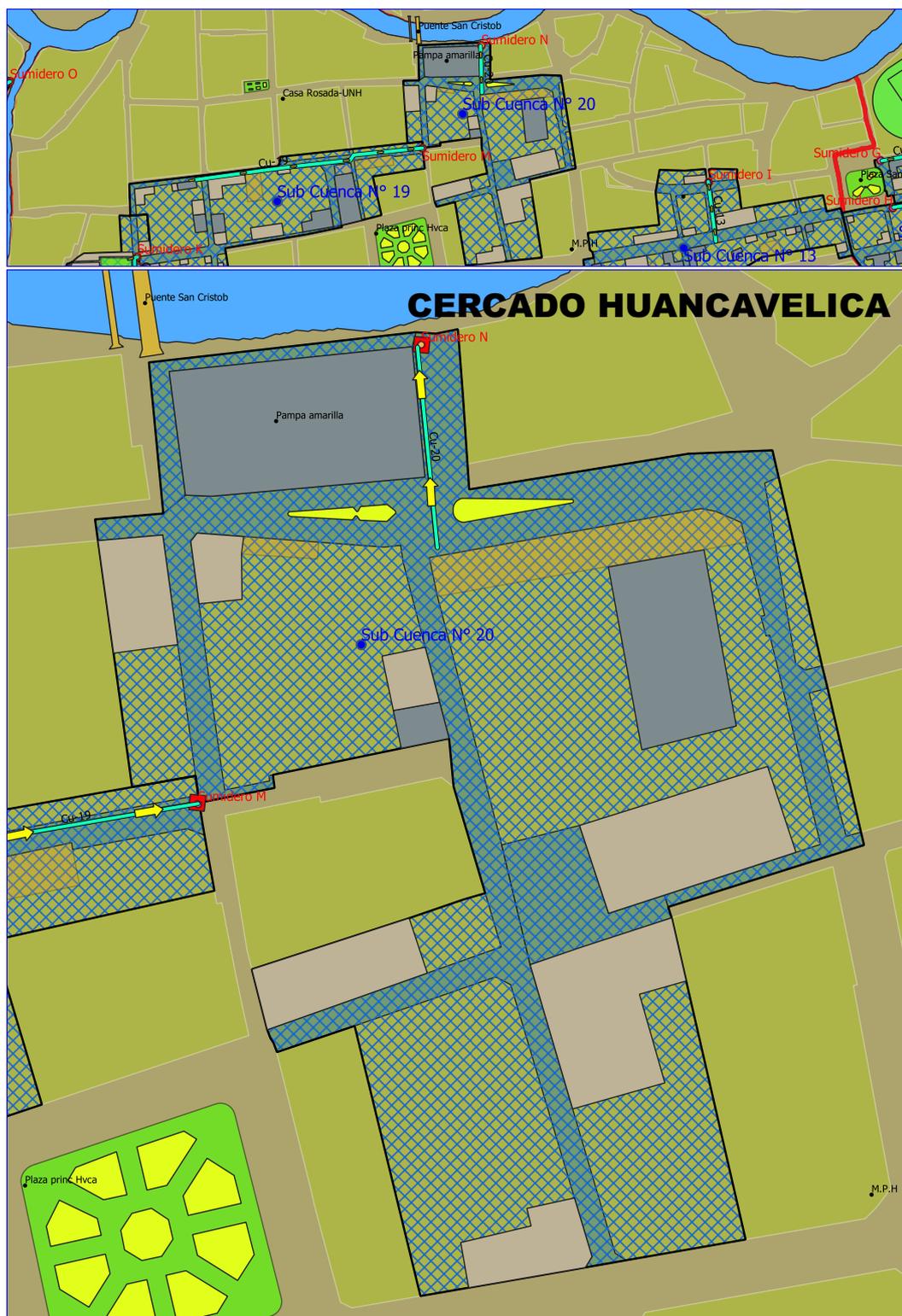


Figura B.8.: Mapa de las sub cuencas-Cercado Hvca (parte V)

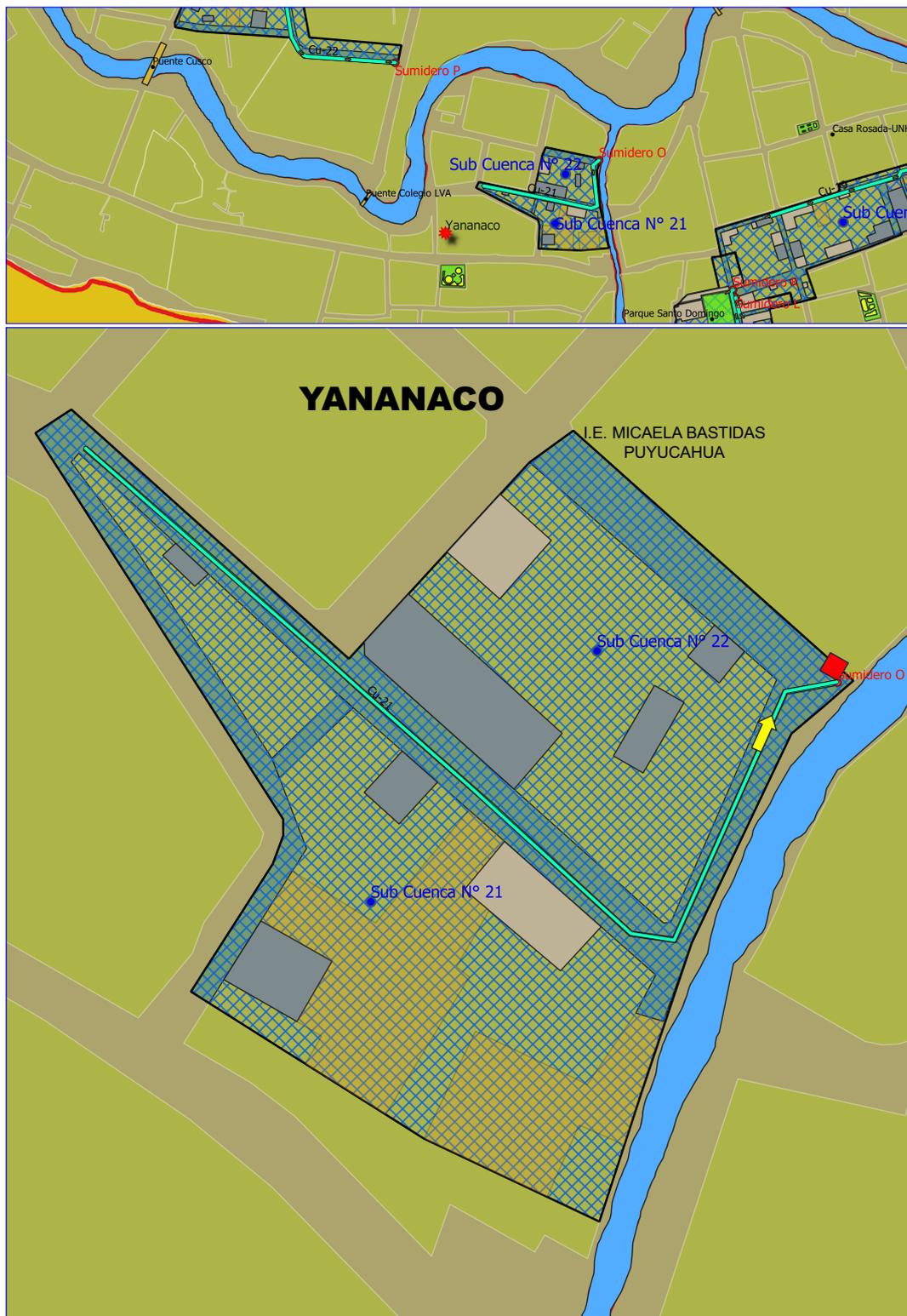


Figura B.9.: Mapa de las sub cuencas-Yananaco



Figura B.10.: Mapa de las sub cuencas-Ascension

C. Cuadro de datos utilizados en los cálculos de la transformación lluvia escorrentía

Datos de ingreso para cálculo de hidrogramas usando la onda cinemática

Sub Cuenca	L (m)	W (m)	$\Delta x$ (m)	$\Delta t$ (min)	S (m/m)	n
SC-1	295.07	78.00	49.18	5	0.056	0.014
SC-2	273.37	95.00	45.56	5	0.046	0.014
SC-3	191.97	45.00	32.00	5	0.068	0.014
SC-4	98.94	58.00	16.49	5	0.138	0.014
SC-5	104.23	50.00	17.37	5	0.114	0.014
SC-6	110.15	42.01	18.36	5	0.082	0.014
SC-7	133.99	47.68	22.33	5	0.030	0.014
SC-8	138.94	45.00	23.16	5	0.021	0.014
SC-9	186.26	43.27	31.04	5	0.064	0.014
SC-10	203.33	62.60	33.89	5	0.044	0.014
SC-11	322.82	47.00	53.80	5	0.013	0.014
SC-12	344.98	55.00	57.50	5	0.021	0.014
SC-13	409.70	73.00	68.28	5	0.023	0.014
SC-14	353.10	45.00	58.85	5	0.016	0.014
SC-15	555.16	35.00	92.53	5	0.045	0.014
SC-16	373.64	66.00	62.27	5	0.027	0.014
SC-17	240.37	66.00	40.06	5	0.050	0.014
SC-18	274.22	30.00	45.70	5	0.057	0.014
SC-19	401.61	66.00	66.94	5	0.022	0.014
SC-20	416.62	68.00	69.44	5	0.037	0.014
SC-21	184.27	36.00	30.71	5	0.066	0.014
SC-22	87.23	59.00	14.54	5	0.015	0.014
SC-23	314.85	44.00	52.48	5	0.073	0.014
SC-24	118.55	68.00	19.76	5	0.074	0.014

Cuadro C.1.: Datos de ingreso para Onda Cinemática

Cálculo de Curva Número, Ejemplo para Sub Cuenca N° 1

Tipo de Suelo	Clasificación de uso y cobertura de suelo	Punto de aforo E		CN	CNxÁrea
		Area (m2)	(%)		
B	Terreno natural expuesto	1463.36	13.87	82	119995.42
B	Techos (calamina)	529.94	5.02	98	51933.89
B	Techos (Teja)	100.20	0.95	98	9819.84
B	Techos (concreto)	6248.30	59.20	98	612333.64
B	Pista (concreto)	2212.13	20.96	98	216788.89
<b>Total</b>	<b>Permeable</b>	1463.36	13.87	<b>CN</b>	<b>Total</b>
10553.93	<b>Impermeable</b>	9090.57	86.13	<b>96</b>	1010871.67

Cuadro C.2.:

CN: Curva Número

Resumen de Curva Número para las 24 Sub Cuenclas

SC	CN	SC	CN
SC-01	96	SC-13	98
SC-02	91	SC-14	94
SC-03	96	SC-15	98
SC-04	97	SC-16	91
SC-05	95	SC-17	95
SC-06	94	SC-18	98
SC-07	97	SC-19	97
SC-08	97	SC-20	97
SC-09	97	SC-21	93
SC-10	96	SC-22	96
SC-11	98	SC-23	97
SC-12	97	SC-24	97

Cuadro C.3.: Curva Número-24 SC

Datos de Registro de la estación Huancavelica-ICHU River Calibration Cálculo

Día	Hora		Intensidad (mm/h)	Precip. (mm)
20/12/2015	5:15 p. m.	5	16.20	1.350
20/12/2015	5:20 p. m.	10	117.60	9.800
20/12/2015	5:25 p. m.	15	117.60	9.800
20/12/2015	5:30 p. m.	20	47.80	3.983
20/12/2015	5:35 p. m.	25	12.20	1.017
20/12/2015	5:40 p. m.	30	2.00	0.167
20/12/2015	5:45 p. m.	35	1.00	0.083
20/12/2015	5:50 p. m.	40	2.80	0.233
20/12/2015	5:55 p. m.	45	2.80	0.233
20/12/2015	6:00 p. m.	50	2.00	0.167
20/12/2015	6:05 p. m.	55	1.00	0.083
20/12/2015	6:10 p. m.	60	1.00	0.083
20/12/2015	6:15 p. m.	65	0.80	0.067
20/12/2015	6:20 p. m.	70	1.20	0.100
20/12/2015	6:25 p. m.	75	1.20	0.100
20/12/2015	6:30 p. m.	80	1.20	0.100
20/12/2015	6:35 p. m.	85	1.20	0.100
20/12/2015	6:40 p. m.	90	3.00	0.250
20/12/2015	6:45 p. m.	95	3.00	0.250
20/12/2015	6:50 p. m.	100	1.60	0.133
20/12/2015	6:55 p. m.	105	1.80	0.150
20/12/2015	7:00 p. m.	110	2.00	0.167
20/12/2015	7:05 p. m.	115	1.60	0.133
20/12/2015	7:10 p. m.	120	1.00	0.083
20/12/2015	7:15 p. m.	125	1.00	0.083
20/12/2015	7:20 p. m.	130	0.80	0.067
20/12/2015	7:25 p. m.	135	0.80	0.067
20/12/2015	7:30 p. m.	140	0.80	0.067
20/12/2015	7:35 p. m.	145	2.60	0.217
20/12/2015	7:40 p. m.	150	1.40	0.117
20/12/2015	7:45 p. m.	155	0.80	0.067

Cuadro C.4.: Datos reales Est. Hvca

lo de las abstracciones y hietograma de exceso de lluvia por el método SCS

<b>Tiempo</b>	<b>Lluvia</b>	<b>Abstracciones</b>		<b>Exce Lluvia</b>	<b>Hieto</b>
<b>(min)</b>	<b>Acumul.</b>	<b>Inicial</b>	<b>Final</b>	<b>Pe</b>	<b>Exceso</b>
	<b>(mm)</b>	<b>Ia</b>	<b>Fa</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>
0	1.350	1.037	0.295	0.018	0.000
5	11.150	1.037	3.427	6.686	6.668
10	20.950	1.037	4.113	15.800	9.114
15	24.933	1.037	4.260	19.637	3.837
20	25.950	1.037	4.291	20.622	0.985
25	26.117	1.037	4.296	20.784	0.162
30	26.200	1.037	4.298	20.865	0.081
35	26.433	1.037	4.305	21.092	0.227
40	26.667	1.037	4.312	21.318	0.227
45	26.833	1.037	4.316	21.480	0.162
50	26.917	1.037	4.319	21.561	0.081
55	27.000	1.037	4.321	21.642	0.081
60	27.067	1.037	4.323	21.707	0.065
65	27.167	1.037	4.326	21.804	0.097
70	27.267	1.037	4.328	21.902	0.097
75	27.367	1.037	4.331	21.999	0.097
80	27.467	1.037	4.334	22.096	0.097
85	27.717	1.037	4.340	22.340	0.243
90	27.967	1.037	4.347	22.583	0.243
95	28.100	1.037	4.350	22.713	0.130
100	28.250	1.037	4.354	22.859	0.146
105	28.417	1.037	4.359	23.021	0.162
110	28.550	1.037	4.362	23.151	0.130
115	28.633	1.037	4.364	23.233	0.081
120	28.717	1.037	4.366	23.314	0.081
125	28.783	1.037	4.368	23.379	0.065
130	28.850	1.037	4.369	23.444	0.065
135	28.917	1.037	4.371	23.509	0.065
140	29.133	1.037	4.376	23.720	0.211
145	29.250	1.037	4.379	23.834	0.114
150	29.317	1.037	4.381	23.899	0.065
155	29.846	1.037	4.393	24.416	0.517
160	30.343	1.037	4.405	24.902	0.486
165	30.813	1.037	4.415	25.361	0.459
170	31.257	1.037	4.425	25.795	0.434
175	31.678	1.037	4.434	26.208	0.413

Cuadro C.5.:Hietograma de exceso

### Ecuación de transformación lluvia escorrentía

La ecuación 4.2.1 representa la función transformación, a través de la cual el hietograma de exceso de lluvia se transforma en hidrogramas, esta ecuación se resuelve usando el esquema de diferencias finitas. Dónde  $(i - f)$  representa la lluvia de diseño o precipitación neta.

$$\frac{q_{x1}^1 - q_{x1}^0}{\Delta t} + \left[ \frac{5}{3} q^{\frac{2}{5}} S_o^{\frac{3}{10}} n^{-\frac{3}{5}} \right] \frac{q_{x1}^1 - q_{x0}^1}{\Delta x} = \left[ \frac{5}{3} q^{\frac{2}{5}} S_o^{\frac{3}{10}} n^{-\frac{3}{5}} \right] (i - f) \quad (4.2.1)$$

Dando resultado el hidrograma de la figura C.1 y el cuadro C.6

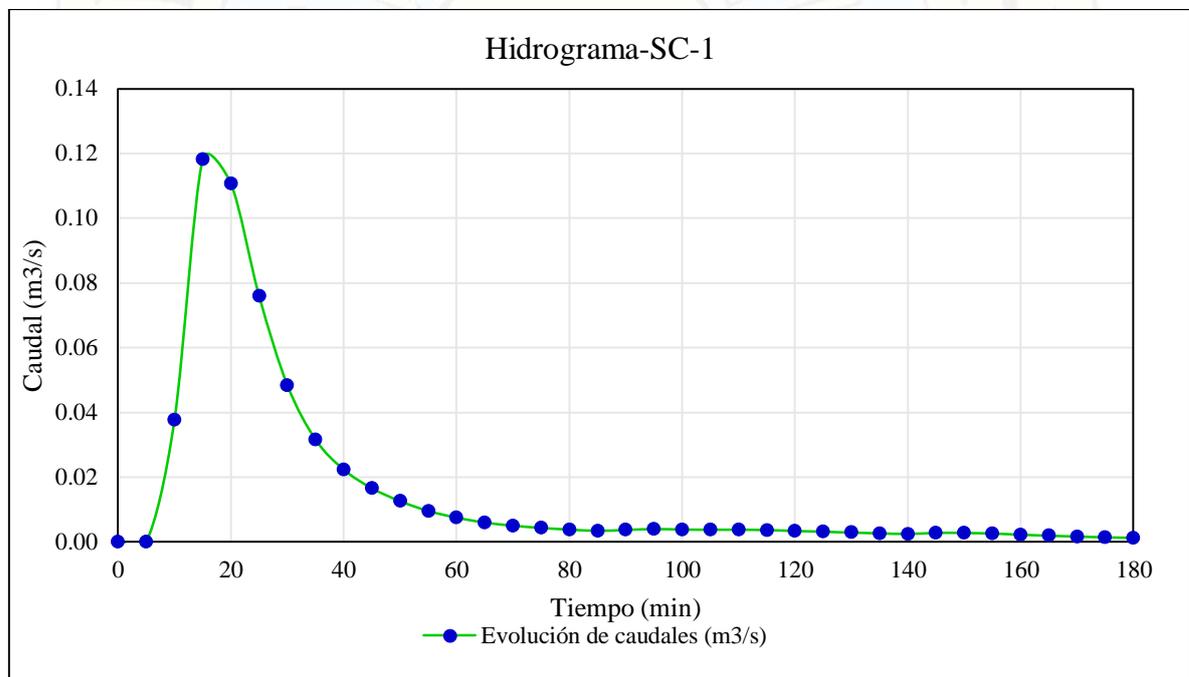


Figura C.1.: Hidrograma de SC-01.

Caudales unitarios para cada  $\Delta x$  correspondiente a la SC-01, Ver Cuadro C.6.

t		q(m3/s/m)						Q
(min)	x	x	x	x	x	x	x	(m3/s)
	<b>0</b>	<b>49.18</b>	<b>98.36</b>	<b>147.54</b>	<b>196.72</b>	<b>245.89</b>	<b>295.07</b>	
0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000
5	0	1.0E-8	1.0E-8	1.0E-8	1.0E-8	1.0E-8	1.0E-8	0.0000
10	0	1.4E-4	2.4E-4	3.3E-4	3.9E-4	4.4E-4	4.8E-4	0.0378
15	0	3.4E-4	6.4E-4	9.0E-4	1.1E-3	1.3E-3	1.5E-3	0.1183
20	0	2.4E-4	4.9E-4	7.4E-4	9.7E-4	1.2E-3	1.4E-3	0.1107
25	0	1.3E-4	2.8E-4	4.4E-4	6.2E-4	8.0E-4	9.7E-4	0.0760
30	0	6.3E-5	1.5E-4	2.5E-4	3.7E-4	4.9E-4	6.2E-4	0.0485
35	0	3.5E-5	8.7E-5	1.5E-4	2.3E-4	3.1E-4	4.1E-4	0.0317
40	0	2.5E-5	6.0E-5	1.0E-4	1.6E-4	2.2E-4	2.9E-4	0.0224
45	0	1.9E-5	4.5E-5	7.8E-5	1.2E-4	1.6E-4	2.1E-4	0.0166
50	0	1.5E-5	3.5E-5	5.9E-5	8.9E-5	1.2E-4	1.6E-4	0.0126
55	0	1.1E-5	2.6E-5	4.5E-5	6.7E-5	9.3E-5	1.2E-4	0.0096
60	0	8.6E-6	2.0E-5	3.5E-5	5.3E-5	7.3E-5	9.7E-5	0.0075
65	0	6.9E-6	1.6E-5	2.8E-5	4.2E-5	5.9E-5	7.7E-5	0.0060
70	0	6.3E-6	1.4E-5	2.4E-5	3.6E-5	4.9E-5	6.5E-5	0.0051
75	0	5.9E-6	1.3E-5	2.2E-5	3.1E-5	4.3E-5	5.6E-5	0.0044
80	0	5.6E-6	1.2E-5	2.0E-5	2.8E-5	3.8E-5	4.9E-5	0.0039
85	0	5.4E-6	1.1E-5	1.8E-5	2.6E-5	3.5E-5	4.5E-5	0.0035
90	0	7.8E-6	1.5E-5	2.2E-5	3.0E-5	3.9E-5	4.8E-5	0.0037
95	0	9.4E-6	1.8E-5	2.6E-5	3.4E-5	4.3E-5	5.2E-5	0.0040
100	0	8.5E-6	1.7E-5	2.5E-5	3.3E-5	4.1E-5	5.0E-5	0.0039
105	0	8.2E-6	1.6E-5	2.4E-5	3.2E-5	4.0E-5	4.9E-5	0.0038
110	0	8.2E-6	1.6E-5	2.5E-5	3.3E-5	4.1E-5	4.9E-5	0.0038
115	0	7.7E-6	1.6E-5	2.4E-5	3.1E-5	3.9E-5	4.7E-5	0.0037
120	0	6.6E-6	1.4E-5	2.1E-5	2.9E-5	3.6E-5	4.4E-5	0.0034
125	0	5.9E-6	1.2E-5	1.9E-5	2.6E-5	3.4E-5	4.1E-5	0.0032
130	0	5.1E-6	1.1E-5	1.7E-5	2.4E-5	3.1E-5	3.8E-5	0.0029
135	0	4.6E-6	9.9E-6	1.6E-5	2.2E-5	2.8E-5	3.5E-5	0.0027
140	0	4.2E-6	9.1E-6	1.4E-5	2.0E-5	2.6E-5	3.2E-5	0.0025
145	0	6.3E-6	1.2E-5	1.8E-5	2.4E-5	3.0E-5	3.6E-5	0.0028
150	0	6.2E-6	1.2E-5	1.8E-5	2.4E-5	3.0E-5	3.6E-5	0.0028
155	0	5.3E-6	1.1E-5	1.6E-5	2.2E-5	2.8E-5	3.4E-5	0.0026
160	0	3.9E-6	8.5E-6	1.3E-5	1.8E-5	2.4E-5	2.9E-5	0.0023
165	0	2.9E-6	6.7E-6	1.1E-5	1.5E-5	2.0E-5	2.5E-5	0.0020
170	0	2.2E-6	5.3E-6	9.0E-6	1.3E-5	1.7E-5	2.2E-5	0.0017
175	0	1.7E-6	4.3E-6	7.4E-6	1.1E-5	1.5E-5	1.9E-5	0.0015
180	0	1.4E-6	3.5E-6	6.2E-6	9.3E-6	1.3E-5	1.6E-5	0.0013

Cuadro C.6.: Caudal unitario

D. Cuadro de resultado de hidrogramas para las 24 sub cuencas, Ver Cuadro D1, D2, D3 y D4.

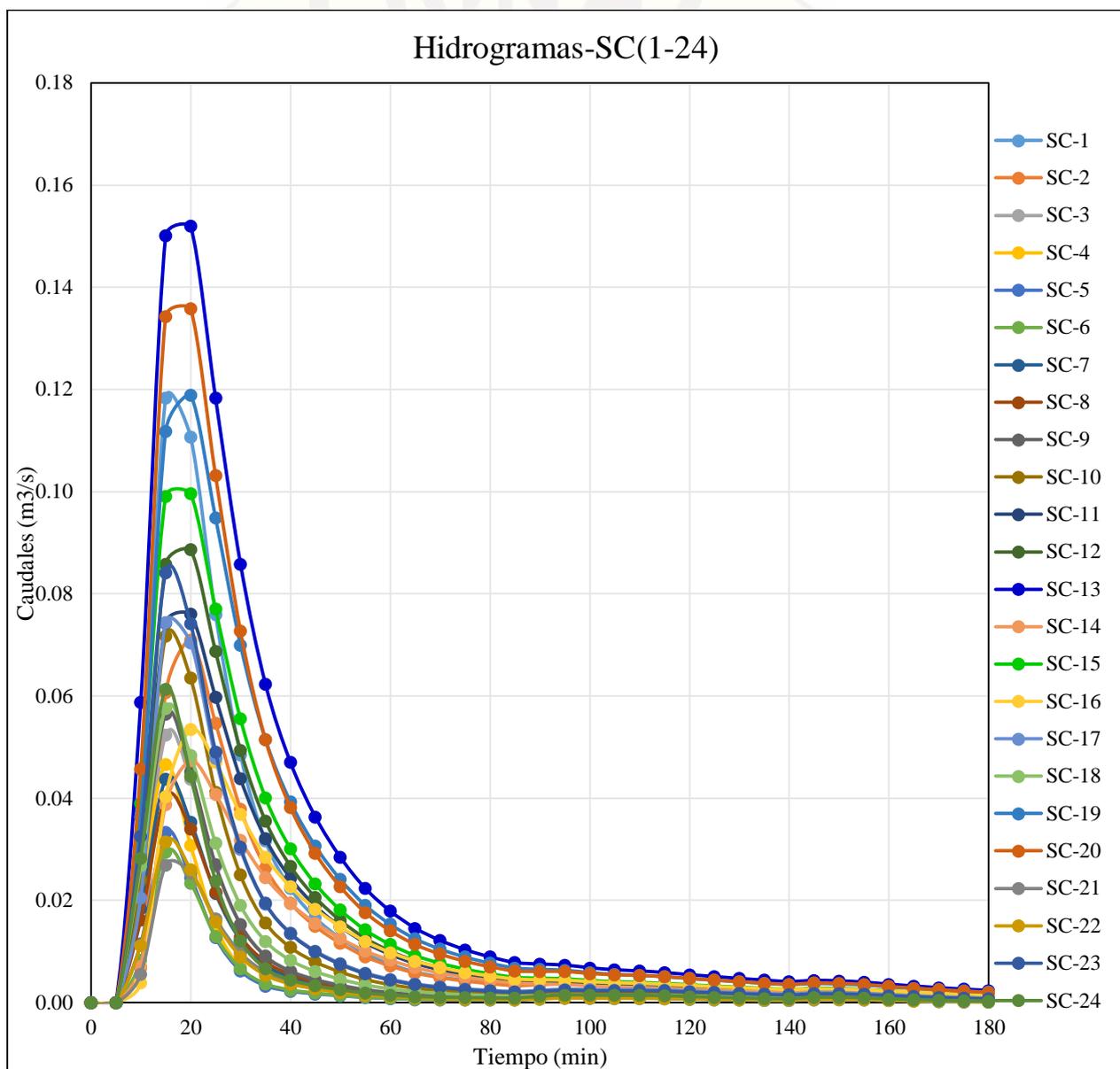


Figura D.1.: Hidrogramas de SC(1-24)

Tiempo (min)	SC-1 Q(m3/s)	SC-2 Q(m3/s)	SC-3 Q(m3/s)	SC-4 Q(m3/s)	SC-5 Q(m3/s)	SC-6 Q(m3/s)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0378	0.0068	0.0186	0.0229	0.0115	0.0083
15	0.1183	0.0607	0.0523	0.0466	0.0333	0.0294
20	0.1107	0.0709	0.0437	0.0308	0.0244	0.0234
25	0.0760	0.0547	0.0267	0.0150	0.0127	0.0130
30	0.0485	0.0379	0.0153	0.0070	0.0062	0.0067
35	0.0317	0.0263	0.0092	0.0036	0.0033	0.0037
40	0.0224	0.0195	0.0062	0.0024	0.0022	0.0025
45	0.0166	0.0150	0.0046	0.0019	0.0017	0.0019
50	0.0126	0.0116	0.0034	0.0015	0.0013	0.0014
55	0.0096	0.0090	0.0026	0.0011	0.0010	0.0011
60	0.0075	0.0072	0.0020	0.0009	0.0008	0.0008
65	0.0060	0.0058	0.0016	0.0007	0.0006	0.0007
70	0.0051	0.0049	0.0014	0.0006	0.0006	0.0006
75	0.0044	0.0042	0.0012	0.0006	0.0005	0.0006
80	0.0039	0.0037	0.0011	0.0006	0.0005	0.0005
85	0.0035	0.0034	0.0010	0.0006	0.0005	0.0005
90	0.0037	0.0035	0.0013	0.0009	0.0008	0.0007
95	0.0040	0.0037	0.0015	0.0012	0.0009	0.0009
100	0.0039	0.0035	0.0014	0.0011	0.0009	0.0009
105	0.0038	0.0035	0.0014	0.0010	0.0008	0.0008
110	0.0038	0.0035	0.0014	0.0010	0.0009	0.0008
115	0.0037	0.0034	0.0014	0.0009	0.0008	0.0008
120	0.0034	0.0031	0.0012	0.0008	0.0007	0.0007
125	0.0032	0.0029	0.0011	0.0007	0.0006	0.0006
130	0.0029	0.0027	0.0010	0.0006	0.0005	0.0005
135	0.0027	0.0025	0.0009	0.0005	0.0005	0.0005
140	0.0025	0.0023	0.0009	0.0005	0.0004	0.0004
145	0.0028	0.0026	0.0010	0.0007	0.0006	0.0006
150	0.0028	0.0026	0.0010	0.0008	0.0006	0.0006
155	0.0026	0.0024	0.0010	0.0007	0.0006	0.0006
160	0.0023	0.0021	0.0008	0.0005	0.0004	0.0004
165	0.0020	0.0018	0.0007	0.0003	0.0003	0.0003
170	0.0017	0.0016	0.0005	0.0003	0.0002	0.0003
175	0.0015	0.0014	0.0005	0.0002	0.0002	0.0002
180	0.0013	0.0012	0.0004	0.0001	0.0001	0.0002

Cuadro D1.: Caudales SC(1-6)

Tiempo (min)	SC-7 Q(m3/s)	SC-8 Q(m3/s)	SC-9 Q(m3/s)	SC-10 Q(m3/s)	SC-11 Q(m3/s)	SC-12 Q(m3/s)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0183	0.0162	0.0239	0.0242	0.0288	0.0286
15	0.0438	0.0403	0.0564	0.0717	0.0743	0.0858
20	0.0354	0.0340	0.0451	0.0635	0.0760	0.0886
25	0.0214	0.0216	0.0270	0.0412	0.0598	0.0688
30	0.0122	0.0129	0.0153	0.0250	0.0438	0.0494
35	0.0073	0.0080	0.0091	0.0157	0.0321	0.0355
40	0.0050	0.0055	0.0061	0.0108	0.0243	0.0267
45	0.0036	0.0040	0.0045	0.0080	0.0189	0.0206
50	0.0027	0.0030	0.0034	0.0060	0.0148	0.0161
55	0.0020	0.0023	0.0025	0.0045	0.0117	0.0126
60	0.0016	0.0018	0.0020	0.0035	0.0094	0.0101
65	0.0013	0.0014	0.0016	0.0028	0.0077	0.0082
70	0.0011	0.0012	0.0013	0.0024	0.0064	0.0068
75	0.0010	0.0010	0.0012	0.0021	0.0054	0.0058
80	0.0009	0.0009	0.0011	0.0019	0.0047	0.0050
85	0.0008	0.0009	0.0010	0.0017	0.0041	0.0044
90	0.0010	0.0010	0.0012	0.0019	0.0039	0.0043
95	0.0011	0.0011	0.0014	0.0022	0.0038	0.0043
100	0.0011	0.0011	0.0014	0.0021	0.0035	0.0040
105	0.0011	0.0011	0.0014	0.0021	0.0033	0.0038
110	0.0011	0.0011	0.0014	0.0021	0.0032	0.0037
115	0.0011	0.0010	0.0014	0.0020	0.0030	0.0035
120	0.0010	0.0009	0.0012	0.0019	0.0028	0.0033
125	0.0009	0.0009	0.0011	0.0017	0.0026	0.0030
130	0.0008	0.0008	0.0010	0.0016	0.0024	0.0028
135	0.0007	0.0007	0.0009	0.0014	0.0023	0.0026
140	0.0007	0.0007	0.0008	0.0013	0.0021	0.0025
145	0.0008	0.0008	0.0010	0.0016	0.0022	0.0026
150	0.0008	0.0008	0.0010	0.0015	0.0022	0.0026
155	0.0007	0.0007	0.0009	0.0014	0.0021	0.0024
160	0.0006	0.0006	0.0008	0.0012	0.0019	0.0022
165	0.0005	0.0005	0.0006	0.0010	0.0017	0.0019
170	0.0004	0.0004	0.0005	0.0009	0.0015	0.0017
175	0.0004	0.0004	0.0004	0.0007	0.0014	0.0016
180	0.0003	0.0003	0.0004	0.0006	0.0012	0.0014

Cuadro D2.: Caudales SC(7-12)

Tiempo (min)	SC-13 Q(m3/s)	SC-14 Q(m3/s)	SC-15 Q(m3/s)	SC-16 Q(m3/s)	SC-17 Q(m3/s)	SC-18 Q(m3/s)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0587	0.0071	0.0390	0.0039	0.0205	0.0268
15	0.1500	0.0388	0.0991	0.0403	0.0744	0.0576
20	0.1520	0.0473	0.0997	0.0534	0.0704	0.0484
25	0.1184	0.0408	0.0771	0.0470	0.0478	0.0312
30	0.0858	0.0318	0.0555	0.0369	0.0300	0.0190
35	0.0624	0.0245	0.0401	0.0285	0.0193	0.0120
40	0.0470	0.0194	0.0302	0.0227	0.0136	0.0083
45	0.0364	0.0156	0.0232	0.0183	0.0101	0.0061
50	0.0285	0.0126	0.0182	0.0148	0.0077	0.0046
55	0.0224	0.0101	0.0142	0.0120	0.0058	0.0034
60	0.0179	0.0083	0.0114	0.0098	0.0046	0.0027
65	0.0146	0.0068	0.0092	0.0081	0.0036	0.0021
70	0.0122	0.0058	0.0077	0.0069	0.0031	0.0018
75	0.0104	0.0050	0.0066	0.0059	0.0027	0.0016
80	0.0089	0.0043	0.0057	0.0052	0.0024	0.0014
85	0.0078	0.0038	0.0050	0.0046	0.0022	0.0013
90	0.0075	0.0036	0.0048	0.0044	0.0024	0.0014
95	0.0073	0.0035	0.0047	0.0044	0.0026	0.0015
100	0.0068	0.0033	0.0044	0.0041	0.0025	0.0015
105	0.0064	0.0031	0.0041	0.0039	0.0025	0.0014
110	0.0062	0.0029	0.0040	0.0037	0.0025	0.0014
115	0.0059	0.0028	0.0038	0.0036	0.0024	0.0014
120	0.0055	0.0026	0.0035	0.0033	0.0023	0.0013
125	0.0051	0.0024	0.0033	0.0031	0.0021	0.0012
130	0.0047	0.0023	0.0030	0.0029	0.0019	0.0011
135	0.0044	0.0021	0.0028	0.0027	0.0018	0.0010
140	0.0041	0.0020	0.0026	0.0025	0.0016	0.0009
145	0.0043	0.0021	0.0028	0.0027	0.0019	0.0011
150	0.0042	0.0020	0.0027	0.0026	0.0019	0.0011
155	0.0040	0.0019	0.0026	0.0025	0.0017	0.0010
160	0.0036	0.0017	0.0023	0.0022	0.0015	0.0008
165	0.0032	0.0016	0.0021	0.0020	0.0013	0.0007
170	0.0029	0.0014	0.0019	0.0018	0.0011	0.0006
175	0.0026	0.0013	0.0017	0.0016	0.0009	0.0005
180	0.0024	0.0012	0.0015	0.0015	0.0008	0.0005

Cuadro D3.: Caudales SC(13-18)

Tiempo (min)	SC-19 Q(m3/s)	SC-20 Q(m3/s)	SC-21 Q(m3/s)	SC-22 Q(m3/s)	SC-23 Q(m3/s)	SC-24 Q(m3/s)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0364	0.0457	0.0056	0.0112	0.0326	0.0283
15	0.1118	0.1343	0.0269	0.0314	0.0841	0.0614
20	0.1188	0.1359	0.0254	0.0261	0.0742	0.0443
25	0.0949	0.1032	0.0164	0.0158	0.0491	0.0238
30	0.0700	0.0727	0.0097	0.0090	0.0304	0.0121
35	0.0515	0.0515	0.0060	0.0054	0.0194	0.0066
40	0.0393	0.0382	0.0041	0.0036	0.0136	0.0044
45	0.0306	0.0292	0.0031	0.0027	0.0100	0.0033
50	0.0241	0.0227	0.0023	0.0020	0.0075	0.0025
55	0.0191	0.0177	0.0018	0.0015	0.0057	0.0019
60	0.0154	0.0141	0.0014	0.0012	0.0045	0.0015
65	0.0125	0.0114	0.0011	0.0009	0.0036	0.0012
70	0.0105	0.0095	0.0009	0.0008	0.0030	0.0010
75	0.0089	0.0081	0.0008	0.0007	0.0026	0.0010
80	0.0077	0.0070	0.0008	0.0007	0.0023	0.0009
85	0.0068	0.0062	0.0007	0.0006	0.0021	0.0009
90	0.0065	0.0061	0.0008	0.0008	0.0023	0.0012
95	0.0064	0.0061	0.0010	0.0009	0.0025	0.0015
100	0.0059	0.0057	0.0010	0.0009	0.0024	0.0014
105	0.0056	0.0055	0.0009	0.0008	0.0024	0.0014
110	0.0054	0.0053	0.0010	0.0009	0.0024	0.0014
115	0.0051	0.0051	0.0009	0.0008	0.0023	0.0013
120	0.0047	0.0047	0.0008	0.0008	0.0021	0.0012
125	0.0044	0.0044	0.0008	0.0007	0.0020	0.0010
130	0.0041	0.0041	0.0007	0.0006	0.0018	0.0009
135	0.0038	0.0038	0.0006	0.0006	0.0017	0.0008
140	0.0036	0.0036	0.0006	0.0005	0.0015	0.0007
145	0.0038	0.0038	0.0007	0.0006	0.0018	0.0010
150	0.0037	0.0038	0.0007	0.0006	0.0017	0.0010
155	0.0035	0.0036	0.0007	0.0006	0.0016	0.0009
160	0.0031	0.0032	0.0005	0.0005	0.0014	0.0007
165	0.0028	0.0028	0.0005	0.0004	0.0012	0.0006
170	0.0025	0.0025	0.0004	0.0003	0.0010	0.0004
175	0.0023	0.0023	0.0003	0.0003	0.0009	0.0004
180	0.0021	0.0020	0.0003	0.0002	0.0008	0.0003

Cuadro D4.: Caudales SC(19-24)

## E. Código fuente del programa Onda CinemáticaV1.

```
#=====#
#           Universidad Nacional de Huancavelica
#           Facultad de Ciencias de Ingeniería
#           Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Hvca
#-----#
#Programa: Onda CinemáticaV1 (Transformación Lluvia-Escorrentía)
#-----#
#Autor: Valentín Acuña Huamán
#-----#
#=====#
import xlrd
hietograma_v = xlrd.open_workbook("ProcesCalculo.xlsx")
hietograma_a = hietograma_v.sheet_by_index(0)
#-----#
def solveoc(t,x,s,n,P,q01,q10):
    a=3/10
    b=-3/5
    Vc=5*((s**(a))*n**b)/3
    xi=1
    xf=0.1
    while abs(xi-xf)>0.000001:
        xi=xf
        fx=((xi-q10)/(t*60))+((Vc/x)*xi**(7/5))-
        Vc*(P/(15000*60)+q01/x)*xi**(2/5)
        dfx=(1/(t*60))+((7*Vc*xi**(2/5))/(5*x))-
        2*Vc*(((q01/x)+P/(15000*60))*xi**(-3/5))/5
        xf=xi-fx/dfx
    return xf
#Datos de la cuenca
#=====#
```

```

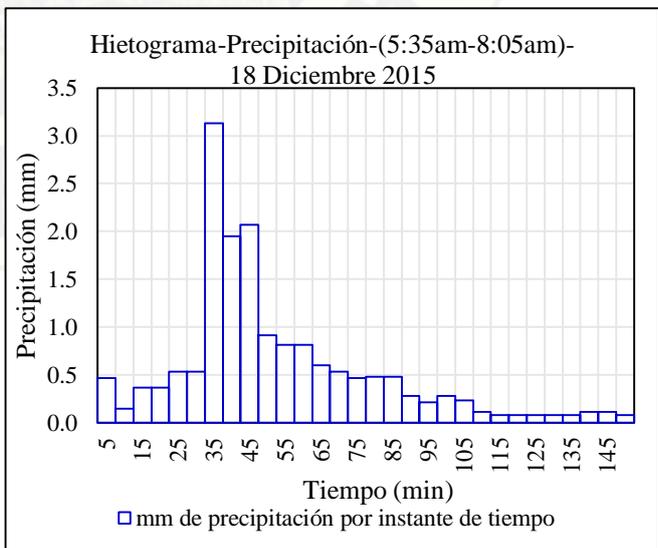
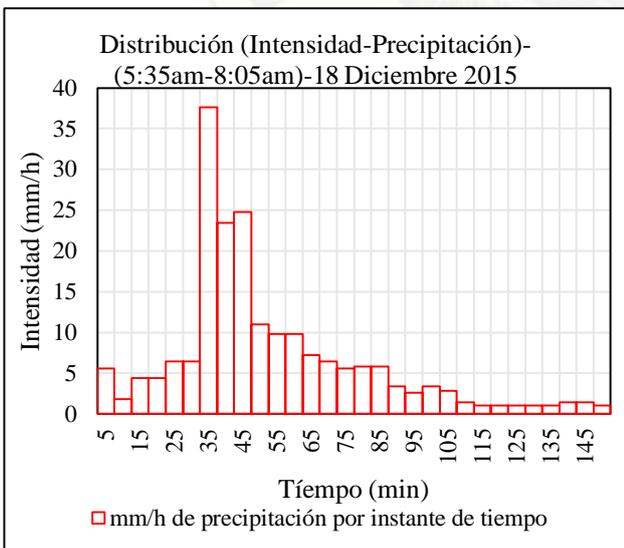
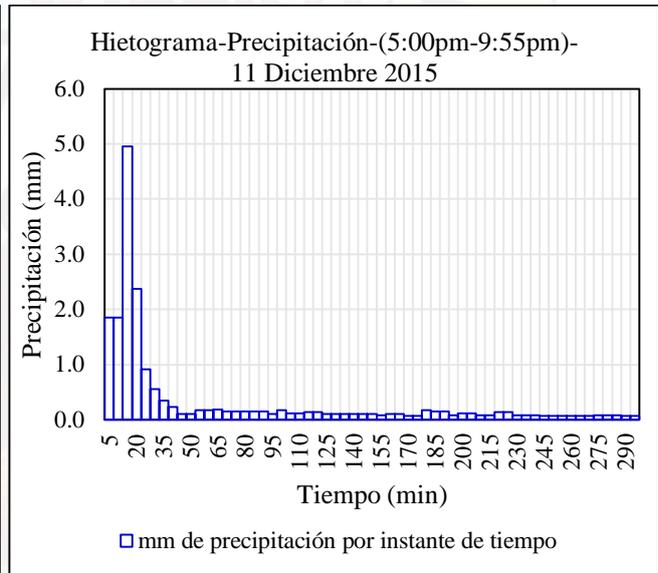
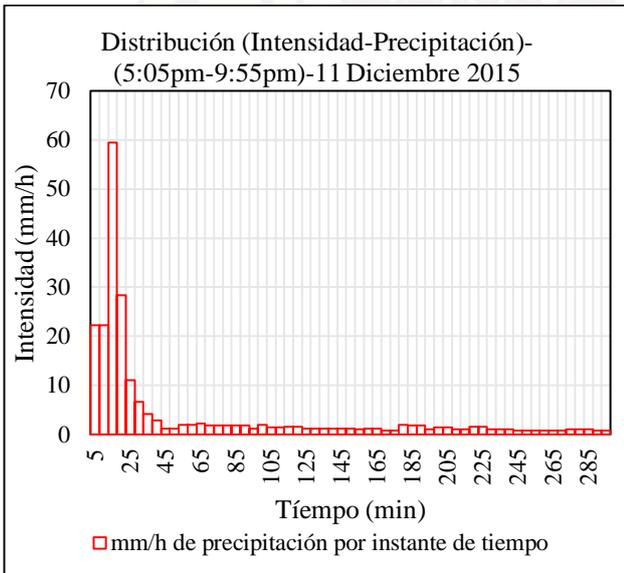
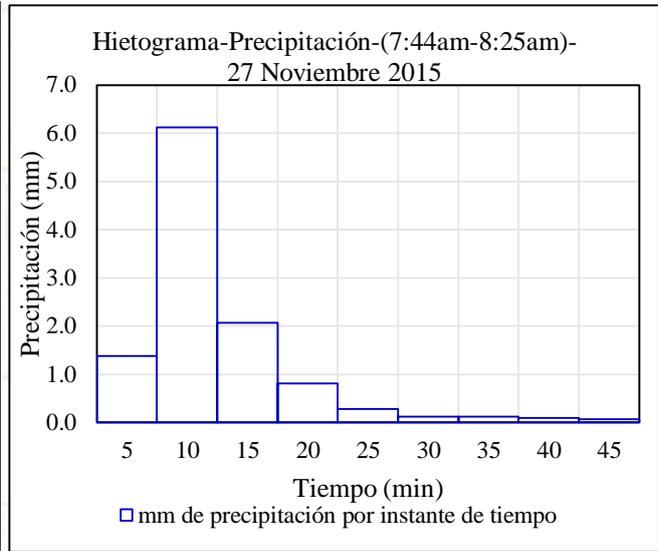
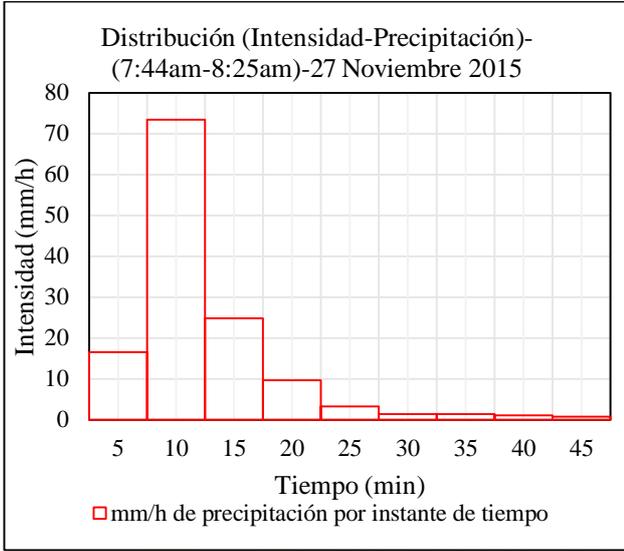
s=0.013          #pendiente de la cuenca m/m
n=0.014          #Rogosidad
x=53.8          #Variación de longitud x(m)
t=5             #Variación tiempo t(min)

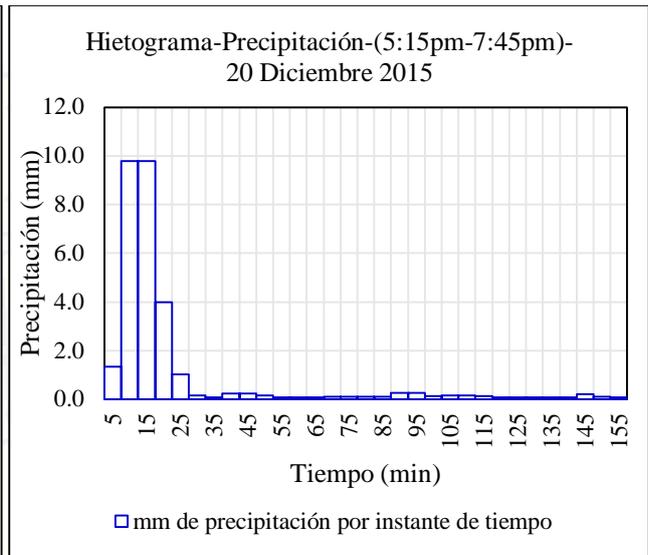
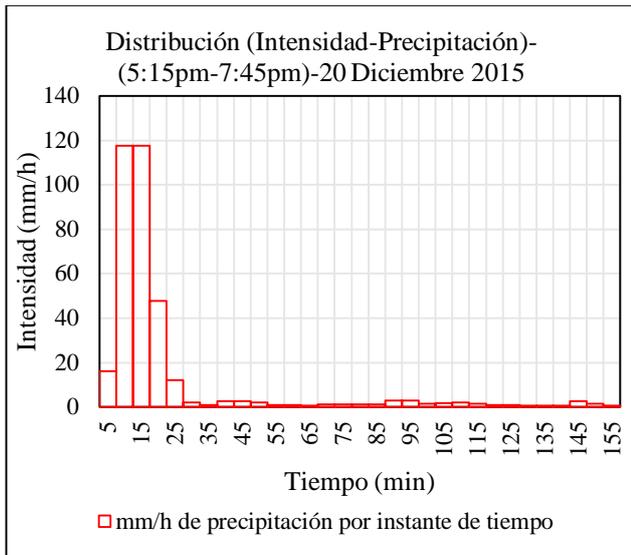
#=====#
P=[]
for I in range(36):
    P.append(hietograma_a.cell_value(rowx=9+I, colx=13))
print(P)
nc=7
nf=len(P)
oc=[[0 for i in range(nc)] for j in range(nf+1)]
for J in range(nf):
    for I in range(nc-1):
        q10=oc[J][I+1]          #Condicion inicial
        q01=oc[J+1][I]          #Condicion inicial
        oc[J+1][I+1]=solveoc(t,x,s,n,P[J],q01,q10)
es=12
for J in range(nf):
    print( str(round(J+1,2)).center(es)+
           str(round(oc[J][0],8)).center(es)+str(round(oc[J][1],
           8)).center(es)
           +str(round(oc[J][2],8)).center(es)+str(round(oc[J][3],
           8)).center(es)
           +str(round(oc[J][4],8)).center(es)+str(round(oc[J][5],
           8)).center(es)
           +str(round(oc[J][6],8)).center(es))
#=====#

```

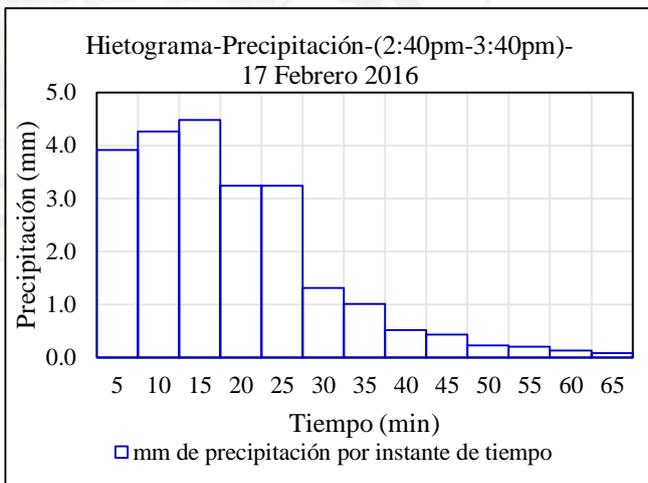
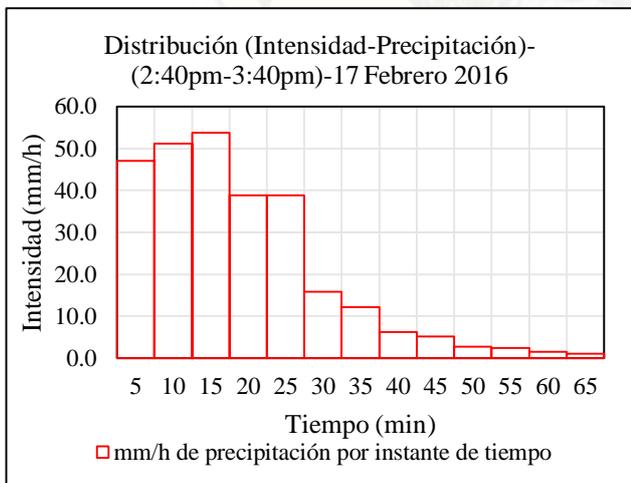
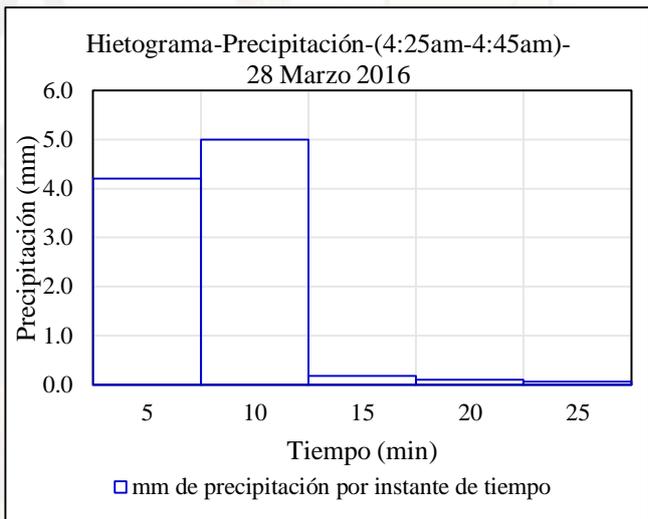
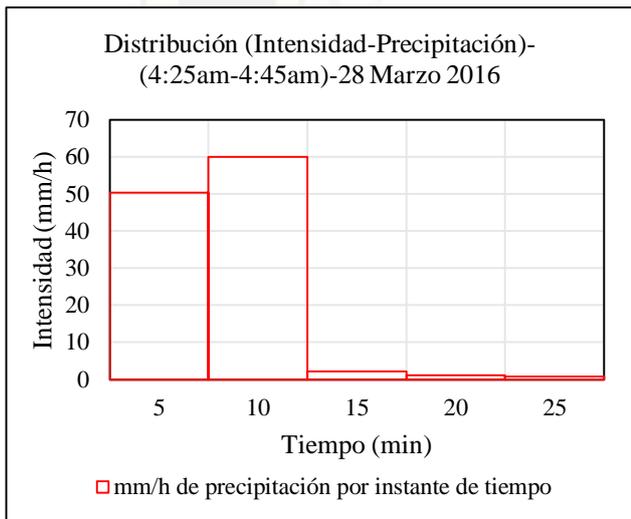
## F. Hietogramas de intensidades y precipitación (Dato:ICHU River Calibration-Hvca)

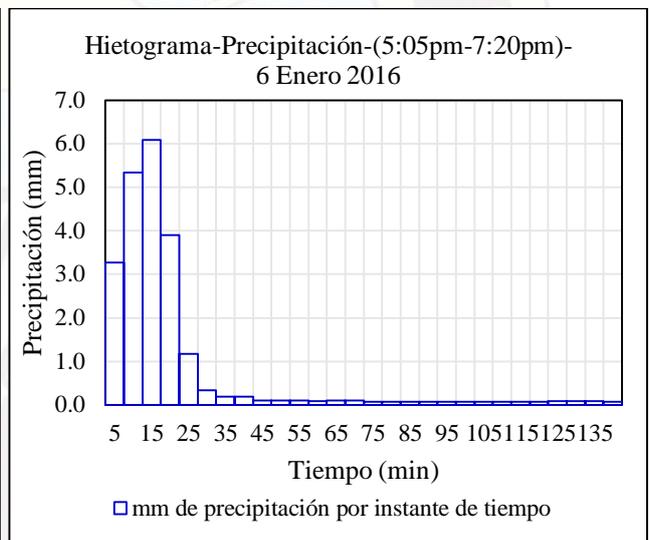
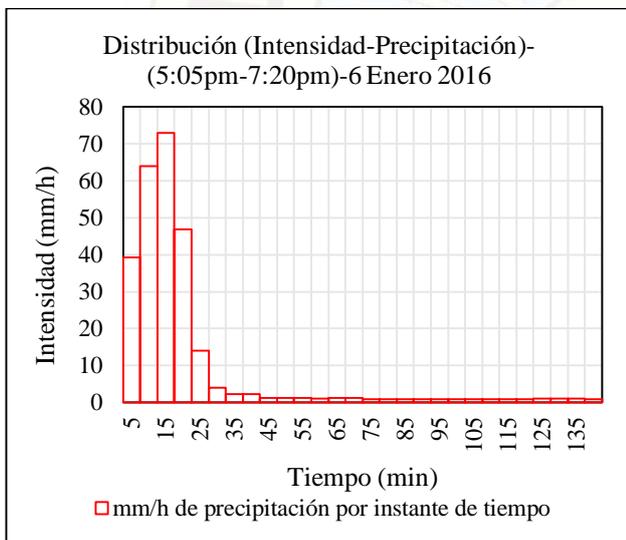
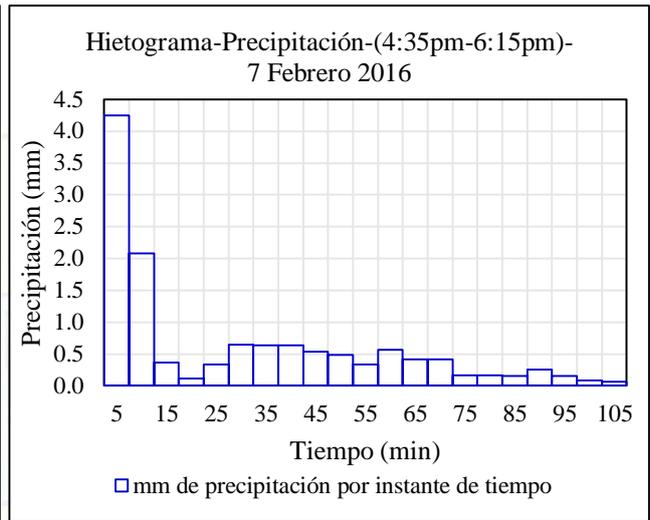
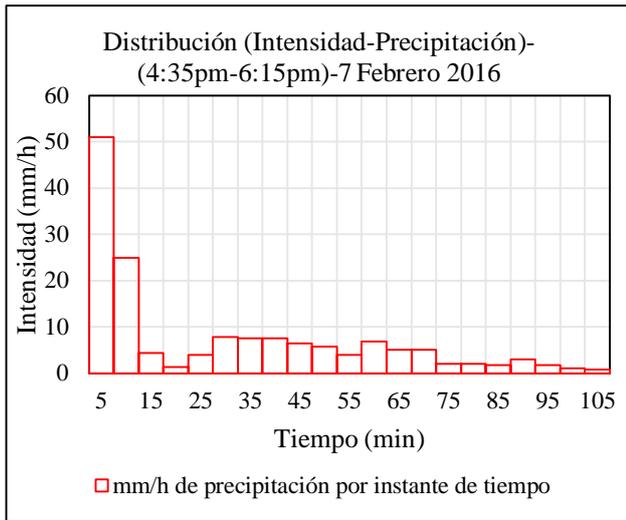
### Hietogramas máximos correspondientes al año 2015 (Datos reales)



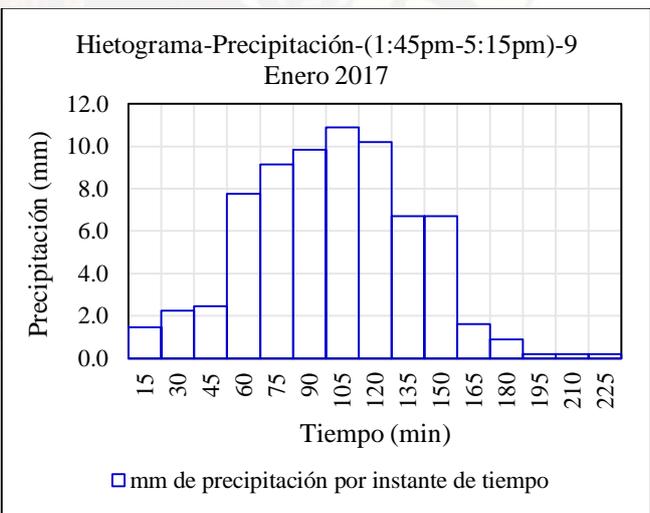
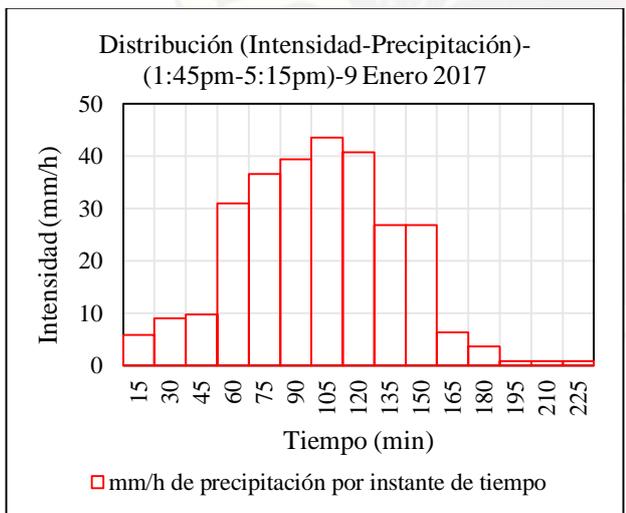


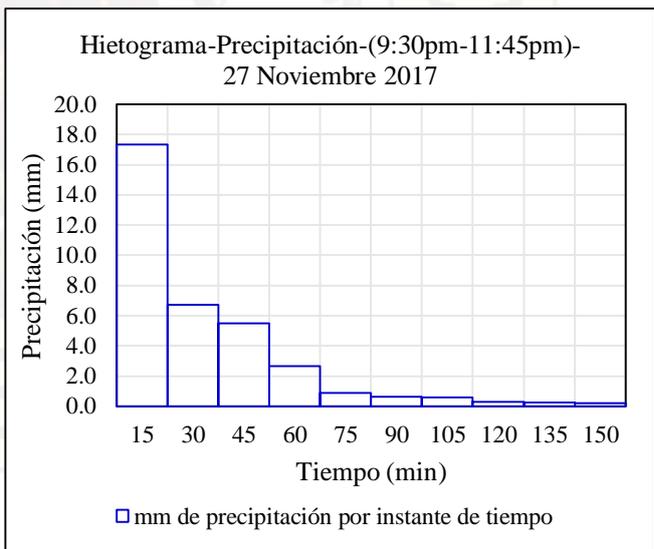
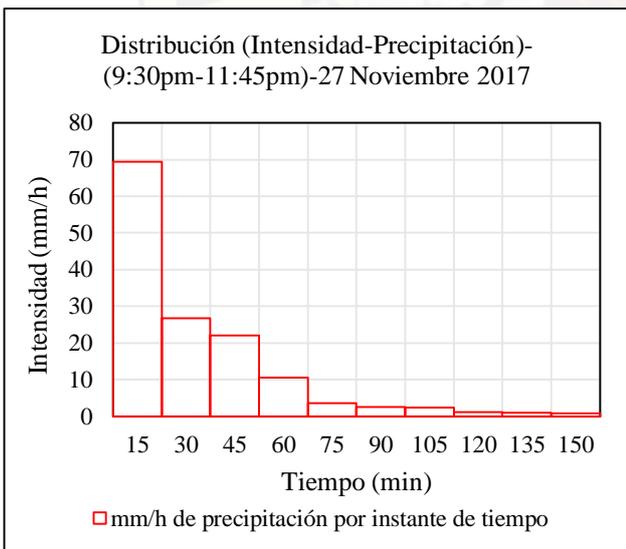
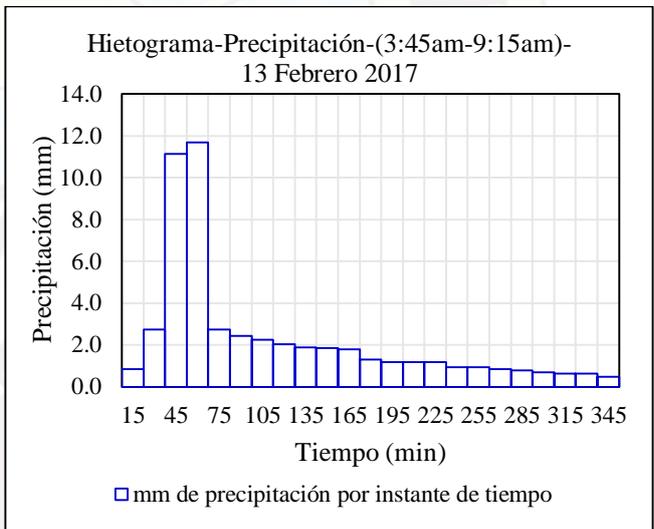
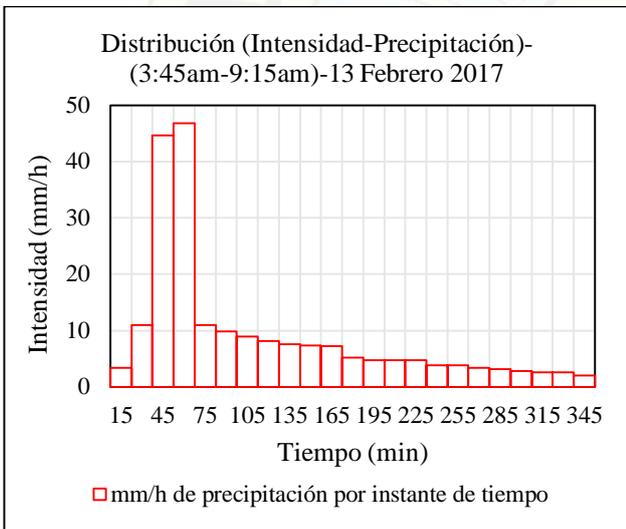
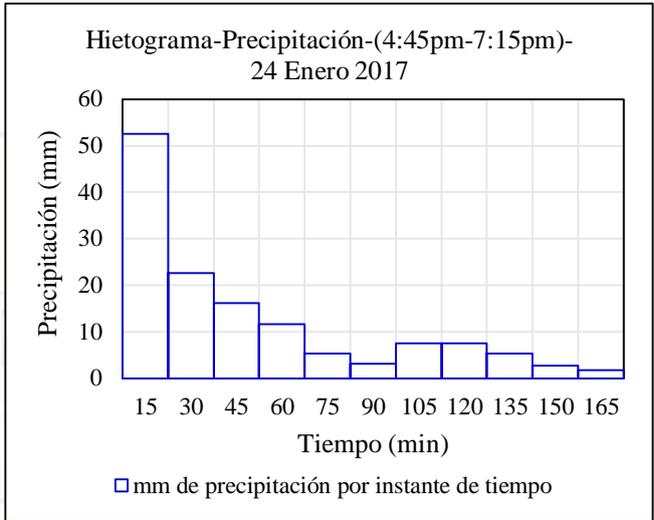
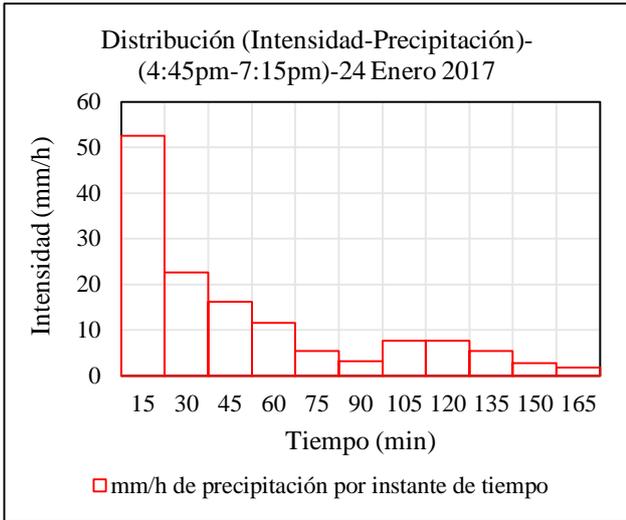
**Hietogramas máximos correspondientes al año 2016 (Datos reales)**



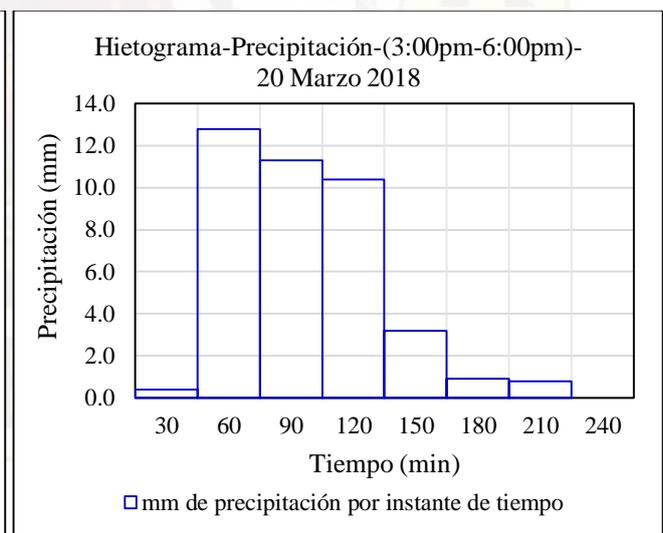
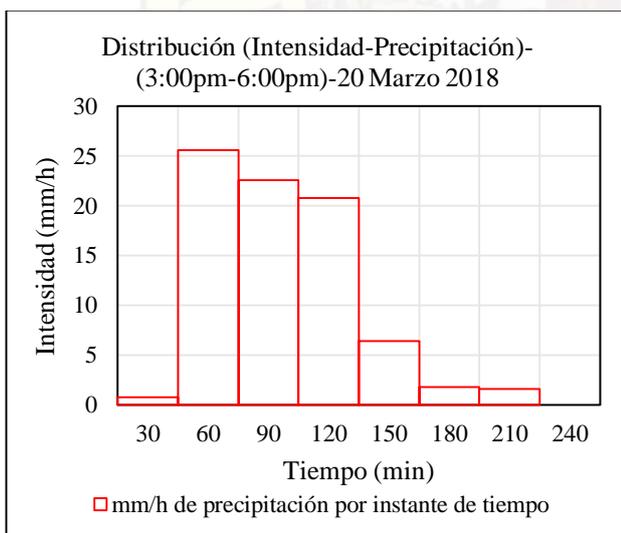
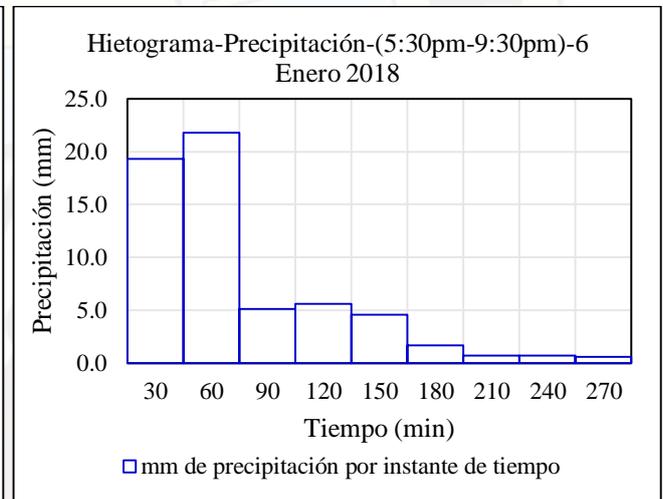
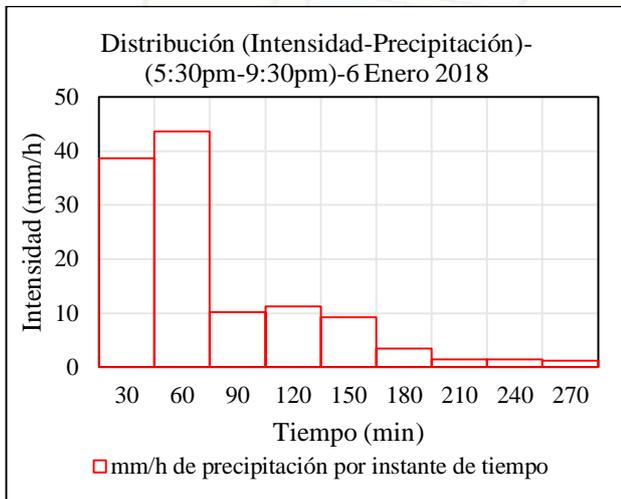
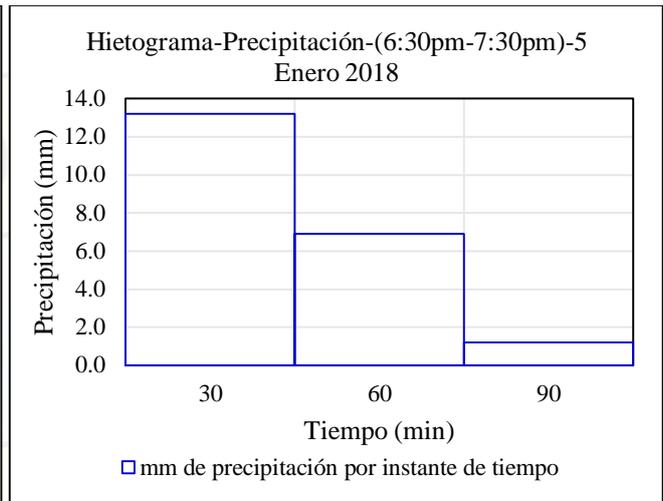
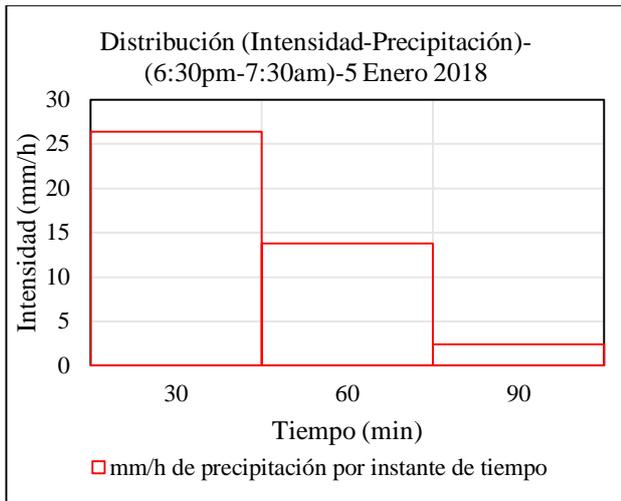


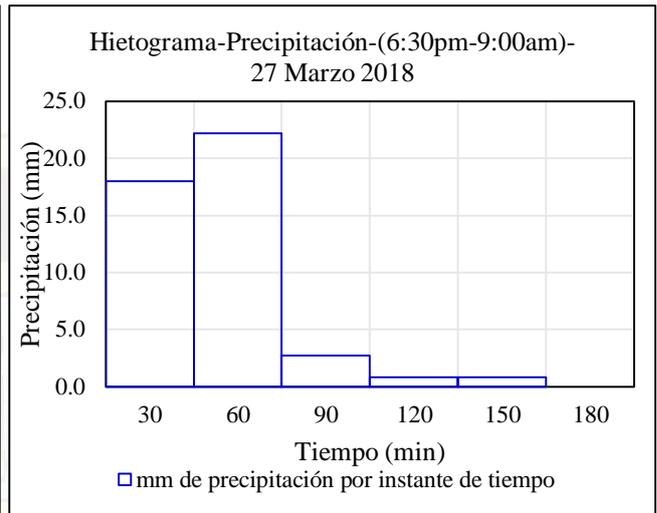
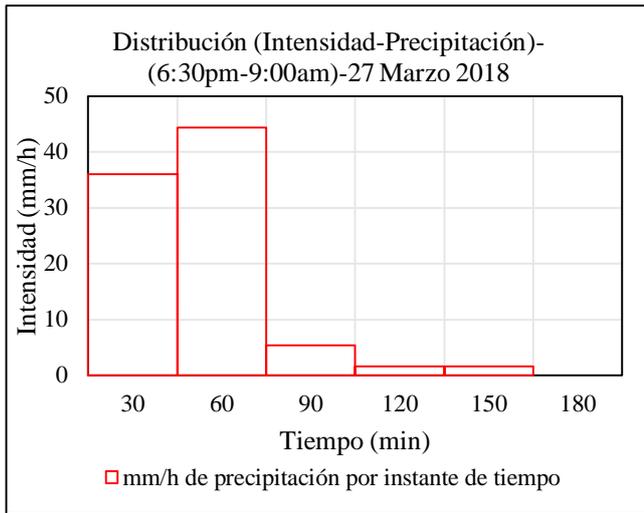
### Hietogramas máximos correspondientes al año 2017 (Datos reales)





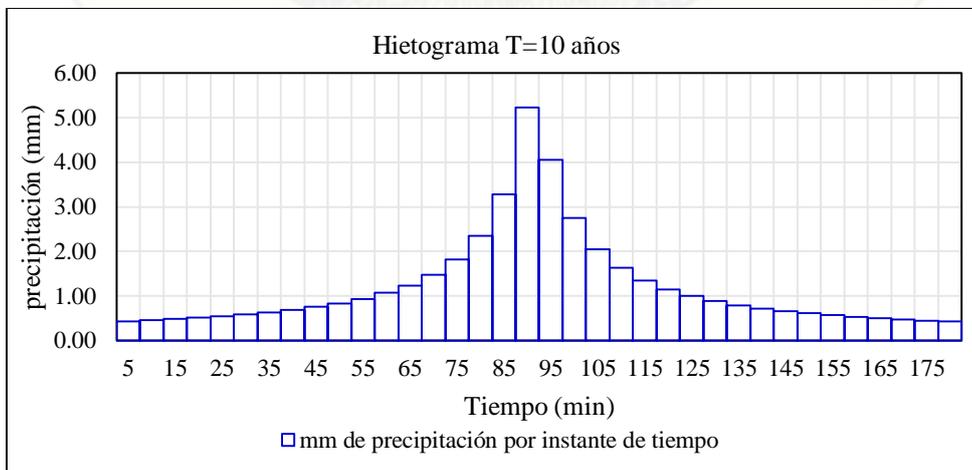
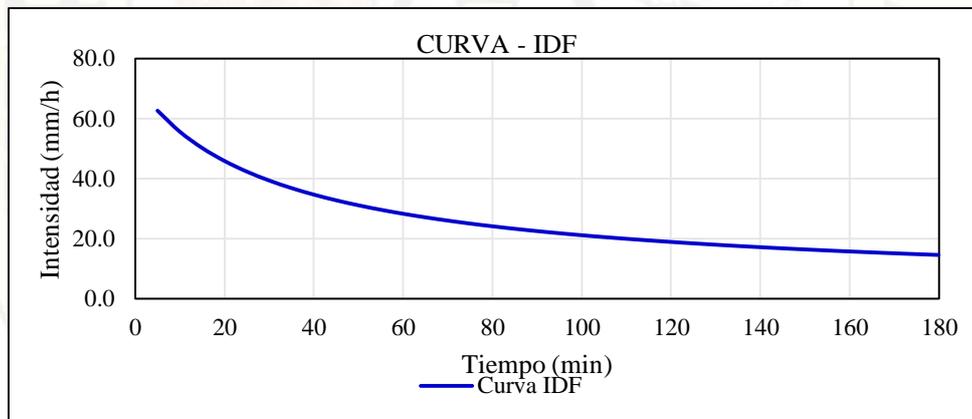
## Hietogramas máximos correspondientes al año 2018 (Datos reales)





### G. Parámetros regionales de ILLA SENAMHI-UNI

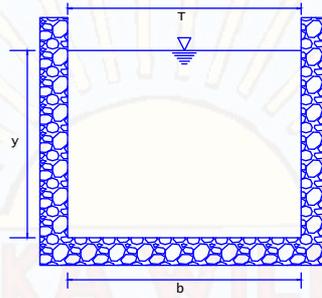
Parámetros regionales			
b	n	a	K
0.4	0.254	12.12	0.553



H. Secciones transversales de las cunetas y sus respectivas ecuaciones de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (4.2.2)$$

Ecuación para cuneta de sección rectangular.

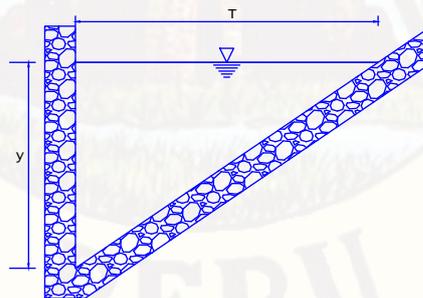


Cuneta de sección rectangular

$$\frac{nQ}{S^{1/2}} = \frac{b^{5/3} y^{5/3}}{(b + 2y)^{2/3}} \quad (4.2.3)$$

$$A = by; \quad P = 2y + b; \quad R = \frac{by}{b+2y}$$

Ecuación para cuneta de sección triangular.

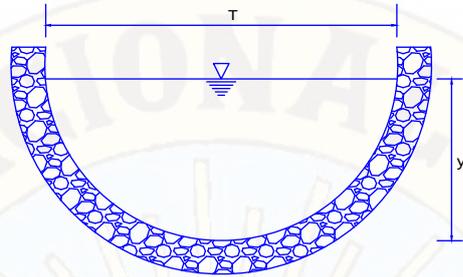


Cuneta de sección triangular

$$\frac{nQ}{S^{1/2}} \frac{2^{5/3}}{Z_1^{5/3}} = \frac{y^{8/3}}{\left(\sqrt{1 + Z_1^2} + 1\right)^{2/3}} \quad (4.2.4)$$

$$A = \frac{Z_1 y^2}{2}; \quad P = \left(\sqrt{1 + Z_1^2} + 1\right) y; \quad R = \frac{Z_1 y}{2\left(\sqrt{1 + Z_1^2} + 1\right)}$$

Ecuación para cuneta de sección parabólica.



Cuneta de sección parabólica

Para:  $0 < \mu < 1$ ;  $\mu = \frac{4y}{T}$

$$\frac{nQ}{S^{1/2}} = \frac{2^{5/3} T^{7/3} y^{5/3}}{3 (3T^2 + 8y^2)^{2/3}} \quad (4.2.5)$$

$$A = \frac{2}{3} T y; \quad P = T + \frac{8y^2}{3T}; \quad R = \frac{2T^2 y}{3T^2 + 8y^2}$$

Para:  $\mu > 1$ ;  $\mu = \frac{4y}{T}$

$$\frac{nQ}{S^{1/2}} = \frac{2^{7/3} T y^{5/3}}{3^{5/3} \left[ \sqrt{1 + \mu^2} + \frac{1}{\mu} \text{Ln} \left( \mu + \sqrt{1 + \mu^2} \right) \right]^{2/3}} \quad (4.2.6)$$

## I. Cuadro de calles y ubicación de los sumideros y cuentas.

Condición	Cuneta	Sumidero	Calle/Ubicación
<b>Barrio San Cristóbal</b>			
Colapsado	Cu-01	A	Jr. Echenique / Malecón Virgen del Carmen
Colapsado	Cu-02	B	Jr. Sucre / Malecón Virgen del Carmen
Colapsado	Cu-03	C	Jr. San Martín / Malecón Virgen del Carmen
Vulne;Colap	Cu-04;05	D	Jr. José Olaya / Malecón Virgen del Carmen
Colap;Vulne	Cu-06;07	E	Pje. Atahualpa / Av. Universitaria
<b>Barrio Santana</b>			
Efic;Vul;Cola	Cu-08;09;10	F	Pje. Orbegoso / Malecón Santa Rosa
Colapsado	Cu-11	G	Jr. Odonovan / Plaza Santana
Colapsado	Cu-12	H	Av. Manchego Muñoz / Plaza Santana
<b>Cercado Huancavelica</b>			
Colapasado	Cu-13	I	Jr. Odonovan / Jr. Gonzales Prada
Efic;Colap	Cu-14;15	J	Jr. Carabaya / Jr. Torre Tagle
Colapasado	Cu-16;17	K	Jr. Manuel Fernández / Jr. Virrey Toledo
Colapasado	Cu-18	L	Jr. Manuel Fernández / Jr. Virrey Toledo
Colapasado	Cu-19	M	Jr. Manco Capac / Jr. Agustín Gamarra
Eficiente	Cu-20	N	Jr. Carabaya / Malecón Santa Rosa
<b>Barrio Yananaco</b>			
Colapasado	Cu-21	O	Jr. Castrovirreyna / Jr. Lircay
<b>Ascensión</b>			
Colapasado	Cu-22	P	Jr. Garcilazo de la Vega / Jr. Hildauro Castro

Fuente: Elaboración propia

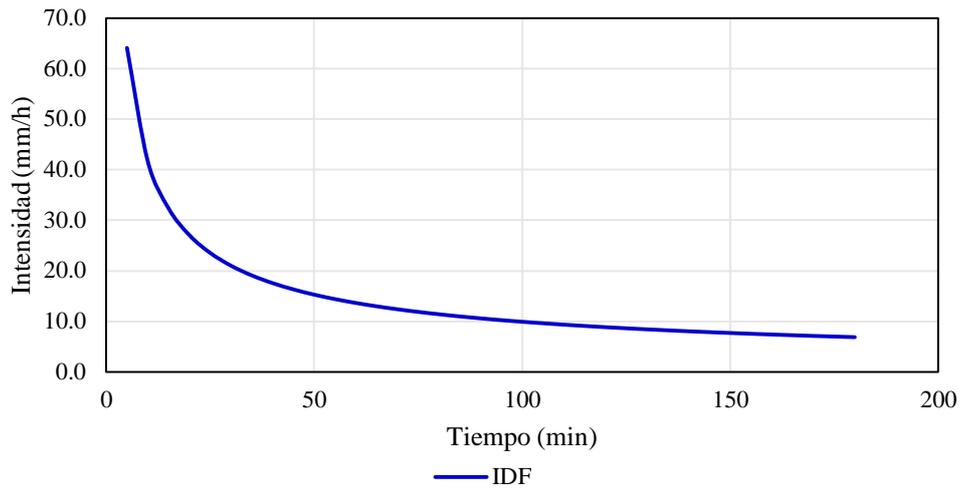
**J. Datos de precipitación Máximo 24 Horas- SENAMHI.**

DATOS ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA				
Estación:	CO-HVCA	Coordenadas UTM Huso 31		Cota =
Denominación:	Callqui	(m)	X = 498616.1	3701 msnm
			Y = 8588325	

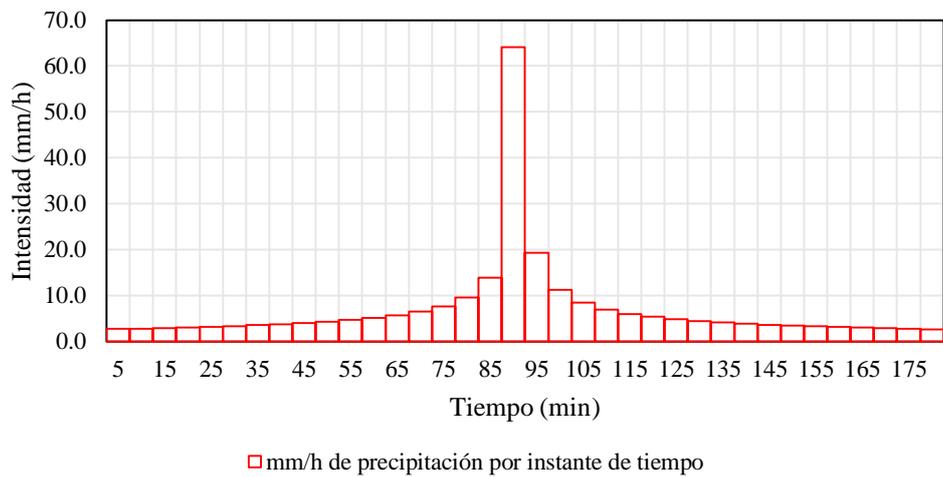
**DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Máximo
1990	24.4	6.9	16.7	9.8	9.7	14.4	5	9.5	6.4	11.3	10.6	12	24.4
1991	10.2	7.6	12.4	25.8	6	3.2	0	0	-	-	-	-	25.8
1992	3.2	9	11.4	14	2.4	9.7	21.6	6.6	4.3	10.9	4.4	12	21.6
1993	-	-	-	-	19.6	18.6	10.4	18.8	21.5	27	29.2	22.8	29.2
1994	20.7	25.6	18.4	13.2	13.3	9.2	8.6	7	11.4	17	12.2	13.2	25.6
1995	21	16.3	17.1	15.8	7.4	2.4	6.6	0	12.6	7.4	9	8.4	21
1996	12.6	15.9	15	7.6	9.2	5.2	5.5	8.8	9	6.1	7.6	11.6	15.9
1997	9.6	11	11	7.1	4.4	5.6	0	7.6	16	8.7	17.6	11.4	17.6
1998	14.9	10.8	10	9.3	1.1	5.8	0	5.9	5	8.6	7.2	30.5	30.5
1999	16.9	13.1	9.1	11.7	9	2.8	3.9	3.5	12.3	11.3	8.1	9.3	16.9
2000	12	12.4	10.9	10.4	4.3	3.7	6.3	6.1	9.6	10.9	9.4	8.9	12.4
2001	12.1	13.2	28.3	8.8	7.3	0	11.2	8.2	11.2	10	12.2	10.7	28.3
2002	9.7	21.8	26.2	9.4	6.3	5.8	10	10.3	10.8	11.2	14.4	15.5	26.2
2003	17.8	28.8	30.4	17.3	5.5	0	7.4	10.5	12.2	11	6.3	17	30.4
2004	8	14.7	15.2	9.4	4.2	11.6	10.7	10.4	11.2	7.6	11.7	15.5	15.5
2005	13.2	10	11.4	11.9	6.9	3.8	2.1	2.3	10.9	9	10	8.6	13.2
2006	13.6	14	10.9	12.6	0	5.2	0	8.5	6.8	11	10.2	11.9	14
2007	8.9	15.2	13.8	9.4	5.5	0	2.7	3.6	9.9	9.3	9.9	10.9	15.2
2008	12.7	16.5	9.9	3.6	2.7	2.5	5.9	9.6	7.6	13.5	8.2	10.2	16.5
2009	30.6	85.5	18.9	12.5	5.8	2.1	11.2	5	9.2	11.6	16.8	15.6	85.5
2010	21.3	15.5	14.9	10.5	3.8	2.1	0	4.8	4.5	23.5	24.3	21.5	24.3
2011	24.9	27.2	25.5	12.1	4.1	1.1	7.8	5.4	11.7	8.5	24.5	20.6	27.2
2012	14.5	31.4	20.2	25.5	5.1	4.6	5.9	3.7	25.7	13.6	23.8	37.5	37.5
2013	17.8	24.2	37.4	16.2	8.9	5.4	5.4	21.5	14.6	14.8	6.3	23	37.4
2014	17.8	16	12.4	12.9	16.7	2.9	8.1	5.1	12.6	15.1	7.7	15.1	17.8
2015	16.8	28.5	17.8	12.5	8.3	5.2	7.4	13.5	9.8	18.6	15.5	30.1	30.1
2016	26.5	18	16.6	32.4	5.6	2.3	4.4	4.4	11.1	24.1	11.7	17.9	32.4
2017	38.8	24.5	22.6	24.3	10.8	8.1	7	5.5	18.7	14.1	26.1	22.8	38.8

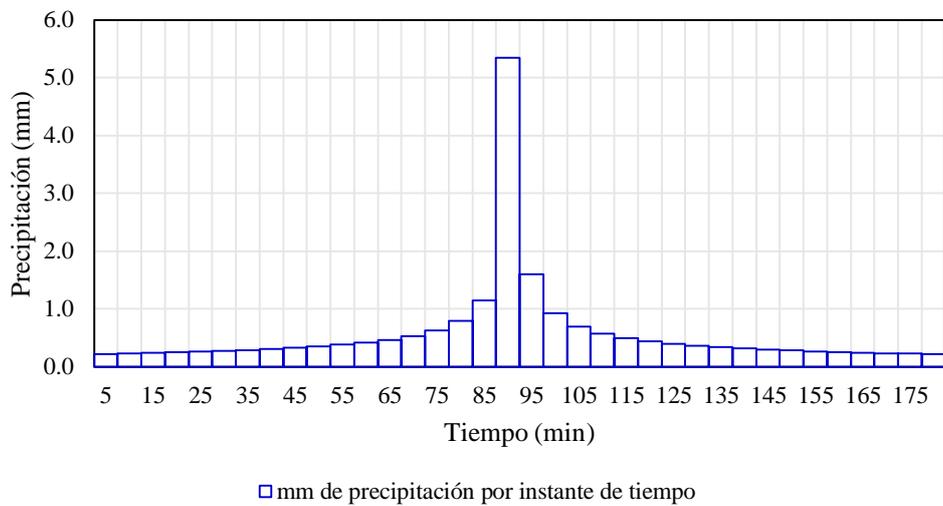
### IDF



### Distribución Intensidades



### Hietograma T= 10 años



**K. Panel fotográfico de eventos lluviosos que causaron las inundaciones en la ciudad de Huancavelica**





