

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE CUENCA
CUENCA, ECUADOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

TESIS

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y SU IMPACTO EN LOS COLECTORES DE LA CALLE LARGA Y CALLE MIGUEL VÉLEZ DE LA CIUDAD DE CUENCA

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Civil

Autor: David Fernando Muñoz Pauta

Director: Ing. Diego Benjamín Idrovo Murillo

14 de octubre de 2013



RESUMEN

El incremento de áreas pavimentadas es uno de los mayores problemas que afectan al sistema de drenaje de las ciudades; su estudio y posterior solución, implican la necesidad de establecer alternativas dirigidas al drenaje urbano sostenible, que no solo permitan controlar la escorrentía desde el sitio de origen, sino también, determinar las pautas necesarias para la conservación y manejo de nuevas tecnologías orientadas para la comunidad.

La capacidad hidráulica de los colectores en general, se ve propensa a la saturación, especialmente en zonas donde la impermeabilización del suelo ha incrementado el valor del coeficiente de escorrentía. En el presente documento se determina la variación de este parámetro para las subcuencas pluviales de la zona central de la ciudad de Cuenca, y de esta forma, se procede a evaluar la capacidad de los colectores de la Calle Larga y calle Miguel Vélez aplicando el Método Racional.

Finalmente, el cálculo de los coeficientes de escorrentía, se realiza por lo general, empleando tablas establecidas en literatura técnica, las cuales asignan un rango de valores en función del tipo de zona o superficie a la que pertenezcan; la selección de estos coeficientes sin considerar las características hidrológicas del suelo, conducen a sobreestimaciones en los caudales de escorrentía, y por ende, a un sobredimensionamiento de las estructuras hidráulicas de control. Es por ello, que a fin de introducir estos factores en el cálculo de la escorrentía superficial, se propone el estudio comparativo mediante la aplicación del Método del Número de Curva para definir los parámetros necesarios con un adecuado soporte técnico.

Palabras clave: coeficiente de escorrentía, método racional, método número de curva, sistema de drenaje urbano.

ABSTRACT

The increase of paved areas is one of the greatest problems that affects cities' drainage systems. Its study and solution shows the need of alternatives, such as sustainable urban drainage, which lets runoff be controlled in its origin place, but also determines the necessary guidelines for conserving and managing new technologies oriented for the community.

Generally, collectors' hydraulic capacity is prone to saturate especially in zones where soil sealing has incremented the runoff coefficient value. In this document, the parameter variation in rainwater sub basins from central Cuenca is determined, and thus, collectors' capacity from Calle Larga and Miguel Vélez can be evaluated with the Rational Method.

Finally, the runoff coefficient calculation is generally done by established tables from technical literature which assign a value range depending on the zone or surface types to which each value belongs; the selection of these coefficients, without considering hydrologic soil characteristics, leads to runoff flow overestimates, and hence, to oversizing hydraulic control structures. In order to introduce this factor into the superficial runoff calculation, a comparative study through Curve Number's Method with appropriate technical support is proposed to define the parameters required.

Keywords: runoff coefficient, rational method, curve number method, urban drainage system.



Índice

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	17
1.1. ANTECEDENTES	17
1.2. JUSTIFICACIÓN	17
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. Objetivos Generales	17
1.3.2. Objetivos Específicos	17
1.4. RESUMEN DE CONTENIDOS	18
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1. CICLO HIDROLÓGICO	19
2.1.1. El ciclo hidrológico y los proyectos hidráulicos	20
2.2. PRECIPITACIÓN	21
2.2.1. Tipos de precipitación	22
2.2.1.1. Convectivas	22
2.2.1.2. Orográficas	22
2.2.1.3. Ciclónicas o Frontales	23
2.2.1.3.1. Frente frío	23
2.2.1.3.2. Frente cálido	23
2.2.2. Métodos para determinar la precipitación	24
2.2.2.1. Pluviómetro	24
2.2.2.2. Pluviógrafo	24
2.2.2.3. Radar meteorológico	24
2.2.2.4. Imágenes de satélite	24
2.3. INFILTRACIÓN	24
2.3.1. Factores que influyen en la infiltración	24
2.3.2. Capacidad de infiltración	25
2.4. ESCORRENTÍA	25
2.4.1. Tipos de escorrentía	25
2.4.1.1. Escorrentía superficial	25
2.4.1.2. Escorrentía subsuperficial	25
2.4.1.3. Escorrentía subterránea	25
2.4.2. Factores que influyen en la escorrentía	26
2.4.2.1. Factores climáticos	26
2.4.2.1.1. Precipitación	26
2.4.2.1.2. Interceptación	27
2.4.2.1.3. Evaporación	27



2.4.2.1.4. Transpiración	27
2.4.2.2. Factores fisiográficos	27
2.4.2.2.1. Factores morfométricos	27
2.4.2.2.2. Factores físicos	29
2.4.3. Coeficiente de escorrentía	29
2.4.3.1. Valores del coeficiente de escorrentía	30
2.4.3.2. Coeficiente de escorrentía medio	31
2.4.3.3. Coeficiente de escorrentía instantáneo	31
2.4.4. Métodos para determinar los coeficientes de escorrentía	32
2.4.4.1. Método Racional americano	32
2.4.4.1.1. Suposiciones básicas	32
2.4.4.1.2. Limitaciones del Método Racional	32
2.4.4.2. Método del Número de curva o Complejos hidrológicos	33
2.4.4.2.1. Suposiciones básicas	33
2.4.4.2.2. Limitaciones del Método del Número de Curva	35
2.4.4.2.3. Factores considerados en la determinación de los números de curva	36
2.4.4.2.4. Relación entre el coeficiente de escorrentía y el número de curva	40
2.5. ESTUDIO DE LAS PRECIPITACIONES DE DISEÑO	42
2.5.1. Área tributaria	42
2.5.2. Período de retorno	42
2.5.2.1. Factores que influyen en la selección del período de retorno	44
2.5.3. Tiempo de concentración	46
2.5.3.1. Tiempo de escorrentía inicial	48
2.5.3.2. Tiempo de viaje	49
2.5.3.3. Métodos empíricos y semiempíricos para determinar el tiempo de concentración	50
2.5.4. Intensidad de lluvia	52
2.5.4.1. Clasificación de la precipitación según la intensidad	52
2.5.5. Duración	53
2.5.6. Frecuencia	53
2.5.7. Curvas IDF	54
2.6. SISTEMA DE DRENAJE URBANO	56
2.6.1. Características de las aguas drenadas	56
2.6.1.1. Aguas residuales	56
2.6.1.2. Aguas lluvia	56
2.6.2. Acciones de drenaje	57
2.6.3. Funciones de drenaje	57
2.6.4. Grado de protección de drenaje	57
2.6.5. Tipos de drenaje	58



2.6.5.1. Drenaje superficial	58
2.6.5.2. Drenaje secundario	58
2.6.5.3. Drenaje principal	58
2.6.6. Aspectos de diseño del sistema de drenaje urbano	59
2.6.6.1. Tipos de sistemas	59
2.6.6.1.1. Sistema unitario o combinado	59
2.6.6.1.2. Sistema separado	60
2.6.6.2. Tubería y red de colectores	60
2.6.6.2.1. Velocidades máximas y mínimas	61
2.6.6.2.2. Flujo en las tuberías	61
3. CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	62
3.1. PLANES MAESTROS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE CUENCA (I-FASE)	62
3.1.1. Estudios hidrológicos	62
3.1.1.1. Pluviometría	62
3.1.2. Diagnóstico del sistema de alcantarillado	66
3.1.2.1. Descripción del sistema de alcantarillado de Cuenca en 1985	67
3.1.2.1.1. Zona central	67
3.1.2.2. Evaluación hidráulica de los colectores principales	67
3.1.2.3. Descripción de los colectores de estudio	68
3.1.2.3.1. Colector de la Calle Larga	68
3.1.2.3.2. Colector de la calle Miguel Vélez	68
3.1.3. Diseño del sistema de alcantarillado de la ciudad de Cuenca (I-Fase)	69
3.1.3.1. Caudales de diseño para alcantarillado pluvial y combinado	69
3.2. ÁREA DE ESTUDIO	69
3.2.1. Límites de las subcuencas pluviales y áreas de igual impermeabilidad	69
3.2.2. Descripción de las áreas de aporte	70
3.2.2.1. Área de aporte de la Calle Larga	70
3.2.2.2. Área de aporte de la calle Miguel Vélez	71
3.2.2.3. Cálculo del tiempo de concentración en las áreas de aporte	72
3.3. MÉTODOS EMPLEADOS PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA	74
3.3.1. Aplicación del Método Racional	74
3.3.1.1. Zona residencial	74
3.3.1.2. Zona comercial	75
3.3.1.3. Zona verde	77
3.3.2. Aplicación del Método del Número de curva	78
3.3.2.1. Zona residencial	79
3.3.2.2. Zona comercial	80

3.3.2.3. Zona verde	80
3.4. ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	81
3.4.1. Generalización del Método Racional	81
3.4.2. Generalización del Método del Número de curva	81
3.4.3. Cálculo del coeficiente de escorrentía en el área de estudio	82
3.4.3.1. Subcuenca pluvial 6 - Coeficiente de escorrentía anterior "C" = 0,67	82
3.4.3.2. Subcuenca pluvial 6 - Coeficiente de escorrentía anterior "C" = 0,74	82
3.4.3.3. Subcuenca pluvial 31 - Coeficiente de escorrentía anterior "C" = 0,60	83
3.4.3.4. Subcuenca pluvial 6 y 31 - Coeficiente de escorrentía anterior "C" = 0,74	84
3.4.3.5. Subcuenca pluvial 6 y 31 - Coeficiente de escorrentía anterior "C" = 0,80	85
3.4.4. Proyección de los coeficientes de escorrentía	88
3.4.4.1. Subcuenca pluvial 6 - Coeficiente de escorrentía actual "C" = 0,78	88
3.4.4.2. Subcuenca pluvial 6 - Coeficiente de escorrentía actual "C" = 0,90	89
3.4.4.3. Subcuenca pluvial 31 - Coeficiente de escorrentía actual "C" = 0,76	90
3.4.4.4. Subcuenca pluvial 6 y 31 - Coeficiente de escorrentía actual "C" = 0,89	91
3.4.4.5. Subcuenca pluvial 6 y 31 - Coeficiente de escorrentía actual "C" = 0,91	91
3.5. DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO	92
3.5.1. Intensidades de diseño	92
3.5.1.1. Estación Cuenca - Aeropuerto	92
3.5.1.2. Estaciones de referencia para el cantón Cuenca	93
3.5.1.3. Cálculo de la intensidad de diseño	94
3.5.2. Caudal de diseño de la calle Miguel Vélez	95
3.5.3. Caudal de diseño de la Calle Larga	96
3.5.4. Caudales proyectados	97
3.5.4.1. Caudal proyectado de la calle Miguel Vélez	98
3.5.4.2. Caudal proyectado de la Calle Larga	98
4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS	99
4.1. Coeficientes de Escorrentía	99
4.2. Caudales de Diseño	99
4.2.1. Caudal de diseño de la calle Miguel Vélez	99
4.2.2. Caudal de diseño de la Calle Larga	99
5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	100
5.1. Estudio comparativo de la variación del coeficiente de escorrentía	100
5.2. Estudio comparativo de los caudales de diseño	100
5.3. Recomendaciones para el control de escorrentía en cuencas urbanas	101
6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	102



7. ANEXOS

105



Lista de Figuras

2.1. Ciclo hidrológico	19
2.2. Ciclo hidrológico modificado.	20
2.3. Ilustración del proceso de precipitación.	21
2.4. Desarrollo de una precipitación del tipo convectivo.	22
2.5. Precipitación orográfica.	22
2.6. Frente frío.	23
2.7. Frente cálido.	23
2.8. Diagrama precipitación - escorrentía.	26
2.9. Relación entre la forma de algunas cuencas y el caudal pico para eventos de máxima precipitación.	28
2.10. Escorrentía en pendientes bajas.	28
2.11. Escorrentía en pendientes altas.	29
2.12. Variables en el método de la SCS.	33
2.13. Relación entre precipitación y escorrentía utilizando números de curva.	35
2.14. CN compuesto para áreas impermeables conectadas al sistema de drenaje.	40
2.15. CN compuesto para áreas impermeables no conectadas al sistema de drenaje.	40
2.16. Delimitación de las áreas contribuyentes a cada colector.	43
2.17. Área de drenaje e hidrograma para una lluvia de 5 [min] de duración.	47
2.18. Área de drenaje e hidrograma para una lluvia de 10 [min] de duración.	47
2.19. Área de drenaje e hidrograma para una lluvia de 15 [min] de duración.	48
2.20. Área de drenaje e hidrograma para una lluvia de 20 [min] de duración.	48
2.21. Esquema ilustrativo de un sistema de drenaje urbano.	58
2.22. Sistema combinado.	59
2.23. Sistema separado.	60
3.1. Disponibilidad de datos pluviométricos.	63
3.2. Características del régimen pluvial de la región.	64
3.3. Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia de lluvias para la ciudad de Cuenca.	66
3.4. Manzana de tipo residencial.	74
3.5. Determinación de superficies en una manzana de tipo residencial.	75
3.6. Manzana de tipo comercial.	76
3.7. Determinación de superficies en una manzana de tipo comercial.	76
3.8. Área verde (parque).	77
3.9. Determinación de superficies en un área verde.	78
3.10. Ubicación de las estaciones existentes en el cantón Cuenca.	93
7.1. Geología del área de expansión urbana de Cuenca.	139
7.2. Sistema de alcantarillado hasta 1968.	140
7.3. Zonificación de la ciudad - Plan Maestro de 1968.	141



7.4. Colectores según el Plan Maestro de 1968.	142
7.5. Zonificación de la ciudad - Sistema a partir de 1985.	143
7.6. Intersección de las calles Bajada de Todos Santos y Bajada de Los Molinos.	144
7.7. Alcantarilla de descarga del caudal de alivio de la Calle Larga (Tramo 2).	144
7.8. Escaleras de disipación de energía en la salida de la alcantarilla (Tramo 2).	145
7.9. Empate de los colectores Calle Larga y Av. Huayna - Cápac.	145
7.10. Vista interior del colector de la Calle Larga (Tramo 2).	146
7.11. Alcantarilla de descarga de los colectores de la Calle Larga y Hermano Miguel (Tramo 1).	146
7.12. Vista interior del colector de descarga de la Calle Larga y Hermano Miguel (Tramo 1).	147
7.13. Colector de descarga del colector de la calle Miguel Vélez.	147
7.14. Vista interior del colector de la calle Miguel Vélez.	148
7.15. Canal construido a la salida del colector de la calle Miguel Vélez.	148
7.16. Empate del colector de calle Mariscal Sucre con el colector de la calle Miguel Vélez.	149
7.17. Empate del colector de la Av. 3 de Noviembre con el colector de la calle Miguel Vélez.	149
7.18. Curvas IDF de la Estación Cuenca - Aeropuerto.	150
7.19. Curvas IDF de la Interpolación de Estaciones Ucumbamba y Sayausí.	151



Lista de Tablas

2.1. Coeficientes de escorrentía - Tipo de superficie (extracto).	30
2.2. Coeficientes de escorrentía - Tipo de zona.	30
2.3. Factores de incremento del coeficiente de escorrentía "C".	30
2.4. Profundidad de escorrentía en función de la selección del número de curva y cantidad de lluvia.	36
2.5. Números de curva de escorrentía para áreas urbanas.	37
2.6. Grupo hidrológico en suelos alterados.	38
2.7. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC).	39
2.8. Probabilidad de ocurrencia de un evento.	44
2.9. Uso de la tierra y períodos de retorno - Función complementaria (extracto).	45
2.10. Tipo de vía y período de retorno mínimo - Función complementaria.	45
2.11. Selección del período de retorno.	46
2.12. Velocidades de escurrimento en laderas.	49
2.13. Sumario de los métodos empíricos y semiempíricos seleccionados para la evaluación de la estimación del T_c	51
2.14. Constante de la velocidad superficial en la ecuación del SCS.	52
2.15. Clasificación de la lluvia según la intensidad media en una hora.	52
2.16. Clasificación de la lluvia según la regularidad de la intensidad respecto al tiempo.	53
2.17. Frecuencia de diseño para tuberías de alcantarillado pluvial.	54
2.18. Frecuencia de diseño para canales de aguas lluvia.	54
2.19. Acciones preventivas y correctivas en sistemas de drenaje urbano	57
2.20. Velocidades máximas de drenaje.	61
3.1. Medias mensuales y media anual de lluvia [mm] - Período homogenizado 1930 - 1981.	62
3.2. Lluvias medias anuales sobre las cuencas de las estaciones y de los sitios de interés.	65
3.3. Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia - Valores de los parámetros A, B y C.	65
3.4. Evaluación del estado físico y capacidad de los colectores principales.	68
3.5. Colector de sustitución de la Calle Larga.	68
3.6. Subcuenca pluvial de aporte de los colectores de estudio.	70
3.7. Áreas de igual grado de impermeabilidad.	70
3.8. Tramos del colector de la Calle Larga.	71
3.9. Área de aporte de la Calle Larga.	71
3.10. Tramos del colector de la calle Miguel Vélez.	72
3.11. Área de aporte de la calle Miguel Vélez.	72
3.12. Características geométricas de los colectores de la calle Miguel Vélez y Calle Larga.	73
3.13. Tiempo de concentración para el colector de la calle Miguel Vélez.	73
3.14. Tiempo de concentración para el colector de la Calle Larga.	73
3.15. Coeficiente de escorrentía en una manzana de tipo residencial.	75



3.16. Coeficiente de escorrentía en una manzana de tipo comercial.	77
3.17. Coeficiente de escorrentía en un área verde.	78
3.18. Medias mensuales y media anual de lluvia [mm] - año 2004.	79
3.19. Número de curva en una manzana de tipo residencial.	79
3.20. Número de curva en una manzana de tipo comercial.	80
3.21. Número de curva en un área verde.	80
3.22. Áreas de igual impermeabilidad - Método Racional.	86
3.23. Áreas de igual impermeabilidad - Método Número de curva.	87
3.24. Áreas de aporte y coeficientes de escorrentía para la Calle Larga.	88
3.25. Áreas de aporte y coeficientes de escorrentía para la calle Miguel Vélez.	88
3.26. Áreas de igual impermeabilidad (Subcuenca pluvial 6 - "C" actual = 0,78 - Método Racional).	89
3.27. Áreas de igual impermeabilidad (Subcuenca pluvial 6 - "C" actual = 0,78 - Método Número de curva).	89
3.28. Áreas de igual impermeabilidad (Subcuenca pluvial 31 - "C" actual = 0,76 - Método Racional).	90
3.29. Áreas de igual impermeabilidad (Subcuenca pluvial 31 - "C" actual = 0,76 - Método Número de curva).	90
3.30. Proyección de los coeficientes de escorrentía al año 2043.	91
3.31. Ubicación de la Estación Cuenca - Aeropuerto.	92
3.32. Valores de la ecuación de intensidad para la Estación Cuenca - Aeropuerto.	92
3.33. Valores de la ecuación de intensidad para la ciudad de Cuenca (interpolada Ucubamba - Sayausí).	94
3.34. Tiempo de concentración para el área de estudio.	94
3.35. Intensidad de diseño para los colectores de la calle Miguel Vélez y Calle Larga.	95
3.36. Parámetros para el cálculo del caudal de diseño de la calle Miguel Vélez.	95
3.37. Caudal de diseño de la calle Miguel Vélez - Método Racional.	96
3.38. Caudal de diseño de la calle Miguel Vélez - Método Número de curva.	96
3.39. Parámetros para el cálculo del caudal de diseño de la Calle Larga.	96
3.40. Caudal de diseño de la Calle Larga - Métodos Racional y Número de curva.	97
3.41. Parámetros para el cálculo del caudal proyectado de la calle Miguel Vélez.	98
3.42. Caudal proyectado de la calle Miguel Vélez al año 2043.	98
4.1. Tabla comparativa de la variación del coeficiente de escorrentía.	99
4.2. Tabla comparativa del caudal de diseño en la calle Miguel Vélez.	99
4.3. Tabla comparativa del caudal de diseño en la Calle Larga.	100





UNIVERSIDAD DE CUENCA
Fundada en 1867

Yo, DAVID FERNANDO MUÑOZ PAUTA, autor de la tesis "ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y SU IMPACTO EN LOS COLECTORES DE LA CALLE LARGA Y CALLE MIGUEL VÉLEZ DE LA CIUDAD DE CUENCA", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERO CIVIL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 14 de Octubre de 2013



DAVID FERNANDO MUÑOZ PAUTA
010464562-7

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador





UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, DAVID FERNANDO MUÑOZ PAUTA, autor de la tesis "ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y SU IMPACTO EN LOS COLECTORES DE LA CALLE LARGA Y CALLE MIGUEL VÉLEZ DE LA CIUDAD DE CUENCA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 14 de Octubre de 2013


DAVID FERNANDO MUÑOZ PAUTA
010464562-7

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador



AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a Dios en primer lugar por concederme la vida y permitir que mis proyectos estén dentro de su voluntad; que nunca me olvide que todo viene de ti por tu inmensa misericordia...

De igual manera, la culminación de esta tesis no hubiese sido posible sin el invaluable apoyo de mi familia; mis padres Fernando y Gladys, mis hermanos Paúl, Viviana, Josué y Salomé; quienes estuvieron conmigo desde un inicio y supieron alentarme a través de este proceso.

Agradezco también al Ing. Diego Idrovo, por la dirección y asesoría de este trabajo final de graduación.

Al Msc. Ing. Gonzalo Clavijo y al Ing. Mario Vázquez por la bibliografía y facilidades brindadas al trabajar en Consultora CAV.

Finalmente quiero mencionar a mis compañeros, amigos y familiares que desinteresadamente me brindaron su apoyo, y en forma particular, a la señorita Ruth Sibre por estar a mi lado en todo momento.



1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La red de alcantarillado de la ciudad de Cuenca comenzó a construirse en 1934 a cargo del Departamento de Obras Públicas Municipales hasta el año 1967; y después, a partir de 1968, la Empresa Municipal (ETAPA) se hizo cargo del servicio de agua potable y alcantarillado. El sistema de alcantarillado que operaba en 1968 correspondía al tipo combinado, sirviendo fundamentalmente a la concentración poblacional más importante: zona antigua o “casco urbano” y pequeños sectores residenciales ubicados en las zonas Norte, Sur y Oeste de la ciudad. El área de servicio abarcado por esta red era de 260 [ha] aproximadamente.

Posteriormente, en 1985, el sistema de alcantarillado fue construido de acuerdo a las directrices establecidas en el Plan Maestro de 1968, en el que se consideraba un período de diseño de 30 años. Los colectores que serán evaluados están entre los más antiguos de la ciudad; la construcción del colector de la calle Miguel Vélez estuvo a cargo del Departamento de Obras Pública Municipales, mientras que el colector de la Calle Larga, se contruyó años después de la creación de la Empresa de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Cuenca (ETAPA).

La información necesaria para el desarrollo de esta tesis se recopiló de los estudios realizados por ETAPA en 1985, en los que se elaboraron varios informes y planos correspondientes al Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado tanto en la fase de diagnóstico como en la definitiva. Así mismo, la Ilustre Municipalidad de Cuenca a través de la Unidad de Planificación, dispone de los archivos aerofotogramétricos de la ciudad del año 2013. Por último, los planos actuales con la red de alcantarillado de la ciudad han sido catastrados por la Subgerencia de Operación de Agua y Saneamiento (SOAS) de ETAPA.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los efectos de la expansión urbana, sujetos al crecimiento poblacional, son claramente perceptibles debido a la fuerte demanda de sitios destinados a viviendas, comercios y parqueaderos; el incremento de áreas pavimentadas estarían provocando una insuficiencia en la capacidad de drenaje de la red de alcantarillado en un futuro no muy lejano, con todos los daños sociales, económicos y políticos que esto acarrea. Frente a esta problemática, se ha visto necesario evaluar la capacidad hidráulica de los colectores de la Calle Larga y calle Miguel Vélez como una introducción al análisis de este problema. Adicionalmente se puede mencionar, que el presente estudio formará parte de uno más amplio que permitirá realizar recomendaciones a la Municipalidad de Cuenca respecto a los crecientes problemas del drenaje urbano.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivos Generales

- Validar los coeficientes de escorrentía para el diseño de redes de drenaje en zonas urbanas.
- Verificar la variación del caudal de escorrentía, correspondiente al de diseño y al estimado actual, transportado por los colectores de estudio.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Revisar los estudios del Plan Maestro del año de 1985 para identificar los principales aspectos relacionados a los procesos de escorrentía y que sirvieron para el diseño de los colectores de la Calle Larga y calle Miguel Vélez.
- Caracterizar los factores que permiten determinar los coeficientes actuales de escorrentía en la zona de estudio y establecer la variación del mismo, respecto a los valores antiguos de 1985 y los que fueron proyectados para el año 2015.



- Realizar el análisis de variación del cálculo de los caudales de diseño para validar la capacidad actual de los colectores de estudio.

1.4. RESUMEN DE CONTENIDOS

El presente documento está estructurado en cinco capítulos, en los cuales, se describe la metodología empleada para alcanzar los objetivos planteados. Al final del mismo, se citan también, las referencias bibliográficas empleadas para este trabajo de Tesis.

El primer capítulo consiste en la Introducción de este trabajo, aquí se podrá encontrar: antecedentes, justificación, objetivos y por último el resumen de contenidos.

El segundo capítulo contiene el Marco Teórico subdividido en seis secciones: La primera de ellas describe el ciclo hidrológico y su influencia en los proyectos hidráulicos; la segunda por su parte, explica el fenómeno de precipitación y los métodos para determinarla. La tercera sección analiza el proceso de infiltración y la caracterización de los factores que influyen en la capacidad de infiltración del suelo. A su vez, en la cuarta sección se estudia a detalle la escorrentía generada como consecuencia de la precipitación y la infiltración del suelo; así mismo, en esta sección se analiza el Método Racional y el Método del Número de Curva empleados para la determinación del coeficiente de escorrentía. El estudio de las precipitaciones de diseño se abarca en la quinta sección, en la cual, se definen los parámetros necesarios para determinar los caudales de escorrentía. Finalmente, la sexta sección relaciona el ciclo hidrológico y los procesos de infiltración, precipitación y escorrentía aplicadas en los sistemas de drenaje de cuencas urbanas.

El tercer capítulo, correspondiente a Materiales y Métodos, recopila la información de los Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Cuenca en 1985 (I-FASE), para posteriormente, definir las subcuencas pluviales y áreas de aporte de los colectores de estudio. Adicionalmente, se incluye en este capítulo, la aplicación de los Métodos Racional y Número de Curva en la determinación de los coeficientes de escorrentía actuales y futuros. Por último, se analiza la intensidad de lluvia para la ciudad de Cuenca y los caudales de diseño conjuntamente con los proyectados que circularán a través de estos colectores.

En el cuarto capítulo, se resumen los resultados obtenidos tanto de la variación del coeficiente de escorrentía como de los caudales de diseño para el período 1985 - 2013. De igual forma, se incluyen los resultados asociados a la aplicación de los Métodos Racional y Número de Curva en el cálculo de la proyección de los coeficientes y caudales de escorrentía en las subcuencas pluviales antes mencionadas.

Finalmente, el quinto capítulo presenta el Análisis y Discusión de estos resultados con referencia a la problemática generada por la expansión urbana y la consecuente impermeabilización de las subcuencas pluviales de la ciudad de Cuenca. Por otro lado, se proponen soluciones para controlar el incremento del caudal de escorrentía a través del estudio y diseño de pavimentos permeables como técnica de drenaje urbano sostenible.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. CICLO HIDROLÓGICO

El agua en la naturaleza no permanece estática, presenta un constante dinamismo en el cual se definen diferentes etapas o fases; éstas, por su manera de enlazarse, generan un verdadero ciclo, ya que su inicio ocurre donde posteriormente concluye (Maderey Laura, 2005¹). En literatura hidrológica se pueden encontrar distintos criterios sobre el origen del ciclo hidrológico cada uno de ellos con diferentes esquemas que representan las diversas formas y estados en que se presenta el agua.

El ciclo hidrológico es aplicado como término descriptivo de la circulación del agua en la tierra; está caracterizado por una serie de sucesos o etapas en los cuales el agua experimenta cambios en su estado: sólido, líquido y gaseoso; o en su forma: agua superficial, agua subterránea, etc. (Arocha R., 1983²).

Algunos autores sugieren considerar el inicio de este ciclo con la evaporación del agua en los océanos, o a su vez, partir de las nubes como elemento de origen en las que se generan las distintas formas de precipitación. Sin embargo, el ciclo hidrológico no tiene principio ni fin, y su descripción puede comenzar en cualquier punto ya que se trata de diversos procesos que ocurren en forma continua (Chow Ven Te. et. al, 2000³).

A continuación se describe el ciclo hidrológico en forma general con referencia a la Figura 2.1 (Aparicio M., 1992⁴):

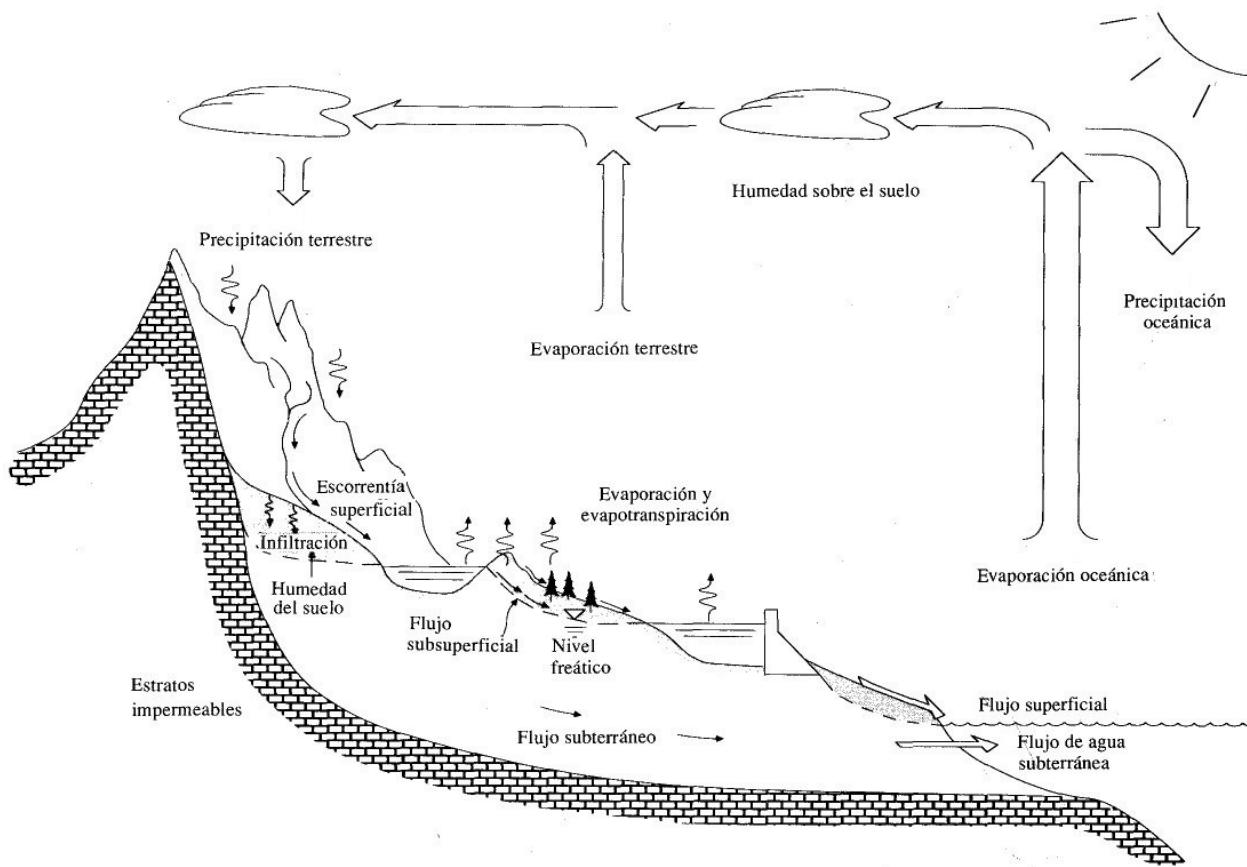


Figura 2.1: Ciclo hidrológico.

El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o en los océanos se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. 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 nuevamente a la superficie terrestre en forma de precipitación. Durante este trayecto, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada, una parte de la infiltrada y otra que corre por la

superficie se evaporan nuevamente.

De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como presas y lagos. Del agua infiltrada, una parte es absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmósfera y otra parte fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos de agua, o bien, hacia zonas profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar.

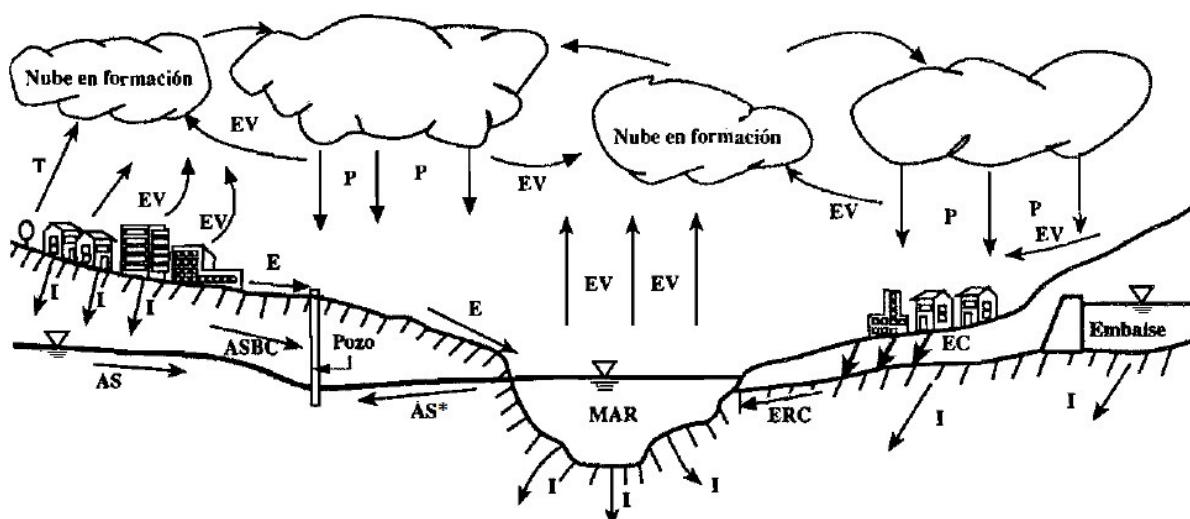
El escurrimiento superficial, el flujo subsuperficial y el flujo subterráneo que descargan en los cauces constituyen el agua de escurrimiento, que es el que corre por los cauces de los ríos y a través de ellos llega al mar, aunque cabe mencionar que una pequeña parte del agua de escurrimiento queda detenida en el lecho mismo de los ríos.

Por último, desde la superficie del mar y desde las demás superficies líquidas hay otra etapa de evaporación que cierra el ciclo y es donde termina la hidrología y empieza la meteorología (Maderey Laura, 2005¹).

La descripción anterior, debe ser considerada como un proceso continuo, en el cual, cada fase del ciclo es errático tanto temporal como espacialmente. Las cualidades del agua también cambian durante su paso a través del ciclo hidrológico, siendo el gran mecanismo de desalinización de la naturaleza (Campos D., 1998⁵).

2.1.1. El ciclo hidrológico y los proyectos hidráulicos

La influencia del hombre en el ciclo hidrológico se distingue en dos fases claramente definidas: una atmosférica y otra terrestre. A pesar de que en esta última fase se presentan las mayores interferencias debidas el desarrollo de las actividades humanas; tales como la urbanización y la construcción de grandes embalses, no es de extrañar que en un futuro cercano se pueda alterar el régimen meteorológico y en consecuencia, los regímenes pluviométricos y fluviométricos (Bolinaga Juan, 1999⁶). La Figura 2.2⁶ muestra este ciclo afectado por el hombre.



P	Precipitación
EV	Evaporación
T	Transpiración
I	Infiltración
E	Escurrimiento superficial
ER	Escurrimiento en cauces

ASB	Agua superficial
AS	Agua subterránea
AS*	Agua subterránea con intrusión salina
EC	Escurrimiento superficial contaminado
ERC	Escurrimiento contaminado en cauces
ASBC	Aqua subterránea contaminada

Figura 2.2: Ciclo hidrológico modificado.

Las alteraciones al ciclo hidrológico natural pueden dividirse en dos tipos:

- **Alteraciones de la calidad de las aguas.**- Modifican el contenido físico, químico o bacteriológico de éstas. Por ejemplo, el sólo proceso de transporte de sedimentos-erosión produce una alteración de la calidad de las aguas.
- **Alteraciones en cantidad.**- Suceden cuando el hombre hace uso consumtivo de las aguas o modifica el camino natural de ellas. En realidad, modificar el camino natural no altera la cantidad si el marco geográfico es todo el planeta; pero si es por ejemplo una cuenca hidrográfica, un trasvase a otra cuenca modifica la cantidad de agua en ambas.

Lo anterior lleva a la conclusión de que un proyecto hidráulico debe analizarse dentro del ciclo hidrológico en su totalidad, considerando que las alteraciones que se produzcan a largo plazo no opaquen los beneficios que se pretendan con la ejecución del proyecto en cuestión.

2.2. PRECIPITACIÓN

La precipitación es toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre; puede presentarse en forma de lluvia, granizo y nieve en función de las condiciones de temperatura (Morán Wendor, 2003⁷). La precipitación se forma a partir de la elevación de una masa de agua (nubes) en la atmósfera, la cual se enfriá y condensa pasando de un estado de vapor a un estado líquido.

La condensación consiste en la unión de las moléculas de agua a través de los iones de las partículas que las atraen, estas partículas se denominan núcleos de condensación. Los iones en la atmósfera incluyen compuestos de nitrógeno y sulfuro producto de la combustión así como partículas de sal formadas a partir de la evaporación de espuma marina. El proceso de precipitación se muestra en la Figura 2.3³:

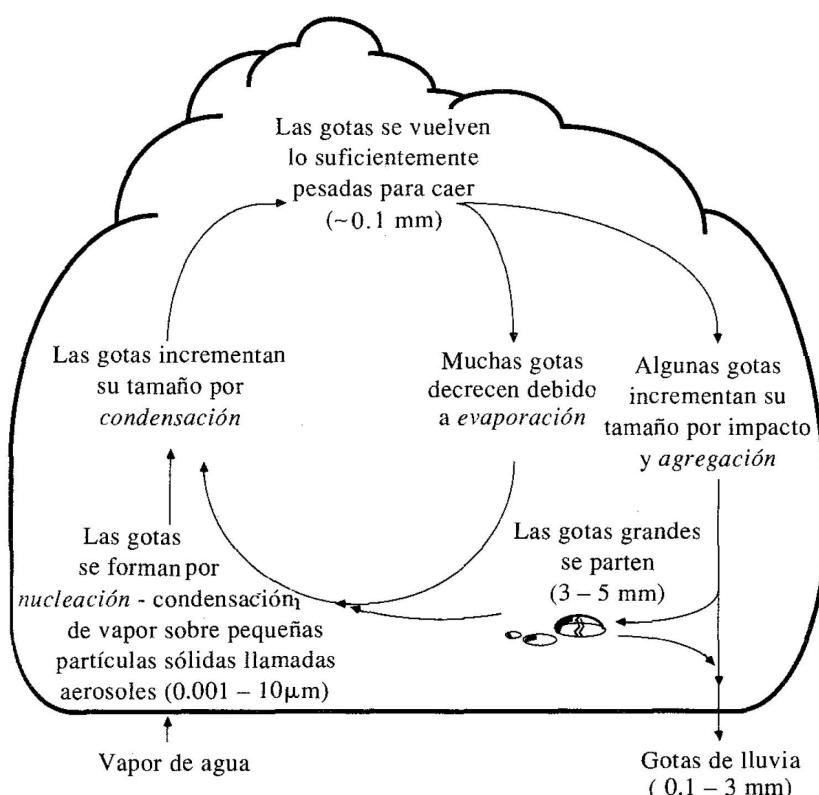


Figura 2.3: Ilustración del proceso de precipitación.

2.2.1. Tipos de precipitación

Como ya se mencionó, la precipitación se forma como consecuencia del enfriamiento de las nubes, dando lugar a varios procesos que conducen al ascenso adiabático con el consiguiente descenso de presión y temperatura. La intensidad y cantidad de precipitación dependerán del contenido de humedad del aire y de la velocidad vertical del mismo. De estos procesos se derivan los diferentes tipos de precipitación los cuales se clasifican en tres grupos, según el factor o mecanismo responsable del levantamiento del aire (Maderey Laura, 2005¹):

2.2.1.1. Convectivas

Causada por el ascenso del aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. La masa de aire caliente asciende, se enfriá, se condensa y forma la nubosidad de tipo cumuliforme. Las diferencias de temperatura pueden ser sobretodo el resultado de los calentamientos diferenciales en la superficie o en la capa superior de la capa de aire. La precipitación convectiva es puntual y su intensidad puede ser variable entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras a aguaceros (Figura 2.4¹).

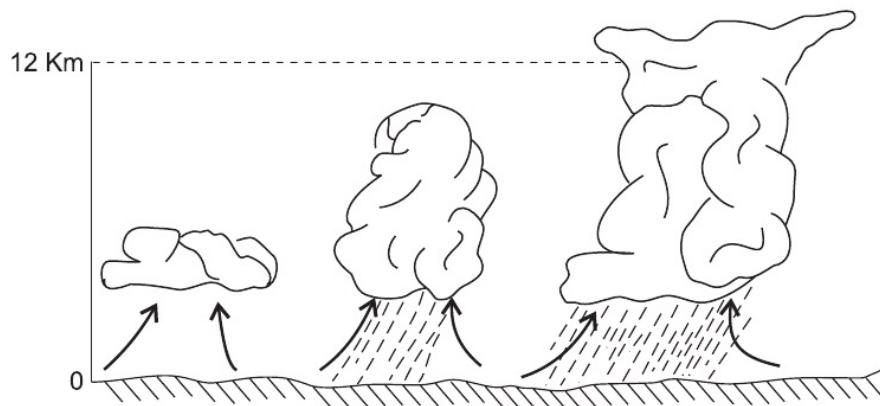


Figura 2.4: Desarrollo de una precipitación del tipo convectivo.

2.2.1.2. Orográficas

Resulta del ascenso de una masa cálida de aire sobre una cadena montañosa. Las regiones que quedan del otro lado de las montañas pueden sufrir la ausencia de lluvias, puesto que todas las nubes son interceptadas y precipitadas en el lado donde ellas provienen. En la Figura 2.5¹ se puede observar que la precipitación es mayor a barlovento, disminuyendo rápidamente a sotavento. En algunos casos el efecto orográfico no supone más que el mecanismo de disparo de la masa de aire caliente para iniciar una precipitación convectiva.

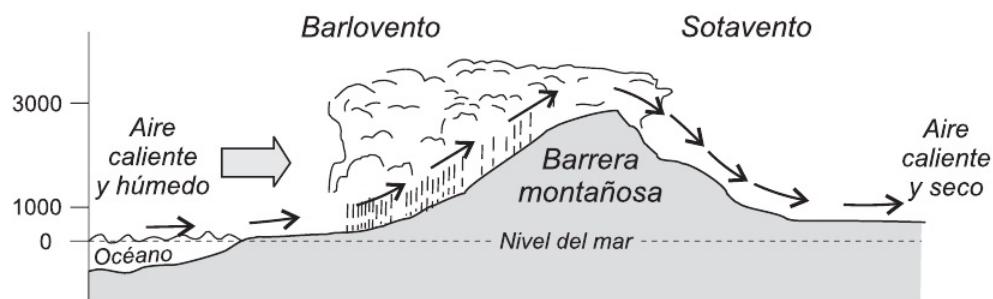


Figura 2.5: Precipitación orográfica.

2.2.1.3. Ciclónicas o Frontales

Están asociadas al paso de una perturbación ciclónica, se producen cuando hay una convergencia de nubes de diferentes temperaturas; las nubes que están formadas por aire caliente son impulsadas por un pasaje frontal hacia las partes altas donde se precipitan. Este tipo de precipitaciones pueden ocurrir en cualquier depresión barométrica, y tienden a llenar la zona de baja presión.

Las precipitaciones ciclónicas o frontales se asocian a su vez a un frente frío o a un frente cálido:

2.2.1.3.1. Frente frío

En los frentes fríos el aire cálido es desplazado violentamente hacia arriba por el aire frío, dando lugar a nubosidad de gran desarrollo vertical acompañada de chubascos que a veces son muy intensos, así como de tormentas y granizo. La precipitación del frente frío es generalmente de tipo tormentoso, extendiéndose poco hacia delante del frente (Figura 2.6¹).

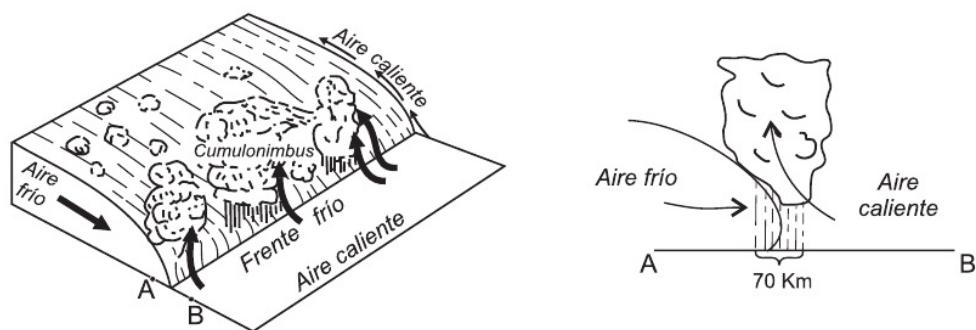


Figura 2.6: Frente frío.

2.2.1.3.2. Frente cálido

En los frentes cálidos el aire caliente asciende con relativa suavidad sobre la cuña fría, en general de escasa pendiente, dando lugar a una nubosidad más estratiforme que en el frente frío y, por lo tanto, a lluvias y lloviznas más continuas y prolongadas, pero de menor intensidad instantánea (Figura 2.7¹).

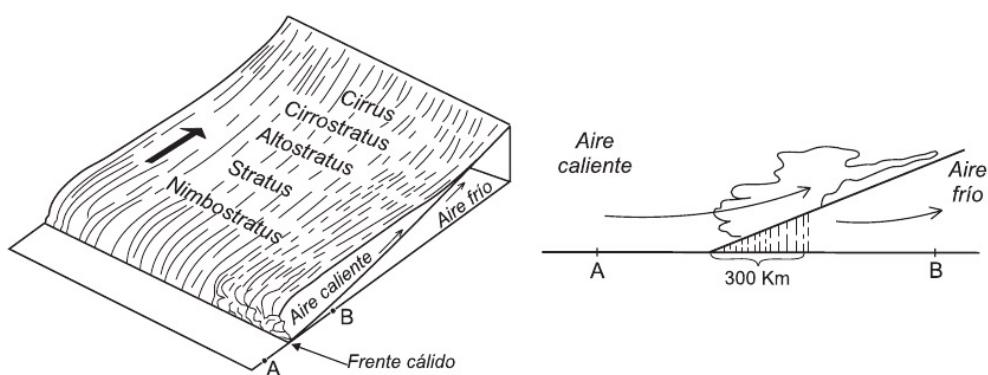


Figura 2.7: Frente cálido.

Sin embargo, en la naturaleza no es posible identificar por separado cada una de estas precipitaciones ya que se trata de enfriamientos interrelacionados (Morán Wendor, 2003⁷).



2.2.2. Métodos para determinar la precipitación

2.2.2.1. Pluviómetro

Es un instrumento que permite medir la cantidad de agua precipitada durante un cierto tiempo; la unidad de medida es en milímetros de altura y representa la capa de agua que teóricamente se formaría sobre la superficie terrestre de no llevarse a cabo los procesos de infiltración y evaporación. Pueden ser del tipo estándar, con tubo de descarga y con báscula; sin embargo, los pluviómetros registran únicamente la cantidad de lluvia caída en un intervalo de tiempo sin proporcionar detalles referentes a la intensidad de la misma durante la precipitación.

2.2.2.2. Pluviógrafo

Es un instrumento que a más de registrar la cantidad de agua precipitada en forma continua permite determinar la duración de la misma. Los pluviógrafos están incorporados con una pluma que registra en una banda, colocada sobre un tambor las precipitaciones recogidas. Las bandas o gráficas que se ajustan al tambor, pueden ser del tipo diario, semanal o mensual según la intensidad de lluvia que se espere. En forma general, para períodos lluviosos se emplean bandas diarias y para períodos secos las mensuales.

2.2.2.3. Radar meteorológico

Es un instrumento utilizado para detectar la presencia de agua en estado líquido o sólido en la atmósfera mediante la medición y el seguimiento de fenómenos atmosféricos. La ventaja del radar radica en la equivalencia de éste con el empleo de varios pluviómetros en toda la zona de cobertura del radar, a más de ello el uso del radar permite la transmisión de la información en tiempo real.

2.2.2.4. Imágenes de satélite

La información de satélites y de redes pluviométricas se utilizan para detectar, identificar y dar seguimiento a los fenómenos meteorológicos; a través de las imágenes satelitales se puede estimar la intensidad de la precipitación. Esta información es utilizada por los meteorólogos en la elaboración de sus pronósticos para cada región del país.

2.3. INFILTRACIÓN

Cuando ocurre un evento de precipitación el caudal de aguas lluvia que teóricamente debería llegar a un río; o en forma particular, al sistema de alcantarillado, disminuye en términos del volumen que se precipita y el que escurre por la salida de la cuenca. Esta diferencia se debe principalmente a procesos de infiltración, evaporización, evapotranspiración, intercepción, almacenaje de superficie, etc. Todos ellos constituyen abstracciones hidrológicas; definidas como procesos físicos que actúan para reducir la precipitación total a precipitación efectiva, y eventualmente, originan el escurrimiento de superficie (Ponce Víctor, 1996⁸).

De todos estos procesos, la infiltración presenta especial interés ya que genera las mayores abstracciones. La infiltración depende de las características propias de la zona, porcentajes y tipos de materiales de construcción, pendientes del terreno, etc., que condicionan el escurrimiento de las aguas lluvia sobre la superficie del suelo. Una ilustración de las abstracciones hidrológicas se presenta en la Figura 2.1.

2.3.1. Factores que influyen en la infiltración

La infiltración depende de algunos factores que están presentes durante este proceso, se pueden citar:

- Tipo de suelo.
- Contenido de humedad inicial.
- Contenido de humedad de saturación.
- Contenido de aire.

- Contenido de materia orgánica.
- Cobertura vegetal.
- Compactación.
- Pendiente del terreno.
- Clima y temperatura, etc.

Así, para cuantificar la infiltración, se analizan las propiedades intrínsecas de cada suelo como la porosidad, permeabilidad, granulometría, etc., de acuerdo a estas propiedades el terreno presentará un mayor o menor tiempo de infiltración. Si el suelo tiene varios estratos, el de menor permeabilidad es el que definirá la tasa máxima de infiltración en el suelo (Fugita O., et. al, 1979⁹).

2.3.2. Capacidad de infiltración

La capacidad de infiltración se define como la tasa o velocidad máxima de ingreso del agua en el suelo por acción de fuerzas gravitatorias o capilares (Aparicio M., 1992⁴). Si la velocidad de infiltración es mayor que la intensidad de lluvia, entonces en ese instante, todo el volumen de precipitación se infiltrará a través del suelo.

Como ya se mencionó, las condiciones iniciales del suelo y las variaciones locales como la temperatura y el clima influyen en la capacidad de infiltración; es por eso que los métodos para determinarla tienen únicamente un valor relativo e incluso están en función de la técnica empleada (Campos D., 1998⁵).

2.4. ESCORRENTÍA

La escorrentía constituye una parte del agua proveniente de la lluvia que escurre a través de corrientes fluviales hasta llegar a la salida de la cuenca; en forma particular, en zonas urbanas el agua de escorrentía se conduce hacia los sistemas de alcantarillado. La escorrentía puede ser superficial si el flujo de agua circula sobre el terreno, subsuperficial si el flujo de agua circula cerca de la superficie y más o menos paralelamente a él, y subterránea si el flujo de agua se infiltra hasta alcanzar niveles inferiores al freático (Aparicio M., 1992⁴).

2.4.1. Tipos de escorrentía

2.4.1.1. Escorrentía superficial

La escorrentía superficial se genera como consecuencia directa de la precipitación y se define como el flujo o altura de agua que circula sobre la superficie del suelo luego de sufrir pérdidas por infiltración, evaporación, evapotranspiración, etc. Así mismo, los procesos de descongelación de la nieve y de los glaciares contribuyen a la escorrentía. En el caso de la lluvia, su intensidad resulta fundamental en el proceso de escorrentía superficial, no así para el granizo y la nieve, pues es la velocidad de fusión quien regula el fenómeno (Schuchman Peter, 2001¹¹).

2.4.1.2. Escorrentía subsuperficial

La escorrentía subsuperficial circula a través de las capas superiores del suelo hacia las corrientes de agua. La velocidad con la que se desliza a través de éstas, depende de la permeabilidad de los estratos u horizontes del suelo, lo que permite a su vez, diferenciarlas entre la escorrentía superficial y subterránea; si la velocidad es relativamente rápida se la clasifica como superficial y si la velocidad es relativamente lenta se la considera como subterránea (Aparicio M., 1992⁴).

2.4.1.3. Escorrentía subterránea

La escorrentía subterránea se lleva a cabo en los mantos subterráneos permeables bajo el nivel freático como consecuencia de la percolación del agua en el suelo, se suele denominar también como escurrimiento base debido a que alimenta las corrientes de agua de los ríos cuando no existen lluvias (Maderey Laura, 2005¹). Este tipo de escorrentía

es el proceso más lento de los 3 antes citados, en algunos casos puede durar varios años siendo ésta la razón por la que difícilmente se la pueda relacionar con un evento de precipitación particular.

Una ilustración del proceso de escorrentía se muestra en la Figura 2.1. En forma general, los 3 tipos de escorrentía pueden analizarse a partir del evento de precipitación que los formó, para ello se sugiere el diagrama de la Figura 2.8¹.

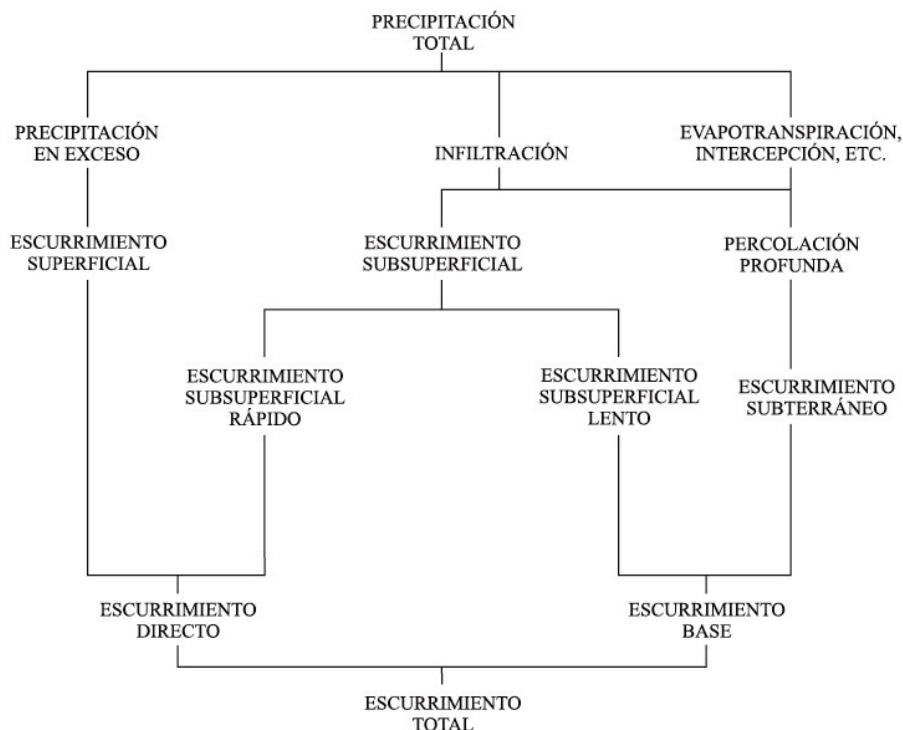


Figura 2.8: Diagrama precipitación - escorrentía.

2.4.2. Factores que influyen en la escorrentía

Se pueden clasificar en factores climáticos y fisiográficos:

2.4.2.1. Factores climáticos Estos factores influyen en la cantidad de agua precipitada que escurre sobre las distintas superficies. Dentro de éstos se pueden citar los procesos de precipitación, interceptación, evaporación y transpiración:

2.4.2.1.1. Precipitación

La escorrentía se deriva del proceso de precipitación y depende a su vez de los siguientes aspectos (Maderey Laura, 2005¹):

- **Forma.-** La rapidez con la que se produce la escorrentía depende de la forma de la precipitación; es decir, si ésta se encuentra en estado líquido como la lluvia, existe una mayor rapidez; pero si se encuentra en estado sólido como la nieve o el granizo, la rapidez estará en función de la velocidad de fusión y de la temperatura ambiente.
- **Intensidad.-** Si la intensidad de la lluvia supera la capacidad de infiltración del suelo, se produce la escorrentía. A mayor intensidad de precipitación mayor caudal de escorrentía.

- **Duración.**- En forma independiente de la intensidad, una precipitación larga también disminuye la capacidad de infiltración del suelo. A mayor duración de precipitación mayor caudal de escorrentía.
- **Distribución en el espacio.**- En forma general, la precipitación no abarca toda la superficie de la cuenca; es por eso que el caudal de escorrentía estará en función del área cubierta por la precipitación.
- **Dirección del movimiento.**- La dirección del centro de la perturbación atmosférica que causa la precipitación influye en el escurrimiento; el caudal de escorrentía será mayor si la tormenta se mueve dentro del área de la cuenca que si únicamente la atraviesa.
- **Humedad del suelo.**- La capacidad de infiltración decrece si el suelo presenta una humedad inicial antes del evento de precipitación; así, el tiempo requerido para la saturación del suelo será menor facilitando el proceso de escorrentía superficial.

2.4.2.1.2. Interceptación

El tipo y densidad de la vegetación limitan el caudal de escorrentía debido a que retardan el flujo superficial dando al agua un mayor tiempo de infiltración en el suelo; así mismo, la presencia de raíces aumentan la permeabilidad del terreno y finalmente el follaje retiene parte del volumen de precipitación que desciende hacia la superficie para convertirse en escorrentía (Aparicio M., 1992⁴).

2.4.2.1.3. Evaporación

La cantidad de agua que se pierde por la evaporación del agua almacenada en las capas cercanas a la superficie del suelo disminuye el caudal de escorrentía; la evaporación depende de la fuente de energía calórica; en general, la radiación solar es el principal suministro de energía para la vaporización; de la velocidad del viento sobre la superficie y del gradiente de humedad específica en el aire por encima de ella. La evaporación está constituida por la evaporación directa desde la superficie del suelo y desde la superficie de vegetación (Chow Ven Te. et. al, 2000³).

2.4.2.1.4. Transpiración

La cantidad de agua que se despidé en forma de vapor de las hojas de las plantas es tomada del suelo a través de sus raíces, de esta manera la transpiración influye en la escorrentía especialmente en cuencas de abundante vegetación (Aparicio M., 1992⁴).

2.4.2.2. Factores fisiográficos

Están relacionados con la forma y características físicas del terreno y con los canales que forman el sistema fluvial. Estos factores a su vez se subdividen factores morfométricos y factores físicos:

2.4.2.2.1. Factores morfométricos

Influyen en el comportamiento del agua lluvia luego de precipitarse a la superficie; estos factores condicionan los efectos sobre el flujo natural del agua como la velocidad y el tiempo de recorrido hacia la salida de la cuenca (Maderey Laura, 2005¹):

- **Superficie.**- La superficie de la cuenca hidrográfica está limitada por la divisoria topográfica que determina el área de la cual se deriva el escurrimiento superficial. En términos de escorrentía, las cuencas pequeñas son más sensibles al uso del suelo y a las precipitaciones de gran intensidad porque abarcan zonas de poca extensión, en las cuencas grandes por otra parte, es muy importante el efecto de almacenamiento en los cauces de las corrientes.
- **Forma.**- Determina en el tipo de flujo que se tendrá a la salida de la cuenca. En forma general, las cuencas alargadas presentan flujos más uniformes que las cuencas compactas. Las cuencas compactas tienen menor tiempo de concentración y por ende mayor rapidez para la concentración de los flujos de aguas superficiales, generando mayor violencia en sus crecidas; en cuencas alargadas por el contrario, el tiempo de viaje del agua es mucho más largo, contribuyendo a que los picos de las crecidas sean menos súbitos en caso de lluvias concentradas o tormentas (Figura 2.9⁶).

- **Pendiente.**- Está relacionada con los procesos de infiltración y escurrimiento superficial; en terrenos planos con pendientes muy bajas, el volumen de agua retenida por irregularidades y depresiones topográficas (Figura 2.10) es mayor que en pendientes pronunciadas (Figura 2.11); sin embargo, este efecto no se aplica en zonas pavimentadas y lisas en las que la pendiente no influye en el coeficiente de escorrentía.
- **Altitud.**- Se relaciona con la temperatura y con la forma de precipitación (lluvia, nieve o granizo). La temperatura ambiente y la velocidad de fusión (forma de precipitación) influyen en la rapidez de escorrentía.

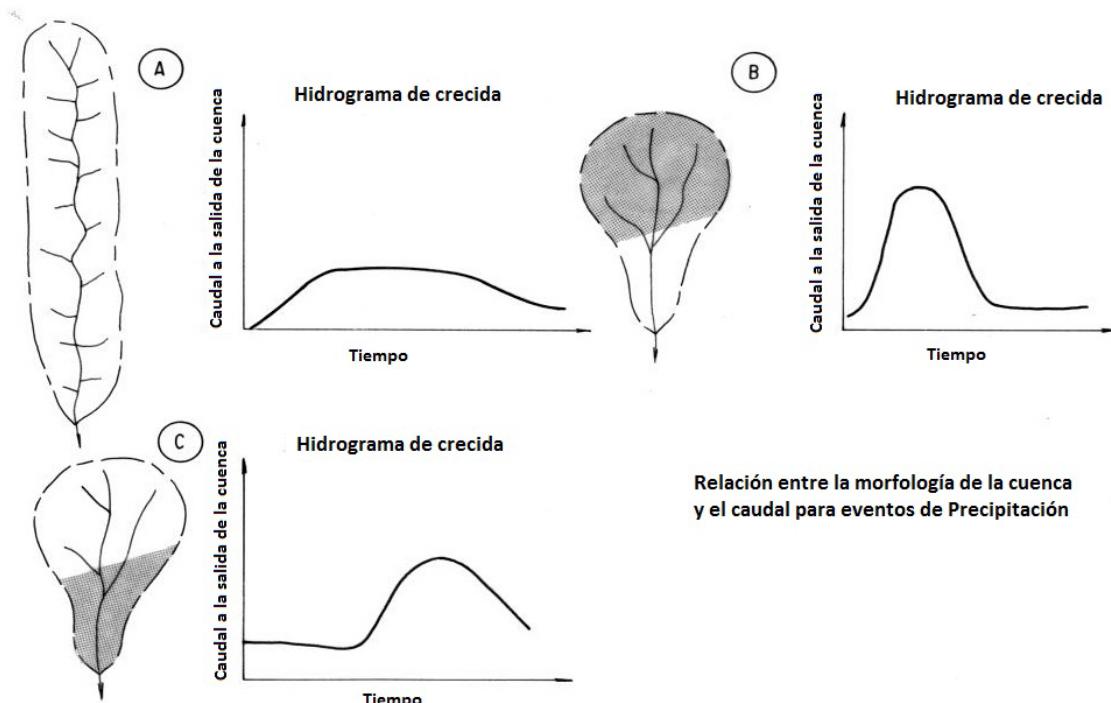


Figura 2.9: Relación entre la forma de algunas cuencas y el caudal pico para eventos de máxima precipitación.

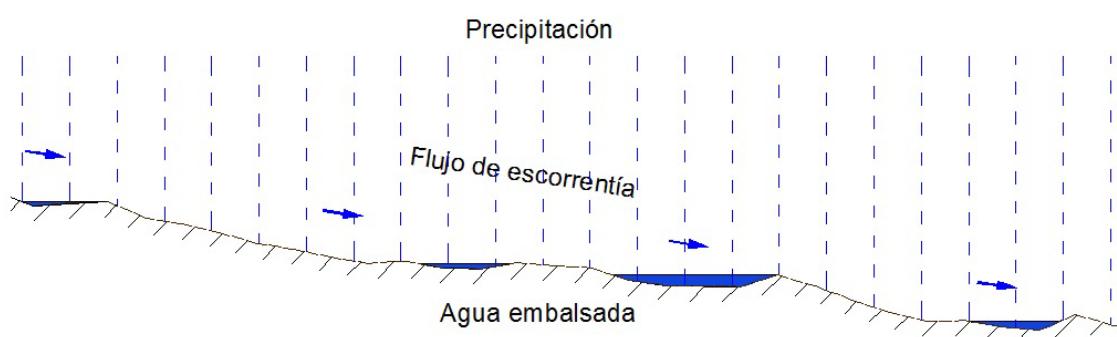


Figura 2.10: Escorrentía en pendientes bajas.

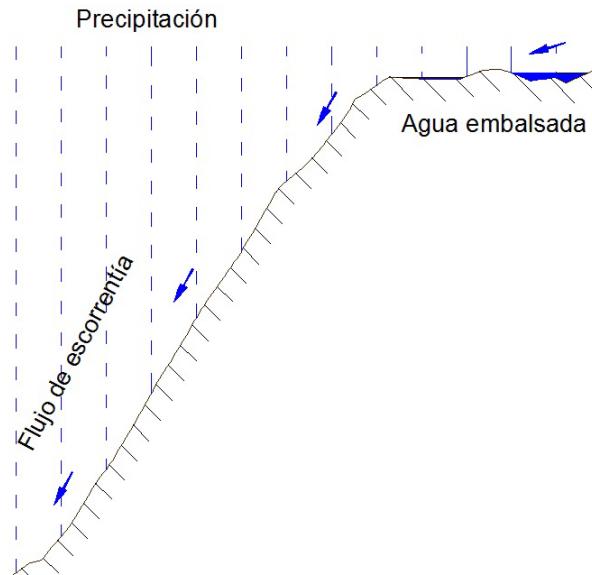


Figura 2.11: Escorrentía en pendientes altas.

2.4.2.2.2. Factores físicos

Se refiere a la estructura del terreno; así mismo, engloban los siguientes aspectos (Maderey Laura, 2005¹):

- **Uso y cubierta del suelo.**- La presencia de vegetación contribuye al control del régimen de flujo, si el terreno es deforestado el agua corre rápidamente sobre la superficie erosionando el suelo.
- **Tipo de suelo.**- Está relacionado con la infiltración del suelo; si posee una estructura porosa, la capacidad de infiltración será mayor y se retardará el proceso de escorrentía.
- **Geología.**- Condiciona el escurrimiento debido a la permeabilidad de los estratos que forman el terreno.
- **Topografía.**- Permite identificar la presencia de ondulaciones en el terreno y los límites superficiales de la cuenca hidrográfica.

2.4.3. Coeficiente de escorrentía

El cociente entre el caudal de escorrentía y el caudal de precipitación se conoce como coeficiente de escorrentía y depende de varios factores como el tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), del tipo de suelo, características de los materiales que constituyen la zona de estudio, cobertura vegetal existente, etc.

$$C = \frac{E_s}{P} \quad (2.1)$$

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía.

E_s = Escorrentía superficial [L^3/T].

P = Precipitación caída [L^3/T].

2.4.3.1. Valores del coeficiente de escorrentía

De acuerdo al tipo de superficie (Tabla 2.1) y al tipo de zona (Tabla 2.2), se ha propuesto un rango de variación para estos coeficientes.

Tabla 2.1: Coeficientes de escorrentía - Tipo de superficie (extracto).

Tipo de Superficie	Rango de “C”		Recomendado	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Cubiertas de Edificios/Tejados/Azoteas	0,75	0,95	0,90	1
Hormigón o Asfalto	0,85	1	0,90	0,95
Macadam Bituminoso	0,70	0,90	0,70	0,90
Macadam Ordinario	0,25	0,60	0,35	0,70
Caminos de Grava	0,30	0,65	0,40	0,65
Adoquines/Adocretos	0,5	0,85	0,60	0,85
Laderas con vegetación/Praderas	0,10	0,30	0,15	0,30
Laderas sin vegetación	0,30	0,60	0,35	0,60

HERNÁNDEZ M., Aurelio - Saneamiento y Alcantarillado¹⁰.

Tabla 2.2: Coeficientes de escorrentía - Tipo de zona.

Tipo de Zona	Rango de “C”	
	Mín.	Máx.
Comercial en zona central	0,70	0,95
Comercial en zona periférica	0,50	0,70
Residencial unifamiliar agrupada	0,50	0,75
Residencial unifamiliar separada/con jardines	0,30	0,50
Residencial multifamiliar agrupada	0,60	0,75
Residencial multifamiliar separada/con jardines	0,40	0,60
Industrial	0,50	0,80
Rurales y Cementerios	0,10	0,25
Verdes	0,20	0,35

AYALA U., Leopoldo - Hidrología Urbana¹⁹.

El coeficiente de escorrentía final se obtiene al utilizar los factores de incremento presentados en la Tabla 2.3. Estos factores representan el grado de protección previsto para cada tipo de zona (residencial, comercial, industrial, etc.) en función del período de retorno.

Tabla 2.3: Factores de incremento del coeficiente de escorrentía “C”.

Período de Retorno (Años)	Factor
2 - 10	1
25	1,10
50	1,20
100	1,25

AYALA U., Leopoldo - Hidrología Urbana¹⁹.

Por último, se debe recalcar que el coeficiente de escorrentía tiene un rango de valores entre 0 y 1, es decir, si el valor de “C” calculado con los factores de incremento es mayor a 1, se adopta este último como valor de coeficiente de escorrentía final. Para terrenos o materiales cuya capacidad de infiltración es muy alta el coeficiente asume valores



muy pequeños; a su vez, en terrenos o materiales muy compactos en los que la infiltración es prácticamente nula, se esperan coeficientes cercanos a la unidad.

2.4.3.2. Coeficiente de escorrentía medio En cuencas hidrológicas, y especialmente en cuencas de zonas urbanas, el coeficiente de escorrentía resulta de la influencia de distintos tipos de materiales; por ello, se ve necesario utilizar la media ponderada que relacione el coeficiente de escorrentía de cada material con el área de cubrición respectiva. La suma de cada una de ellas constituye el área tributaria de aporte que se requiere drenar.

$$\bar{C} = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i} \quad (2.2)$$

Donde:

C_i = Coeficiente de escorrentía de cada tipo de zona.

A_i = Área tributaria correspondiente [L^2].

2.4.3.3. Coeficiente de escorrentía instantáneo

El origen de la escorrentía se explica mejor por la capacidad de infiltración y la permeabilidad del suelo, de esta forma, se plantea la expresión para el coeficiente de escorrentía instantáneo; los valores máximos registrados se presentan en los momentos de máxima intensidad de la lluvia y en la parte final del evento, los valores mínimos corresponden al inicio de la precipitación (Martínez de Azagra, P., 2006¹²).

$$C(t) = \frac{i(t) - f(t)}{i(t)} \quad (2.3)$$

Donde:

$i(t)$ = Intensidad de la lluvia en el instante "t".

$f(t)$ = Tasa de infiltración en el instante "t".

En zonas con áreas verdes extensas tales como bosques y páramos, parte del volumen de precipitación es retenido por la cubierta vegetal (hojas, ramas, follaje); la acción del viento conjuntamente con la temperatura ambiente evaporan el agua almacenada antes y durante la precipitación. El proceso anterior es conocido como interceptación e influye en la determinación de la precipitación neta (Martínez de Azagra, P., 2009¹³).



2.4.4. Métodos para determinar los coeficientes de escorrentía

2.4.4.1. Método Racional americano

El Método Racional americano (Mulvaney., 1850), es uno de los métodos más empleados para estimar el caudal de escorrentía; se caracteriza por su simplicidad de cálculo y por tratarse de una de las primeras fórmulas propuestas para relacionar la intensidad de precipitación con el flujo que escurre sobre una superficie determinada. Este método adecuadamente aplicado, puede conducir a resultados satisfactorios en proyectos de drenaje urbano.

En forma general, se recomienda que para superficies menores a 100 [ha] se emplee este método (Fugita O., et al, 1979⁹), sin embargo, otras autores citan áreas menores a 1300 [ha] (López Ricardo, 1999¹⁴). En cualquier caso, para grandes áreas se deberá utilizar el método más apropiado en función de las características de la cuenca y de la disposición de información pertinente, algunos de ellos son: método del hidrograma unitario, método de la Soil Conservation Service (SCS), análisis estadísticos, entre otros.

El Método Racional asume que el caudal máximo acumulado en un determinado punto está en relación directa con el coeficiente de escorrentía, la intensidad de lluvia y el área de aporte de la cuenca.

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad (2.4)$$

Donde:

Q = Caudal superficial [m^3/s].

C = Coeficiente de escorrentía.

I = Intensidad de lluvia o precipitación [mm/h].

A = Área tributaria [ha].

Las suposiciones y limitaciones para la aplicación del Método Racional para el cálculo de los caudales de escorrentía se presentan a continuación:

2.4.4.1.1. Suposiciones básicas

- La intensidad de lluvia es constante y uniforme en toda el área de la cuenca de estudio.
- El pico de flujo superficial directo, relativo a un punto dado de diseño, es función de la intensidad de la lluvia cuya duración es igual al tiempo de concentración respectivo.
- El pico de flujo superficial directo ocurre cuando toda el área de drenaje, aguas arriba del punto de diseño, contribuye con la escorrentía.

2.4.4.1.2. Limitaciones del Método Racional

- Pese a ser un método muy utilizado en todos los proyectos de drenaje, es muy criticado porque representa una aproximación del caudal de escorrentía.
- Proporciona solamente un caudal pico mas no el hidrograma de creciente para el diseño.
- Cuando la cuenca se torna compleja, con varias subcuenca, tiende a sobreestimar las descargas, resultando en obras sobredimensionadas.
- Ignora los efectos de almacenamiento o retención temporal del agua escurrida en la superficie, cauces, conductos y otros elementos naturales y artificiales.

- La razón para que este método sea limitado a pequeñas áreas de drenaje es que toda práctica requiere, cuando se trata de grandes cuencas, la obtención de hidrogramas de inundaciones y el análisis de una posible atenuación de la descarga de pico, para que los diseños sean económicos.

2.4.4.2. Método del Número de curva o Complejos hidrológicos

Este método fue desarrollado en 1972 por el “Soil Conservation Service” (SCS), llamado desde 1994 “National Resources Conservation Service” (NRCS) perteneciente al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)¹⁵. El propósito de este método es determinar las abstracciones hidrológicas que se presentan durante la precipitación en una tormenta, y de esta manera, estimar la escorrentía generada en la cuenca.

Las suposiciones básicas para la aplicación del Método del Número de curva se presentan a continuación:

2.4.4.2.1. Suposiciones básicas

- El exceso de precipitación o escorrentía directa “ E_s ” es siempre menor o igual a la precipitación total “ P ”.
- La escorrentía superficial se inicia una vez alcanzado el umbral de escorrentía o abstracción inicial “ I_a ”, definida como la cantidad de precipitación necesaria para que el suelo se sature; así, se define la escorrentía potencial máxima $P - I_a$.
- Despues de que la escorrentía se inicia, la retención de agua “ F_a ” es menor o igual a alguna retención potencial máxima “ S ”.

Con las consideraciones anteriores y siguiendo a la Figura 2.12³, el método de la SCS plantea las siguientes relaciones:

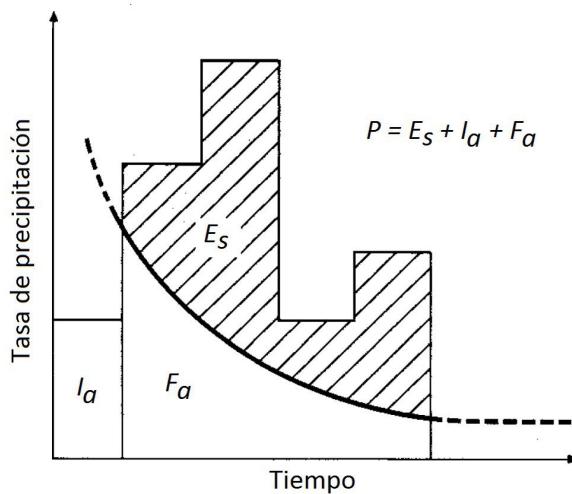


Figura 2.12: Variables en el método de la SCS.

$$\frac{F_a}{S} = \frac{E_s}{P - I_a} \quad (2.5)$$

Del principio de la continuidad:

$$P = E_s + I_a + F_a \quad (2.6)$$

Con las ecuaciones anteriores, se obtiene la ecuación básica para el exceso de precipitación o escorrentía directa:

$$E_s = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2.7)$$

La abstracción inicial I_a , representa todas las pérdidas antes que la escorrentía inicie tal como el agua retenida en depresiones superficiales, el agua interceptada por la vegetación, evaporación e infiltración. I_a es altamente variable pero generalmente está correlacionada con los parámetros de cobertura del suelo. Como resultado de varios estudios en pequeñas cuencas agrícolas, se puede estimar I_a con la siguiente ecuación empírica:

$$I_a = 0,2S \quad (2.8)$$

Finalmente, sustituyendo la ecuación (2.8) en (2.7) se tiene:

$$E_s = \frac{(P - I_a)^2}{P + 4I_a} \quad (2.9)$$

O a su vez, considerando a I_a como un parámetro independiente, la ecuación (2.9) permite utilizar la combinación de S y P para determinar la escorrentía superficial E_s :

$$E_s = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (2.10)$$

La retención potencial máxima S , depende del suelo y de las condiciones de cobertura de la cuenca; S se relaciona con el número de curva CN a través de la ecuación:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2.11)$$

$$CN = \frac{25400}{254 + S} \quad (2.12)$$

Donde:

S = Retención potencial máxima [mm].

CN = Número de curva.

Para superficies naturales, $CN < 100$ mientras que para superficies impermeables y superficies de agua, $CN = 100$. Por otra parte, al resolver las ecuaciones (2.8) y (2.10) para un rango de valores de P y CN ($0 < CN < 100$), el SCS encontró varias curvas semejantes a la Figura 2.13 relacionadas a su vez, con la Tabla 2.4.

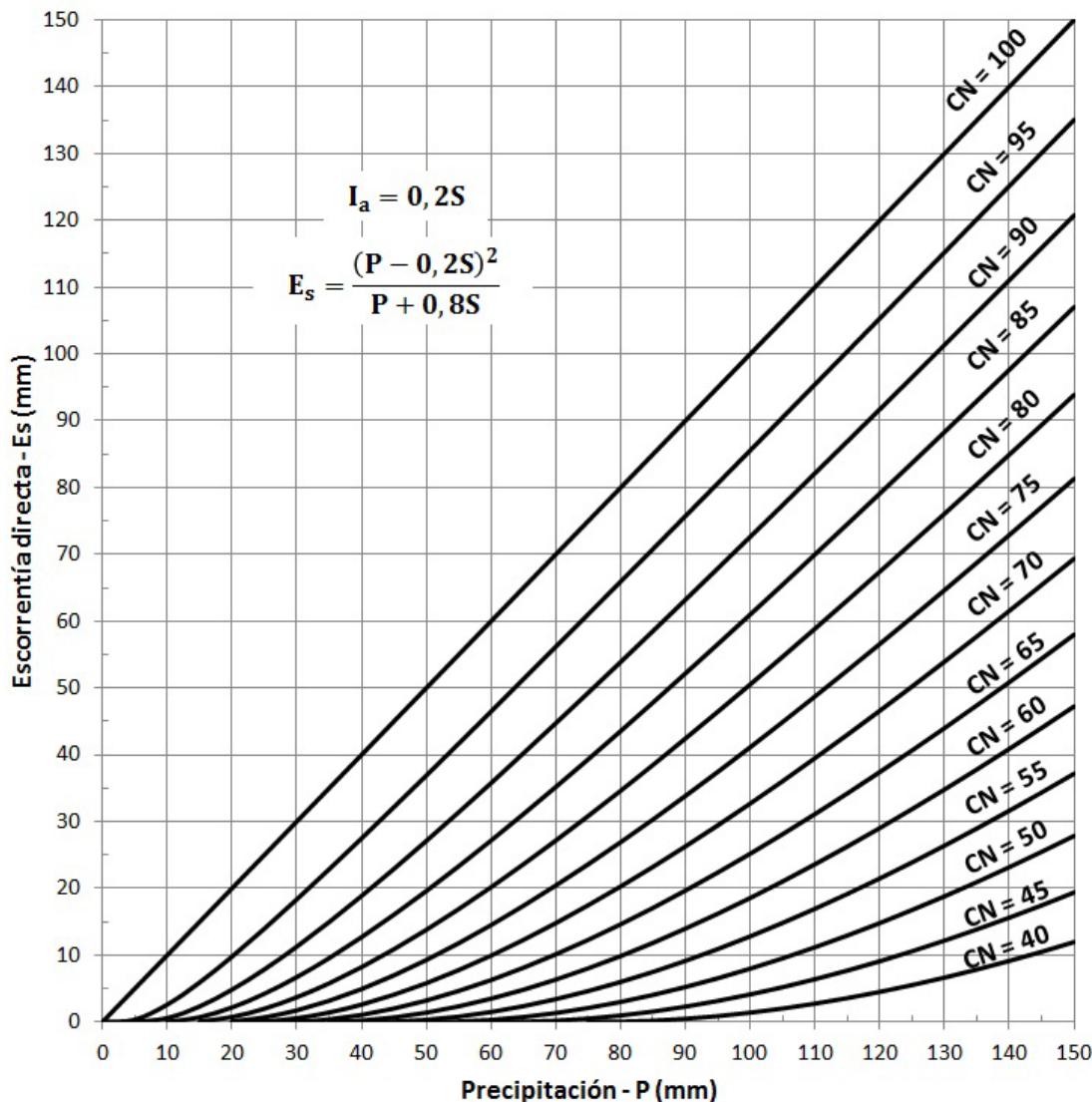


Figura 2.13: Relación entre precipitación y escorrentía utilizando números de curva.

2.4.4.2.2. Limitaciones del Método del Número de Curva

- El método describe condiciones promedio que son útiles para propósitos de diseño. Si el evento de precipitación empleado corresponde a un registro de tormentas históricas, la exactitud del modelo decrece.
- La ecuación de escorrentía desarrollada por el Método del Número de curva debe emplearse con precaución, especialmente cuando se modelen características específicas para una tormenta actual. Esta ecuación no contiene una expresión para el tiempo, por lo tanto, no toma en cuenta parámetros como la duración y la intensidad de precipitación.
- Se debe entender y cerciorar que la suposición del término de abstracción o pérdida inicial I_a , es aplicable en el área estudiada. El término I_a ; que representa la intercepción, infiltración inicial, almacenamiento en depresiones del suelo, evapotranspiración y otros factores; fue generalizado como $0,2S$ basándose en la información de cuencas agrícolas (S es la retención potencial máxima después que la escorrentía inicia). Esta aproximación es de particular interés especialmente en la aplicación a cuencas urbanas, ya que la combinación de áreas impermeables con áreas permeables puede implicar que la pérdida inicial no exista. Por otro lado y en forma opuesta, puede ocurrir una pérdida inicial considerable si en las áreas impermeables existen depresiones superficiales que

almacenar la escorrentía. Para usar una relación diferente a $I_a = 0,2S$, se debe redesarrollar la ecuación (2.15), Figura 2.14 y las Tablas 2.4 y 2.8 usando la información original de precipitación - escorrentía para establecer una nueva relación de S o CN para cada cobertura y grupo hidrológico de suelo.

- El procedimiento descrito no se aplica para escorrentías generadas por el derretimiento de la nieve o lluvia sobre suelos congelados.
- El Método del Número de Curva pierde exactitud cuando la escorrentía es menor que 0,5 [pulg] (12,7 [mm]). Para estas condiciones es preferible la aplicación de otro método.
- El procedimiento de la SCS se aplica únicamente para determinar la escorrentía superficial, por lo que se sugiere analizar la existencia de fuentes subsuperficiales o niveles freáticos altos que contribuyen a la escorrentía.
- Cuando el valor de CN ponderado es inferior a 40, debe utilizarse otro procedimiento para determinar la escorrentía.

Tabla 2.4: Profundidad de escorrentía en función de la selección del número de curva y cantidad de lluvia.

Precipitación [mm]	Profundidad de escorrentía para número de curva de:											
	40	45	50	55	60	65	70 [mm]	75	80	85	90	95
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,34	5
10	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,58	2,59	10
15	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,72	2,33	5,91
20	-	-	-	-	-	-	0,03	0,11	0,75	2,18	4,84	9,78
25	-	-	-	-	-	0,04	0,09	0,70	2,00	4,23	7,87	13,96
30	-	-	-	-	-	0,05	0,58	1,75	3,70	6,72	11,28	18,35
35	-	-	-	-	0,01	0,40	1,43	3,18	5,80	9,57	14,97	22,87
40	-	-	-	0,01	0,21	1,07	2,61	4,94	8,21	12,70	18,86	27,48
45	-	-	-	0,06	0,69	2,02	4,08	6,99	10,89	16,06	22,92	32,17
50	-	-	-	0,33	1,40	3,22	5,81	9,29	13,80	19,61	27,11	36,90
55	-	-	0,07	0,82	2,34	4,65	7,77	11,81	16,91	23,32	31,40	41,68
60	-	0,01	0,32	1,50	3,49	6,29	9,94	14,52	20,19	27,17	35,78	46,49
65	-	0,03	0,75	2,38	4,84	8,13	12,29	17,41	23,62	31,13	40,23	51,32
70	-	0,20	1,35	3,42	6,35	10,14	14,81	20,45	27,18	35,19	44,74	56,17
75	-	0,52	2,11	4,63	8,04	12,31	17,48	23,62	30,85	39,34	49,30	61,04
80	0,04	0,98	3,01	6,00	9,88	14,63	20,29	26,92	34,63	43,55	53,90	65,93
85	0,20	1,57	4,06	7,51	11,86	17,09	23,23	30,33	38,49	47,84	58,54	70,83
90	0,48	2,30	5,24	9,16	13,98	19,68	26,29	33,85	42,44	52,18	63,21	75,73
95	0,88	3,15	6,55	10,93	16,22	22,39	29,45	37,45	46,46	56,57	67,91	80,65
100	1,40	4,13	7,98	12,83	18,57	25,20	32,71	41,14	50,54	61,00	72,63	85,57

2.4.4.2.3. Factores considerados en la determinación de los números de curva

Los factores principales que determinan el valor de CN son (Department of Agriculture (USDA), 1985¹⁵): el grupo hidrológico del suelo, el tipo de cobertura, las condiciones hidrológicas y las condiciones antecedentes de humedad. Otro factor considerado es si el desagüe de las áreas impermeables están conectadas directamente con el sistema de drenaje o si el flujo de agua se extiende sobre áreas permeables antes de entrar al sistema de drenaje.

En forma particular, para áreas urbanas, la SCS propone la Tabla 2.5, en la cual, la determinación del número de curva se realiza asumiendo que las áreas impermeables (calles, cunetas, alcantarillas, etc.) están conectadas directamente al sistema de drenaje, mientras que las áreas permeables se consideran equivalentes a espacios abiertos en condiciones hidrológicas buenas.

Tabla 2.5: Números de curva de escorrentía para áreas urbanas.

Tipo de cobertura y condición hidrológica	Descripción de la cobertura	Números de curva			
		Porcentaje de área impermeable promedio ²	Grupo A	Grupo B	Grupo C
<i>Áreas urbanas completamente desarrolladas (vegetación establecida)</i>					
Terrenos abiertos (césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.) ³ :					
Condiciones pobres (cobertura de césped ≤ 50 %)		68	79	86	89
Condiciones medias (cobertura de césped 50 % a 75 %)		49	69	79	84
Condiciones bajas (cobertura de césped ≥ 75 %)		39	61	74	80
<i>Áreas impermeables:</i>					
Estacionamientos pavimentados, techos, calzadas (excluyendo derechos de vía).					
Callejones y canales:					
Pavimentados; bordillos y alcantarillas (excluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Pavimentados; zanjas abiertas (incluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Grava (incluyendo derecho de vía)		83	89	92	93
Tierra baldía (incluyendo derecho de vía)		76	85	89	91
Áreas urbanas del desierto occidental:					
Paisajes desérticos naturales (solo áreas permeables) ⁴		72	82	87	89
Paisajes desérticos artificiales (barra de maleza impermeable, arbustos desérticos con capas de 1 o 2 pulgadas de arena, grava y bordes en la cuenca)					
<i>Áreas urbanas en desarrollo:</i>					
Distritos urbanos:					
Comercial		63	77	85	88
Industrial		85	89	92	94
Distritos residenciales por tamaño promedio de los lotes:					
1/8 acre (506 m ²) o menos (casas)		72	81	88	91
1/4 acre (1.012 m ²)		65	77	85	90
1/3 acre (1.349 m ²)		38	61	75	83
1/2 acre (2.023 m ²)		30	57	72	81
1 acre (4.047 m ²)		25	54	70	80
2 acre (8.094 m ²)		20	51	68	79
		12	46	65	77
Áreas recién clasificadas (sólo áreas permeables, sin vegetación) ⁵					
		77	86	91	94

¹ Condición de escorrentía media, $I_a = 0.25$.

² Se utilizó el porcentaje de área impermeable promedio para desarrollar el valor de CN compuesto. Otras suposiciones adoptadas son las siguientes:
Las áreas impermeables están directamente conectadas con el sistema de drenaje. Las áreas impermeables tienen un valor de CN = 98.

³ Las áreas permeables se consideran equivalentes a los espacios abiertos en condiciones hidrológicas buenas. Los valores de CN para condiciones combinadas pueden ser calculadas empleando las Figuras 2.15 o 2.16.

⁴ El valor de CN compuesto para paisajes desérticos naturales deberá ser calculado usando las Figuras 2.15 o 2.16 basados en el porcentaje de área impermeable (CN = 98) y del valor de CN de área permeable. Los valores de CN de área permeable se asumen equivalentes a los arbustos desérticos en condiciones hidrológicas pobres.

⁵ Los valores de CN compuestos, empleados como medidas temporales para el diseño durante la clasificación y construcción, deberán ser calculados empleando las Figuras 2.15 o 2.16 basados en el grado de desarrollo (porcentaje de área impermeable) y el valor de CN para áreas permeables recién clasificadas.

Grupo hidrológico de suelo.- El grupo hidrológico está relacionado con la tasa de infiltración propia del suelo, la cual varía ampliamente en función de la permeabilidad del subsuelo. Los suelos están clasificados en 4 grupos: A, B, C y D, de acuerdo a su tasa mínima de infiltración, obtenida en suelo desnudo (sin cobertura) después de ser sometidos a humectación prolongada. Estos grupos son definidos por la SCS como sigue (Nielsen Robert & Allen Hjelmfelt Jr., 2004¹⁶):

- **Grupo A:** Se caracterizan por tener un potencial de escorrentía bajo y una tasa de infiltración alta aún si el suelo se encuentra completamente húmedo. El movimiento de agua a través de ellos es mayor a 7,60 [mm/hr].
- **Grupo B:** Presentan una tasa de infiltración moderada en suelos completamente húmedos. El movimiento de agua a través de ellos es moderadamente rápido: 3,80 - 7,60 [mm/hr].
- **Grupo C:** Los suelos de este grupo hidrológico se caracterizan por tener una tasa de infiltración baja en suelos completamente húmedos. El movimiento de agua a través de ellos se encuentra en el rango: 1,25 - 3,80 [mm/hr], debido a que presentan una capa que impide el movimiento del agua.
- **Grupo D:** El potencial de escorrentía de estos suelos es alto, tienen una tasa de infiltración muy baja en suelos completamente húmedos. El movimiento de agua a través de ellos se encuentra en el rango: 0 - 1,25 [mm/hr]. Los suelos de este grupo se expanden significativamente cuando se humedecen tal es el caso de arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Perfiles de suelo alterados.- Como consecuencia de la urbanización, el perfil del suelo puede haber sido alterado considerablemente por lo que la clasificación antes descrita, en algunos casos no es aplicable. En estas circunstancias, se utiliza la Tabla 2.6 para determinar la textura de la nueva superficie del suelo, asumiendo que no ha existido compactación significativa en el mismo.

Tabla 2.6: Grupo hidrológico en suelos alterados.

Grupo hidrológico	Textura del suelo
A	Arena, arenas limosas, o franco arenoso.
B	Franco limoso o limo.
C	Franco arcilloso arenoso.
D	Franco arcilloso, franco arcilloso limoso, arcillas o limos arcillosos, arcillas arenosas.

Department of Agriculture (USDA) - Urban Hydrology for Small Watersheds¹⁵.

Algunos suelos están en el grupo D debido a que presentan un nivel freático alto, el cual genera problemas de drenaje. Una vez que estos suelos son completamente drenados, se clasifican en un grupo diferente; es decir, un suelo A/D indica que el suelo drenado se clasifica en el grupo A y el suelo no drenado en el grupo D.

Tipo de cobertura.- Las Tablas 2.1 y 2.2, presentan algunos tipos de cobertura como vegetación, suelos descubiertos y superficies impermeables. Los métodos más comunes para la determinación del tipo de cobertura son los reconocimientos de campo, fotografías aéreas y los mapas de uso del suelo.

Condiciones hidrológicas.- Las condiciones hidrológicas indican los efectos del tipo de cobertura del suelo en la infiltración y la escorrentía. Generalmente son estimadas por la densidad de las plantas y la cobertura restante en áreas simples. Se entiende por condiciones hidrológicas buenas, aquellas con un potencial de escorrentía bajo para ese grupo hidrológico específico. Algunos factores a considerar en la estimación de los efectos de la cobertura son: la densidad del césped, cultivos u otras áreas de vegetación, la cantidad de área cubierta durante todo el año, el porcentaje de cobertura restante o residual y el grado de rugosidad superficial.



Condiciones antecedentes de humedad.- Los números de curva dependen también de las condiciones antecedentes de humedad; así, la Tabla 2.7 del SCS proporciona un rango para establecer estas condiciones.

Tabla 2.7: Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC).

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días [mm]	
	Estación Inactiva	Estación de Crecimiento
Condición seca (I)	Menor que 12,70	Menor que 35,6
Condición normal (II)	12,7 a 27,9	35,6 a 53,3
Condición húmeda (III)	Sobre 27,9	Sobre 53,3

*CHOW, Ven Te - Hidrología Aplicada*³.

Modificaciones en áreas urbanas impermeables.- Algunos factores como el porcentaje de área impermeable y la forma en la que la escorrentía recorre dichas áreas hacia el sistema de drenaje, deben ser considerados para el cálculo del número de curva en áreas urbanas. Dentro de estas modificaciones se presentan dos situaciones:

- **Áreas impermeables conectadas.-** Cuando el caudal de escorrentía que circula sobre un área impermeable fluye directamente hacia el sistema de drenaje, o a su vez, si el caudal de escorrentía circula sobre un área permeable como un flujo superficial concentrado y posteriormente se conecta al sistema de drenaje, se considera que el área impermeable está conectada.

Por otra parte, si toda el área impermeable está conectada directamente con el sistema de drenaje, pero los porcentajes de área impermeable expuestos en la Tabla 2.5 no corresponden al área estudiada, se deberá emplear la Figura 2.14¹⁵ para calcular el valor de CN compuesto.

- **Áreas impermeables no conectadas.-** El caudal de escorrentía en áreas impermeables no conectadas tiene un comportamiento similar a una lámina de agua sobre un área permeable. Para calcular CN en este tipo áreas se determina el porcentaje de área impermeable: si éste es menor al 30 % se empleará la Figura 2.15¹⁵ pero si el porcentaje es mayor o igual al 30 % se utilizará la Figura 2.14 debido a que la capacidad de absorción de las áreas permeables restantes no afectará significativamente al caudal de escorrentía.

Por otra parte, cuando las condiciones son diferentes a las normales (condiciones secas y húmedas), los números de curva equivalentes se pueden calcular con las ecuaciones (2.13) y (2.14).

$$CN(I) = \frac{4,2CN(II)}{10 - 0,058CN(II)} \quad (2.13)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0,13CN(II)} \quad (2.14)$$

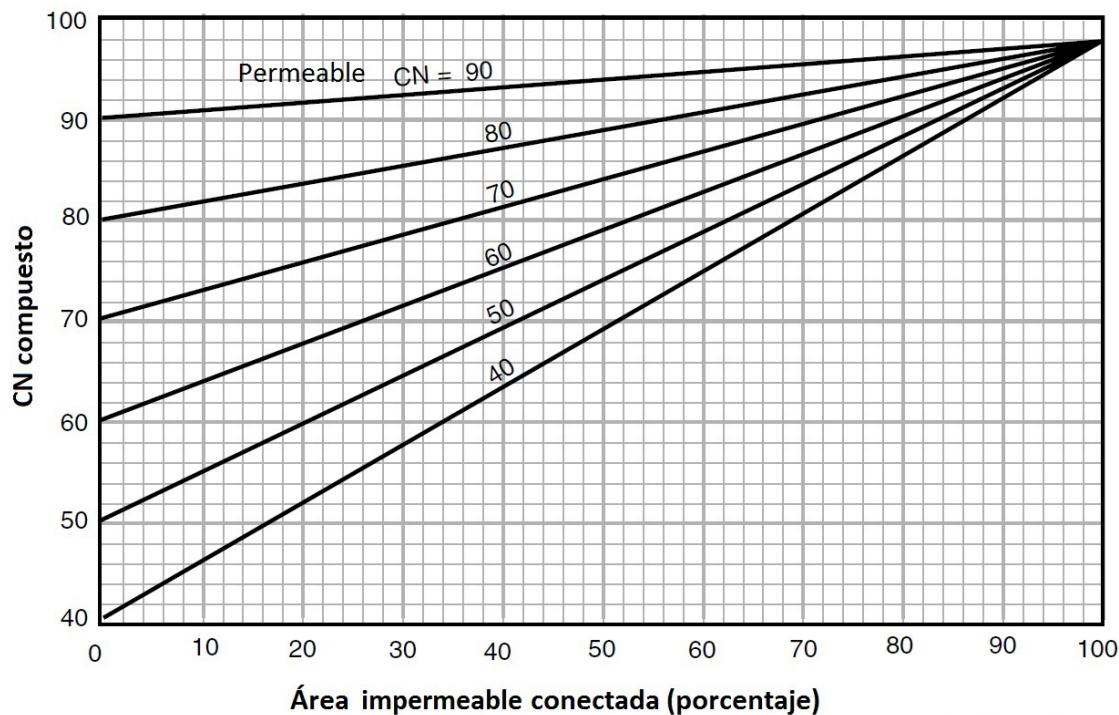


Figura 2.14: CN compuesto para áreas impermeables conectadas al sistema de drenaje.

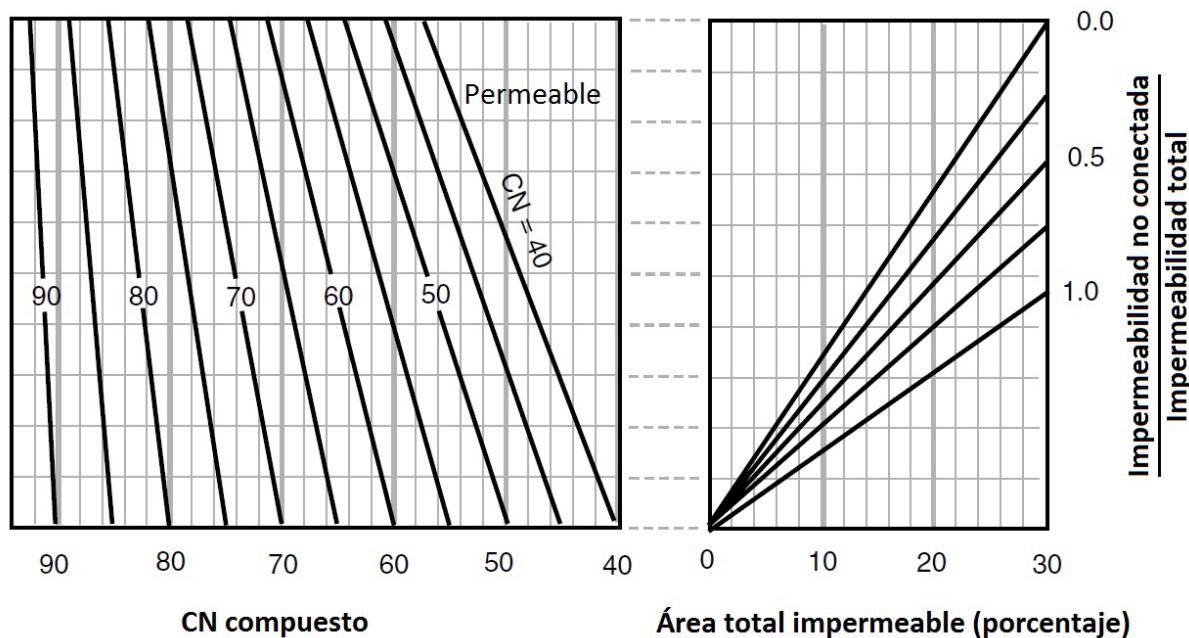


Figura 2.15: CN compuesto para áreas impermeables no conectadas al sistema de drenaje.

2.4.4.2.4. Relación entre el coeficiente de escorrentía y el número de curva

Igualando las ecuaciones (2.1) y (2.9) se puede observar que el coeficiente de escorrentía depende de la precipitación

analizada y del número de curva (Martínez de Azagra, P., 2006¹²):

$$C = \frac{\frac{(P - I_a)^2}{P + 4I_a}}{P} = \frac{(P - I_a)^2}{P^2 + 4PI_a} \quad (2.15)$$

De la misma forma, igualando las ecuaciones (2.8) y (2.11) se observa que el umbral de escorrentía es también función del número de curva:

$$I_a = 0,2S = \frac{5080}{CN} - 50,80 \quad (2.16)$$

Por último, sustituyendo el valor de (2.16) en (2.15) se tiene la relación final:

$$C = \frac{(P - \frac{5080}{CN} + 50,80)^2}{P^2 + 4P(\frac{5080}{CN} - 50,80)} \quad (2.17)$$

Con la ecuación (2.17) se pueden obtener valores de "C" mucho más confiables desde el punto de vista conceptual y práctico que las tablas normalmente utilizadas en el Método Racional, el cual, proporciona únicamente valores máximos para el coeficiente de escorrentía. Además se considera la precipitación y las condiciones antecedentes de humedad como factores fundamentales en el proceso de formación de escorrentía, obteniendo así los valores medios para toda la precipitación en su conjunto.

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación empleando los Números de curva (tomado de Chow Ven Te. et al, 2000³):

Ejemplo: Calcule la escorrentía que se origina por una lluvia de 5 [pulg] (127 [mm]) en una cuenca de 1000 [acre] (404,69 [ha]). El grupo hidrológico de suelo es de 50 % el Grupo B y 50 % el Grupo C que se intercalan a lo largo de la cuenca. Se supone una condición antecedente de humedad II. El uso de la tierra es:

40 % del área residencial que es impermeable es un 30 %.

12 % del área residencial que es impermeable es un 65 %.

18 % de caminos pavimentados con cunetas y alcantarillados de aguas lluvias.

16 % de área abierta con un 50 % con una cubierta aceptable de pastos y un 50 % con buena cubierta de pastos.

14 % de parqueaderos, plazas, colegios y similares (toda impermeable).

Solución: Se calcula el número de curva ponderado utilizando la Tabla 2.5.

Uso de la tierra	Grupo hidrológico de suelo		
	B	C	
Residencial (30 % impermeable)	20	72	1440
Residencial (65 % impermeable)	6	85	510
Carreteras	9	98	882
Terreno abierto: Buena cubierta	4	61	244
Cubierta aceptable	4	69	276
Parqueaderos	7	98	686
	50	4038	50 520 4340

Luego,

$$CN(\text{ponderado}) = \frac{4038 + 4340}{100} = 83,78 \quad (2.18)$$

Calculando la retención potencial máxima con la ecuación (2.20):

$$S = \frac{25400}{83,78} - 254 = 49,17[\text{mm}] \quad (2.19)$$

Finalmente la escorrentía se obtiene con la ecuación (2.19):

$$E_s = \frac{(127 - 0,2 \times 49,17)^2}{127 + 0,8 \times 49,17} = 82,52[\text{mm}] \quad (2.20)$$

Aplicando la ecuación (2.22) en el ejemplo anterior se puede obtener el valor del coeficiente de escorrentía:

$$C = \frac{(127 - \frac{5080}{83,78} + 50,80)^2}{127^2 + 4x127x\frac{5080}{83,78} - 50,80} = 0,65 \quad (2.21)$$

2.5. ESTUDIO DE LAS PRECIPITACIONES DE DISEÑO

Una precipitación de diseño es un patrón definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Su aplicación va desde el uso de valores puntuales de precipitación en el Método Racional para determinar los caudales picos en alcantarillados de aguas lluvias y alcantarillas de carreteras, hasta el uso de hietogramas de precipitación como las entradas para el análisis de los procesos lluvia-escorrentía (Bolinaga Juan & Franceschi Luis, 1979¹⁷).

2.5.1. Área tributaria

En sistemas de alcantarillado se denomina también como área de drenaje ya que representa la superficie de aporte del caudal de aguas lluvia que se interceptan por los colectores, comúnmente viene expresada en [ha] en relación con las expresiones para el caudal de escorrentía.

Para determinar el área de drenaje en una zona urbana se trazan bisectrices desde las esquinas de las manzanas consideradas en el diseño; las intersecciones entre cada bisectriz delimitan el área de aporte correspondiente a cada colector para el drenaje. Las áreas de aporte así delimitadas, deberán tener en cuenta el trazado de los colectores, asignando áreas proporcionales a las figuras geométricas que este trazado configura.

La Figura 2.16² muestra la delimitación de las áreas contribuyentes ([ha]) a cada colector de una zona urbana siguiendo el método de las bisectrices.

2.5.2. Período de retorno

El tiempo promedio que transcurre para que un evento se repita se conoce como período de retorno o intervalo de recurrencia, en otras palabras, es el número promedio de tiempo que separan la ocurrencia de dos eventos similares.

La probabilidad de ocurrencia de un evento de cualquier naturaleza es inversamente proporcional a su período de retorno; así, en el estudio de los eventos de precipitación, es común relacionar la frecuencia de éstos con la probabilidad de ocurrencia respectiva.

$$F = \frac{1}{T} \quad (2.22)$$

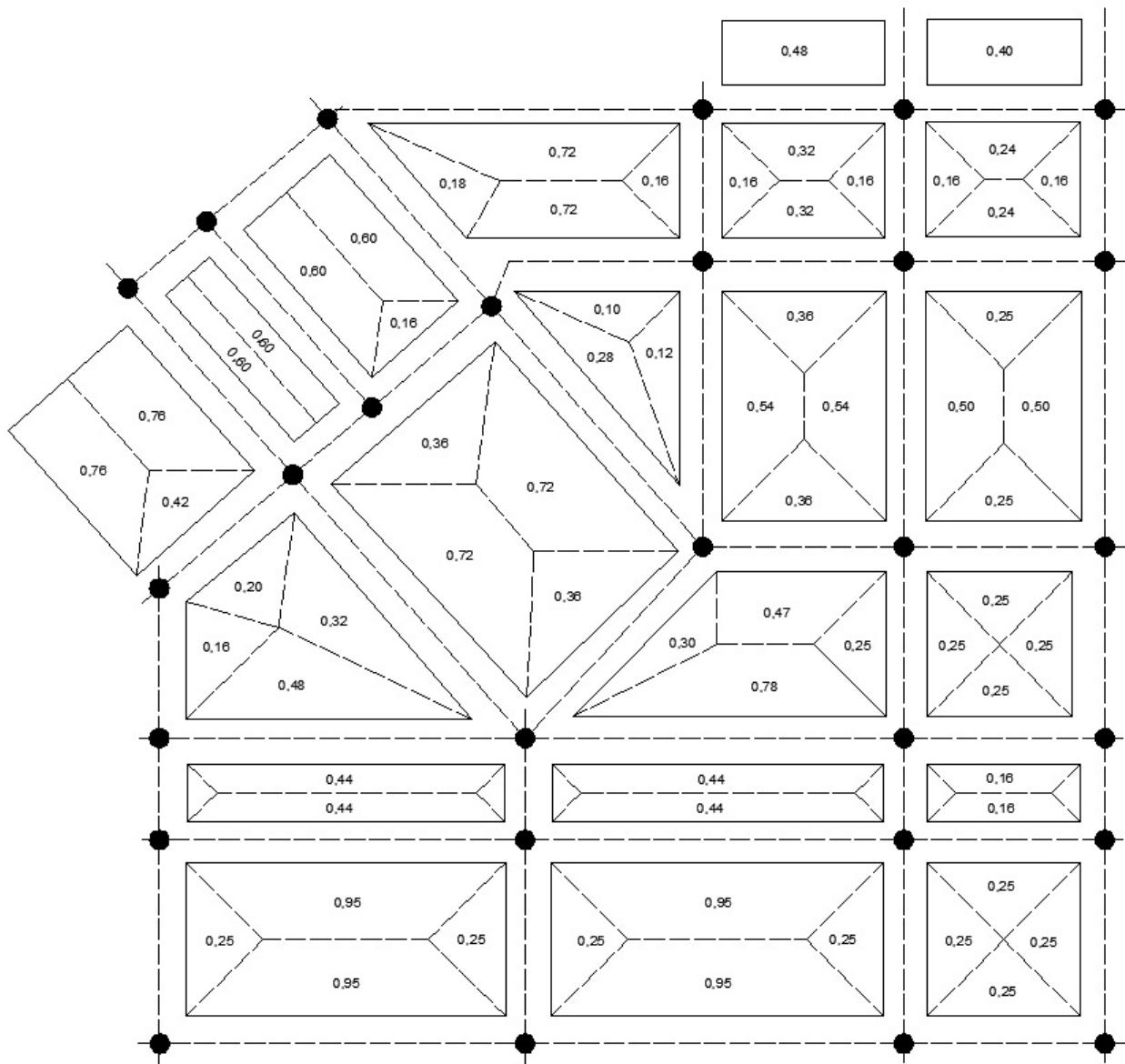


Figura 2.16: Delimitación de las áreas contribuyentes a cada colector.

Donde:

$F = \text{Frecuencia } [\text{años}^{-1}]$.

$T = \text{Período de retorno } [\text{años}]$.

Por otro lado, partiendo de la ecuación (2.22) se puede deducir la probabilidad de no ocurrencia del mismo evento en "n" años.

$$F = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (2.23)$$

Donde:

n = Número de años.

Sin embargo, es de mayor utilidad conocer la probabilidad de ocurrencia del evento. Así, se tendrá:

$$F = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (2.24)$$

Una vez definida la probabilidad de ocurrencia del evento de precipitación se puede elaborar la Tabla 2.8 para diferentes períodos de retorno en un número determinado de años.

Tabla 2.8: Probabilidad de ocurrencia de un evento.

Período de Retorno "T" [años]	Número de años						
	1	2	5	10	20	50	100
100	0.01	0.02	0.05	0.10	0.18	0.39	0.63
50	0.02	0.04	0.10	0.18	0.33	0.64	0.87
25	0.04	0.08	0.18	0.34	0.56	0.87	0.98

BOLINAGA Juan & FRANCESCHI Luis - Drenaje Urbano¹⁷.

Es decir, si se considera por ejemplo un evento de precipitación con un período de retorno de 50 años, la probabilidad de ocurrencia del evento en 10 años será del 18 %.

2.5.2.1. Factores que influyen en la selección del período de retorno

Los factores a considerar para la determinación del período de retorno en un sistema de drenaje son (Bolinaga Juan & Franceschi Luis, 1979¹⁷):

- **Función.-** Puede ser de carácter básico o complementario, la primera influye en el grado de protección que se debe dar a las personas y/o propiedades ante un evento máximo de lluvia-escorrentamiento; la segunda tiene relación a problemas ocasionados por este mismo evento en el desenvolvimiento normal del tráfico de personas o vehículos.
- **Uso de la tierra.-** Se refiere al uso de zonas protegidas y de áreas de particular interés. Estas zonas requieren grado de protección especial y por ende un período de retorno menor para las precipitaciones de diseño.
- **Tipo de vía terrestre.-** Depende de la magnitud y tipo de uso de la vía; vías de mayor importancia exigen para su diseño menores tiempos de retorno debido a que los problemas de tránsito no son los mismos para una autopista comparadas con una vía secundaria.
- **Instalaciones especiales.-** Hospitales, cuerpo de bomberos, policía, zonas militares, etc., exigen también un mayor grado de protección debido a las labores de auxilio, rescate y control que desempeñan cada uno dentro de la sociedad. Este tipo de daño ocasionaría problemas todavía mayores en la ciudadanía.

De acuerdo a los factores antes citados se presenta la Tabla 2.9 para el período de retorno de acuerdo al tipo de zona: comercial, residencial, industrial, etc.

Una vez establecidos los períodos de retorno por tipo de zona, se analizan las vías existentes en dichas áreas para corregir los períodos de retorno en función de la Tabla 2.10. El período de retorno será el mayor de las dos tablas.

**Tabla 2.9: Uso de la tierra y períodos de retorno - Función complementaria (extracto).**

Tipo de Uso	T [años]
a) Zonas de actividad comercial.	10
b) Zonas de actividad industrial.	10
c) Zonas de edificios públicos.	10
d) Zonas residenciales multifamiliares de alta densidad.	5
e) Zonas residenciales unifamiliares y multifamiliares de baja densidad.	2
f) Zonas recreativas de alto valor e intenso uso por el público.	2
g) Otras áreas recreativas.	1

BOLINAGA Juan & FRANCESCHI Luis - Drenaje Urbano¹⁷.

Tabla 2.10: Tipo de vía y período de retorno mínimo - Función complementaria.

Tipo de Vía	T [años]
Vialidad arterial	10
Autopistas urbanas y avenidas que garantizan la comunicación básica de la ciudad.	
Vialidad distribuidora	5
Vías que distribuyen el tráfico proveniente de la vialidad arterial o que lo alimentan.	
Vialidad local	2
Avenidas y calles cuya importancia no traspasa la zona servida.	
Vialidad especial	10
Acceso a instalaciones de seguridad nacional y servicios públicos vitales.	

BOLINAGA Juan & FRANCESCHI Luis - Drenaje Urbano¹⁷.

2.5.3. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es un parámetro necesario para el diseño de cualquier obra de drenaje y se define como el tiempo máximo que recorre una partícula de agua desde el punto más alejado del área de drenaje hacia la zona de desagüe. Para determinarlo se debe considerar el tiempo que transcurre hasta que el caudal de escorrentía ingrese al sistema de drenaje (tiempo inicial de escorrentía) y el tiempo de viaje dentro del canal o colector respectivo. Cuando se dispongan de dos o más áreas de drenaje que escurran simultáneamente hacia el mismo punto, se tomará el tiempo de concentración mayor para el diseño correspondiente.

La ecuación (2.25) define el tiempo de concentración:

$$T_c = T_e + T_v \quad (2.25)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración.

T_e = Tiempo de escorrentía inicial.

T_v = Tiempo de viaje.

En la Tabla 2.11 se presentan algunos valores tentativos para el período de retorno asumidos durante el diseño.

Tabla 2.11: Selección del período de retorno.

- Para emisarios y colectores principales.	25 años
- Para zonas de alto valor del suelo (zonas históricas, zonas comerciales en centros urbanos, etc.)	de 10 a 20 años
- Para zonas de riqueza media del suelo (zonas de residencia habitual.)	de 5 a 10 años
- Para zonas de riqueza baja del suelo (baja densidad demográfica, residencias aisladas, parques.)	2 años

HERNÁNDEZ M., Aurelio - Saneamiento y Alcantarillado¹⁰.

Si sobre una determinada área de drenaje se analizan los hidrogramas de las lluvias con diferentes duraciones se podrá concluir que el caudal pico se producirá cuando la duración de la lluvia sea igual al tiempo de concentración aunque la lluvia no tenga la intensidad máxima. Si la duración es mayor al tiempo de concentración, el caudal pico del hidrograma se mantiene y el volumen de agua aumenta (De Freitas Adir, 1984¹⁸).

Por otra parte, si la intensidad de lluvia no es la misma a lo largo de todo el evento de precipitación, el tiempo de concentración no necesariamente coincidirá con el tiempo de recorrido desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto en el que se requiere analizar el caudal (Hernández Aurelio, 1997¹⁰).

Para ilustrar lo anteriormente expuesto se propone el siguiente ejemplo (tomado de López Ricardo, 1999¹⁴):

Se supone un área impermeable con pendiente uniforme que drena hacia un colector central, el tiempo de concentración es de 15 [min]. Además sobre esta área de drenaje se han determinado las isocronas (líneas de igual tiempo de recorrido) cada 5 [min].

- Al caer sobre toda el área una lluvia de duración igual a 5 [min], al término del evento sólo estará drenando al colector el agua que cayó inicialmente sobre la isocrona de 5 [min], y se producirá el hidrograma mostrado en la Figura 2.17¹⁴.
- Al caer una lluvia de duración de 10 [min], el agua que cayó sobre la isocrona de 10 [min] estará evacuándose en el momento de finalizar el evento. El hidrograma producido se indica en la Figura 2.18¹⁴.
- Finalmente, al caer una lluvia de 15 [min] (igual al tiempo de concentración de la cuenca), al término del evento toda el área de la cuenca estará contribuyendo al caudal en el colector y se registrará en el hidrograma máximo indicado en la Figura 2.19¹⁴.
- Si sobre la misma área ocurre una lluvia de mayor duración, por ejemplo 20 [min], no se incrementará el caudal pico del hidrograma, Q_{15} , sino que se aumenta el volumen de agua producido (área bajo bajo la curva del hidrograma de la Figura 2.20¹⁴).

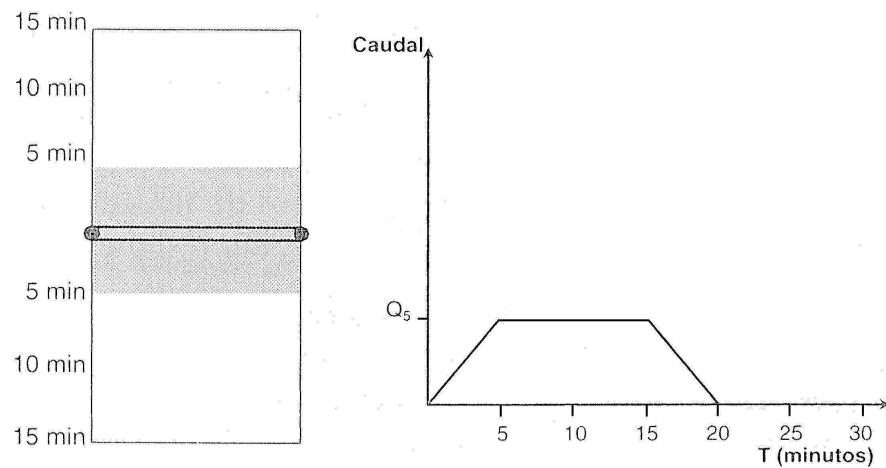


Figura 2.17: Área de drenaje e hidrograma para una lluvia de 5 [min] de duración.

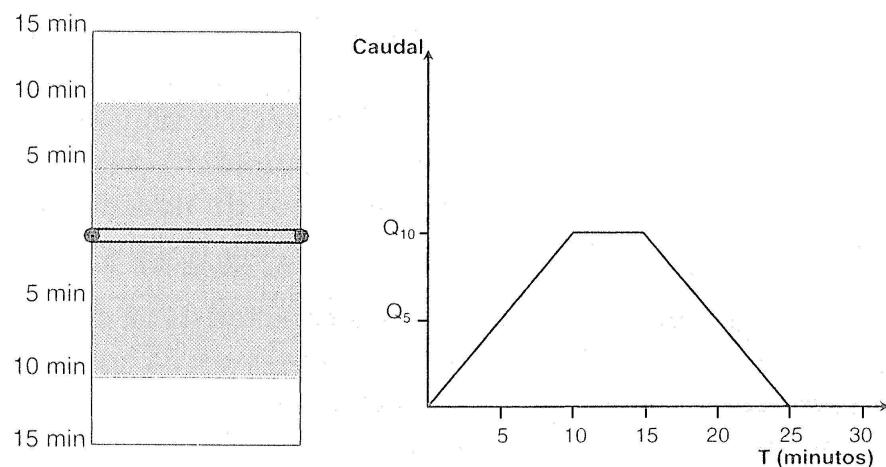


Figura 2.18: Área de drenaje e hidrograma para una lluvia de 10 [min] de duración.

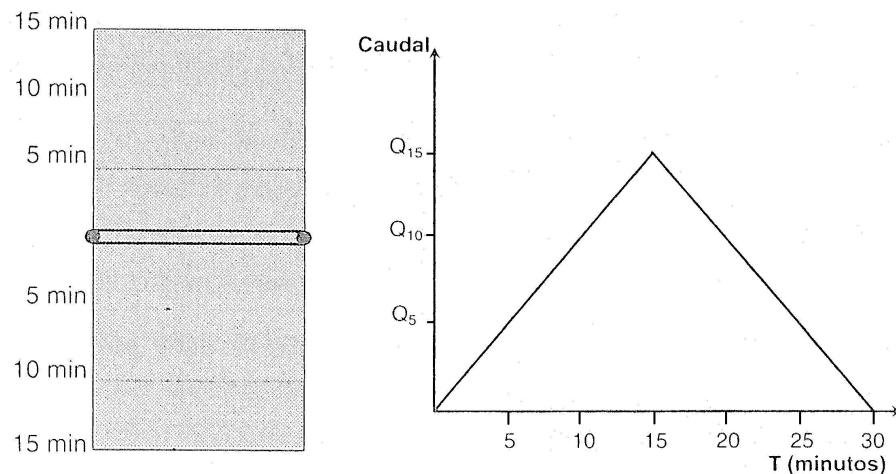


Figura 2.19: Área de drenaje e hidrograma para una lluvia de 15 [min] de duración.

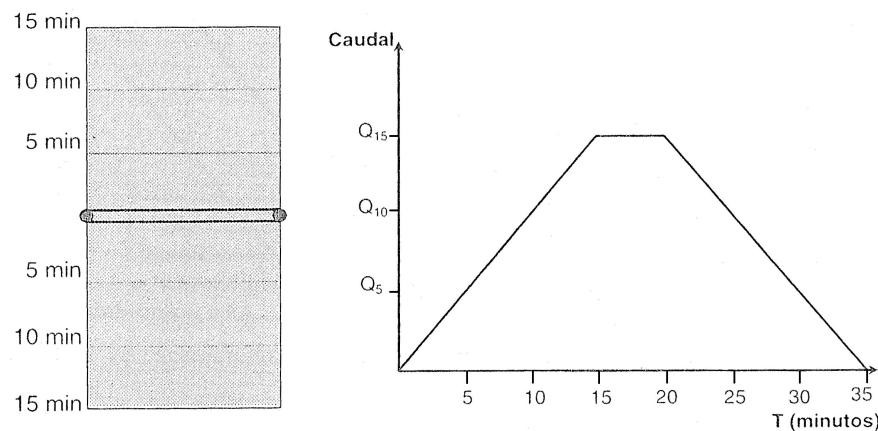


Figura 2.20: Área de drenaje e hidrograma para una lluvia de 20 [min] de duración.

2.5.3.1. Tiempo de escorrentía inicial

Es el tiempo transcurrido desde el inicio de la lluvia hasta que la partícula de agua más alejada ingrese al sistema de drenaje o alcantarillado. Se debe considerar que el área de drenaje está constituida por distintas superficies; así, recordando que cada tipo de superficie tiene un coeficiente de escorrentía particular, el tiempo de escorrentía inicial también dependerá de la pendiente del terreno, capacidad de infiltración del suelo, embalse en depresiones topográficas, etc. Al iniciar el evento de precipitación el tiempo de escorrentía aumenta hasta que el suelo alcance la saturación, es decir, cuanto mayor sea la intensidad de la lluvia menor será el tiempo de saturación del suelo y por ende, menor el tiempo de escorrentía.

En función de la pendiente y la cobertura vegetal de la zona se recomiendan velocidades de escurrimiento tal como se presenta en la Tabla 2.12.

Así; con la velocidad de escurrimiento y la longitud de recorrido del flujo superficial de escorrentía, se puede estimar el tiempo de escorrentía inicial.

$$T_e = \frac{L}{v} \quad (2.26)$$

Donde:

T_e = Tiempo de escorrentía inicial [min].

L = Longitud de recorrido superficial [m].

v = Velocidad de escurrimiento [m/min].

Tabla 2.12: Velocidades de escurrimiento en laderas.

Pendiente de las laderas (%)	Cobertura Vegetal		
	Vegetación densa o de cultivos [m/min]	Pasto o vegetación ligera [m/min]	Ninguna vegetación [m/min]
0 - 5	25	40	70
5 - 10	50	70	120
10 - 15	60	90	150
15 - 20	70	110	180

Nota: No se deberán considerar tiempos de concentración menores que cinco minutos.

AROCHA R., Simón - Cloacas y Drenajes².

En redes de alcantarillado el tiempo de escorrentía inicial suele oscilar entre 2 a 20 minutos. Para zonas urbanas se puede considerar tiempos del orden de 5 minutos y para zonas semiurbanas entre 5 a 10 minutos (Hernández Aurelio, 1997¹⁰). Adicionalmente por escasez de datos, para cuencas urbanas se pueden estimar los tiempos de escorrentía con la ecuación (2.27).

$$T_e = 0,3L^{0,76}P^{-0,19} \quad (2.27)$$

Donde:

T_e = Tiempo de escorrentía inicial [min].

L = Longitud de recorrido superficial [km].

P = Pendiente.

En zonas urbanas la longitud de recorrido se estima con los planos topográficos correspondientes; sin embargo como referencia, ésta no debe ser superior a 50 [m] (López Ricardo, 1999¹⁴).

2.5.3.2. Tiempo de viaje

Es el tiempo de recorrido del caudal de escorrentía a lo largo del canal o colector hasta la zona de desfogue o descarga; la velocidad del agua en estos conductos es variable ya que está en función de las características hidráulicas y la geometría de cada tramo, de la longitud del conducto y/o la distancia que exista entre los pozos que conectan los distintos colectores de la red de drenaje. Para calcular el tiempo de viaje se recomienda escoger una velocidad media para cada tramo, igual a la de flujo de sección llena, comprobando luego a nivel de proyecto si las velocidades están dentro de las velocidades permisibles (Ayala, Leopoldo, 1979¹⁹).



De la misma forma que el tiempo de escorrentía, el tiempo de viaje se puede estimar con la ecuación (2.28).

$$T_v = \frac{L}{v} \quad (2.28)$$

Donde:

T_v = Tiempo de viaje [min].

L = Longitud del tramo [m].

v = Velocidad real en el tramo [m/min].

2.5.3.3. Métodos empíricos y semiempíricos para determinar el tiempo de concentración

Dada la importancia de establecer el tiempo de concentración “ T_c ” como parámetro inicial para el diseño de sistemas de drenaje, los hidrólogos han desarrollado varios métodos empíricos y semiempíricos para su determinación; sin embargo, al momento de escoger un método para el cálculo de T_c se producen confusiones debidas a la existencia de varias fórmulas para este propósito, lo que a su vez implica una subestimación del tiempo de concentración y una sobreestimación de los caudales pico de descarga o viceversa.

A continuación se presenta una metodología para identificar las mejores ecuaciones para la estimación de T_c en una región particular (Soroosh, Sharifi & Seyed, Mahmood H., 2011²⁰). En base a comparaciones entre los distintos métodos se evalúa la exactitud de la ecuación escogida y se plantea una pequeña modificación en su estructura. Las ecuaciones de T_c para este estudio se presentan en la Tabla 2.13.

A continuación se resumen algunas ecuaciones adicionales que pueden ser consideradas para estimar el tiempo de concentración en cuencas urbanas:

- Para cuencas hidrográficas pequeñas hasta 24,28 [km^2] se puede utilizar la ecuación de Ven Te Chow (1962) (DE FREITAS Adir, 1984¹⁸).

$$T_c = 52,64 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,64} \quad (2.29)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración [min].

L = Longitud del cauce principal [km].

S = Pendiente [m/km].

- Para cuencas urbanas se puede utilizar la ecuación de la Soil Conservation Service (1990) (López Ricardo, 1999¹⁴).

$$T_c = \frac{L}{60V_s} \quad (2.30)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración [min].

L = Longitud de escurrimiento [m].

V_s = Velocidad superficial [m/s].

Tabla 2.13: Sumario de los métodos empíricos y semiempíricos seleccionados para la evaluación de la estimación del T_c .

Método	Ecuación para T_c [h]	Observaciones
Carter 1961	$T_c = 0,0015476 L^{0,6} S^{-0,3}$	- Desarrollada para cuencas urbanas - Áreas menores a 20,7199049 [km ²] (8 [mi] ²) (2072 [ha]) - Longitud de canal menor que 11,265408 [km] (7 [mi]) - 0,013 & $It_c = n \& It_c = 0,025$ - Flujo significativo en la tubería de la cuenca
FAA (1970)	$T_c = 0,0165626 (1,1-C) L^{0,5} (100 S)^{-0,333}$	- Desarrollada a partir de la información de drenaje del campo aéreo - Válido para pequeñas cuencas donde dominan el flujo superficial y el flujo laminar
Fórmula de ondas cinemáticas (Aron and Erborge 1973)	$T_c = 0,0319639 L^{0,6} n^{0,6} I^{-0,4} S^{-0,3}$	- Desarrollada a partir del análisis de las ondas cinemáticas en superficies de escorrentía para superficies desarrolladas
Kerby (1959) Hathaway (1945)	$T_c = 0,024068 L_c^{0,47} n^{0,47} Sc^{-0,235}$	- Área < 0,0404685642 [km ²] (10 [acres]) (4 [ha]) - Pendientes < 1 % - $n < 0,8$
Kirpich (Tennessee) (1940)	$T_c = 0,0003245 L^{0,7} S^{-0,385}$	- Área de 0,00404685642 a 0,453247919 [km ²] (1 a 112 [acres]) (0,4 - 45 [ha]) - Pendientes de 3 a 10 %
NRCS (1972) ecuación de retraso	$T_c = 0,0002269 L^{0,8} (1000/CN-9)^{0,7} S^{0,5}$	- Área de las cuencas rurales pequeñas donde el flujo superficial domina. - Área de la cuenca < 8,09371284 [km ²] (2000 acres) (809 [ha])
Arizona DOT (1993)	$T_c = 0,0097956 A^{0,1} L^{0,25} L_{ca}^{0,25} S^{-0,2}$	- Forma modificada de la FFA - Para cuencas agrícolas
Giandotti (1934) (después Fang et al. 2005)	$T_c = (4 A^{0,5} + 1,5 L_c) / [0,8 (H - E_o)]^{0,5}$	- Desarrollada para pequeñas cuencas agrícolas en Italia
California Culvert Practice ^a (California Division of Highways 1960)	$T_c = (0,871E-9 L^3 \Delta H^{-1})^{0,385}$	- Desarrollada para cuencas montañosas pequeñas en California

Nota: A = área [km²]; C = coeficiente de Runoff; CN = número de curva SCS; E_o = elevación en la salida de la cuenca [m]; H = promedio de elevación de la cuenca [m]; ΔH = diferencia de elevación entre el inicio y el punto final del canal principal [m]; i = intensidad de lluvia [mm/h]; L = longitud de la cuenca a lo largo del canal principal desde el punto de salida de mayor distancia hidráulica [m]; L_c = longitud del canal principal [m]; L_{ca} = longitud medida desde el punto de concentración a lo largo de L hasta un punto sobre L que es perpendicular al centroide de la cuenca [m]; n = coeficiente de rugosidad de Manning; S = pendiente promedio de la cuenca [m/m]; y S_c = pendiente promedio del canal principal [m/m].

^a Por brevedad, este método es referido en el texto como el método de California.

SOROOSH, S & SEYED M. - Methodology for Identifying the Best Equations for Estimating the ToC of Watersheds in a Particular Region ²⁰.

La velocidad superficial V_s , puede estimarse como:

$$V_s = aS^{1/2} \quad (2.31)$$

y la constante de la velocidad superficial “a” se define en la Tabla 2.14¹⁴.

Tabla 2.14: Constante de la velocidad superficial en la ecuación del SCS.

Tipo de superficie	a
Bosques con sotobosque denso.	0,70
Pastos y patios.	2,00
Áreas cultivadas en surcos.	2,70
Suelos sin cobertura.	3,15
Áreas pavimentadas y tramos iniciales de quebradas.	6,50

LÓPEZ C., Ricardo - *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*¹⁴.

2.5.4. Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia está definida como la cantidad de precipitación que ocurre en una unidad de tiempo, con una frecuencia dada y una duración igual al tiempo de concentración. Las unidades típicas para expresar la intensidad vienen dadas en [mm/h], [mm/min], etc.

2.5.4.1. Clasificación de la precipitación según la intensidad

Debido a la necesidad de establecer parámetros generales para la planificación urbana y prevención de riesgos, es necesario caracterizar el comportamiento de la lluvia en términos de precipitación extrema y período de retorno. Usualmente se emplean los valores de intensidad media registrados en una hora para comparar la clase o tipo de lluvia generada en un evento de precipitación cualquiera. En la Tabla 2.15 se presenta esta clasificación con sus respectivos umbrales horarios.

Tabla 2.15: Clasificación de la lluvia según la intensidad media en una hora.

Clase	Intensidad media en una hora [mm/h]
Débiles	≤ 2
Moderadas	$> 2 \text{ y } \leq 15$
Fuertes	$> 15 \text{ y } \leq 30$
Muy fuertes	$> 30 \text{ y } \leq 60$
Torrenciales	> 60

MONJO, R. - *Índice “n” de la precipitación intensa*²¹.

Sin embargo, también es de interés conocer la forma en que la precipitación se distribuye durante la hora de registro, para ello, se ordenan de mayor a menor las intensidades máximas registradas para diferentes intervalos de tiempo. Los valores anteriores se relacionan de acuerdo a la ecuación (2.32):

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^n \quad (2.32)$$

La ecuación anterior se conoce como curva de intensidad media máxima y permite establecer una relación entre intensidad y duración a través del parámetro adimensional “n” que clasifica la regularidad o irregularidad de la precipitación respecto al tiempo (Tabla 2.16).

Tabla 2.16: Clasificación de la lluvia según la regularidad de la intensidad respecto al tiempo.

n	Variabilidad de la intensidad	Interpretación del tipo de precipitación
0,00 - 0,20	Prácticamente constante	Muy predom. advectiva o estacionaria
0,20 - 0,40	Débilmente variable	Predom. advectiva
0,40 - 0,60	Variable	Efectiva
0,60 -0,80	Moderadamente variable	Predominante convectiva
0,80 - 1,00	Fuertemente variable	Muy predom. convectiva

MONJO, R. - Índice “n” de la precipitación intensa²¹.

2.5.5. Duración

La duración de una lluvia está determinada por el tiempo que transcurre desde el inicio hasta el final del evento de precipitación. En ciertas ocasiones el tiempo que dura la lluvia tiene mayor relevancia que la intensidad, así la lluvia puede clasificarse como corta (< 120 minutos) o larga (≥ 120 minutos) (Arocha R. Simón, 1983,²).

Según el Instituto Nacional de Lluvia y Meteorología e Hidrología (INAMHI), los límites de duración están fijados en 5 minutos y 24 horas, ya que 5 minutos representa el menor intervalo que se puede leer en los registros pluviográficos, con precisión adecuada y, 24 horas porque para duraciones mayores pueden ser utilizados datos observados en los pluviómetros. El número de intervalos de duración citado, provee puntos suficientes para definir curvas de intensidad, duración de precipitación referentes a diferentes frecuencias de ocurrencia (Rodríguez F., 1999²²).

2.5.6. Frecuencia

La frecuencia se define como la probabilidad de ocurrencia de un evento de precipitación o escorrentía que iguale o supere un valor establecido como parámetro de comparación; ya sea un valor referencial de intensidad de lluvia o un caudal de escorrentía superficial; y registrado en un intervalo de tiempo determinado. La frecuencia es inversamente proporcional al período de retorno y su valor está en función del análisis estadístico de los datos o registros recopilados a través de los años.

Los análisis de frecuencia de los registros pluviométricos pueden dividirse en series anuales o parciales, la diferencia existente entre ambas recae principalmente en el término de distribución (tiempo o valores máximos); así para las series anuales el parámetro que se desea analizar es el valor de la intensidad máxima de cada año hidrológico durante un intervalo de tiempo, no así para las series parciales en donde se determina la magnitud de los valores extremos independientemente del año que pueda ocurrir (Rodríguez F., 1999²²).

Existen algunos factores que deben ser considerados al momento de establecer un valor de frecuencia para cualquier tipo de diseño; por una parte están los grados de protección que se exigen en zonas residenciales, comerciales, hospitalares, etc., cuando se desencadenan desastres naturales como inundaciones, y por otra, la densidad de la población debido a posibles problemas de tránsito y circulación en las vías principales y secundarias (López Ricardo, 1999¹⁴).

Los errores que se producen al escoger un valor de frecuencia para el diseño están relacionados con el intervalo establecido para el registro de los datos, en forma general, se recomienda la selección de estaciones con períodos de registro más largos, evitando a su vez, períodos de registro menores a 10 años (Ayala, Leopoldo, 1979¹⁹).

Dependiendo del tamaño de la población y del área que se requiera drenar, se pueden utilizar valores orientativos de frecuencia de diseño para tuberías de alcantarillado y canales de aguas lluvia (Tablas 2.17 y 2.18). Para calcular el caudal que llega a los distintos colectores del sistema de alcantarillado es necesario conocer la frecuencia de las precipitaciones, y de forma independiente, la frecuencia de los caudales de escorrentía; sin embargo, se suele asumir que el caudal está determinado por la lluvia que lo generó, para lo cual se establece que ambos eventos tienen la misma probabilidad de ocurrencia.

Tabla 2.17: Frecuencia de diseño para tuberías de alcantarillado pluvial.

Área de drenaje	Frecuencia de diseño [años]		
	Mínimo	Aceptable	Recomendado
Tuberías iniciales con área de drenaje inferior a 2 [ha].			
- Zona residencial.	2	2	3
- Zona industrial.	2	3	5
Tuberías con área de drenaje entre 2 y 10 [ha], independientemente del uso.	2	3	5
Tuberías con área de drenaje mayor a 10 [ha].	5	5	10

LÓPEZ C. Ricardo - *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*¹⁴.

Tabla 2.18: Frecuencia de diseño para canales de aguas lluvia.

Canales con área de drenaje menor a 1000 [ha]:	
Sección revestida en concreto:	10 años
Sección mixta concreto - grama:	25 años
Canales con área de drenaje mayor a 1000 [ha]:	
Sección revestida en concreto:	10 años
Sección mixta concreto - grama:	50 años
Sección total (incluyendo el borde libre):	100 años
Los canales interceptores cuyo desbordamiento ponga en peligro vidas humanas, deben diseñarse para un período de retorno de cien años.	

LÓPEZ C. Ricardo - *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*¹⁴.

2.5.7. Curvas IDF

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Pizarro T., et. al, 2003³¹). El gráfico resultante presenta las distintas curvas para cada uno de los períodos de retorno en donde la duración se encuentra en el eje horizontal y la intensidad en el eje vertical.

La intensidad es la tasa temporal de precipitación (Chow Ven Te. et. al, 2000³), pudiendo ser la intensidad instantánea o promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

$$i = \frac{P}{T_d} \quad (2.33)$$

Donde:

P = Profundidad de la lluvia [mm] o [pulg].

T_d = Duración de la lluvia [h].

La frecuencia se expresa en función del período de retorno “T”, que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño.

Los parámetros necesarios para la construcción de las curvas IDF, provienen de la información disponible en pluviógrafos ubicados estratégicamente a nivel local o regional.



Por otro lado, el estudio de los modelos precipitación-escorrentía permitirá un adecuado dimensionamiento de las estructuras hidráulicas; empleando como se mencionó anteriormente, la información pluviográfica en términos de la intensidad a partir de los registros de las estaciones existentes en la zona de estudio. La intensidad es proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional a la duración del evento.

Debido a que la intensidad de lluvia no es constante ni uniforme dentro del área de la cuenca de estudio; se suelen elaborar curvas IDF para cada una de sus zonas. Conforme el área de drenaje aumenta la intensidad de lluvia disminuye.



2.6. SISTEMA DE DRENAJE URBANO

Se entiende como sistema de drenaje urbano al conjunto de acciones destinadas a evitar, en la medida de lo posible, el daño a las personas y propiedades a causa de las aguas de precipitación que escurren sobre las áreas urbanizadas bien sea por cauces naturales, conductos artificiales o simplemente a lo largo de su superficie (Bolinaga Juan & Franceschi Luis, 1979¹⁷).

El sistema de drenaje forma parte de un conjunto de mejoramientos públicos existentes en una área urbana; por ello es conveniente, que el área urbana se planifique en forma integrada y coherente; cuando un sistema de drenaje no es considerado desde un inicio en la formulación de la planificación urbana, es muy probable que ese sistema al momento de ser proyectado, revele un alto costo e ineficiencia.

En relación a los distintos mejoramientos urbanos (cableado eléctrico y telefónico, iluminación pública, pavimentación de calles, etc.), el sistema de drenaje tiene una particularidad: el escurrimiento de aguas pluviales siempre ocurrirá, independientemente de existir o no un sistema de drenaje adecuado. La calidad de este sistema determinará si los beneficios o perjuicios de la población serán mayores o menores; sin embargo, siempre es posible, a través de estudios más amplios, planificar un sistema de drenaje de tal forma que se puedan disminuir los costos y aumentar los beneficios resultantes (Fugita O., et. al, 1979⁹).

2.6.1. Características de las aguas drenadas

Para conocer los aspectos de diseño de las redes de drenaje, es necesario identificar las características de las aguas que serán drenadas. A continuación se describen los componentes que diferencian las aguas residuales de las aguas lluvia (Hernández Aurelio, 1997¹⁰):

2.6.1.1. Aguas residuales

Son aguas procedentes de los vertidos de la actividad humana, doméstica, agrícola, industrial, etc. Sus volúmenes son menores, sus caudales más continuos y su contaminación mucho mayor. Las fuentes contaminantes pueden ser:

- **Origen doméstico.**- Sustancias incorporadas, procedentes de los residuos de la actividad humana (alimentos, limpieza casera y viaria, etc.). Se caracterizan por ser inodoras, si son recientes, y por su color gris amarillento o blanco. Al sufrir procesos de fermentación huelen a sulfídrico, pasando su color a gris negruzco. Estos vertidos se caracterizan por la incorporación de productos orgánicos, inorgánicos y microorganismos.
- **Origen industrial.**- Sustancias procedentes de las actividades industriales (materias primas utilizadas, productos de transformación y acabados, así como la transmisión de calor y frío). Independientemente del posible contenido de sustancias similares a los vertidos de origen doméstico, pueden aparecer elementos propios de cada actividad industrial, se pueden citar: tóxicos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, productos radioactivos, etc.
- **Origen agrícola.** Sustancias procedentes de las actividades agrícolas y ganaderas (pesticidas, herbicidas, residuos varios, estiércol, etc.). Sus residuos perjudican sensiblemente las características de las aguas del curso receptor. Otras sustancias son los fertilizantes, que antes eran de origen orgánico, y hoy han sido casi sustituidos por abonos de origen inorgánico, tales como sulfatos nitratos, fosfatos, etc.

2.6.1.2. Aguas lluvia

Son aguas procedentes de drenajes o de escorrentía superficial, caracterizándose por generar grandes aportaciones intermitentes y escasa contaminación. Las cargas contaminantes, se incorporan cuando la lluvia atraviesa la atmósfera, o por el lavado de superficies y terrenos.

Por otra parte, es necesario definir también las acciones, funciones, grado de protección y tipos de drenaje urbano (Bolinaga Juan & Franceschi Luis, 1979¹⁷):



2.6.2. Acciones de drenaje

Las acciones contempladas dentro de estos sistemas están destinadas a la prevención y corrección de los posibles daños en zonas vulnerables de las áreas urbanas. Las acciones correctivas implican la construcción de obras hidráulicas o la modificación de las dimensiones y características de éstas por razones hidráulicas; las acciones restantes, tales como la conservación, protección y administración adecuada de las áreas urbanas se consideran como preventivas.

La Tabla 2.19 resume las acciones de corrección y prevención más comunes en sistemas de drenaje urbano:

Tabla 2.19: Acciones preventivas y correctivas en sistemas de drenaje urbano

Tipo	Acciones
Preventivo	Conservación y protección de las cuencas tributarias.
	Regulación del uso de la tierra.
	Regulación de edificaciones (cotas mínimas, sótanos y plantas bajas).
	Pronóstico de inundaciones.
	Adquisición de áreas inundables.
	Información y educación de la población.
Correctivo	Regulación de los usos de las vías terrestres.
	Obras de embalse y regulación.
	Obras de canalización y rectificación de cauces naturales.
	Obras de conducción (canales y tuberías).
	Obras conexas (sumideros, disipadores, alcantarillas, sedimentadores).

BOLINAGA Juan & FRANCESCHI Luis - Drenaje Urbano¹⁷.

2.6.3. Funciones de drenaje

Un sistema de drenaje debe estar dirigido al cumplimiento de dos objetivos fundamentales:

- **Básico.**- Evitar al máximo los posibles daños que las aguas lluvia puedan ocasionar a las personas y a las propiedades en el medio urbano.
- **Complementario.**- Garantizar el normal desenvolvimiento de la vida diaria en las poblaciones, permitiendo el apropiado tráfico de vehículos y personas durante la ocurrencia de precipitaciones.

A su vez, para alcanzar estos objetivos, se debe cumplir con las siguientes funciones:

- **Función Básica.**- Se define como el conjunto de acciones preventivas y correctivas encaminadas al cumplimiento del objetivo básico de un sistema de drenaje.
- **Función Complementaria.**- Se define como el conjunto de acciones preventivas y correctivas encaminadas a satisfacer el objetivo complementario de un sistema de drenaje.

2.6.4. Grado de protección de drenaje

El grado de protección es el nivel aceptable de riesgo de ocurrencia de daños o molestias; éstos se traducen en la fijación de la probabilidad de ocurrencia de los escurrimientos cuyos daños deben ser eliminados estableciendo los niveles de inundación aceptables.

El nivel de inundación aceptable es la altura máxima de agua permitida en las calles y avenidas de acuerdo al objetivo perseguido (básico o complementario).

2.6.5. Tipos de drenaje

2.6.5.1. Drenaje superficial

Es el conjunto de acciones correctivas naturales o artificiales para conducir el escurrimiento superficial desde el lugar de la caída de las aguas lluvia hasta su entrada en un cauce natural o en conducto artificial, disminuyendo las molestias al tráfico de personas y vehículos.

2.6.5.2. Drenaje secundario

Es el conjunto de acciones correctivas, constituido por los conductos y obras conexas construidas por el hombre para garantizar que las aguas no obstaculicen el normal desenvolvimiento del tráfico de personas y vehículos en las áreas urbanas.

2.6.5.3. Drenaje principal

Es el conjunto de acciones correctivas, constituido por los cauces naturales y los conductos artificiales y obras conexas, dirigidas a salvaguardar la vida de las personas y evitar el daño a las propiedades.

En consecuencia, los drenajes superficial y secundario cumplen con la función complementaria, y el primario con la función básica. La Figura 2.21¹⁷ ilustra la relación entre funciones y tipos de drenajes, así como también las acciones preventivas y correctivas más usuales.

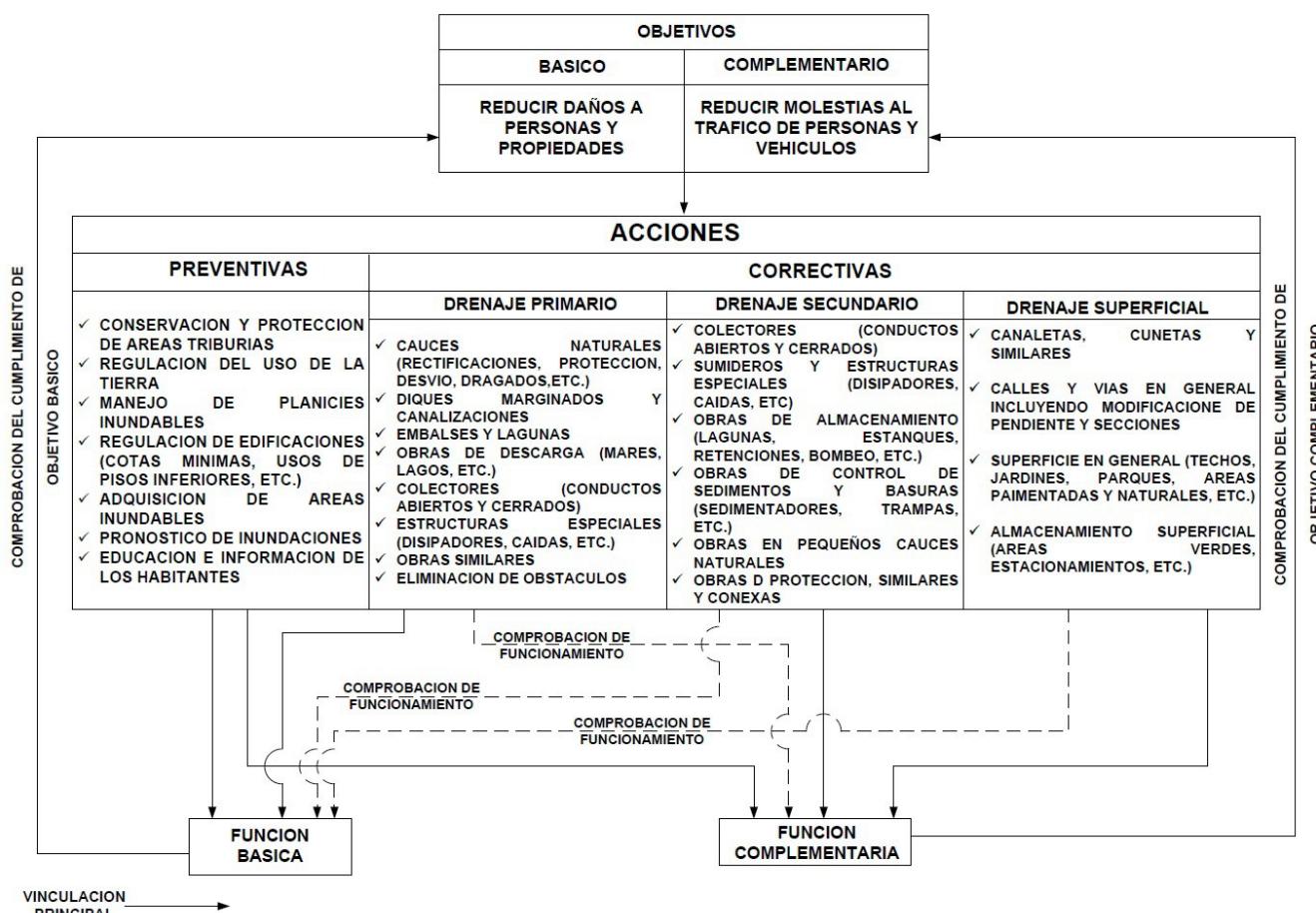


Figura 2.21: Esquema ilustrativo de un sistema de drenaje urbano.

2.6.6. Aspectos de diseño del sistema de drenaje urbano

El desarrollo de las zonas urbanas implica la dotación de servicios en función del crecimiento y desarrollo de la población; algunos de ellos como el abastecimiento de agua y la recolección de aguas residuales y pluviales, presentan una estrecha relación, de tal forma que la existencia de una de ellas limita la presencia de la otra (Bolinaga Juan & Franceschi Luis, 1979¹⁷).

2.6.6.1. Tipos de sistemas

La recolección de las aguas pluviales puede hacerse en forma separada o combinada de las aguas residuales; teniendo en consideración limitaciones de tipo económico dentro de la planificación y construcción de las redes de drenaje urbano; así, la elección del tipo de sistema, será un punto de interés considerado como criterio básico para el diseño (Arocha R. Simón, 1983,²).

2.6.6.1.1. Sistema unitario o combinado

Este sistema recoge las aguas residuales y las aguas lluvia en forma conjunta, a través de colectores que reciben las descargas desde el comienzo de la red hasta el último punto de recolección. Los parámetros de diseño están condicionados por las características propias de las aguas que conducen como por su gran variabilidad de caudales.

El trazado de la red de colectores combinados, debe ser capaz de recibir el aporte de los caudales de las aguas residuales, aguas lluvia y el correspondiente a la escorrentía superficial de calles, aceras, áreas públicas, etc., a través de sumideros ubicados en puntos estratégicos para este fin.

La Figura 2.22¹⁰ ilustra el sistema combinado.

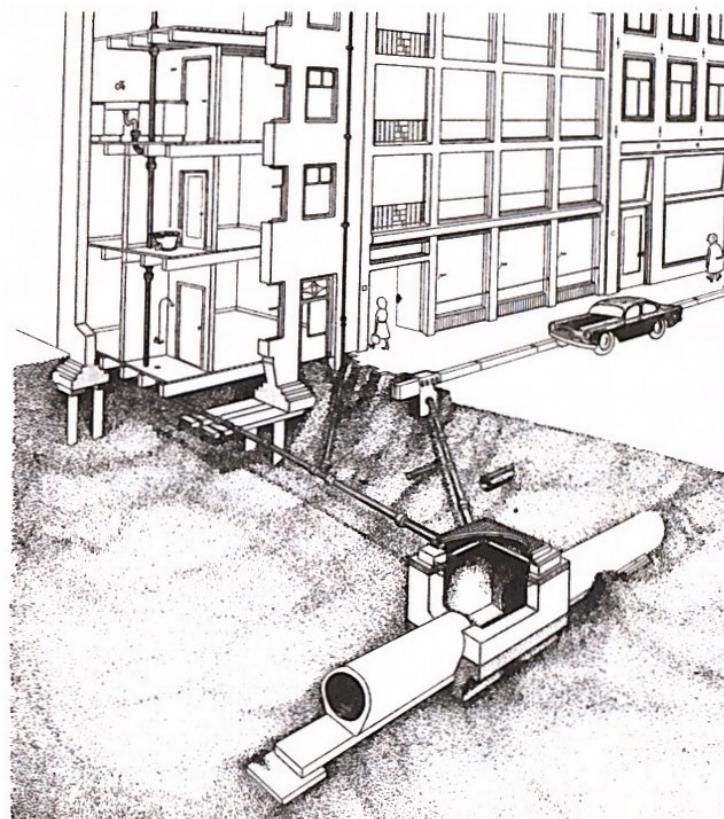


Figura 2.22: Sistema combinado.

2.6.6.1.2. Sistema separado

El sistema separado contempla dos redes independientes, la red de aguas residuales transportará los vertidos domésticos, comerciales e industriales, mientras que, la red de aguas lluvia conjuntamente con las estructuras de recolección transportarán las aguas de escorrentía superficial generadas por precipitaciones, por riego o baldeo de calles, aguas de drenaje y desagües de la red de distribución y depósitos (Hernández Aurelio, 1997¹⁰).

La Figura 2.23¹⁰ ilustra el sistema separado, se identifican los siguientes elementos:

- 1: Colector de aguas domiciliarias.
- 2: Colector de aguas lluvia y escorrentía.
- 3: Aguas recogidas en cubiertas de edificios.
- 4: Sumideros.

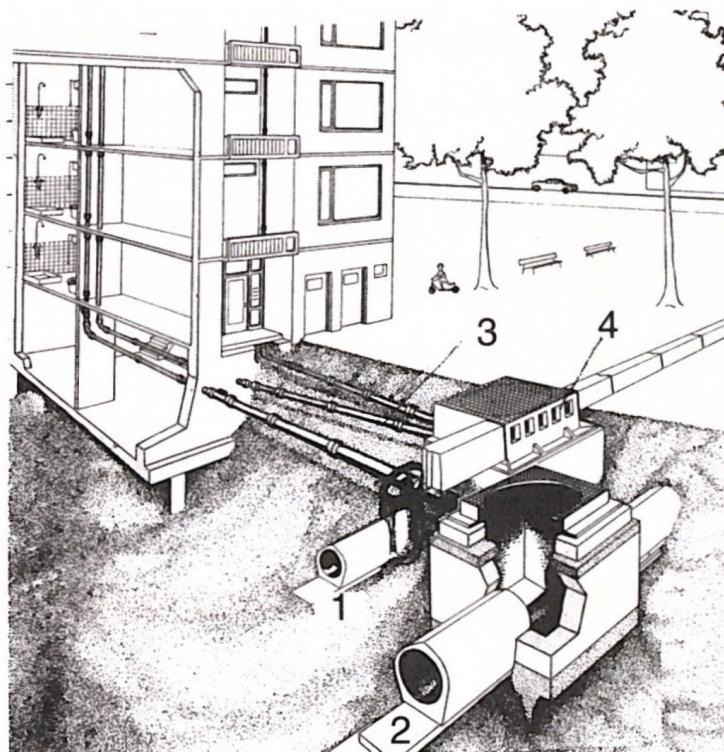


Figura 2.23: Sistema separado.

2.6.6.2. Tubería y red de colectores

- **Laterales o Iniciales.**- Reciben únicamente las descargas provenientes de los domicilios.
- **Secundarias.**- Reciben el caudal de dos o más tuberías iniciales.

La red de colectores está constituida por todo el conjunto de tramos; dentro de la red se puede definir (Arocha R. Simón, 1983,²):

- **Colector secundario.**- Reciben el aporte de aguas residuales de las tuberías secundarias distribuidas en diversos sectores de la zona urbanizada, para posteriormente, descargarlas hacia el colector principal.

- **Colector principal.**- Se denomina también emisario o colector de descarga; recibe los aportes de cada boca de visita de los colectores secundarios desde el inicio hasta el final del tramo.
- **Emisario final.**- Son grandes colectores que conducen el caudal de diseño (aguas residuales y aguas lluvia) a su punto de entrega, que puede ser una planta de tratamiento o un vertimiento a un cuerpo de agua, como un río, un lago o el mar.
- **Interceptor.**- Es un colector colocado paralelamente a un río o canal.

2.6.6.2.1. Velocidades máximas y mínimas

En sistemas combinados se recomienda que la velocidad sea superior a 0,6 [m/s] (velocidad de arrastre de arenas), mientras que en el sistema separado debe ser superior a 0,3 [m/s] (velocidad de arrastre de los sólidos suspendidos). Estas condiciones deben darse en períodos significativos del día, con altura de llenado a 1/5 del diámetro (Hernández Aurelio, 1997¹⁰).

En forma particular, para el drenaje de aguas lluvia, las velocidades máximas se indican en la Tabla 2.20.

Tabla 2.20: Velocidades máximas de drenaje.

Material de la Tubería	Aqua con sedimentos coloidales [m/s]	Aqua con fragmentos de arena y grava [m/s]
Concreto de:		
140 [kg/cm ²]	3,00	2,00
210 [kg/cm ²]	5,00	3,30
250 [kg/cm ²]	6,00	4,00
280 [kg/cm ²]	6,50	4,30
315 [kg/cm ²]	7,50	5,00
Concreto reforzado mayor de 280 [kg/cm ²] y curado al vapor.	10,00	6,60
Cloruro de Polivinilo (PVC).	10,00	10,00

LÓPEZ C. Ricardo - *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*¹⁴.

Cuando se admitan velocidades superiores a 3 [m/s] a caudal punta, o a 5 [m/s] a caudal máximo, se deberán proteger las superficies o zonas afectadas contra la erosión o choque. Esto es el caso de las zonas de resaltos, rápidas o zonas de enlace de tramos.

2.6.6.2.2. Flujo en las tuberías

Para el diseño de las tuberías deben contemplarse los vertidos urbanos, comerciales, industriales, de drenaje y escurrantía, estimando los caudales medios, caudales punta de aguas residuales, caudales máximos con escorrentía superficial y caudales mínimos.

El flujo en una tubería se determina a partir de las características de desplazamiento y velocidad de una partícula del fluido; para efectos del dimensionamiento, se asume que el flujo es uniforme y permanente para tuberías de diámetro inferior a 600 [mm] (López Ricardo, 1999¹⁴); en estas condiciones, la lámina de agua es paralela al fondo de la tubería y la velocidad es constante a lo largo del trayecto.

Los colectores de 600 - 900 [mm] de diámetro, pueden diseñarse para flujo uniforme; sin embargo, para diámetros superiores a 900 [mm] el diseño se realizará considerando el flujo no uniforme (gradualmente variado) y permanente.

3. CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. PLANES MAESTROS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE CUENCA (I-FASE)

En 1986, la Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado (ETAPA) asociada con el consorcio HIDROSERVICE-INAM/OTECO presentó los estudios de Factibilidad de los Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado en el área geográfica del cantón Cuenca.

La información que se presenta a continuación, ha sido resumida de los distintos informes y diagnósticos de los sistemas existentes de Agua Potable y Alcantarillado, enfocándose principalmente en los estudios preliminares para el diseño de los colectores combinados de las calles Miguel Vélez y Calle Larga (ETAPA & HIDROSERVICE-INAM/OTECO, 1987²³).

3.1.1. Estudios hidrológicos

El Área Metropolitana de Cuenca perteneciente a la cuenca del río Paute, está conformada por las subcuenca de los ríos Machángara, Tomebamba, Yanuncay y Tarqui que totalizan 1606,72 [km²]. La delimitación de las áreas de aportación de las diferentes subcuenca se realizaron en base a la información proporcionada por la Unidad para el Manejo de la Cuenca del río Paute (UMACPA), complementadas a su vez, con inspecciones a las cuencas altas de los ríos de interés para este proyecto. En el Plano CUE-ED-301 (anexos) se presenta el AMC y las subcuenca antes mencionadas.

3.1.1.1. Pluviometría

Los estudios pluviométricos se basaron en las estaciones existentes en el área del proyecto, especialmente en la Estación Cuenca - Ricaurte cuyas observaciones se remontan desde 1929. Las series mensuales homogenizadas de las demás estaciones se obtuvieron considerando la serie de esta última estación debido a que presenta el mayor período de registro. La Tabla 3.1 resume los valores de lluvia media mensual y anual obtenida para las diversas estaciones. De igual manera, la disponibilidad de datos de estas estaciones se aprecian en la Figura 3.1.

Tabla 3.1: Medias mensuales y media anual de lluvia [mm] - Período homogenizado 1930 - 1981.

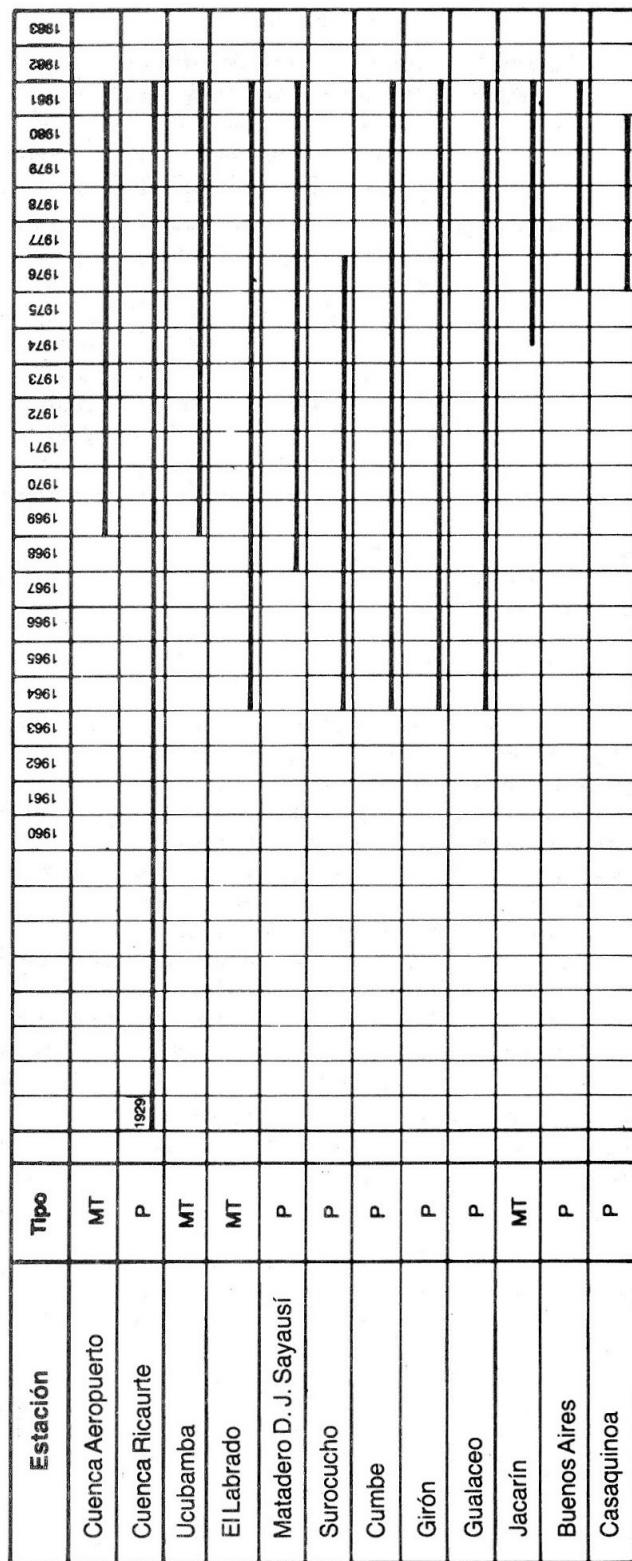
Estación	Altitud m.s.n.m	MESES												Año
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Cuenca	2562	80,70	91,00	107,40	116,30	69,20	46,30	32,30	29,80	42,60	72,70	60,90	57,60	806,80
Ucumbaba	2440	80,90	93,10	106,20	119,90	71,40	45,30	31,60	28,60	40,20	72,70	59,40	60,00	809,30
Matadero D.J. - Sayausí	2800	85,00	105,60	120,30	127,00	82,40	53,40	41,10	39,10	49,20	70,40	58,60	58,50	90,60
Cuenca - Aeropuerto	2527	78,00	90,70	108,20	114,30	70,20	46,30	32,10	29,70	42,60	71,80	60,40	59,10	803,40

El análisis de los datos de todas las estaciones pluviométricas se realizaron por el método de curvas de dobles acumulaciones; así mismo, a partir de los valores medios anuales se trazó el mapa de isoyetas de la región. La localización de cada estación y el trazado de las isoyetas se presentan en la Figura 3.2.

Para el estudio de la distribución de lluvias en el tiempo como definición de su variación a lo largo de los años, fue graficada una curva diferencial (diferencias de los totales anuales en relación a la media del período) de la estación Cuenca - Ricaurte (Figura 3.2).

La definición de la variación mensual a lo largo del año, fue hecha con la determinación de los valores mensuales de lluvia durante el período homogenizado 1930 - 1981, construyéndose los histogramas de distribución (Figura 3.2), habiéndose establecido las siguientes características:

- Período seco totalmente definido: Junio - Septiembre.
- Período predominante lluvioso: Enero - Abril.
- Mes de mayor precipitación: Abril.



OBS.
 MT (Meteorológica)
 P (Pluviométrica)

ETAPA

HIDROSERVICE / INAM-OTECO

Figura 3.1: Disponibilidad de datos pluviométricos.

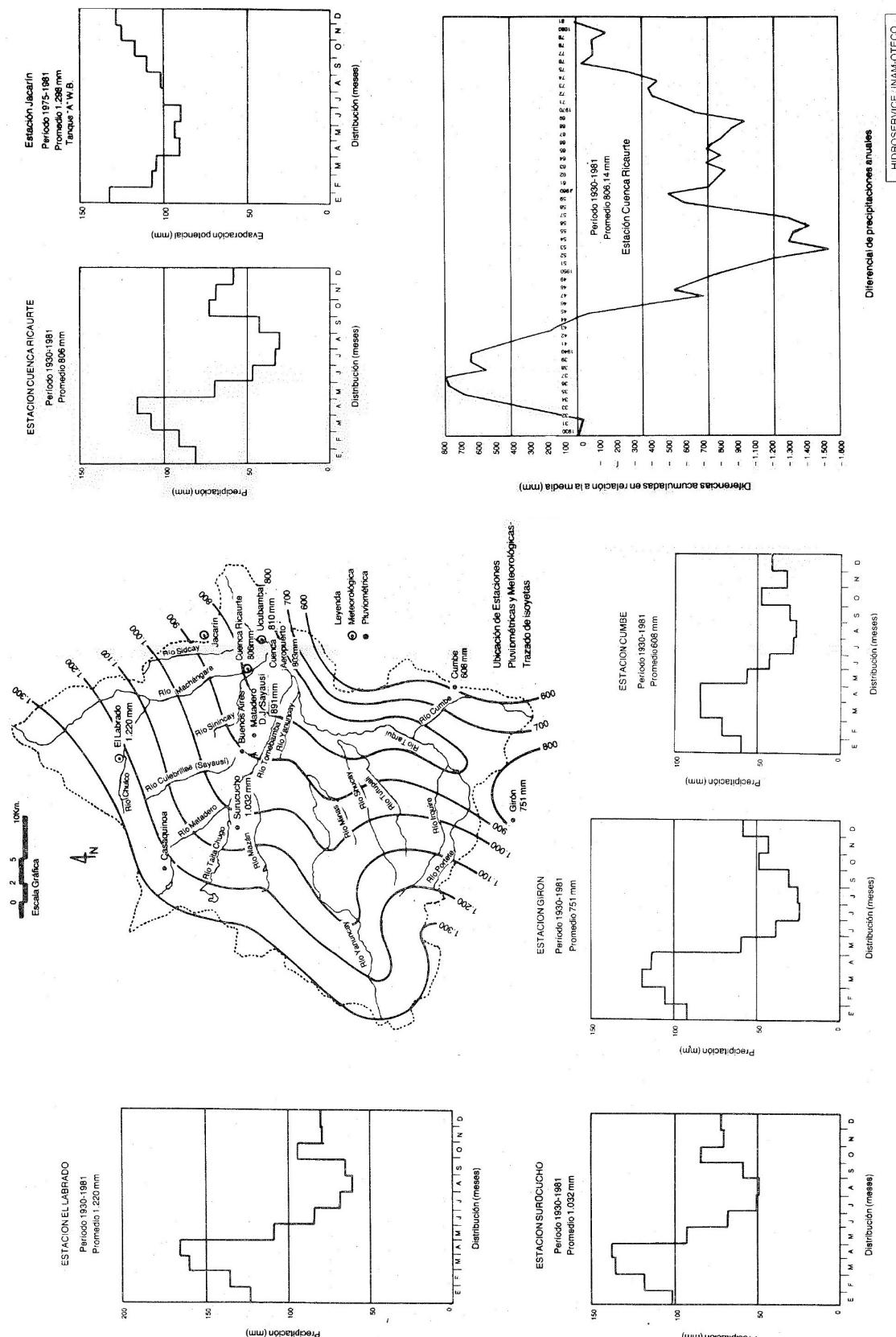


Figura 3.2: Características del régimen pluvial de la región.

Considerando la necesidad de transposición de caudales así como la aplicación del modelo de lluvia - caudal, fueron determinadas las lluvias medias sobre las cuencas de las estaciones fluviométricas y de los sitios de interés. En la Tabla 3.2 se presentan los valores obtenidos.

Tabla 3.2: Lluvias medias anuales sobre las cuencas de las estaciones y de los sitios de interés.

Estaciones	Locales	Área de drenaje [km ²]	Lluvia media anual [mm]
Matadero S.J Sayausí	Sayausí A.J Matadero	320,3	1097
	Cuenca salida del AEU	53,2	985
	Cuenca salida del AMC	1664,8	1016
		1746,2	1013

En base a los registros pluviométricos disponibles: Cuenca-Ricaurte (1968-1981) se realizó un análisis para la determinación de las ecuaciones de intensidad-duración-período de retorno de lluvias intensas, todas ellas se han obtenido siguiendo la distribución de Gumbel por ser la que con mayor énfasis considera la incidencia de valores extremos.

Los mejores resultados se obtuvieron con una ecuación del tipo:

$$I = \frac{A}{(t + C)^B} \quad (3.1)$$

Donde:

I = Intensidad de lluvia [mm/h].

A, B y C = Parámetros.

t = Duración de la lluvia [min].

En la Tabla 3.3, se presentan los valores de las constantes para diferentes duraciones y períodos de retorno.

Tabla 3.3: Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia - Valores de los parámetros A, B y C.

Período de retorno [años]	t ≤ 60 minutos			t > 60 minutos		
	A	B	C	A	B	C
2	513,3	0,722	5,16	1103,4	0,907	5,02
3	537,9	0,704	4,72	1235,7	0,909	3,20
5	525,7	0,671	3,56	1498,6	0,923	3,90
10	551,7	0,651	2,98	1916,7	0,943	5,50
15	565,7	0,641	2,70	1929,5	0,935	3,10
20	561,9	0,629	2,30	2250,5	0,953	5,70
50	613,9	0,619	2,00	2675,2	0,961	6,00
100	661,6	0,616	2,00	3013,4	0,968	6,30

La Figura 3.3 presenta estas curvas para la ciudad de Cuenca.

A más de lo anterior, se ha creído útil disponer ecuaciones que incluyan el período de retorno como variable, habiéndose obtenido las expresiones (3.2) y (3.3).

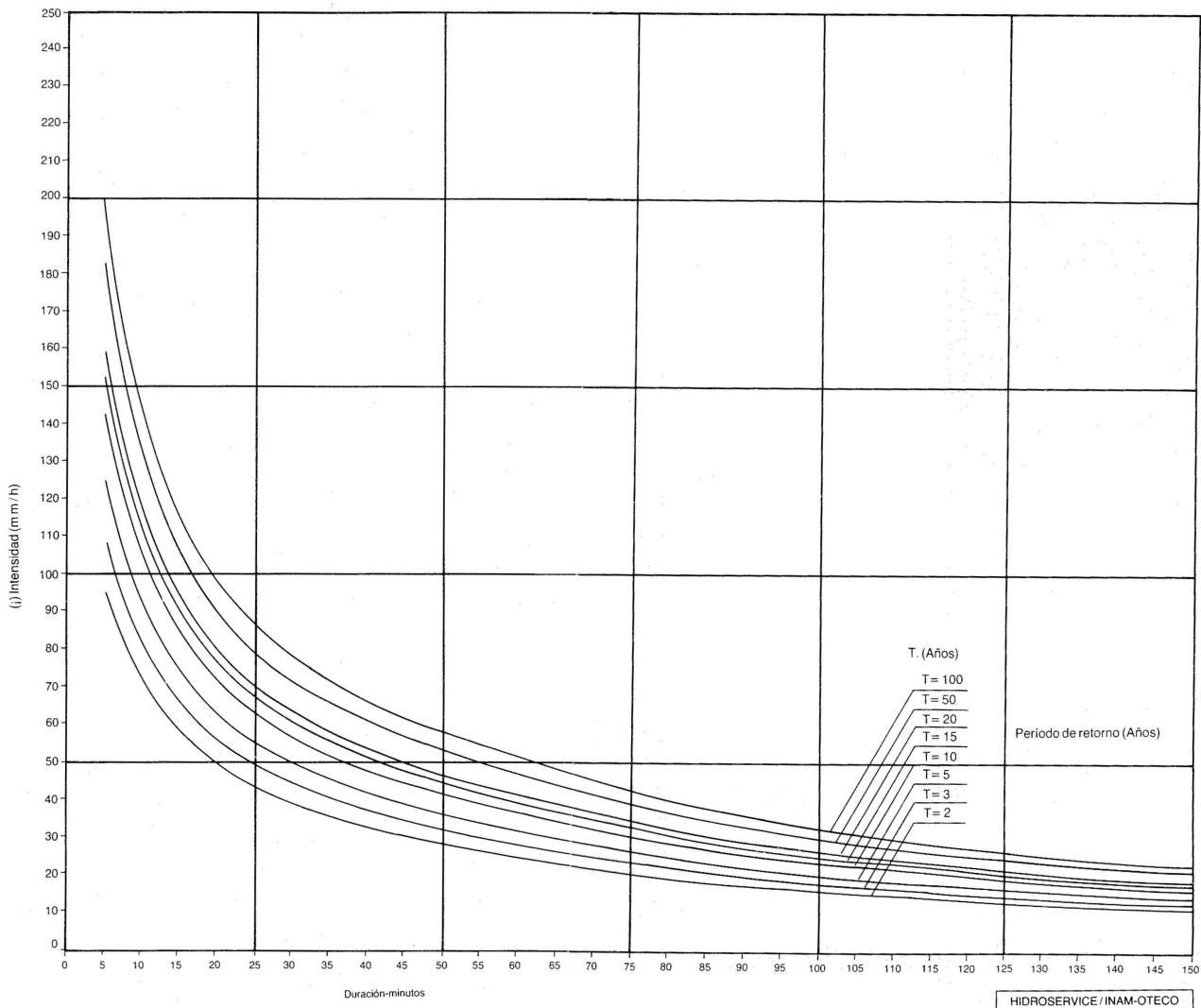


Figura 3.3: Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia de lluvias para la ciudad de Cuenca.

Para $t \leq 15$ minutos:

$$I = \frac{146,4xT^{0,2416}}{t^{0,3947}} \quad (3.2)$$

Para $t > 15$ minutos:

$$I = \frac{368,5xT^{0,02513}}{t^{0,7291}} \quad (3.3)$$

3.1.2. Diagnóstico del sistema de alcantarillado

El sistema de alcantarillado en operación en el año de 1968 íntegramente correspondía al tipo combinado, sirviendo fundamentalmente a la concentración poblacional más importante: zona antigua o "casco urbano" y pequeños nuevos sectores residenciales ubicados en las zonas norte, sur y oeste de la ciudad abarcando una área de servicio aproximadamente de 260 [ha]. En la Figura 7.2 (anexos) se presenta el sistema de alcantarillado existente hasta el año de 1968.



Para efectos de proyecto e implantación de las redes se dividió la ciudad en cuatro zonas características como se observa en la Figura 7.3 (anexos):

- **Zona Central:** Sistema de alcantarillado combinado.
- **Zona Norte:** Sistema de alcantarillado combinado.
- **Zona Este:** Sector con sistema separado.
- **Zona Sur:** Sector con sistema separado.

La zonificación establecida en 1968, fue mantenida por ETAPA con pequeñas modificaciones en la planificación y construcción del sistema de alcantarillado. En la Figura 7.4 (anexos) se presentan los colectores planificados y de entre ellos los que fueron posteriormente ejecutados en 1968.

3.1.2.1. Descripción del sistema de alcantarillado de Cuenca en 1985

En el sistema de alcantarillado de 1985 se constató la existencia de varios colectores sanitarios que descargan en pluviales y viceversa, además de un número exageradamente alto de conexiones ilícitas indicando que, en realidad el sistema no opera exactamente como fue planeado. Se realizó también, el catastro de usuarios, la evaluación del estado físico e hidráulico de los diferentes colectores y el inventario y caracterización de las descargas.

De acuerdo a la situación de las redes y colectores principales se dividió a la ciudad en cinco zonas: Central, Norte, Este (I y II), Sur y Noreste como se puede apreciar en la Figura 7.5 (anexos).

La Zona central que abarca los colectores de las calles Miguel Vélez y Calle Larga se describe a continuación:

3.1.2.1.1. Zona central

Zona con sistema de alcantarillado combinado, limitada al norte por la Av. Muñoz Vernaza, Coronel Tálbot y Av. De las Américas (Circunvalación); al este por la Av. Huayna - Cápac; al sur por el río Tomebamba y al oeste por la calle Daniel Alvarado. El área actual servida por las redes de alcantarillado es de aproximadamente 1400 [ha], dando un promedio de 260 [m] de red por [ha]. Las redes existentes y actualizadas se presentan en los Planos CUE-ED-242 y CUE-ED-245 (anexos).

3.1.2.2. Evaluación hidráulica de los colectores principales

Los colectores principales son aquellos cuyo diámetro es igual o mayor a 700 [mm]. En base a esta consideración y como primer paso se procedió a la delimitación y cálculo de las áreas de aportación; en el caso de los colectores pluviales y combinados se determinó el coeficiente de escorrentía pluvial y se evaluó el coeficiente de rugosidad de los diferentes tramos. Con los datos obtenidos en la investigación del estado físico referentes a diámetros, secciones, pendientes, etc., se calculó la capacidad de los colectores sanitarios, pluviales y combinados.

La inspección efectuada en cerca de 40 [km] de colectores principales, 500 pozos de revisión y 100 sumideros con el objeto de evaluar el estado físico de los componentes del sistema indicó que, de una manera general, los colectores más antiguos, construidos con mampostería de piedras o ladrillos, presentan condiciones inadecuadas de flujo, con cambios bruscos de sección, fondos destruídos, secciones irregulares, material con alta rugosidad y gran deposición de sedimentos por falta de mantenimiento. En cambio los colectores más recientes son construidos en tubería de concreto y presentan buenas condiciones, excepto por el hecho que también en ellos se encuentra invariablemente deposición de sedimentos.

Desde el punto de vista de la capacidad hidráulica, los colectores antiguos en general no tienen capacidad suficiente para las contribuciones previstas para ellos; y en cambio los colectores nuevos están sobredimensionados. Para aquellos se prevé el mejoramiento del enlucido en los colectores de mayor dimensionamiento y la sustitución o construcción de colectores de refuerzo en los que tienen menor sección.

La Tabla 3.4 presenta un resumen de la evaluación física e hidráulica de los colectores de la Zona Central.

**Tabla 3.4: Evaluación del estado físico y capacidad de los colectores principales.**

Zona	Sistema	Colector	Estado Físico	Capacidad hidráulica	Observaciones
Central	Combinado	Calle Lamar	Bueno	Suficiente	Reparar tramo M. Vélez - H. Miguel .
		Calle Juan Jaramillo	Parcialmente		Abandonar tramo H. Miguel - T. Ordoñez.
		Calle Vega Muñoz	Bueno	Insuficiente (período de retorno 2 años)	Requiere colector paralelo.
		Calle Mariscal Sucre	Bueno	Suficiente	Totalmente aprovechable.
		Av. Huayna Cápac - Viracochabamba	Aceptable	Insuficiente (período de retorno 2 años)	Requiere colector paralelo.
		Calle Miguel Vélez	Aceptable	Suficiente excepto tramos inicial y final	Mejorar aliviadero y tramos inicial (151 [m]) y final (107 [m]).
		Calle Simón Bolívar	Malo	<i>Sobredimensionado</i>	<i>Totalmente aprovechable.</i>
		Calle Gran Colombia	Malo	Insuficiente	Tramo M. Cueva - Huayna Cápac es aprovechable.
		Calle Larga	Aceptable	<i>Insuficiente</i>	Debe ser sustituido.
				<i>Insuficiente</i>	<i>Tramo Tarqui - M. Vega es inservible. Tramos siguientes aprovechables en nuevo estudio.</i>

3.1.2.3. Descripción de los colectores de estudio

Estos colectores pertenecen a la Zona Central y forman parte de los sistemas de colectores conocidos como “Gallinazo” y “Chanchaco” lo mismos que incluyen aproximadamente 50 [km] de redes colectoras constituidas casi en su totalidad por canales de mampostería de ladrillo y piedra, con una gran variedad de secciones compuestas no circulares.

3.1.2.3.1. Colector de la Calle Larga

El colector de la Calle Larga al igual que los demás colectores de esta zona, con excepción del colector de la calle Miguel Vélez, tiene su desarrollo principal de Oeste a Este, descargando en el colector de la Av. Huayna-Cápac (colector construido en 1972 para recoger toda el agua servida y de lluvias de la Zona Central).

Este colector combinado, estaba constituido de piedra grande de río, piedra labrada y ladrillo enlucido con secciones trapezoidales como lo indican el Plano CUE-ED-213 y CUE-ED-214 (anexos); sin embargo, el tramo correspondiente a la calle Tarqui hasta la calle Manuel Vega, fue sustituido por secciones rectangulares variables de hormigón debido a que presentaba un estado físico e hidráulico deficiente y su sección era muy pequeña que no permitía su rehabilitación. En el Plano CUE-FT-245 y CUE-FT-246 (anexos) se presenta el levantamiento del colector de sustitución de la Calle Larga en planta y perfil.

En la Tabla 3.5 se presentan los diámetros y longitudes del nuevo tramo:

Tabla 3.5: Colector de sustitución de la Calle Larga.

Colector	Diámetro [mm]	Longitud [m]
Calle Larga	700	146
	800	321
	900	117
	1200	640

3.1.2.3.2. Colector de la calle Miguel Vélez

El colector de la calle Miguel Vélez tiene su desarrollo principal de Norte a Sur, servía para recoger la escorrentía de aguas pluviales provenientes de la cuneta de coronación y aliviar parcialmente el volumen de aguas servidas que descargaban en los colectores del área central.

Según el Plan Maestro de 1968, este colector debería ser el límite del sistema combinado, pero la ciudad creció hasta la calle Daniel Alvarado manteniendo un sistema de alcantarillado combinado, y por otro lado, la cuneta de coronación no se construyó en su totalidad, alterándose consecuentemente el límite.

Este colector está constituido de hormigón con una sección de rectangular variable como se muestra en el Plano CUE-ED-208 (anexos).

3.1.3. Diseño del sistema de alcantarillado de la ciudad de Cuenca (I-Fase)

3.1.3.1. Caudales de diseño para alcantarillado pluvial y combinado

Para el cálculo de los caudales de escorrentía se utilizó el Método Racional americano.

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad (3.4)$$

Donde:

Q = Caudal [m³/s].

C = Coeficiente de escorrentía (determinado en los estudios de diagnóstico).

I = Intensidad de lluvia [mm/h]

A = Área contribuyente [ha]

La intensidad de lluvia a utilizarse depende del período de retorno “T”. En consideración a las características y régimen de lluvias de la zona, a la topografía favorable y a un análisis de costo con el empleo de intensidades de lluvia que corresponden a períodos de retorno de 3 a 10 años, se han adoptado los siguientes criterios de diseño:

- **Zonas comerciales.**- Colectores secundarios: T = 5 años y verificación para T = 10 años. Colectores principales: T = 10 años.
- **Zonas residenciales.**- Colectores secundarios: T = 3 años, verificación para T = 5 años. Colectores principales: T = 5 años, verificación para T = 10 años.

Finalmente se debe mencionar que los colectores han sido diseñados para la lámina máxima de 0,75 D (D = diámetro de la tubería); es decir, con una holgura de un 18 % en relación a la capacidad máxima del colector.

3.2. ÁREA DE ESTUDIO

3.2.1. Límites de las subcuenca pluviales y áreas de igual impermeabilidad

La delimitación del área de estudio se realizó siguiendo el trazado de las subcuenca pluviales de aporte de los colectores de las calles Miguel Vélez y Calle Larga. Para este fin, se redibujaron los límites de cada subcuenca pluvial y los correspondientes a las áreas de igual impermeabilidad proyectados para el año 2015 de acuerdo al Plano CUE-FT-202 (anexos). Los coeficientes de escorrentía mostrados en este plano fueron calculados de acuerdo al Informe de Diagnóstico (ETAPA & HIDROSERVICE-INAM/OTECO, 1987²³). Así mismo, en la sección de anexos se puede observar el Plano CUE-ED-237 con los valores de los coeficientes de escorrentía del año 1985 y una foto aérea tomada por el IGM en 1989.

Se utilizó también el plano con la zonificación y sectorización de la ciudad de Cuenca elaborada por la Unidad de Catastros (ETAPA, 1985²⁴), de esta manera se facilitó la identificación de las manzanas presentes en cada subcuenca. Con la ayuda de herramientas de dibujo por ordenador (AutoCad), se logró determinar el área de cada subcuenca y el área impermeable definida por el coeficiente de escorrentía correspondiente.

En las sección de los anexos se presenta el Plano 1 con las subcuenca 6 y 31 redibujadas sobre el plano de sectorización mencionado, el Plano 2 que contiene las áreas impermeables dentro de cada subcuenca con sus respectivos coeficientes de escorrentía y el Plano 3 que muestra la zonificación, sectorización y numeración de las manzanas de la ciudad de Cuenca con los límites de las áreas impermeables y de las subcuenca antes mencionadas.

Las Tablas 3.6 y 3.7 presentan un resumen de la información obtenida mediante el redibujo en AutoCad.

**Tabla 3.6: Subcuenca pluviales de aporte de los colectores de estudio.**

Colector	Subcuenca	Área [ha]	Límites de la subcuenca pluvial
Calle Larga	6	284,64	<i>Norte:</i> Av. De las Américas - Héroes de Verdeloma - Nicanor Merchán - Muñoz Vernaza. <i>Sur:</i> Av. 3 de Noviembre - La Condamine - Bajada del Padrón - Av. 3 de Noviembre - Paseo 3 de Noviembre. <i>Este:</i> Av. Huayna Cápac - Av. Viracochabamba - Av. Pumapungo - Cacique Chaparra - Guapondélig - Cacique Duma - Av. Huayna Cápac. <i>Oeste:</i> Miguel Vélez - Roberto Aguilar.
Miguel Vélez	31	81,88	<i>Norte:</i> Av. Abelardo J. Andrade. <i>Sur:</i> Av. 3 de Noviembre. <i>Este:</i> Av. De las Américas - Miguel Vélez - Roberto Aguilar. <i>Oeste:</i> Av. Del Chofer - De la Espadana - Daniel Alvarado - Convención del 45 - León XIII.

Tabla 3.7: Áreas de igual grado de impermeabilidad.

Subcuenca	“C”	Área [ha]	Límites de las áreas de igual impermeabilidad
6	0,67	35,77	Av. Viracochabamba - Av. Pumapungo - Cacique Chaparra - Guapondélig - Av. Huayna Cápac - Paseo 3 de Noviembre - Ruinas del Pumapungo.
	0,74	42,30	Mariscal Sucre - Av. Huayna Cápac - Ruinas del Pumapungo - Paseo 3 de Noviembre - Mariano Cueva.
31	0,60	37,24	Av. Abelardo J. Andrade - Av. De las Américas - De la Espadana - Av. Del Chofer.
	0,74	109,18	Av. De las Américas - Héroes de Verdeloma - Nicanor Merchán - Muñoz Vernaza - Av. Huayna Cápac - Vega Muñoz - Juan Montalvo - Mariscal Lamar - Estevez de Toral - Gran Colombia - Miguel Heredia - Baltazara de Calderón - Miguel Vélez - Presidente Córdova - Bajada del Vado - Av. 3 de Noviembre - León XIII - Convención del 45 - Daniel Alvarado.
6 y 31	0,80	137,92	Vega Muñoz - Av. Huayna Cápac - Mariscal Sucre - Mariano Cueva - Av. 3 de Noviembre - Bajada del Vado - Presidente Córdova - Miguel Vélez - Baltazara de Calderón - Gran Colombia - Estevez de Toral - Mariscal Lamar - Juan Montalvo.

3.2.2. Descripción de las áreas de aporte

Para determinar el área de aporte del colector de la Calle Larga y de la calle Miguel Vélez se analizó el trazado de los colectores existentes en los Planos CUE-ED-242 y CUE-ED-245 (anexos); en ellos se presenta la Red de Alcantarillado Combinado de la Ciudad de Cuenca del año 1985 (zona central). Así mismo, se consideró el Plano 4 (anexos) que contiene la Red de Alcantarillado actual correspondiente al año 2013 para validar el levantamiento anterior.

Luego de comparar la información obtenida en los dos años mencionados, se observó que el trazado actual de los colectores presentan variaciones en los puntos de descarga o han sido separados definitivamente del trazado original; lo anterior se ha llevado a cabo con el fin de aliviar el caudal transportado por los mismos o cambiar los puntos de descarga hacia colectores de mayor capacidad.

A continuación se presenta un análisis detallado para determinar el área de aporte de cada colector:

3.2.2.1. Área de aporte de la Calle Larga

El trazado del colector de la Calle Larga en la red de alcantarillado de 1985 (Plano CUE-ED-245), presentaba únicamente dos alivideros: El primero está ubicado en la intersección con la calle Alfonso Jerves y continúa en dirección de la calle Bajada de Todos Santos. El segundo alividadero se encuentra en la intersección con la calle Manuel Vega y continúa en dirección de la calle Bajada de los Molinos. Siguiendo el plano mencionado, se puede observar que la descarga de los dos alividaderos es hacia el interceptor de la calle Paseo 3 de Noviembre y una alcantarilla hacia el río Tomebamba (Figuras 7.6, 7.7 y 7.8 - anexos); así también, siguiendo el trazado del colector de la Calle Larga, se llega hasta la Av. Huayna - Cápac, en donde posteriormente, el colector recorre la calles Cacique Duma, Guapondélig y finalmente llega al colector de la Av. Viracochabamba. Las Figuras 7.9 y 7.10 (anexos) muestran fotos de la intersección de los colectores de la Calle Larga y de la Av. Huayna - Cápac.

Por otra parte, con el trazado de la red de alcantarillado actual, se puede constatar la existencia de un punto de descarga que separa el trazado original de 1985 en dos tramos: El primer tramo del colector, correspondiente a la calle

Tarqui hasta la calle Hermano Miguel, fue desconectado definitivamente, y en su lugar, se empató con el colector de la calle Hermano Miguel cuya descarga es hacia el interceptor de la calle Paseo 3 de Noviembre y un cajón rectangular hacia el río Tomebamba (Figuras 7.11 y 7.12). El segundo tramo del colector comienza desde un pozo en la calle Hermano Miguel y descarga finalmente al colector de la Av. Huayna - Cápac.

La Tabla 3.8 presenta un resumen con los tramos y características geométricas de este colector.

Tabla 3.8: Tramos del colector de la Calle Larga.

Tramo	Intersección	Diámetro - Sección [m]	A [m ²]	L [m]	H ₁ [m]	H ₂ [m]	s [m/m]	v [m/s]
1.1	Tarqui	0,70	0,38	65,90	2544,00	2542,83	0,02	3,21
1.2	Miguel Ullauri	0,70	0,38	54,00	2542,83	2541,88	0,02	3,19
1.3	General Torres	0,70	0,38	26,10	2541,88	2541,42	0,02	3,20
1.4	Santa Teresa	0,80	0,50	95,40	2541,32	2539,86	0,02	3,25
1.5	Padre Aguirre	0,80	0,50	120,15	2539,86	2537,13	0,02	3,97
1.6	Benigno Malo	0,80	0,50	105,20	2537,13	2534,74	0,02	3,97
1.8	Luis Cordero	0,90	0,64	116,85	2534,64	2532,29	0,02	4,04
1.9	Presidente Borrero	1,20	1,13	118,90	2531,99	2531,19	0,01	2,83
2.1	Hermano Miguel	1,20	1,13	77,35	2531,19	2530,68	0,01	2,80
2.2	Mariano Cueva	1,20	1,13	103,75	2530,68	2530,01	0,01	2,77
2.3	Alfonso Jerves	1,20	1,13	84,15	2529,81	2526,19	0,04	7,15
2.4	Vargas Machuca	1,20	1,13	117,62	2526,19	2522,08	0,03	6,44
2.5	Tomás Ordoñez	1,20	1,13	112,15	2521,88	2520,88	0,01	3,26
2.6	Manuel Vega	1,20	1,13	26,50	2520,88	2520,73	0,01	2,59
2.7	Bajada de Los Molinos	0,80x1,10	0,88	34,55	2520,38	2519,63	0,02	3,20
2.8	Miguel Ángel Estrella	0,70x0,50x1,30	0,84	11,75	2519,63	2519,30	0,03	5,79
2.9	Jesús Arriaga	0,70x0,50x1,30	0,84	98,75	2519,30	2518,24	0,01	3,58
2.10	Av. Huayna - Cápac	0,70x0,50x1,30	0,84	152,60	2518,24	2516,59	0,01	3,59

El procedimiento para determinar el área de aporte en zonas urbanas se describió en el ítem 2.5.1, así, trazando las bisectrices sobre las manzanas que aportan a este colector, se delimitó el área de aporte respectivo con las herramientas de AutoCad. Cabe mencionar que de acuerdo al trazado actual del colector de la Calle Larga y a la definición del tiempo de concentración (ítem 2.5.3), se consideraron los dos tramos descritos para subdividir el área de aporte para cada uno de ellos. La Tabla 3.9 presenta el área de aporte de la Calle Larga:

Tabla 3.9: Área de aporte de la Calle Larga.

Tramo	Área de aporte [ha]
1	8,95
2	8,07
Total	17,01

En el Plano 5 (anexos) se puede observar el área de aporte del colector de la Calle Larga.

3.2.2.2. Área de aporte de la calle Miguel Vélez

El trazado del colector de la calle Miguel Vélez en la red de alcantarillado de 1985 (Plano CUE-ED-242), estaba diseñado de tal manera que tanto las aguas pluviales como sanitarias de la zona central Oeste de la ciudad (limitada por la calle Daniel Alvarado) descarguen hacia este colector; a su vez, la zona central Norte (limitada por la Av. de las Américas) presentaba un pequeño tramo de colector sobre esta avenida, desde la calle Abraham Sarmiento hasta la calle Coronel Tálbot, el mismo que recogía el caudal de escorrentía de la parte alta de la Av. de las Américas y el caudal originado por una quebrada tal como lo muestra el Plano CUE-ED-208 (anexos).

De la misma forma, con el trazado de la red de alcantarillado actual, se pueden observar tres cambios realizados en el trazado antiguo del colector de la Av. de las Américas que actualmente descarga al colector de la calle Miguel Vélez. El primero de ellos, consistió en eliminar los empates de este colector con sus similares en la calle Nicanor Merchán y en la Av. Héroes de Verdeloma. El segundo cambio, asumió la construcción de un nuevo tramo de colector que inicia en la calle Coronel Tálbot y termina en la calle Estévez de Toral; de esta manera, se conectaron los dos tramos del

colector de la Av. de las Américas que hasta ese entonces se encontraban separados. La finalidad de estos cambios fue transportar parte del caudal del colector de la calle Tarqui y el caudal de los colectores de la calle Einsten y de la Av. del Chofer hacia el colector de la Miguel Vélez en forma directa, suprimiendo las descargas hacia los colectores mencionados en el primer cambio. El tercer cambio, consistió en eliminar el aliviadero que existía en la intersección de la calle Gran Colombia y Miguel Vélez, y en su lugar, se extendió este colector hasta la Av. Huayna - Cápac, en donde actualmente se encuentra el punto de descarga. Con este cambio se eliminó el caudal de aporte del colector de la calle Gran Colombia hacia el colector de la Miguel Vélez. Por último, la descarga de este colector es hacia el interceptor de la Av. 3 de Noviembre y un cajón rectangular hacia el río Tomebamba (Figuras 7.13 a 7.17 - anexos).

La Tabla 3.10 presenta un resumen de las intersecciones y características geométricas de este colector:

Tabla 3.10: Tramos del colector de la calle Miguel Vélez.

Tramo	Intersección	B [m]	H [m]	A [m^2]	L [m]	H ₁ [m]	H ₂ [m]	s [m/m]	v [m/s]
1.1	Av. De las Américas	1,00	1,50	1,50	15,69	2577,75	2575,90	0,12	11,84
1.2	Rafael María Arízaga	1,00	1,50	1,50	111,12	2575,90	2563,00	0,12	11,75
1.3	Pío Bravo	1,50	1,50	2,25	87,70	2563,00	2559,87	0,04	7,56
1.4	Vega Muñoz	1,60	1,50	2,40	78,55	2559,87	2557,72	0,03	6,76
1.5	Gaspar Sangurima	2,00	1,50	3,00	112,65	2557,72	2556,64	0,01	4,28
1.6	Mariscal Lamar	2,00	1,55	3,10	114,65	2556,50	2554,35	0,02	6,06
1.7	Gran Colombia	2,00	1,55	3,10	108,95	2554,35	2554,05	0,00	2,32
1.8	Baltazara de Calderón	2,00	1,57	3,14	76,78	2554,52	2554,00	0,01	3,66
1.9	Simón Bolívar	2,00	1,57	3,14	32,50	2554,00	2553,75	0,01	3,90
1.10	Mariscal Sucre	2,00	1,70	3,40	114,00	2553,75	2551,69	0,02	6,16
1.11	Jardín de Infantes	2,00	1,70	3,40	12,00	2551,69	2550,03	0,14	17,04
1.12	Presidente Córdova	2,00	1,70	3,40	42,00	2550,03	2544,30	0,14	16,92
1.13	S/N	2,00	1,70	3,40	52,00	2544,30	2537,20	0,14	16,92
1.14	Av. 3 de Noviembre	2,00	1,70	3,40	58,00	2537,20	2536,62	0,01	4,58
1.15	Descarga al río Tomebamba	2,00	1,70	3,40	24,20	2536,62	2536,38	0,01	4,56

El área de aporte se determinó de igual forma que en la Calle Larga, es decir, se siguió el trazado actual del colector con los tres cambios descritos anteriormente y se calculó esta área por el método de las bisectrices con las herramientas de AutoCad. La Tabla 3.11 presenta el área de aporte de la calle Miguel Vélez:

Tabla 3.11: Área de aporte de la calle Miguel Vélez.

Tramo	Área de aporte [ha]
1	35,55
	33,84
Total	69,39

En el Plano 6 (anexos) se puede observar el área de aporte del colector de la calle Miguel Vélez.

3.2.2.3. Cálculo del tiempo de concentración en las áreas de aporte

Para cada tramo de los colectores, definidos con anterioridad, se calcularon los tiempos de concentración respectivos con los métodos propuestos en la Tabla 2.13 y las expresiones de Ven Te Chow (ecuación 2.29) y de la Soil Conservation Service (ecuación 2.30). Cabe resaltar que para el uso de la tabla mencionada, se revisaron las observaciones planteadas junto a cada ecuación, de esta manera, se escogieron cuidadosamente las expresiones afines al área de estudio. Los parámetros necesarios para la aplicación de cada una de estas ecuaciones se resumen en la Tabla 3.12.

**Tabla 3.12: Características geométricas de los colectores de la calle Miguel Vélez y Calle Larga.**

Colector	L [m]	s _{prom.} [m/m]	Cota inicial H ₁ [m]	Cota final H ₂ [m]	ΔH [m]
Miguel Vélez	1040,79	0,053	2577,75	2536,38	41,37
Calle Larga (Tramo 1)	702,50	0,018	2544,00	2531,19	12,81
Calle Larga (Tramo 2)	819,17	0,018	2531,19	2516,59	14,60

Finalmente, las Tablas 3.13 y 3.14 presentan el cálculo de los tiempos de concentración para cada tramo del colector de la calle Miguel Vélez y Calle Larga, observando que los tiempos de concentración obtenidos son próximos a los calculados con la ecuación de la California Culvert Practice usualmente adoptada para fines de diseño.

Tabla 3.13: Tiempo de concentración para el colector de la calle Miguel Vélez.

Método	Ecuación para Tc	Observaciones	Tc [min]
Carter (1961)	$T_c = 0,0015476 L^{0,6} S^{-0,3}$	- Desarrollada para cuencas urbanas - Áreas menores a 2072 [ha] - Longitud de canal menor que 11,27 [km] - Flujo significativo en la tubería de la cuenca	14,50
Kirpich (Tennessee) (1940)	$T_c = 0,0003245 L^{0,7} S^{-0,385}$	- Área de 0,4 a 45 [ha] - Pendientes de 3 a 10 %	12,72
California Culvert Practice (California Division of Highways 1960)	$T_c = (0,871E-9 L^3 \Delta H^{-1})^{0,385}$	- Desarrollada para cuencas montañosas pequeñas en California	14,21
Ven Te Chow	$T_c = 52,64 (L/S^{-1/2})^{0,64}$	- Desarrollada para cuencas hidrográficas de hasta 2428 [ha]	15,40
Soil Conservation Service	$T_c = L(60 Vs)^{-1}$	- Desarrollada para cuencas urbanas	11,61

Tabla 3.14: Tiempo de concentración para el colector de la Calle Larga.

Método	Ecuación para Tc	Observaciones	Tramo 1 Tc [min]	Tramo 2 Tc [min]
Carter (1961)	$T_c = 0,0015476 L^{0,6} S^{-0,3}$	- Desarrollada para cuencas urbanas - Áreas menores a 2072 [ha] - Longitud de canal menor que 11,27 [km] - Flujo significativo en la tubería de la cuenca	15,94	17,44
Kirpich (Tennessee) (1940)	$T_c = 0,0003245 L^{0,7} S^{-0,385}$	- Área de 0,4 a 45 [ha] - Pendientes de 3 a 10 %	14,36	16,12
California Culvert Practice (California Division of Highways 1960)	$T_c = (0,871E-9 L^3 \Delta H^{-1})^{0,385}$	- Desarrollada para cuencas montañosas pequeñas en California	14,18	16,10
Ven Te Chow	$T_c = 52,64 (L/S^{-1/2})^{0,64}$	- Desarrollada para cuencas hidrográficas de hasta 2428 [ha]	14,78	17,19
Soil Conservation Service	$T_c = L(60 Vs)^{-1}$	- Desarrollada para cuencas urbanas	13,56	15,82

3.3. MÉTODOS EMPLEADOS PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía actual, puede ser calculado con los métodos propuestos: Método Racional y Número de Curva, los dos métodos, mencionados en el ítem 2.4.4, proponen un análisis de la zona de estudio y las áreas de aporte para cada colector; sin embargo, el procedimiento de cálculo de cada uno de ellos difiere al momento de hacer uso de los datos recogidos en campo.

A continuación se explicará cada método aplicado a una zona residencial, zona comercial y zona verde ya que éstas ocupan la totalidad del área de estudio. La zona central de la ciudad se la considerará como comercial salvo las áreas destinadas para educación (universidades, colegios y escuelas) y las áreas consideradas como “verdes” (parques) previamente identificadas. Las manzanas que se encuentran fuera de la zona central se clasificarán según lo indicado en el Plan de Ordenamiento Territorial para el centro histórico de Cuenca tal como lo muestra el Plano 7 (tomado del Análisis del proceso de evolución urbana de la ciudad de Cuenca, 2006 - 2008²⁵) y el redibujo del mismo en el Plano 8 de los anexos.

3.3.1. Aplicación del Método Racional

Para la aplicación de este método se han escogido 3 manzanas con cierto grado de particularidad, el criterio empleado para la selección de las mismas fue la existencia de superficies permeables e impermeables en el terreno que permitan clasificarlas según el tipo de superficie correspondiente (Tabla 2.1).

3.3.1.1. Zona residencial

Se escogió la manzana 27 perteneciente a la subcuenca 6, zona 1, sector 1. Esta manzana se encuentra limitada por la calles: Rafael María Arízaga (Norte), Pío Bravo (Sur), Tarqui (Este) y Juan Montalvo (Oeste). En la Figura 3.4²⁷ se puede observar una foto satelital de la misma.



Figura 3.4: Manzana de tipo residencial.

Una vez seleccionada la manzana de tipo residencial, se determinó visualmente las áreas que constituyen: cubiertas y/o techos, patios, zonas verdes y zonas con escasa cobertura vegetal. El cálculo de cada una de ellas se realizó empleando las herramientas de Autocad. La Figura 3.5 muestra una ilustración de este proceso.



Figura 3.5: Determinación de superficies en una manzana de tipo residencial.

Con la información así obtenida, se asignó a cada área el valor del coeficiente de escorrentía “C” respectivo. La Tabla 2.1 presenta los rangos de estos coeficientes para cada tipo de superficie.

Siguiendo la tabla mencionada, se tomó como valor de cálculo la media correspondiente a cada rango; los valores asumidos para la determinación del coeficiente de escorrentía en la manzana 27 se presentan en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15: Coeficiente de escorrentía en una manzana de tipo residencial.

Tipo de Superficie	Área “A” [m ²]	Rango “C” (recomendado)	“C” (media asumida)	“A” x “C”
Cobertura vegetal	2233,05	0,15 - 0,30	0,225	502,44
Sin cobertura vegetal	600,98	0,35 - 0,60	0,475	285,47
Patios, plazas (Hormigón)	238,64	0,90 - 0,95	0,925	220,74
Cubiertas y/o tejados	4735,23	0,90 - 1	0,950	4498,47
\sum	7807,90			5507,11

Finalmente, aplicando la ecuación (2.5) se determinó el valor del coeficiente de escorrentía:

$$\bar{C} = \frac{5507,11}{7807,90} = 0,71 \quad (3.5)$$

Comparando el valor del coeficiente de escorrentía obtenido con respecto la Tabla 2.2 se puede constatar que la manzana 27 se encuentra dentro del rango para zonas residenciales multifamiliares agrupadas.

3.3.1.2. Zona comercial

Se escogió la manzana 14 perteneciente a la subcuenca 6, zona 2, sector 2. Esta manzana se encuentra limitada por las calles: Gaspar Sangurima (Norte), Mariscal Lamar (Sur), Luis Cordero (Este) y Presidente Borrero (Oeste). En la Figura 3.6²⁷ se puede observar una foto satelital de la misma.



Figura 3.6: Manzana de tipo comercial.

El proceso para determinar el coeficiente de escorrentía en una zona comercial es similar al de la zona residencial. La Figura 3.7 muestra dos parqueaderos y un patio dentro de la manzana, el área restante lo ocupan las cubiertas de los edificios existentes en la misma.



Figura 3.7: Determinación de superficies en una manzana de tipo comercial.

Los valores asumidos para la determinación del coeficiente de escorrentía en la manzana 14 se presentan en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16: Coeficiente de escorrentía en una manzana de tipo comercial.

Tipo de Superficie	Área “A” [m²]	Rango “C” (recomendado)	“C” (media asumida)	“A” x “C”
Cobertura vegetal	0,00	0,15 - 0,30	0,225	0,00
Sin cobertura vegetal	0,00	0,35 - 0,60	0,475	0,00
Patios, plazas (Hormigón)	1524,37	0,90 - 0,95	0,925	1410,04
Cubiertas y/o tejados	7929,05	0,90 - 1	0,950	7532,60
\sum	9453,42			8942,64

Aplicando la ecuación (2.5) se determinó el valor del coeficiente de escorrentía:

$$\bar{C} = \frac{8942,64}{9453,42} = 0,95 \quad (3.6)$$

Comparando el valor del coeficiente de escorrentía obtenido con respecto a la Tabla 2.2 se puede constatar que la manzana 14 se encuentra dentro del rango para zonas comerciales en zona central.

3.3.1.3. Zona verde

Se escogió la manzana 1 perteneciente a la subcuenca 31, zona 7, sector 2. Esta manzana se encuentra limitada por las calles: Av. De las Américas (Norte), Hernando de la Cruz (Sur), Coronel Guillermo Talbot (Este) y Miguel Vélez (Oeste). En la Figura 3.8²⁷ se puede observar una foto satelital de la misma.


Figura 3.8: Área verde (parque).

En la Figura 3.9 se observa que casi la totalidad del área está cubierta por una capa vegetal.

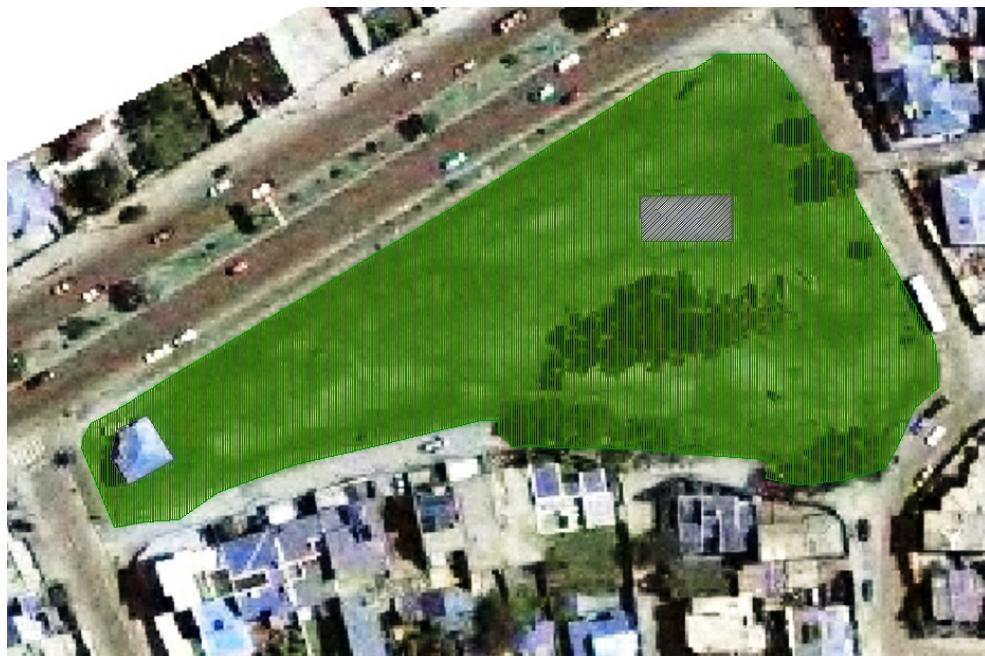


Figura 3.9: Determinación de superficies en un área verde.

Los valores asumidos para la determinación del coeficiente de escorrentía en la manzana 1 se presentan en la Tabla 3.17:

Tabla 3.17: Coeficiente de escorrentía en un área verde.

Tipo de Superficie	Área "A" [m ²]	Rango "C" (recomendado)	"C" (media asumida)	"A" x "C"
Cobertura vegetal	8221,58	0,15 - 0,30	0,225	1849,86
Sin cobertura vegetal	0,00	0,35 - 0,60	0,475	0,00
Patios, plazas (Hormigón)	167,19	0,90 - 0,95	0,925	154,65
Cubiertas y/o tejados	93,68	0,90 - 1	0,950	89,00
\sum	8482,45			2093,50

Aplicando la ecuación (2.5) se determinó el valor del coeficiente de escorrentía:

$$\bar{C} = \frac{2093,50}{8482,45} = 0,25 \quad (3.7)$$

Comparando el valor del coeficiente de escorrentía obtenido con respecto a la Tabla 2.2 se puede constatar que la manzana 1 se encuentra dentro del rango para zonas verdes.

3.3.2. Aplicación del Método del Número de curva

Se siguió el procedimiento de la United States Department of Agriculture (USDA) para pequeñas cuencas urbanas. Este método requiere disponer de los valores de precipitación diaria; o en su efecto, las medias mensuales de lluvia. También fue necesario clasificar el suelo de las subcuencas pluviales de acuerdo a los grupos hidrológicos de suelo mencionados en el ítem 2.4.4.2.3.

De las distintas estaciones climatológicas existentes en el cantón Cuenca, se seleccionó la estación Cuenca - Aeropuerto



por ser la más representativa para el área de estudio. La Tabla 3.18 (Dirección General de Aviación Civil Ecuador (DAC, 2013²⁷), presenta los datos mensuales registrados en dicha estación.

Tabla 3.18: Medias mensuales y media anual de lluvia [mm] - año 2004.

Estación	Altitud m.s.n.m	MESES												Año
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Cuenca - Aeropuerto	2527	64,40	77,30	95,10	116,40	75,40	46,50	33,20	29,90	54,30	104,30	88,80	78,70	864,30

Para efectos prácticos, en el desarrollo de los ejemplos se usará el valor de la precipitación media mensual (P) del mes más lluvioso registrado, el cual, corresponde al mes de abril con 116,40 [mm].

Por otra parte, con la ayuda de los mapas geológicos de Cuenca y Azogues (IGM, 1980²⁸) y el Plano de la geología del área de expansión urbana de Cuenca (Figura 7.1 - anexos), se determinó que la zona de estudio se encuentra constituida casi en su totalidad por la terraza fluvial 4 y una zona de varves localizada en la parte central-norte.

La información antes mencionada, permite asumir una tasa de infiltración moderada, y a su vez, clasificar el suelo de las subcuencas pluviales dentro del grupo hidrológico "B". Finalmente siguiendo la Tabla 2.5¹⁵ y el ábaco de la Figura 2.14 se determinaron los números de curva para cada tipo de zona.

3.3.2.1. Zona residencial

El coeficiente de escorrentía en zonas residenciales, fue determinado utilizando la información que sirvió de base para la aplicación del Método Racional; esto es, el área de cubiertas y/o techos, patios, zonas verdes y zonas con escasa cobertura vegetal. Con estos valores, se calculó el porcentaje de impermeabilidad dividiendo el área de las superficies impermeables (patios, plazas, cubiertas de edificios, techos, etc.) para el área total de la manzana; el porcentaje de impermeabilidad permite determinar el valor de CN compuesto conjuntamente con el ábaco de la Figura 2.14¹⁵; en este proceso se asumió que las condiciones antecedentes de humedad son normales CN(II) y que las zonas permeables se consideran como áreas abiertas en buen estado (CN = 61) tal como lo describen las notas al pie de la Tabla 2.5¹⁵.

La Tabla 3.19 muestra el grupo hidrológico asignado, el porcentaje de impermeabilidad y el valor del número de curva CN determinado con el proceso anterior:

Tabla 3.19: Número de curva en una manzana de tipo residencial.

Uso de la Tierra	Grupo Hidrológico del Suelo "B"	
	Impermeabilidad (%)	"CN" (compuesto)
Residencial	64	84

CN y P, se sustituyen en la ecuación (2.17) para obtener el coeficiente de escorrentía en la manzana 27.

$$C = \frac{(116,40 - \frac{5080}{84} + 50,80)^2}{116,40^2 + 4x116,400x\frac{5080}{84} - 50,80} = 0,63 \quad (3.8)$$

El valor obtenido indica que en zonas residenciales parte del caudal de escorrentía generado por un evento de precipitación se infiltrará a través de sus superficies permeables (zonas verdes y zonas con escasa cobertura vegetal) en mayor o menor grado dependiendo de la capacidad de infiltración de las mismas; de esta manera, el caudal conducido por el sistema de drenaje será una fracción del caudal total de escorrentía.

3.3.2.2. Zona comercial

El proceso para determinar el coeficiente de escorrentía en zona comercial es similar al de la zona residencial: es decir, se calculó el porcentaje de impermeabilidad y se determinó el valor de CN con el ábaco de la Figura 2.4. La Tabla 3.20 muestra el grupo hidrológico asignado, el porcentaje de impermeabilidad y el valor del número de curva CN determinado con el proceso anterior:

Tabla 3.20: Número de curva en una manzana de tipo comercial.

Uso de la Tierra	Grupo Hidrológico del Suelo “B”	
	Impermeabilidad (%)	“CN” (compuesto)
Comercial	100	98

Aplicando la ecuación (2.17) se obtuvo el valor del coeficiente de escorrentía en la manzana 14:

$$C = \frac{(116,40 - \frac{5080}{98} + 50,80)^2}{116,40^2 + 4x116,40x\frac{5080}{98} - 50,80} = 0,95 \quad (3.9)$$

El valor obtenido indica que en zonas comerciales, al no existir superficies permeables notorias, el caudal de escorrentía generado por un evento de precipitación será teóricamente el mismo que se conectaría al sistema de drenaje.

3.3.2.3. Zona verde

Para calcular el valor del número de curva en espacios abiertos (parques, cementerios, etc.) se determina el porcentaje de la superficie cubierta con césped para clasificar el tipo de condición (pobres, medias o buenas); para ello se divide el área con cobertura vegetal para el total de las áreas permeables y clasificando este valor según la Tabla 2.5. Los valores asumidos para la determinación del coeficiente de escorrentía en la manzana 1 se presentan en la Tabla 3.21:

Tabla 3.21: Número de curva en un área verde.

Uso de la Tierra	Grupo Hidrológico del Suelo “B”		
	Cobertura de césped(%)	Condiciones	“CN” (compuesto)
Parque	100	Buenas ($\geq 75\%$)	61

Aplicando la ecuación (2.17) se obtuvo el valor del coeficiente de escorrentía en la manzana 14:

$$C = \frac{(116,40 - \frac{5080}{61} + 50,80)^2}{116,40^2 + 4x116,40x\frac{5080}{61} - 50,80} = 0,25 \quad (3.10)$$

El valor obtenido indica que en zonas verdes tales como parques, con extensas superficies permeables, el caudal de escorrentía generado por un evento de precipitación se infiltrará hasta alcanzar el umbral de escorrentía.



3.4. ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

La determinación del nuevo coeficiente de escorrentía en las subcuenca pluviales definidas en el Plano CUE-FT-202 (anexos), es similar al procedimiento anteriormente descrito; la diferencia radica en que el análisis se extiende para subcuenca conformadas por los tres tipos de zona estudiadas. A continuación se describe la generalización de cada método extendida para las subcuenca pluviales:

3.4.1. Generalización del Método Racional

Para calcular el coeficiente de escorrentía en las zonas de igual impermeabilidad, se redibujaron los límites entre cada zona, determinando a su vez, las áreas correspondientes con las herramientas de AutoCad (Plano 2 - anexos); de igual manera, se determinó las áreas de cada manzana perteneciente a dichas zonas. El área que ocupan tanto calles como avenidas se obtuvo restando el área de cada manzana del área total de la zona de igual impermeabilidad.

En el Plano 9 (anexos), se puede observar la identificación de áreas verdes, áreas sin vegetación y superficies de hormigón en las subcuenca 6 y 31; dicho plano se elaboró en base al archivo aerofotogramétrico de la ciudad de Cuenca del año 2013²⁶ (Plano 10 - anexos). Este archivo, conjuntamente con el Plano 3 (anexos), fueron superpuestos en AutoCad para determinar las áreas de las superficies que constituyen cada manzana (con vegetación, sin vegetación, techos y cubiertas, patios y plazas de hormigón, etc.). Se puede observar además, que algunas de estas áreas atraviesan las dos subcuenca mencionadas, por lo que previamente se identificó la subcuenca, zona y sector a la que pertenecen; luego de agrupar cada manzana con el proceso anterior, se sumaron las áreas de cada tipo de superficie, estableciendo además, el coeficiente de escorrentía respectivo para cada una de ellas. Finalmente, aplicando la ecuación (2.4), se obtiene el coeficiente de escorrentía en cuestión.

Las Tablas 7.1 a la 7.5 (anexos) presentan las áreas de cada manzana agrupadas en las zonas de igual impermeabilidad y los resultados del procedimiento antes descrito.

3.4.2. Generalización del Método del Número de curva

El número de curva se determina identificando las manzanas de tipo residencial y comercial, áreas verdes y aquellas con superficies representativas de hormigón como plazas, parqueaderos y patios de escuelas, colegios y universidades. Los números de curva CN para cada una de estas superficies se analizan siguiendo el procedimiento antes descrito; es decir, clasificándolas de acuerdo a la Tabla 2.5 conjuntamente con el ábaco de la Figura 2.14.

Los valores de CN así obtenidos, se promedian para establecer un valor de número de curva representativo de cada zona (comercial o residencial). Para las demás áreas (asfaltos, hormigón y zonas verdes) no hace falta realizar esta operación ya que la Tabla 2.5 proporciona un valor específico de acuerdo al grupo hidrológico de suelo respectivo. Así por ejemplo, para áreas pavimentadas (asfaltos) el valor del número de curva CN = 98. Para patios de escuelas, colegios y techos el valor de CN = 98. De la misma forma, para zonas con áreas verdes la Tabla en mención considera el tipo de cobertura (buenas, medianas o pobres) para establecer el valor de CN específico.

Una vez determinado el valor de CN representativo, se suman las áreas de las manzanas según su tipo (residencial, comercial, verdes, etc.). El área obtenida permite determinar el porcentaje que representa cada tipo de manzana respecto al área total de igual impermeabilidad. Cabe mencionar que el área correspondiente a zonas verdes se desglosó de tal manera que las áreas de hormigón, cubiertas y techos se consideren dentro de la clasificación correspondiente (patios, plazas, techos, etc.). Así, en la clasificación destinada para cubiertas vegetales, únicamente se tendrá en cuenta el tipo de cobertura para sumar estas áreas.

Al multiplicar estos porcentajes por los números de curva correspondientes, se suman estos productos y se divide para el porcentaje total (100 %), obteniendo así el número de curva ponderado. Finalmente, aplicando la ecuación (2.17) con el valor de precipitación y el número de curva ponderado, se obtiene el valor del coeficiente de escorrentía.

Las Tablas 7.6 a la 7.10 (anexos) presentan las áreas de cada manzana agrupadas en las zonas de igual impermeabilidad y los resultados del procedimiento antes descrito.



3.4.3. Cálculo del coeficiente de escorrentía en el área de estudio

Las tablas siguientes presentan los resultados del análisis de cada manzana que conforman las áreas de igual impermeabilidad. La variación del coeficiente de escorrentía se determinó con la división presentada en la Tabla 3.7. El nuevo coeficiente de escorrentía se obtuvo con el procedimiento general mencionado en los ítems 3.4.1 y 3.4.2.

3.4.3.1. Subcuenca pluvial 6 - Coeficiente de escorrentía anterior “C” = 0,67

Con la ayuda de las herramientas de AutoCad se determinó el área de impermeabilidad total.

$$\text{Área Impermeabilidad Total} = 357699,54 \text{ [m}^2\text{]} = 35,77 \text{ [ha]}$$

- Método Racional

Con la información presentada en la Tabla 7.1 (anexos) se clasificaron las áreas por tipo de superficie (Tabla 3.22) para determinar el coeficiente de escorrentía actual. El área correspondiente a asfaltos se calculó como sigue:

$$\text{Área Asfaltos} = \text{Área Impermeabilidad Total} - \text{Área Total Manzanas} = 357699,54 - 266297,55 = 91401,99 \text{ [m}^2\text{]}$$

Aplicando la ecuación (2.4) se determinó el valor del coeficiente de escorrentía:

$$\bar{C} = \frac{288577,80}{357699,54} = 0,81 \quad (3.11)$$

- Número de curva

Con la información presentada en la Tabla 7.2 (anexos) se clasificaron las áreas por tipo de zona y/o superficie (Tabla 3.23) para determinar el coeficiente de escorrentía actual.

Aplicando la ecuación (2.17) se obtuvo el valor del coeficiente de escorrentía:

$$C = \frac{(116,40 - \frac{5080}{91,12} + 50,80)^2}{116,40^2 + 4x116,40x\frac{5080}{91,12} - 50,80} = 0,78 \quad (3.12)$$

3.4.3.2. Subcuenca pluvial 6 - Coeficiente de escorrentía anterior “C” = 0,74

Con la ayuda de las herramientas de AutoCad se determinó el área de impermeabilidad total.

$$\text{Área Impermeabilidad Total} = 423047,98 \text{ [m}^2\text{]} = 42,30 \text{ [ha]}$$

- Método Racional



Con la información presentada en la Tabla 7.3 (anexos) se clasificaron las áreas por tipo de superficie (Tabla 3.22) para determinar el coeficiente de escorrentía actual. El área correspondiente a asfaltos se calculó como sigue:

$$\text{Área Asfaltos} = \text{Área Impermeabilidad Total} - \text{Área Total Manzanas} = 423047,98 - 293079,39 = 129968,59 \text{ [m}^2\text{]}$$

Aplicando la ecuación (2.4) se determinó el valor del coeficiente de escorrentía:

$$\overline{C} = \frac{379110,86}{423047,98} = 0,90 \quad (3.13)$$

- Número de curva

Con la información presentada en la Tabla 7.4 (anexos) se clasificaron las áreas por tipo de zona y/o superficie (Tabla 3.23) para determinar el coeficiente de escorrentía actual.

Aplicando la ecuación (2.17) se obtuvo el valor del coeficiente de escorrentía:

$$C = \frac{(116,40 - \frac{5080}{96,09} + 50,80)^2}{116,40^2 + 4x116,40x\frac{5080}{96,09} - 50,80} = 0,90 \quad (3.14)$$

3.4.3.3. Subcuenca pluvial 31 - Coeficiente de escorrentía anterior “C” = 0,60

Con la ayuda de las herramientas de AutoCad se determinó el área de impermeabilidad total.

$$\text{Área Impermeabilidad Total} = 372425,12 \text{ [m}^2\text{]} = 37,24 \text{ [ha]}$$

- Método Racional

Con la información presentada en la Tabla 7.5 (anexos) se clasificaron las áreas por tipo de superficie (Tabla 3.22) para determinar el coeficiente de escorrentía actual. El área correspondiente a asfaltos se calculó como sigue:

$$\text{Área Asfaltos} = \text{Área Impermeabilidad Total} - \text{Área Total Manzanas} = 372425,12 - 305509,83 = 66915,29 \text{ [m}^2\text{]}$$

Aplicando la ecuación (2.4) se determinó el valor del coeficiente de escorrentía:

$$\overline{C} = \frac{301316,88}{372425,12} = 0,81 \quad (3.15)$$

- Número de curva

Con la información presentada en la Tabla 7.6 (anexos) se clasificaron las áreas por tipo de zona y/o superficie (Tabla 3.23) para determinar el coeficiente de escorrentía actual.

Aplicando la ecuación (2.17) se obtuvo el valor del coeficiente de escorrentía:

$$C = \frac{(116,40 - \frac{5080}{90,15} + 50,80)^2}{116,40^2 + 4x116,40x\frac{5080}{90,15} - 50,80} = 0,76 \quad (3.16)$$

3.4.3.4. Subcuenca pluvial 6 y 31 - Coeficiente de escorrentía anterior “C” = 0,74

Con la ayuda de las herramientas de AutoCad se determinó el área de impermeabilidad total.

Área Impermeabilidad Total = 1091820,60 [m²] = 109,18 [ha]

- Método Racional

Con la información presentada en la Tabla 7.7 (anexos) se clasificaron las áreas por tipo de superficie (Tabla 3.22) para determinar el coeficiente de escorrentía actual. El área correspondiente a asfaltos se calculó como sigue:

Área Asfaltos = Área Impermeabilidad Total - Área Total Manzanas = 1091820,60 - 716852,93 = 374967,67 [m²]

Aplicando la ecuación (2.4) se determinó el valor del coeficiente de escorrentía:

$$\overline{C} = \frac{966923,48}{1091820,60} = 0,89 \quad (3.17)$$

- Número de curva

Con la información presentada en la Tabla 7.8 (anexos) se clasificaron las áreas por tipo de zona y/o superficie (Tabla 3.23) para determinar el coeficiente de escorrentía actual.

Aplicando la ecuación (2.17) se obtuvo el valor del coeficiente de escorrentía:

$$C = \frac{(116,40 - \frac{5080}{95,64} + 50,80)^2}{116,40^2 + 4x116,40x\frac{5080}{95,64} - 50,80} = 0,89 \quad (3.18)$$



3.4.3.5. Subcuenca pluvial 6 y 31 - Coeficiente de escorrentía anterior “C” = 0,80

Con la ayuda de las herramientas de AutoCad se determinó el área de impermeabilidad total.

$$\text{Área Impermeabilidad Total} = 1379195,10 \text{ [m}^2\text{]} = 137,92 \text{ [ha]}$$

- Método Racional

Con la información presentada en la Tabla 7.9 (anexos) se clasificaron las áreas por tipo de superficie (Tabla 3.22) para determinar el coeficiente de escorrentía actual. El área correspondiente a asfaltos se calculó como sigue:

$$\text{Área Asfaltos} = \text{Área Impermeabilidad Total} - \text{Área Total Manzanas} = 1379195,10 - 991954,88 = 387240,22 \text{ [m}^2\text{]}$$

Aplicando la ecuación (2.4) se determinó el valor del coeficiente de escorrentía:

$$\overline{C} = \frac{1255640,25}{1379195,10} = 0,91 \quad (3.19)$$

- Número de curva

Con la información presentada en la Tabla 7.10 (anexos) se clasificaron las áreas por tipo de zona y/o superficie (Tabla 3.23) para determinar el coeficiente de escorrentía actual.

Aplicando la ecuación (2.17) se obtuvo el valor del coeficiente de escorrentía:

$$C = \frac{(116,40 - \frac{5080}{96,65} + 50,80)^2}{116,40^2 + 4 \times 116,40 \times \frac{5080}{96,65} - 50,80} = 0,91 \quad (3.20)$$

Tabla 3.22: Áreas de igual impermeabilidad - Método Racional.

Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,67				
Tipo de Superficie	Área "A" [m ²]	Rango "C" (recomendado)	"C" (media asumida)	"A" x "C"
Cobertura vegetal	66229,87	0,15 - 0,30	0,225	14901,72
Sin cobertura vegetal	360,64	0,35 - 0,60	0,475	171,30
Parqueaderos, patios, plazas	30550,24	0,90 - 0,95	0,925	28258,97
Cubiertas y/o tejados	169156,80	0,90 - 1	0,950	160698,96
Pavimentos, asfaltos, calles	91401,99	0,90 - 0,95	0,925	84546,84
Σ	357699,54			288577,80

Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,74				
Tipo de Superficie	Área "A" [m ²]	Rango "C" (recomendado)	"C" (media asumida)	"A" x "C"
Cobertura vegetal	23324,47	0,15 - 0,30	0,225	5248,01
Sin cobertura vegetal	3696,76	0,35 - 0,60	0,475	1755,96
Parqueaderos, patios, plazas	34772,36	0,90 - 0,95	0,925	32164,44
Cubiertas y/o tejados	231285,80	0,90 - 1	0,950	219721,51
Pavimentos, asfaltos, calles	129968,59	0,90 - 0,95	0,925	120220,95
Σ	423047,98			379110,86

Subcuenca pluvial 31 - "C" anterior = 0,60				
Tipo de Superficie	Área "A" [m ²]	Rango "C" (recomendado)	"C" (media asumida)	"A" x "C"
Cobertura vegetal	66203,70	0,15 - 0,30	0,225	14895,83
Sin cobertura vegetal	5644,68	0,35 - 0,60	0,475	2681,22
Parqueaderos, patios, plazas	5407,90	0,90 - 0,95	0,925	5002,31
Cubiertas y/o tejados	228253,55	0,90 - 1	0,950	216840,87
Pavimentos, asfaltos, calles	66915,29	0,90 - 0,95	0,925	61896,64
Σ	372425,12			301316,88

Subcuenca pluvial 6 y 31 - "C" anterior = 0,74				
Tipo de Superficie	Área "A" [m ²]	Rango "C" (recomendado)	"C" (media asumida)	"A" x "C"
Cobertura vegetal	75998,27	0,15 - 0,30	0,225	17099,61
Sin cobertura vegetal	9933,82	0,35 - 0,60	0,475	4718,56
Parqueaderos, patios, plazas	44583,53	0,90 - 0,95	0,925	41239,76
Cubiertas y/o tejados	586337,32	0,90 - 1	0,950	557020,45
Pavimentos, asfaltos, calles	374967,67	0,90 - 0,95	0,925	346845,09
Σ	1091820,60			966923,48

Subcuenca pluvial 6 y 31 - "C" anterior = 0,80				
Tipo de Superficie	Área "A" [m ²]	Rango "C" (recomendado)	"C" (media asumida)	"A" x "C"
Cobertura vegetal	44317,12	0,15 - 0,30	0,225	9971,35
Sin cobertura vegetal	20017,66	0,35 - 0,60	0,475	9508,39
Parqueaderos, patios, plazas	106889,06	0,90 - 0,95	0,925	98872,38
Cubiertas y/o tejados	796588,59	0,90 - 1	0,950	756759,16
Pavimentos, asfaltos, calles	411382,67	0,90 - 0,95	0,925	380528,97
Σ	1379195,10			1255640,25

Tabla 3.23: Áreas de igual impermeabilidad - Método Número de curva.

Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,67				
Uso del Suelo	Área [m ²]	Grupo Hidrológico del Suelo		
		%	CN	Producto
Residencial	106880,06	29,88	97	2898
Cobertura vegetal - condiciones buenas	63581,56	17,78	61	1084
Parqueaderos, patios, plazas, techos	95835,93	26,79	98	2626
Pavimentos, asfaltos, calles	91401,99	25,55	98	2504
Σ	357699,54	100,00		9112
CN (ponderado)				91,12

Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,74				
Uso del Suelo	Área [m ²]	Grupo Hidrológico del Suelo		
		%	CN	Producto
Residencial	190456,39	45,02	95	4292
Cobertura vegetal - condiciones buenas	6969,61	1,65	61	100
Cobertura vegetal - condiciones medias	1479,74	0,35	69	24
Parqueaderos, patios, plazas, techos	94173,66	22,26	98	2182
Pavimentos, asfaltos, calles	129968,59	30,72	98	3011
Σ	423047,98	100,00		9609
CN (ponderado)				96,09

Subcuenca pluvial 31 - "C" anterior = 0,60				
Uso del Suelo	Área [m ²]	Grupo Hidrológico del Suelo		
		%	CN	Producto
Residencial	172433,67	46,30	89	4121
Cobertura vegetal - condiciones buenas	37088,06	9,96	61	607
Parqueaderos, patios, plazas, techos	95988,10	25,77	98	2526
Pavimentos, asfaltos, calles	66915,29	17,97	98	1761
Σ	372425,12	100,00		9015
CN (ponderado)				90,15

Subcuenca pluvial 6 y 31 - "C" anterior = 0,74				
Uso del Suelo	Área [m ²]	Grupo Hidrológico del Suelo		
		%	CN	Producto
Residencial	280798,88	25,72	94	2424
Comercial	291377,14	26,69	96	2549
Cobertura vegetal - condiciones buenas	18427,42	1,69	61	103
Cobertura vegetal - condiciones medias	3708,41	0,34	69	23
Parqueaderos, patios, plazas, techos	122541,08	11,22	98	1100
Pavimentos, asfaltos, calles	374967,67	34,34	98	3366
Σ	1091820,60	100,00		9564
CN (ponderado)				95,64

Subcuenca pluvial 6 y 31 - "C" anterior = 0,80				
Uso del Suelo	Área [m ²]	Grupo Hidrológico del Suelo		
		%	CN	Producto
Residencial	16602,98	1,20	92	111
Comercial	740710,11	53,71	96	5176
Cobertura vegetal - condiciones buenas	12604,72	0,91	61	56
Cobertura vegetal - condiciones pobres	4787,66	0,35	79	27
Parqueaderos, patios, plazas, techos	193106,97	14,00	98	1372
Pavimentos, asfaltos, calles	411382,67	29,83	98	2923
Σ	1379195,10	100,00		9665
CN (ponderado)				96,65



Finalmente, con las áreas de aporte de los colectores definidas en el ítem 3.2.2 y con los coeficientes de escorrentía calculados por cada método, se determinó el valor correspondiente para cada tramo del colector como se presentan en las Tablas 3.24 y 3.25:

Tabla 3.24: Áreas de aporte y coeficientes de escorrentía para la Calle Larga.

Tramo	Área de aporte [ha]	Coeficiente de escorrentía	
		“C” (M. Racional)	“C” (M. Número de Curva)
1	8,95	0,91	0,91
2	8,07	0,90	0,90
Total	17,01		

Tabla 3.25: Áreas de aporte y coeficientes de escorrentía para la calle Miguel Vélez.

Tramo	Área de aporte [ha]	Coeficiente de escorrentía	
		“C” (M. Racional)	“C” (M. Número de Curva)
1	35,55	0,81	0,76
	33,84	0,89	0,89
Total	69,39		

3.4.4. Proyección de los coeficientes de escorrentía

De la misma forma que en los estudios iniciales del Plan Maestro para la ciudad de Cuenca, a continuación se presenta una proyección “tentativa” de los valores del coeficiente de escorrentía para un período de diseño de 30 años. La estimación de cada uno de ellos se realizará tomando en consideración únicamente las zonas susceptibles a la impermeabilización del suelo; es decir, se analizará el tipo de zona y las áreas propensas a modificaciones de diferente tipo como la construcción de viviendas, edificios, parqueaderos, etc. El cálculo de los coeficientes de escorrentía proyectados se determinará de igual manera con los Métodos Racional y Número de Curva.

3.4.4.1. Subcuenca pluvial 6 - Coeficiente de escorrentía actual “C” = 0,78

Los límites de esta zonas se describieron en la Tabla 3.7, en donde conjuntamente con los Planos 2 y 9 (anexos), se observa que actualmente existen áreas potenciales para la construcción de nuevas edificaciones. Las manzanas que se consideraron susceptibles a estos cambios se pueden identificar en el Plano 3 (anexos) y son las siguientes: 37, 38 y 39 . Se puede apreciar además, que la extensa zona verde ubicada entre la intersección de la Av. Huayna - Cápac y la calle Paseo 3 de Noviembre corresponde al Parque arqueológico y Ruinas del Pumapungo por lo que esta manzana no se considerará como alterable.

Los cambios realizados consistieron en asumir que dichas áreas presentarán un desarrollo similar a un área actual totalmente consolidada. Las Tablas 7.11 y 7.12 (anexos) presentan los cambios mencionados. Así mismo, asumiendo que dichas áreas serán totalmente impermeabilizadas, se elaboraron las Tablas 3.26 y 3.27 con la proyección del coeficiente de escorrentía.

- Método Racional

Tabla 3.26: Áreas de igual impermeabilidad (Subcuenca pluvial 6 - “C” actual = 0,78 - Método Racional).

Tipo de Superficie	Área “A” [m ²]	Rango “C” (recomendado)	“C” (media asumida)	“A” x “C”
Cobertura vegetal	18595,15	0,15 - 0,30	0,225	4183,91
Sin cobertura vegetal	3478,66	0,35 - 0,60	0,475	1652,36
Parqueaderos, patios, plazas	44654,03	0,90 - 0,95	0,925	41304,97
Cubiertas y/o tejados	226351,56	0,90 - 1	0,950	215033,98
Pavimentos, asfaltos, calles	129968,59	0,90 - 0,95	0,925	120220,95
Σ	423047,98			382396,17

Aplicando la ecuación (2.5) se determinó el valor del coeficiente de escorrentía:

$$\bar{C} = \frac{382396,17}{423047,98} = 0,90 \quad (3.21)$$

- Número de curva

Tabla 3.27: Áreas de igual impermeabilidad (Subcuenca pluvial 6 - “C” actual = 0,78 - Método Número de curva).

Uso del Suelo	Área [m ²]	Grupo Hidrológico del Suelo		
		%	CN	Producto
Residencial	200834,95	47,47	92	4362
Cobertura vegetal - condiciones buenas	4234,67	1,00	61	61
Cobertura vegetal - condiciones medias	1479,74	0,35	69	24
Parqueaderos, patios, plazas, techos	86530,04	20,45	98	2004
Pavimentos, asfaltos, calles	129968,59	30,72	98	3011
Σ	423047,98	100,00		9462
CN (ponderado)				94,62

Aplicando la ecuación (2.22) se obtuvo el valor del coeficiente de escorrentía:

$$C = \frac{(116,40 - \frac{5080}{94,62} + 50,80)^2}{116,40^2 + 4x116,40x\frac{5080}{94,62} - 50,80} = 0,87 \quad (3.22)$$

3.4.4.2. Subcuenca pluvial 6 - Coeficiente de escorrentía actual “C” = 0,90

Los límites de esta zona se describieron en la Tabla 3.7, en donde conjuntamente con los Planos 2 y 9 (anexos), se observa que las áreas susceptibles a cambios en su grado de impermeabilidad forman parte de lugares patrimoniales de la ciudad, tales como el parque de San Blas, parque Luis Cordero y la zona del Barranco a orillas del río Tomebamba. A más de ello, el coeficiente de escorrentía actual refleja que esta zona se encuentra dentro del rango para zonas teóricamente impermeables (Tabla 2.2), por lo que el coeficiente de escorrentía no presentará cambio alguno en los próximos años. De igual forma, comparando con el valor obtenido por el Método Racional, se verifica que el coeficiente de escorrentía proyectado será en cualquier caso: “C” = 0,90.



3.4.4.3. Subcuenca pluvial 31 - Coeficiente de escorrentía actual “C” = 0,76

Los límites de esta zona se describieron en la Tabla 3.7, en donde conjuntamente con los Planos 2 y 9 (anexos), se verifica la existencia de áreas propensas a ser modificadas como consecuencia del desarrollo urbano. Las manzanas que se consideraron susceptibles a estos cambios se pueden apreciar en el Plano 3 (anexos) y son las siguientes: 1, 3, 10, 13, 19 y 21. Las Tablas 7.13 y 7.14 (anexos) presentan los cambios realizados siguiendo las mismas consideraciones de impermeabilización. En forma similar, se elaboró las Tablas 3.28 y 3.29 con la proyección del coeficiente de escorrentía.

- Método Racional

Tabla 3.28: Áreas de igual impermeabilidad (Subcuenca pluvial 31 - “C” actual = 0,76 - Método Racional).

Tipo de Superficie	Área “A” [m ²]	Rango “C” (recomendado)	“C” (media asumida)	“A” x “C”
Cobertura vegetal	30814,38	0,15 - 0,30	0,225	6933,24
Sin cobertura vegetal	3145,06	0,35 - 0,60	0,475	1493,90
Parqueaderos, patios, plazas	67583,54	0,90 - 0,95	0,925	62514,77
Cubiertas y/o tejados	203966,86	0,90 - 1	0,950	193768,51
Pavimentos, asfaltos, calles	66915,29	0,90 - 0,95	0,925	61896,64
Σ	372425,12			326607,06

Aplicando la ecuación (2.5) se determinó el valor del coeficiente de escorrentía:

$$\bar{C} = \frac{326607,06}{372425,12} = 0,88 \quad (3.23)$$

- Número de curva

Tabla 3.29: Áreas de igual impermeabilidad (Subcuenca pluvial 31 - “C” actual = 0,76 - Método Número de curva).

Uso del Suelo	Área [m ²]	Grupo Hidrológico del Suelo		
		%	CN	Producto
Residencial	236522,60	63,51	93	5920
Cobertura vegetal - condiciones buenas	16372,98	4,40	61	268
Parqueaderos, patios, plazas, techos	52614,25	14,13	98	1384
Pavimentos, asfaltos, calles	66915,29	17,97	98	1761
Σ	372425,12	100,00		9334
CN (ponderado)				93,34

Aplicando la ecuación (2.22) se obtuvo el valor del coeficiente de escorrentía:

$$C = \frac{(116,40 - \frac{5080}{93,34} + 50,80)^2}{116,40^2 + 4x116,40x\frac{5080}{93,34} - 50,80} = 0,83 \quad (3.24)$$



3.4.4.4. Subcuenca pluvial 6 y 31 - Coeficiente de escorrentía actual “C” = 0,89

Los límites de esta zona se describieron en la Tabla 3.7, en donde conjuntamente con los Planos 2 y 9 (anexos), se observa que las áreas susceptibles a modificaciones, en términos del grado de impermeabilidad, son irrelevantes respecto a la extensión total de la misma. Adicionalmente, analizando el coeficiente de escorrentía actual, se puede concluir que dicho valor se encuentra dentro del rango máximo de impermeabilidad por lo que el coeficiente de escorrentía proyectado, será el mismo tanto para el Método Racional como el Número de curva: “C” = 0,89.

3.4.4.5. Subcuenca pluvial 6 y 31 - Coeficiente de escorrentía actual “C” = 0,91

Los límites de esta zona se describieron en la Tabla 3.7, en donde conjuntamente con los Planos 2 y 9 (anexos), se observa que no existen áreas propensas a la impermeabilización, ya que esta zona constituye el centro histórico de la ciudad de Cuenca (zona comercial totalmente saturada). El coeficiente de escorrentía proyectado será el mismo tanto para el Método Racional como el Número de curva: “C” = 0,91.

Por último, a manera de resumen, se presenta la Tabla 3.30 con las proyecciones para cada subcuenca pluvial.

Tabla 3.30: Proyección de los coeficientes de escorrentía al año 2043.

Subcuenca Pluvial #	Área [ha]	Tipo de Zona	Coeficiente de escorrentía actual (año 2013)		Coeficiente de escorrentía proyectado	
			“C” (M. Racional)	“C” (M. Número de Curva)	“C” (M. Racional)	“C” (M. Número de Curva)
6	35,77	Residencial	0,81	0,78	0,90	0,87
	42,30	Comercial	0,90	0,90	0,90	0,90
31	37,24	Residencial	0,81	0,76	0,88	0,83
6 y 31	109,18	Mixta	0,89	0,89	0,89	0,89
	137,92	Comercial	0,91	0,91	0,91	0,91



3.5. DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO

El sistema de alcantarillado de la ciudad de Cuenca fue diseñado aplicando el Método Racional tal y como se mencionó en el ítem 3.1.3. Para estimar el caudal actual en los colectores de estudio, se considerarán los coeficientes de escorrentía calculados tanto con el Método Racional como el Número de curva a fin de comparar los resultados obtenidos.

3.5.1. Intensidades de diseño

Las intensidades de diseño se obtendrán a partir de las curvas IDF de la estación Cuenca-Aeropuerto del año 2004 (ETAPA, 2004²⁹); adicionalmente, se propone comparar los valores obtenidos con las curvas IDF en el cantón Cuenca del año 2007 (Tobar Vladimir & Estrella Rafael, 2007³⁰). A continuación se describen los parámetros de las ecuaciones de intensidad para cada estación:

3.5.1.1. Estación Cuenca - Aeropuerto

De todas las estaciones existentes en el cantón Cuenca, la estación del aeropuerto es la más cercana al área de estudio; su ubicación se presenta en la Tabla 3.31:

Tabla 3.31: Ubicación de la Estación Cuenca - Aeropuerto.

Estación	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Código	Tipo	Institución
	Latitud	Longitud				
Cuenca Aeropuerto	78°59'44"	2°53'08"	2516	M-067	AR	DAC

AR: Estación Aeronáutica.

La ecuación de intensidad para esta estación es de la forma:

$$I = \frac{A}{(t + C)^B} \quad (3.25)$$

Donde:

I = Intensidad de lluvia [mm/h].

A, B y C = Parámetros.

t = Duración de la lluvia [min].

Los parámetros A, B y C de la ecuación de intensidad se presentan en la Tabla 3.32, estos valores fueron obtenidos del estudio “Análisis y solución al problema de escorrentía incontrolada para la ciudad de Cuenca” correspondiente al Plan Maestro de la ciudad de Cuenca (II-ETAPA) (ETAPA, 2004²⁹).

Tabla 3.32: Valores de la ecuación de intensidad para la Estación Cuenca - Aeropuerto.

Período de Retorno [años]	5 [min] ≤ t ≤ 60 [min]			60 [min] ≤ t ≤ 1440 [min]		
	A	B	C	A	B	C
2	342,83	0,6405	3,10	2521,5	0,9989	45
5	399,11	0,5992	3,00	3985,0	1,0273	45
10	436,25	0,5802	2,90	5113,2	1,0428	46

En la sección de anexos se presenta la Tabla 7.15 con los valores generados con la ecuación de intensidad. La Figura 7.18 (anexos) muestra las curvas IDF construidas a partir estos valores.

3.5.1.2. Estaciones de referencia para el cantón Cuenca

En el año 2007, ETAPA llevó a cabo un estudio de las lluvias intensas en el cantón Cuenca, para ello, se consideraron los registros de las siguientes estaciones: Ucubamba en ETAPA, Cancán, Saucay, Portete, Matadero en Sayausí, Tarqui D.J Cumbre y Yanuncay en Pucán. Las estaciones más cercanas a la ciudad de Cuenca, dentro del estudio referido, son las de Ucubamba y Sayausí tal como lo muestra la Figura 3.10³¹:

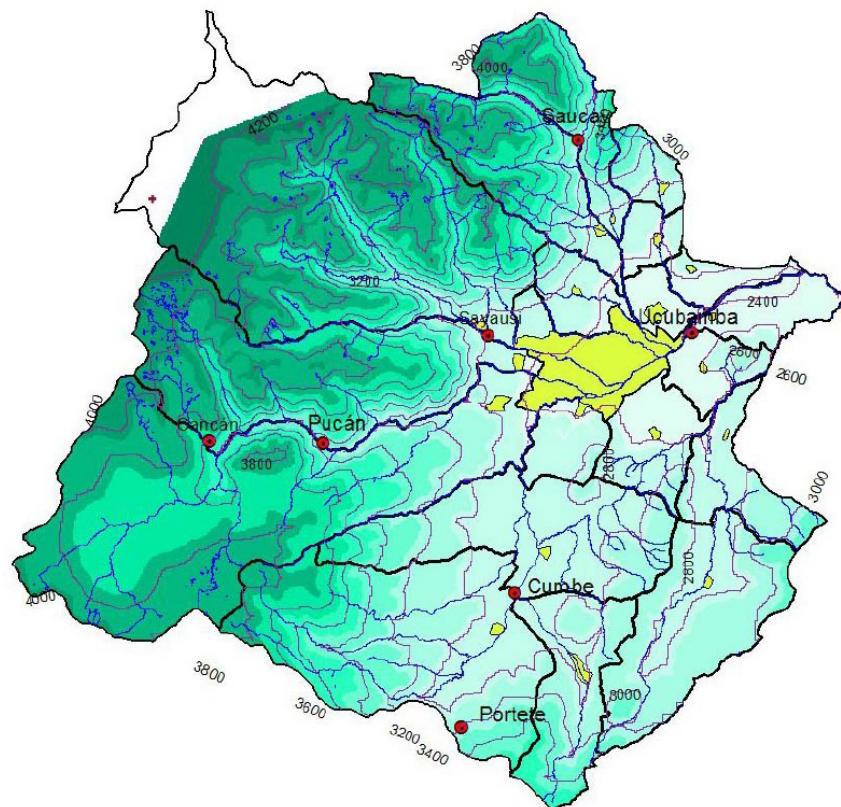


Figura 3.10: Ubicación de las estaciones existentes en el cantón Cuenca.

Las curvas IDF de la ciudad de Cuenca se obtuvieron mediante la interpolación de los registros pluviométricos de las estaciones Ucubamba y Sayausí. La ecuación de intensidad es de la forma:

$$I = A(t + C)^B \quad (3.26)$$

Donde:

I = Intensidad [mm/h].

A y B = Parámetros obtenidos por ajuste lineal de mínimos cuadrados entre los logaritmos de la intensidad y los logaritmos del tiempo.

C = Parámetro obtenido maximizando el coeficiente de correlación de la regresión lineal anterior.

t = Tiempo [min].

Los parámetros A, B y C obtenidos por interpolación se presentan en la Tabla 3.33 (Tobar Vladimir & Estrella Rafael, 2007³⁰):

Tabla 3.33: Valores de la ecuación de intensidad para la ciudad de Cuenca (interpolada Ucubamba - Sayausí).

Período de Retorno [años]	A	B	C
2	1584,5	-0,93043	13,00
3	1746,7	-0,9288	13,40
5	1922,5	-0,92344	13,70
10	2169,3	-0,91715	14,10
15	2311,3	-0,91325	14,30
20	2428,3	-0,91182	14,50
25	2508,0	-0,90976	14,60
50	2757,4	-0,90345	14,90

En la sección de anexos se presenta la Tabla 7.16 con los valores generados con la ecuación de intensidad y La Figura 7.19 con las curvas IDF construidas a partir estos valores.

3.5.1.3. Cálculo de la intensidad de diseño

La intensidad de diseño de los colectores estudiados se ha determinado siguiendo el criterio mencionado en el ítem 2.5.3, es decir, igualando la duración de lluvia con el tiempo de concentración. Para ello, se ha creído conveniente establecer un tiempo referencial en los colectores de estudio. En las Tablas 3.13 y 3.14 se pueden observar los tiempos de concentración calculados con las ecuaciones acordes a las características del área de estudio; finalmente, se ha optado por la ecuación de la California Culvert Practice para el cálculo de la intensidad de diseño, debido principalmente a que dicha ecuación fue empleada en el estudio “Análisis y solución del problema de escorrentía incontrolada en la ciudad de Cuenca” correspondiente al Plan Maestro de la ciudad de Cuenca del 2004 (II-ETAPA)³⁰.

Cabe resaltar, que de los valores obtenidos con la ecuación de la California Culvert Practice, se tomaron los menores tiempos de concentración para cada tramo de los colectores estudiados; debido a que éstos, generan las condiciones más desfavorables para el cálculo de los caudales. La Tabla 3.42 muestra el tiempo de concentración escogido para el cálculo de la intensidad de diseño:

Tabla 3.34: Tiempo de concentración para el área de estudio.

Colector	Método	T_c [min]	T_c menor [min]
Calle Larga (Tramo 1)		14,18	
Calle Larga (Tramo 2)	California Culvert Practice	16,10	14,18
Miguel Vélez		14,21	14,21
	T_c diseño		14,18

Una vez calculado el T_c de diseño, se determinó el período de retorno “T” siguiendo los siguientes criterios:

- **Diseño del sistema de alcantarillado de Cuenca.-** En el ítem 3.1.3 se estableció que los colectores principales, tanto en zonas comerciales como residenciales, deberán ser diseñados para un período de retorno de 10 años.
- **Tipo de vía.-** De acuerdo a la Tabla 2.10, para vías que garantizan la comunicación básica de la ciudad, el período de retorno mínimo será de 10 años.
- **Tipo de zona.-** Analizando la Tabla 2.11, se definió que en zonas con alto valor histórico, zonas comerciales y centros urbanos (similar al centro de la ciudad de Cuenca), se recomiendan períodos de retorno de 10 a 20 años.
- **Tuberías.-** De forma similar, en la Tabla 2.17, para tuberías con áreas de drenaje mayor a 10 [ha], el período de retorno a considerar será de 10 años (similar al colector de la Calle Larga).

- Canales.**- Finalmente, en la Tabla 2.18, para canales de sección revestida en concreto y con áreas de drenaje menores a 1000 [ha], el período de retorno será de 10 años (similar al colector de la calle Miguel Vélez).

Una vez analizados los criterios anteriores, se ha establecido un período de retorno $T = 10$ [años]. Con esta consideración y conjuntamente con el tiempo de concentración $T_c = 14,18$ [min], se calcularon las intensidades de diseño de acuerdo a las curvas IDF de las estaciones mencionadas en el ítem 3.5.1. La Tabla 3.35 presenta estos resultados en donde la intensidad máxima obtenida, corresponde a la interpolación de las estaciones Ucubamba y Sayausí:

Tabla 3.35: Intensidad de diseño para los colectores de la calle Miguel Vélez y Calle Larga.

Ecuación de intensidad	T_c [min]	T [años]	I [mm/h]
Cuenca - Aeropuerto	14,18	10	84,08
Interpolada Ucubamba - Sayausí			101,20

Así mismo, con el período de retorno de 10 años y haciendo uso de la Tabla 2.3, se puede determinar el factor de incremento para los coeficientes de escorrentía calculados en cada subcuenca pluvial. Por último, siguiendo esta tabla se puede concluir que no es necesario incrementar los coeficientes antes obtenidos y se puede continuar con el cálculo de los caudales de diseño.

3.5.2. Caudal de diseño de la calle Miguel Vélez

Los factores que intervienen en la ecuación del Método Racional fueron descritos en el ítem 2.4.4.1; los valores de cada uno de ellos se resumen en la Tabla 3.36:

Tabla 3.36: Parámetros para el cálculo del caudal de diseño de la calle Miguel Vélez.

M. Racional	M. Número de Curva	Intensidad de diseño [mm/h]		Área de aporte [ha]
		Cuenca - Aeropuerto	Interpolada Ucubamba - Sayausí	
0,81	0,76			35,55
0,89	0,89	84,08	101,20	33,84

Aplicando la ecuación (2.4) se han obtenido los siguientes caudales de diseño:

“C” - Método Racional

Con el valor de intensidad de la estación Cuenca - Aeropuerto:

$$Q = \frac{0,81 \times 84,08 \times 35,55}{360} + \frac{0,89 \times 84,08 \times 33,84}{360} = 6,73 + 7,03 = 13,76[m^3/s] \quad (3.27)$$

Con el valor de intensidad de la interpolación de las estaciones Ucubamba y Sayausí:

$$Q = \frac{0,81 \times 101,20 \times 35,55}{360} + \frac{0,89 \times 101,20 \times 33,84}{360} = 8,10 + 8,46 = 16,56[m^3/s] \quad (3.28)$$

"C" - Método Número de Curva

Con el valor de intensidad de la estación Cuenca - Aeropuerto:

$$Q = \frac{0,76x84,08x35,55}{360} + \frac{0,89x84,08x33,84}{360} = 6,31 + 7,03 = 13,34[m^3/s] \quad (3.29)$$

Con el valor de intensidad de la interpolación de las estaciones Ucubamba y Sayausí:

$$Q = \frac{0,76x101,20x35,55}{360} + \frac{0,89x101,20x33,84}{360} = 7,60 + 8,46 = 16,06[m^3/s] \quad (3.30)$$

Las Tablas 3.37 y 3.38 presentan un resumen con los caudales de diseño calculados por el Método Racional y Número de curva respectivamente:

Tabla 3.37: Caudal de diseño de la calle Miguel Vélez - Método Racional.

Estación:	Cuenca - Aeropuerto	Interpolada	Ucubamba - Sayausí
Tramo	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]	
1	6,73		8,10
	7,03		8,46
Q_{total}	13,76		16,56

Tabla 3.38: Caudal de diseño de la calle Miguel Vélez - Método Número de curva.

Estación:	Cuenca - Aeropuerto	Interpolada	Ucubamba - Sayausí
Tramo	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]	
1	6,31		7,60
	7,03		8,46
Q_{total}	13,34		16,06

3.5.3. Caudal de diseño de la Calle Larga

Los factores que intervienen en la ecuación del Método Racional fueron descritos en el ítem 2.4.4.1; los valores de cada uno de ellos se resumen en la Tabla 3.39:

Tabla 3.39: Parámetros para el cálculo del caudal de diseño de la Calle Larga.

Coeficiente de escorrentía "C"	Intensidad de diseño [mm/h]			Área de aporte [ha]
	M. Racional	M. Número de Curva	Cuenca - Aeropuerto	
0,91	0,91		84,08	101,20
0,90	0,90			8,95 8,07

Aplicando la ecuación (2.4) se han obtenido los siguientes caudales de diseño:

"C" - Método Racional y "C" - Método Número de Curva

Debido a que los coeficientes de escorrentía determinados en el área de aporte de la Calle Larga son iguales tanto en el Método Racional como en el Método del Número de curva, los caudales de diseño serán los mismos a los calculados a continuación:

Tramo 1

Con el valor de intensidad de la estación Cuenca - Aeropuerto:

$$Q = \frac{0,91x84,08x8,95}{360} = 1,90[m^3/s] \quad (3.31)$$

Con el valor de intensidad de la interpolación de las estaciones Ucubamba y Sayausí:

$$Q = \frac{0,91x101,20x8,95}{360} = 2,29[m^3/s] \quad (3.32)$$

Tramo 2

Con el valor de intensidad de la estación Cuenca - Aeropuerto:

$$Q = \frac{0,90x84,08x8,07}{360} = 1,70[m^3/s] \quad (3.33)$$

Con el valor de intensidad de la interpolación de las estaciones Ucubamba y Sayausí:

$$Q = \frac{0,90x101,20x8,07}{360} = 2,04[m^3/s] \quad (3.34)$$

La Tabla 3.40 presenta un resumen con los caudales de diseño calculados por el Método Racional y Número de curva:

Tabla 3.40: Caudal de diseño de la Calle Larga - Métodos Racional y Número de curva.

Estación:	Cuenca - Aeropuerto	Interpolada Ucubamba - Sayausí
Tramo	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]
1	1,90	2,29
2	1,70	2,04

3.5.4. Caudales proyectados

Con los coeficientes de escorrentía proyectados en la Tabla 3.30, se calcularon a su vez, los caudales esperados para el año 2043. El procedimiento de cálculo es similar al seguido para el caudal de diseño actual y se presenta a continuación:



3.5.4.1. Caudal proyectado de la calle Miguel Vélez

Los factores que intervienen en la ecuación del Método Racional se resumen en la Tabla 3.41:

Tabla 3.41: Parámetros para el cálculo del caudal proyectado de la calle Miguel Vélez.

Coeficiente de escorrentía “C” (proyectado)	Intensidad de diseño [mm/h]		Área de aporte [ha]
	Cuenca - Aeropuerto	Interpolada Ucubamba - Sayausí	
0,83	84,08	101,20	35,55
0,87			33,84

Aplicando la ecuación (2.4) se han obtenido los siguientes caudales de diseño:

Con el valor de intensidad de la estación Cuenca - Aeropuerto:

$$Q = \frac{0,83x84,08x35,55}{360} + \frac{0,87x84,08x33,84}{360} = 6,89 + 6,88 = 13,77[m^3/s] \quad (3.35)$$

Con el valor de intensidad de la interpolación de las estaciones Ucubamba y Sayausí:

$$Q = \frac{0,83x101,20x35,55}{360} + \frac{0,87x101,20x33,84}{360} = 8,30 + 8,27 = 16,57[m^3/s] \quad (3.36)$$

La Tabla 3.42 presenta un resumen con el caudal proyectado:

Tabla 3.42: Caudal proyectado de la calle Miguel Vélez al año 2043.

Estación:	Cuenca - Aeropuerto	Interpolada Ucubamba - Sayausí
Tramo	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]
1	6,89 6,88	8,30 8,27
Q_{total}	13,77	16,57

3.5.4.2. Caudal proyectado de la Calle Larga

Los factores que intervienen en la ecuación del Método Racional son los mismos que la Tabla 3.39. Esto se debe al hecho de que los coeficientes de escorrentía proyectados al año 2043 corresponden a los actuales dentro del área de aporte de este colector. De la misma forma, los caudales proyectados son los que se presentaron en la Tabla 3.40.

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Una vez concluido el cálculo del coeficiente de escorrentía actual y los caudales de diseño, se resumen a continuación los resultados obtenidos en los ítems 3.4 y 3.5. Adicionalmente, se establecerá la variación de estos parámetros con los valores proyectados en el Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado para la ciudad de Cuenca de 1985.

4.1. Coeficientes de Escorrentía

Con referencia a los Planos CUE-ED-237 y CUE-FT-202 (anexos) y a los cálculos realizados en el ítem 3.4.3, se elaboró la Tabla 4.1 en la que se presenta los coeficientes de escorrentía anteriores (año 1985 y proyección realizada para el año 2015) y los valores actuales obtenidos durante el presente estudio.

Tabla 4.1: Tabla comparativa de la variación del coeficiente de escorrentía.

Subcuenca Pluvial #	Área [ha]	Tipo de Zona	Coeficiente de escorrentía anterior		Coeficiente de escorrentía actual	
			“C” (año 1985)	“C” (proyectado al año 2015)	“C” (M. Racional)	“C” (M. Número de Curva)
6	35,77	Residencial	0,43	0,67	0,81	0,78
	42,3	Comercial	0,66	0,74	0,90	0,90
31	37,24	Residencial	0,35	0,60	0,81	0,76
6 y 31	109,18	Mixta	0,66	0,74	0,89	0,89
	137,92	Comercial	0,79	0,80	0,91	0,91

4.2. Caudales de Diseño

4.2.1. Caudal de diseño de la calle Miguel Vélez

A fin de comparar el caudal máximo a ser transportado por este colector, se analizó la Tabla 3.10, verificando que las velocidades en algunos tramos del colector, superan el límite máximo permisible establecido en el ítem 2.6.6.2.1 ($v = 5 \text{ [m/s]}$). Las velocidades fueron obtenidas aplicando la ecuación de Manning en función de la sección, coeficiente de rugosidad y la pendiente de cada tramo del colector.

La Tabla 4.2 presenta los caudales mencionados y la capacidad máxima del colector; este valor se obtuvo aplicando la ecuación de la continuidad, en la que el área transversal del colector, corresponde al promedio de las áreas de cada tramo, mientras que para la velocidad, se calcularon los percentiles 5 % y 95 % de este rango de valores ya que se disponen de velocidades extremas superiores a los 10 [m/s]. Los tramos del colector con velocidades extremas son los siguientes: Av. de las Américas hasta la calle Vega Muñoz, Mariscal Sucre hasta pasar por la calle Presidente Córdoba.

Tabla 4.2: Tabla comparativa del caudal de diseño en la calle Miguel Vélez.

Tramo	velocidad promedio [m/s]	Área promedio [m ²]	Caudal máximo [m ³ /s]	Caudal actual [m ³ /s]	Caudal proyectado [m ³ /s]
1	8,07	2,90	23,43	13,34	13,77

4.2.2. Caudal de diseño de la Calle Larga

Siguiendo el procedimiento anterior, se verificó que las velocidades calculadas en la Tabla 3.8 se encuentran debajo del límite máximo permisible; así mismo, estas velocidades fueron obtenidas aplicando la ecuación de Manning en función de la sección, coeficiente de rugosidad y la pendiente de cada tramo del colector.

La Tabla 4.3 presenta los caudales mencionados y la capacidad máxima del colector; este valor se obtuvo aplicando la ecuación de la continuidad, en la que el área transversal y la velocidad del colector corresponden al promedio en cada tramo. De la misma forma que en los cálculos anteriores, el colector de la Calle Larga se dividirá en los 2 tramos antes definidos.

Tabla 4.3: Tabla comparativa del caudal de diseño en la Calle Larga.

Tramo	Velocidad promedio [m/s]	Área promedio [m ²]	Caudal máximo [m ³ /s]	Caudal actual [m ³ /s]	Caudal proyectado [m ³ /s]
1	3,46	0,55	1,91	1,90	1,90
2	4,12	1,02	4,20	1,70	1,70

5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

5.1. Estudio comparativo de la variación del coeficiente de escorrentía

Analizando la tabla 4.1, se puede comprobar que los coeficientes determinados por los Métodos Racional y Número de curva, presentan un incremento notable respecto a los valores del año 1985, e incluso, superan a la proyección realizada para un período de 30 años (1985 - 2015); estos resultados se ven justificados como consecuencia de la urbanización en la ciudad de Cuenca durante los últimos años.

En la Tabla 4.1 se puede observar también, que los coeficientes de escorrentía actuales difieren entre los métodos empleados para su cálculo; sin embargo, esta diferencia se presenta únicamente en zonas residenciales, en donde los valores obtenidos con el Método Racional son mayores a los calculados con el Método del Número de curva.

Profundizando este análisis, se ha comparado la metodología propuesta y las suposiciones iniciales entre cada método, concluyendo que la diferencia existente entre los coeficientes de escorrentía, radica primordialmente en que el Método Racional no considera efectos de retención temporal de agua (hasta la saturación del suelo), así como procesos de infiltración y el grado de rugosidad superficial característicos en los distintos tipos de cobertura del suelo; mientras que, el Método del Número de curva, considera estos factores a través de la asignación del grupo hidrológico del suelo y otros parámetros como las condiciones hidrológicas, áreas impermeables conectadas al sistema de drenaje, etc., logrando así, estimar de una manera más técnica el coeficiente de escorrentía, en lugar de emplear las tablas usuales con los coeficientes de escorrentía recomendados para los distintos tipos de zonas y superficies presentes en cuencas urbanas.

Por otra parte, para zonas comerciales y mixtas se obtuvieron resultados prácticamente iguales, debido a que estas zonas, presentan áreas de hormigón (patios, plazas, parqueaderos, etc.) y superficies destinadas a techos y/o cubiertas cuyos coeficientes de escorrentía, tanto para el Método Racional como para el Número de Curva, son cercanos a la unidad.

5.2. Estudio comparativo de los caudales de diseño

Con referencia a las Tablas 3.37, 3.38 y 3.40, en las que se presentan los caudales de diseño de los colectores de estudio, se puede observar que el caudal máximo esperado se obtendrá aplicando el Método Racional y con los valores de intensidad interpolados de las estaciones Ucubamba - Sayausí. Así mismo, comparando los caudales obtenidos entre cada método, no se aprecia una diferencia considerable ya que los coeficientes de escorrentía determinados en las áreas de aporte de los colectores de estudio (Tablas 3.24 y 3.25) presentan valores similares entre sí. De igual manera, no existe mayor diferencia para los caudales generados con los coeficientes de escorrentía proyectados, razón por la cual, este estudio comparativo se realizará en función de los caudales actuales de diseño.

Con el estudio de los caudales obtenidos con la intensidad de diseño de las estaciones Cuenca - Aeropuerto y Ucubamba - Sayausí, se puede apreciar una diferencia significativa entre cada uno de ellos. La razón principal se derivaba del hecho que la intensidad de diseño, para la segunda estación, corresponde a un estudio global de las lluvias intensas registradas para el cantón Cuenca, y por ende, se tendrán registros de precipitaciones aproximadas para la ciudad de Cuenca; mientras que para la primera estación, los registros pluviométricos representan con mayor exactitud el fenómeno de precipitación en la ciudad, ya que su ubicación, está próxima a la zona de estudio. Con esta aclaración, se ha definido el caudal de diseño en base a los registros de precipitación de la estación Cuenca - Aeropuerto y los coeficientes de escorrentía del Método Número de curva.

Por último, analizando la Tabla 4.2, se puede concluir que la sección construida para el colector de la calle Miguel Vélez es suficiente para transportar el caudal proyectado; teóricamente el colector estará trabajando al 60 % de su



capacidad bruta, por lo que se ratifica, el sobredimensionamiento mencionado en la fase del Diagnóstico del sistema de alcantarillado de Cuenca en 1985 (Tabla 3.4). De la misma forma, analizando la Tabla 4.3, se puede concluir que la sección construida en el primer tramo del colector de la Calle Larga, se encuentra al límite de su capacidad (99 % de su capacidad bruta), mientras que para el segundo tramo, el colector presenta una sección adecuada y suficiente para transportar el caudal proyectado (40 % de su capacidad). Las comparaciones realizadas siguen el criterio que los colectores deben ser diseñados con una holgura del 18 % en relación a la capacidad máxima del colector (ítem 3.1.3).

5.3. Recomendaciones para el control de escorrentía en cuencas urbanas

Durante los últimos años, en países como Estados Unidos y el Reino Unido, se han desarrollado varias técnicas de drenaje urbano sostenible en términos de concientización y prevención de riesgos y del control de caudales desde los sitios de origen de escorrentía (Bolinaga Juan & Franceschi Luis, 1979¹⁷). Dentro de las numerosas técnicas para este propósito, se pueden citar: sistemas de infiltración (pozos y zanjas), sistemas de captación y transporte (drenes filtrantes, cunetas verdes y franjas filtrantes) y sistemas de almacenamiento (estanques de retención y humedales artificiales).

Sin embargo, las técnicas mencionadas, difícilmente pueden ser aplicadas en ciudades en donde no ha existido una adecuada planificación hidráulica o cuando en ellas, se han subestimado los caudales de crecida en el diseño sistemas de drenaje, especialmente, frente a riesgos de inundaciones y colapso de estructuras hidráulicas. En zonas urbanísticamente desarrolladas, como la ciudad de Cuenca, las técnicas usuales para la evacuación de la escorrentía, no pueden ser aplicadas debido a problemas por falta de espacio y costos elevados en soluciones como la implantación de tanques de tormentas o estanques de almacenamiento.

Frente a esta problemática, se dispone de una técnica de drenaje sostenible, relativamente nueva y aplicable para la ciudad de Cuenca. El control de la escorrentía a través de pavimentos permeables, permitirá retrasar los efectos de impermeabilización de las superficies del suelo. En función de los resultados discutidos en el ítem anterior, se confirma la necesidad de establecer normativas que regulen la construcción de parques, plazas, parqueaderos, etc., empleando este tipo de pavimentos, los cuales, se basan en el principio de infiltración y retención de las escorrentías en el origen del sistema.

El marco teórico y el estudio detallado de esta técnica, puede ser consultado en diversos manuales y publicaciones afines al tema de drenaje sostenible, sin embargo, éstas quedan fuera del alcance de la presente tesis, por lo que solamente se citará como referencia, el estudio desarrollado para el control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables (García Eduardo, 2011³²).



6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] MADEREY R., Laura E., 2005, "Principios de Hidrogeografía - Estudio del Ciclo Hidrológico", Geografía para el siglo XXI - Serie de textos universitarios, Primera edición.
- [2] AROCHA R. Simón, 1983, "Cloacas y Drenajes. Teoría y Diseño", Ediciones Vega Caracas - Madrid, Primera edición, Caracas, Venezuela.
- [3] CHOW Ven T., MAIDMENT, David R., MAYS, Larry W., 2000, "Hidrología Aplicada", Editorial McGraw-Hill, Primera edición.
- [4] APARICIO M., Francisco J., 1992, "Fundamentos de Hidrología de Superficie", Grupo Noriega Editores, Editorial Limusa.
- [5] CAMPOS A., D. F., 1998, "Procesos del Ciclo Hidrológico", Editorial Potosina Universitaria, Tercera Edición.
- [6] BOLINAGA, Juan J., 1999, "Proyectos de Ingeniería Hidráulica", Editorial Fundación Polar.
- [7] MORÁN CHEREQUE, Wendor, 2003, "Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil", Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [8] PONCE, Víctor M. 1996, "Engineering Hydrology. Principles and Practices", Prentice Hall Editorial, First edition.
- [9] FUGITA, O., CÁMARA, F., TERRA, B., MAKIBARA, H., DOS SANTOS, J., TAKATOSHI, H & ASSAE, S., 1979, "Drenaje urbano - Manual de proyecto", Secretaría de Obras del medio Ambiente de San Pablo - Brasil.
- [10] HERNÁNDEZ M., Aurelio, 1997, "Saneamiento y Alcantarillado. Vertidos Residuales", Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Colección Seinor, Quinta edición, Madrid, España.
- [11] SCHUCHMAN, Peter F., 2001, "The Fate of Nitrogenous Fertilizer Applied to Differing Turfgrass Systems". Research report. Hydrogeology Department of Geosciences State University of New York at Stony Brook, New York, U.S. www.geo.sunysb.edu/reports/schuchman-01/.
- [12] MARTÍNEZ DE AZAGRA, P. Andrés, 2006. "Particularización al Método de los Coeficientes de Escorrentía", Universidad de Valladolid, España. www.oasification.com/archivos/Coeficientes%20de%20escorrentía.pdf
- [13] MARTÍNEZ DE AZAGRA, P. Andrés, 2009, "Hidrología de Conservación de Aguas: Captación de precipitaciones horizontales y escorrentías en zonas secas", Universidad de Valladolid, España.
- [14] LÓPEZ C., Ricardo A., 1999, "Diseño de acueductos y alcantarillados", Escuela colombiana de Ingeniería, Editorial Marcombo Alfaomega, Segunda edición, Santafé de Bogotá, Colombia.



- [15] Department of Agriculture (U.S.D.A.), 1985, "Urban Hydrology for Small Watersheds", Technical Release 55, Second edition.
- [16] NIELSEN, Robert D. & ALLEN T., Hjelmfelt Jr., 2004, "Hydrologic Soil Group Assignment", Hydrology National Engineering Handbook.
- [17] BOLINAGA, Juan J. & FRANCESCHI, Luis E., 1979, "Drenaje Urbano", Editorial Génesis Caracas, Primera Edición.
- [18] DE FREITAS, Adir J., 1984, "Tiempo de Concentración", Asociación de Ingenieros de SUDECAP, Belo Horizonte, Brasil.
- [19] AYALA U., Leopoldo, 1979, "Hidrología Urbana", Editorial Génesis Caracas. Primera Edición.
- [20] SOROOSH, Sharifi & SEYED, Mahmood H., 2011, "Methodology for Identifying the Best Equations for Estimating the Time of Concentration of Watersheds in a Particular Region". Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE.
- [21] MONJO I AGUT, Robert, 2010, "El índice n de la precipitación intensa". Universidad de Valencia, España. www.divulgameteo.es/uploads/Indice-n.pdf
- [22] RODRÍGUEZ, F. Luis, 1999, "Estudio de Lluvias Intensas", Dirección de Hidrología. Departamento de Hidrometría. Instituto Nacional de Lluvia y Meteorología e Hidrología (INAMHI).
- [23] Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado (E.T.A.P.A), & Consorcio Consultor HIDROSERVICE-INAM/OTECO 1987, Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado del Área Metropolitana de la Ciudad de Cuenca (I-ETAPA), Impreseñal Cía. Ltda., Cuenca, Ecuador.
- [24] Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado (E.T.A.P.A), 1985, Unidad de Catastros, Cartas topográficas digitales del Instituto Geográfico Militar (IGM), Cuenca, Ecuador.
- [25] BARRERA, Julio V., CABRERA, Lauro G., GUERREO, Luis A., LAZO, Henry R. & PÉREZ Vladimir I. "Análisis del proceso de evolución urbana de la ciudad de Cuenca"; Tomo 3. Tesis profesional de Arquitectura, Cuenca, 2006 - 2008.
- [26] Ilustre Municipalidad de Cuenca, Unidad de Planificación, Archivo aerofotogramétrico de la ciudad de Cuenca, 2013, Cuenca, Ecuador.
- [27] Dirección General de Aviación Civil Ecuador (D.A.C.). Información general de la estación Cuenca - Aeropuerto, 2013. www.dgac.gob.ec
- [28] Instituto Geográfico Militar (I.G.M.), Mapas geológicos de Cuenca (Hoja 53 - NV-F) y Azogues (Hoja 73 - ÑV-E), 1980, Escala 1:100.000.



[29] Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado (E.T.A.P.A), 2004, "Análisis y solución al problema de escorrentía incontrolada para la ciudad de Cuenca", Plan Maestro de la ciudad de la ciudad de Cuenca (II-ETAPA), Cuenca, Ecuador.

[30] TOBAR, Vladimir & ESTRELLA, Rafael, 2007, "Lluvias Intensas en el cantón Cuenca", Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado (E.T.A.P.A). Cuenca, Ecuador.

[31] PIZARRO T., Roberto, FLORES V., Juan Pablo, SANGÜESA P., Claudia, & MARTÍNEZ, A. Enzo, 2003, "Módulo 2 - Curvas Intensidad Duración Frecuencia", Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental, Universidad de Talca, Talca, Chile. www.eias.utm.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/b_modulo_IDF.pdf

[32] GARCÍA H., Eduardo, 2011, "Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: Aplicación en climas mediterráneos", Universidad Politécnica de Valencia.



7. ANEXOS

Tabla 7.1: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,67 - Método Racional).

Tabla 7.2: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,74 - Método Racional).

Tabla 7.3: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 31 - "C" anterior = 0,60 - Método Racional).

Tabla 7.4: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 y 31 - "C" anterior = 0,74 - Método Racional).

Tabla 7.5: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 y 31 - "C" anterior = 0,80 - Método Racional).

Tabla 7.6: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,60 - Método Número de Curva).

Tabla 7.7: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,74 - Método Número de Curva).

Tabla 7.8: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 31 - "C" anterior = 0,60 - Método Número de Curva).

Tabla 7.9: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 y 31 - "C" anterior = 0,74 - Método Número de Curva).

Tabla 7.10: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 y 31 - "C" anterior = 0,80 - Método Número de Curva).

Tabla 7.11: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 - "C" actual = 0,78 - Método Racional).

Tabla 7.12: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,78 - Método Número de Curva)

Tabla 7.13: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 31 - "C" anterior = 0,76 - Método Racional).

Tabla 7.14: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 31 - "C" anterior = 0,76 - Método Número de Curva).

Tabla 7.15: Valores de Intensidad de lluvia de la Estación Cuenca - Aeropuerto (2004).

Tabla 7.16: Valores de Intensidad de lluvia interpoladas de las Estaciones Ucumbamba - Sayausí (2007).

Tabla 7.1: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,67 - Método Racional).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Área Total [m ²]	Área con vegetación [m ²]	Área sin vegetación [m ²]	Área con hormigón [m ²]	Área con o Tejados [m ²]	Cubiertas de Edificios
6	2	3	42	132145,94	63581,56	0,00	15514,68	53049,70	
	3	1	29	15420,46	0,00	0,00	3588,59	11831,87	
	3	3	1	4400,18	0,00	0,00	360,47	4039,71	
			2	2033,38	0,00	0,00	136,25	1897,13	
			3	11851,09	427,95	0,00	1310,69	10112,45	
			4	33715,53	0,00	0,00	2938,82	30776,71	
			5	9562,93	0,00	0,00	217,87	9345,06	
			6	12156,21	0,00	0,00	1213,37	10942,84	
			7	9149,60	1893,05	0,00	1265,91	5990,64	
			8	3884,26	0,00	360,64	0,00	3523,62	
			11	2082,13	0,00	0,00	0,00	2082,13	
			13	3940,42	0,00	0,00	72,05	3868,37	
			14	2477,22	59,57	0,00	0,00	2417,65	
			15	2306,07	59,57	0,00	0,00	2246,50	
			16	3410,08	208,17	0,00	212,42	2989,49	
			17	2493,08	0,00	0,00	212,42	2280,66	
			18	3904,94	0,00	0,00	0,00	3904,94	
			19	4830,63	0,00	0,00	184,52	4646,11	
			36	6533,40	0,00	0,00	3322,18	3211,22	
Σ				266297,55	66229,87	360,64	30550,24	169156,80	

Tabla 7.2: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,74 - Método Racional).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Área Total [m ²]	Área con vegetación [m ²]	Área sin vegetación [m ²]	Área con hormigón [m ²]	Área con o Tejados [m ²]	Cubiertas de Edificios
6	2	2	37	14712,73	1749,01	0,00	3744,36	9219,36	
			38	10069,93	177,11	0,00	1021,62	8871,20	
			39	9557,06	430,03	0,00	2090,36	7036,67	
			40	10307,66	795,26	0,00	1466,33	8046,07	
2	3	4	41	9655,51	160,17	0,00	1600,23	7895,11	
			5	8189,02	0,00	0,00	415,91	7773,11	
			6	9412,08	189,83	342,77	739,65	8139,83	
			7	7327,24	0,00	0,00	1721,95	5605,29	
			8	6236,95	366,19	68,94	612,22	5189,60	
			9	10269,87	476,66	0,00	1306,50	8486,71	
			10	8125,90	187,25	95,88	1502,67	6340,10	
			11	10968,25	1043,21	0,00	2288,48	7636,56	
			12	4089,80	0,00	153,54	0,00	3936,26	
			13	4027,53	0,00	0,00	132,25	3895,28	
			14	12067,20	63,38	1137,29	1069,51	9797,02	
			21	16149,15	2665,60	136,96	99,66	13246,93	
			22	6042,77	0,00	0,00	1524,21	4518,56	
			23	7905,99	0,00	0,00	3193,45	4712,54	
			24	5648,49	468,37	0,00	462,19	4717,93	
			25	6676,39	325,93	68,89	619,92	5661,65	
			26	3603,88	0,00	0,00	0,00	3603,88	
			27	4181,79	0,00	0,00	0,00	4181,79	
			28	4548,66	1055,02	0,00	93,27	3400,37	
			29	3330,95	248,58	0,00	406,69	2675,68	



30	2631,03	1290,72	241,70	864,25	234,37
31	2631,03	1074,38	405,36	550,83	600,47
32	10697,56	318,81	616,77	790,35	8971,63
33	2401,64	0,00	0,00	504,62	1897,02
34	23672,44	2780,10	210,57	3188,23	17493,54
36	15781,63	1659,04	0,00	257,85	13864,74
37	5824,93	1433,14	0,00	0,00	4391,79
38	10378,56	2516,84	218,10	802,39	6841,23
39	4818,52	463,47	0,00	526,49	3828,56
40	8806,52	862,04	0,00	733,57	7210,91
41	12330,73	524,33	0,00	442,36	11364,04
Σ	293079,39	233324,47	3696,76	34772,36	231285,80

Tabla 7.3: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 31 - "C" anterior = 0,60 - Método Racional).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Área Total [m ²]	Área con vegetación [m ²]	Área sin vegetación [m ²]	Área con hormigón [m ²]	Área con o Tejados [m ²]	Cubiertas de Edificios
31	6	2	1	46230,18	8023,63	1750,38	0,00	36456,17	
	2		2	3771,04	901,74	320,14	0,00	2549,16	
	3		3	46631,47	11523,51	0,00	0,00	35107,96	
	4		4	5742,52	358,11	0,00	0,00	5384,41	
	6		6	8595,40	2675,45	0,00	0,00	5919,95	
	7		7	22046,85	2279,20	0,00	0,00	19767,65	
	8		8	14995,11	5412,20	0,00	0,00	9582,91	
	9		9	4305,55	1030,85	0,00	0,00	3274,70	
	10		10	9726,61	5016,62	0,00	0,00	4709,99	
	11		11	7646,01	0,00	0,00	350,24	7295,77	
	12		12	11701,45	2062,36	0,00	594,27	9044,82	
	13		13	4305,55	2383,23	0,00	0,00	1922,32	
	14		14	7561,14	0,00	0,00	0,00	7561,14	
	15		15	8761,06	0,00	0,00	0,00	8761,06	
	16		16	8316,47	0,00	0,00	0,00	8316,47	
	17		17	8728,73	1018,05	0,00	434,72	7275,96	
	18		18	27528,31	1528,36	0,00	1730,84	24269,11	
	19		19	8728,73	6170,08	0,00	0,00	2558,65	
	20		20	41458,92	13548,06	2824,92	2297,83	22788,11	
	21		21	8728,73	2272,25	749,24	0,00	5707,24	
	Σ			305509,83	66203,70	5644,68	5407,90	228253,55	

Tabla 7.4: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 y 31 - "C" anterior = 0,74 - Método Racional).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Área Total [m ²]	Área con vegetación [m ²]	Área sin vegetación [m ²]	Área con hormigón [m ²]	Área con o Tejados [m ²]	Cubiertas de Edificios
6	1	1	1	6803,37	424,69	0,00	0,00	0,00	6378,68
	2		2	12296,00	481,44	0,00	1073,68		10740,88
	10		5865,83	415,57	170,08	1641,23			3638,95
	11		5220,27	132,88	0,00	138,14			4949,25
	12		3590,93	92,20	0,00	160,82			3337,91
	13		7839,24	0,00	0,00	1625,39			6213,85
	14		8729,91	345,98	247,74	571,24			7564,95
	15		10680,63	810,34	99,77	1790,81			7979,71
	16		4654,88	0,00	0,00	0,00			4654,88
	17		9597,84	1019,24	0,00	226,13			8352,47
	18		10837,22	272,93	276,97	0,00			10287,32
	19		3879,55	0,00	0,00	31,67			3847,88
	20		4673,11	62,03	0,00	0,00			4611,08
	21		10129,20	1335,38	377,51	674,61			7741,70
	22		10808,30	687,08	815,49	532,77			8772,96
	23		4152,50	132,80	307,30	291,55			3420,85
	24		4450,29	244,71	0,00	0,00			4205,58
	25		4574,18	257,48	0,00	0,00			4316,70
	26		8952,65	0,00	419,84	225,35			8307,46
	27		7807,90	2233,05	600,98	238,64			4735,23
	28		9440,77	929,87	0,00	935,38			7575,52
	29		10614,92	417,81	251,96	867,48			9077,67
	30		10401,72	724,90	0,00	626,69			9050,13
	31		10790,83	628,30	0,00	1010,46			9152,07





7	9542,93	3726,49	862,63	0,00	4953,81
8	7413,68	1067,55	0,00	0,00	6346,13
9	3464,84	0,00	0,00	0,00	3464,84
10	24738,62	3913,16	0,00	0,00	20825,46
14	3557,26	74,29	0,00	191,59	3291,38
15	10965,89	1543,82	0,00	313,87	9108,20
16	6224,35	187,93	0,00	0,00	6036,42
17	4384,81	2529,87	1178,54	625,65	50,75
18	9752,94	1237,53	257,51	0,00	8257,90
19	9926,55	236,42	0,00	442,30	9247,83
20	5486,35	111,17	738,43	518,33	4118,42
21	5297,94	280,02	0,00	723,42	4294,50
22	9874,22	996,91	0,00	0,00	8877,31
23	10836,44	366,26	0,00	1528,69	8941,49
24	10999,90	442,45	0,00	512,76	10044,69
25	9423,26	628,42	249,18	565,39	7980,27
26	4042,07	560,04	0,00	103,48	3378,55
34	4320,80	732,62	0,00	1371,24	2216,94
35	10073,79	267,17	0,00	907,75	8898,87
36	10497,86	2415,05	0,00	626,13	7456,68
37	10257,51	817,82	0,00	1896,76	7542,93
38	4992,33	467,62	0,00	246,74	4277,97
41	1396,12	0,00	0,00	0,00	1396,12
42	1612,71	0,00	0,00	0,00	1612,71
43	1971,60	0,00	0,00	0,00	1971,60
44	3947,35	245,68	0,00	0,00	3701,67
48	7744,89	311,20	0,00	521,80	6911,89
49	10522,26	1463,17	0,00	0,00	9059,09



51	3206,46	0,00	0,00	3206,46
52	3510,23	1075,08	0,00	2435,15
53	3128,23	227,96	0,00	1927,52
54	5774,00	0,00	0,00	5774,00
68	7562,37	1585,22	0,00	5292,45
69	7562,37	3000,38	0,00	3385,54
70	3237,57	480,42	0,00	2757,15
71	4184,15	981,12	0,00	3203,03
72	9010,57	1117,22	0,00	7893,35
73	2644,81	0,00	0,00	2644,81
80	7862,71	4245,63	0,00	3617,08
81	6539,81	4362,57	0,00	2177,24
Σ	716852,93	75998,27	9933,82	44583,53
				586337,32

Tabla 7.5: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 y 31 - "C" anterior = 0,80 - Método Racional).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Total [m ²]	Área con vegetación [m ²]	Área sin vegetación [m ²]	Área con hormigón [m ²]	Cubiertas de Edificios o Tejados [m ²]
6	1	2	3	10273,44	314,19	170,18	1679,26	8109,81
		4	4	10222,26	453,37	491,24	738,08	8539,57
	5	5	3975,97	2303,34	0,00	1672,63	0,00	
	6	6	5154,24	0,00	0,00	712,50	4441,74	
	7	7	9057,67	0,00	0,00	1366,41	7691,26	
	8	8	8454,27	65,05	0,00	389,92	7999,30	
	9	9	8992,92	0,00	885,82	207,34	7899,76	
	10	10	8867,56	192,35	0,00	1547,13	7128,08	
	11	11	9836,26	499,24	289,82	200,10	8847,10	
	12	12	10438,66	156,59	0,00	276,36	10005,71	
	13	13	10061,11	1093,93	0,00	1980,09	6987,09	
	17	17	9709,64	25,06	308,03	1240,92	8135,63	
	18	18	10372,71	0,00	37,47	911,39	9423,85	
	19	19	9331,52	0,00	0,00	492,39	8839,13	
	20	20	9592,03	864,23	0,00	2408,91	6318,89	
	21	21	8383,04	0,00	0,00	243,27	8139,77	
	22	22	8547,40	70,96	0,00	136,87	8339,57	
	23	23	8377,39	0,00	0,00	987,77	7389,62	
	24	24	8689,92	0,00	323,67	178,27	8187,98	
	25	25	9932,79	0,00	274,03	0,00	9658,76	
	26	26	9783,84	0,00	88,96	675,11	9019,77	
	27	27	9912,73	0,00	0,00	599,96	9312,77	
	28	28	10022,33	0,00	0,00	367,00	9655,33	
	29	29	10771,36	1309,15	0,00	1056,28	8405,93	



30	9305,96	160,99	0,00	1561,34	7583,63
31	9188,40	749,34	130,16	575,54	7733,36
32	9529,38	333,29	376,71	1658,58	7160,80
33	9286,57	52,28	82,30	877,64	8274,35
34	9216,71	0,00	0,00	49,08	9167,63
35	8228,85	0,00	0,00	1043,72	7185,13
36	8539,95	0,00	4787,66	3752,29	0,00
37	7907,30	0,00	0,00	1554,22	6353,08
38	8728,61	0,00	1359,36	1206,86	6162,39
39	4718,23	0,00	0,00	160,27	4557,96
40	2860,74	0,00	0,00	2000,71	860,03
41	9338,67	0,00	0,00	918,72	8419,95
42	9876,50	196,51	0,00	1813,53	7866,46
43	10205,61	393,55	916,93	1143,79	7751,34
44	10325,60	1038,84	0,00	474,75	8812,01
46	5386,12	0,00	0,00	177,78	5208,34
47	11383,21	533,41	134,73	1281,62	9433,45
48	4211,86	21,54	113,73	529,52	3547,07
49	9323,11	106,11	549,21	1464,31	7203,48
50	9805,42	166,02	249,31	231,72	9158,37
51	8275,27	0,00	0,00	654,71	7620,56
52	9809,31	504,83	45,23	1661,77	7597,48
53	8558,91	435,49	267,92	882,58	6972,92
54	4345,53	0,00	0,00	212,58	4132,95
55	1996,99	0,00	0,00	0,00	1996,99
56	25546,71	5208,03	2877,27	1389,23	16072,18
57	4537,71	662,54	0,00	1211,94	2663,23
58	16282,49	384,30	212,41	52,19	15633,59



2	2	1	8825,23	0,00	603,22	8222,01
	2	9679,93	1078,24	0,00	1034,67	7567,02
3	7793,89	0,00	0,00	807,89	6986,00	
4	8992,18	0,00	0,00	716,48	8275,70	
5	8689,02	0,00	0,00	1541,85	7147,17	
6	7256,96	0,00	0,00	392,47	6864,49	
7	7830,55	625,50	0,00	403,14	6801,91	
8	11040,56	126,00	0,00	1038,19	9876,37	
9	11468,91	501,73	0,00	1459,91	9507,27	
10	11955,60	299,91	35,60	490,61	11129,48	
11	10511,86	123,55	0,00	1244,57	9143,74	
12	9910,58	0,00	0,00	130,21	9780,37	
13	9272,69	113,91	0,00	895,88	8262,90	
14	9453,42	0,00	0,00	1524,37	7929,05	
15	8990,06	0,00	189,85	943,24	7856,97	
16	9054,92	0,00	0,00	2169,87	6885,05	
17	9291,41	12,54	0,00	3636,12	5642,75	
18	10658,75	620,88	89,60	2380,35	7567,92	
19	11419,83	0,00	0,00	1676,49	9743,34	
20	11041,90	957,95	0,00	836,61	9247,34	
21	10857,37	0,00	0,00	2564,70	8292,67	
22	9663,39	73,68	0,00	2142,82	7446,89	
23	10002,96	0,00	0,00	2180,99	7821,97	
24	10258,66	0,00	0,00	1914,96	8343,70	
25	10027,76	166,79	0,00	1297,99	8562,98	
26	9447,44	770,74	0,00	0,00	8676,70	
27	9702,55	464,83	803,59	121,20	8312,93	
28	9457,23	0,00	223,07	699,64	8534,52	



Tabla 7.6: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,60 - Método Número de Curva).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Tipo de Zona	Área impermeable conectada (%)	Espacios abiertos	Cobertura vegetal (%)	Condiciones	CN
6	2	3	42	Parque Escuela	52	63581,56	100	Buenas	61
	3	1	29	Vivienda	100	0,00			98
	3	3	1	Vivienda	100	0,00			98
			2	Vivienda	100	0,00			98
			3	Escuela	96	427,95			96
			4	Vivienda	100	0,00			98
			5	Vivienda	100	0,00			98
			6	Vivienda	100	0,00			98
			7	Vivienda	79	1893,05			90
			8	Vivienda	91	360,64			94
			11	Vivienda	100	0,00			98
			13	Vivienda	100	0,00			98
			14	Vivienda	98	59,57			97
			15	Vivienda	97	59,57			97
			16	Vivienda	94	208,17			96
			17	Vivienda	100	0,00			98
			18	Vivienda	100	0,00			98
			19	Vivienda	100	0,00			98
	36		Vivienda	100	0,00				98

Tabla 7.7: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 - "C" anterior = 0,74 - Método Número de Curva).

Subcuenca	Zona	Sector	Manzana	Tipo de Zona	Área impermeable conectada (%)	Espacios abiertos	Cobertura vegetal (%)	Condiciones	CN
#	#	#	#						
6	2	2	37	Vivienda	88	1749,01			93
			38	Vivienda	98	177,11			97
			39	Escuela	96	430,03			96
			40	Escuela	92	795,26			95
2	3	4	4	Vivienda	98	160,17			97
			5	Vivienda	100	0,00			98
			6	Vivienda	94	532,60			96
			7	Vivienda	100	0,00			98
			8	Vivienda	93	435,13			95
			9	Escuela	95	476,66			96
			10	Vivienda	97	283,13			97
			11	Parque	90	1043,21			61
			12	Vivienda	96	153,54			96
			13	Vivienda	100	0,00			98
			14	Vivienda	90	1200,67			94
			21	Escuela	83	2802,56			92
			22	Colegio	100	0,00			98
			23	Escuela	100	0,00			98
			24	Vivienda	92	468,37			95
			25	Vivienda	94	394,82			96
			26	Vivienda	100	0,00			98
			27	Vivienda	100	0,00			98
			28	Vivienda	77	1055,02			89
			29	Vivienda	93	248,58			95



30	Parque	42		1532,42	84	Buenas	61
31	Parque	44		1479,74	73	Medias	69
32	Vivienda	91		935,58			94
33	Vivienda	100		0,00			98
34	Vivienda	87		2990,67			93
36	Parque	89		1659,04	100	Buenas	61
37	Vivienda	75		1433,14			89
38	Parque	74		2734,94	92	Buenas	61
39	Vivienda	90		463,47			94
40	Vivienda	90		862,04			94
41	Vivienda	96		524,33			96

Tabla 7.8: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 31 - "C" anterior = 0,60 - Método Número de Curva).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Tipo de Zona	Área impermeable conectada (%)	Espacios abiertos	Cobertura vegetal (%)	Condiciones	CN
31	6	2	1	Vivienda	79	9774,01	90		
		2	Vivienda	68	1221,88			72	
	3	Parque	75	11523,51	100	Buenas	61		
	4	Vivienda	94	358,11			96		
	6	Vivienda	69	2675,45			88		
	7	Vivienda	90	2279,20			94		
	8	Vivienda	64	5412,20			84		
	9	Vivienda	76	1030,85			89		
	10	Vivienda	48	5016,62			78		
	11	Vivienda	100	0,00			98		
	12	Vivienda	82	2062,36			91		
	13	Vivienda	45	2383,23			77		
	14	Vivienda	100	0,00			98		
	15	Vivienda	100	0,00			98		
	16	Vivienda	100	0,00			98		
	17	Vivienda	88	1018,05			84		
	18	Universidad	94	1528,36			96		
	19	Parque	29	6170,08	100	Buenas	61		
	20	Parque	61	16372,98	83	Buenas	61		
	21	Parque	65	3021,49	75	Buenas	61		

Tabla 7.9: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 y 31 - "C" anterior = 0,74 - Método Número de Curva).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Tipo de Zona	Área impermeable conectada (%)	Espacios abiertos	Cobertura vegetal (%)	Condiciones	CN
6	1	1	1	Comercial	94	424,69			96
	2			Escuela	96	481,44			98
10				Comercial	90	585,65			94
11				Comercial	97	132,88			97
12				Comercial	97	92,20			97
13				Comercial	100	0,00			98
14				Comercial	93	593,72			95
15				Colegio	91	910,11			98
16				Comercial	100	0,00			98
17				Comercial	89	1019,24			94
18				Comercial	95	549,90			96
19				Comercial	100	0,00			98
20				Comercial	99	62,03			98
21				Comercial	83	1712,89			92
22				Comercial	86	1502,57			93
23				Comercial	89	440,10			94
24				Comercial	95	244,71			96
25				Comercial	94	257,48			96
26				Escuela	95	419,84			98
27				Comercial	64	2834,03			91
28				Comercial	90	929,87			94
29				Colegio	94	669,77			98
30				Comercial	93	724,90			95
31				Comercial	94	628,30			96



32				Escuela	96	377,97
33				Vivienda	97	295,39
34				Comercial	96	344,08
	6	1	2	Colegio	94	535,73
	8			Comercial	96	320,26
	9			Comercial	82	1596,13
	10			Comercial	97	351,54
	11			Colegio	90	1275,77
	12			Escuela	90	1382,59
	13			Comercial	88	1234,55
	14			Comercial	97	314,00
	15			Comercial	80	2212,71
	16			Comercial	100	0,00
	17			Comercial	91	1042,24
	18			Comercial	100	0,00
	19			Comercial	98	62,39
	20			Comercial	88	940,74
	21			Comercial	96	153,53
	22			Comercial	97	179,13
	23			Comercial	98	260,72
	24			Comercial	98	181,86
	25			Comercial	90	1054,00
		1	2	Parque	3	8221,58
		7	2	Vivienda	89	998,06
			3	Vivienda	85	1420,97
			4	Vivienda	97	187,52
		5		Vivienda	96	199,01
		6		Vivienda	95	588,75
				Buenas	100	



7	Vivienda	52	4589,12	80
8	Vivienda	86	1067,55	93
9	Vivienda	100	0,00	98
10	Vivienda	84	3913,16	92
14	Vivienda	98	74,29	97
15	Vivienda	86	1543,82	93
16	Vivienda	97	187,93	97
17	Parque	15	3703,41	68
18	Vivienda	85	1495,04	92
19	Vivienda	98	236,42	97
20	Vivienda	85	849,60	92
21	Vivienda	95	280,02	96
22	Vivienda	90	996,91	94
23	Vivienda	97	366,26	97
24	Vivienda	96	442,45	96
25	Escuela	91	877,60	98
26	Vivienda	86	560,04	93
34	Vivienda	83	732,62	92
35	Vivienda	97	267,17	97
36	Vivienda	77	2415,05	89
37	Vivienda	92	817,82	95
38	Vivienda	91	467,62	94
41	Comercial	100	0,00	98
42	Vivienda	100	0,00	98
43	Vivienda	100	0,00	98
44	Vivienda	94	245,68	96
48	Vivienda	96	311,20	96
49	Vivienda	86	1463,17	93
				Medias



51	Vivienda	100	98
52	Vivienda	69	86
53	Vivienda	93	95
54	Vivienda	100	98
68	Vivienda	79	90
69	Colegio	60	98
70	Parque	85	480,42
71	Vivienda	77	981,12
72	Parque	88	1117,22
73	Vivienda	100	0,00
80	Parque	46	4245,63
81	Parque	33	4362,57
			100
			Buenas
			61
			98
			89
			61
			61
			98
			61
			61

Tabla 7.10: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 y 31 - "C" anterior = 0,80 - Método Número de Curva).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Tipo de Zona	Área impermeable conectada (%)	Espacios abiertos	Cobertura vegetal (%)	Condiciones	CN
6	1	2	3	Comercial	95	484,37			96
			4	Comercial	91	944,61			94
			5	Parque	42	2303,34	100	Buenas	61
			6	Comercial	100	0,00			98
			7	Commercial	100	0,00			98
			8	Comercial	99	65,05			98
			9	Comercial	90	835,82			94
			10	Colegio	98	192,35			98
			11	Commercial	92	789,06			95
			12	Comercial	98	156,59			97
			13	Colegio	89	1093,93			98
			17	Commercial	97	333,09			97
			18	Colegio	100	37,47			98
			19	Comercial	100	0,00			98
			20	Colegio	91	864,23			98
			21	Escuela	100	0,00			98
			22	Comercial	99	70,96			98
			23	Colegio	100	0,00			98
			24	Comercial	96	323,67			96
			25	Comercial	97	274,03			97
			26	Comercial	99	88,96			98
			27	Comercial	100	0,00			98
			28	Comercial	100	0,00			98
			29	Comercial	88	1309,15			93



30	Comercial	98	160,99	97
31	Comercial	90	879,50	94
32	Comercial	93	710,00	95
33	Comercial	99	134,58	98
34	Comercial	100	0,00	98
35	Colegio	100	0,00	98
36	Parque	44	4787,66	0
37	Comercial	100	0,00	98
38	Comercial	84	1359,36	92
39	Comercial	100	0,00	98
40	Comercial	100	0,00	98
41	Comercial	100	0,00	98
42	Comercial	98	196,51	97
43	Comercial	87	1310,48	93
44	Comercial	90	1038,84	94
46	Comercial	100	0,00	98
47	Comercial	94	668,14	96
48	Comercial	97	135,27	97
49	Escuela	93	655,32	98
50	Comercial	96	415,33	96
51	Comercial	100	0,00	98
52	Comercial	94	550,06	96
53	Comercial	92	703,41	95
54	Comercial	100	0,00	98
55	Comercial	100	0,00	98
56	Comercial	68	8085,30	86
57	Comercial	85	662,54	92
58	Comercial	96	596,71	96



			1	Comercial	100	98	0,00
		2	2	Comercial	89	94	1078,24
		3	3	Comercial	100	98	0,00
		4	4	Comercial	100	98	0,00
		5	5	Escuela	100	98	0,00
		6	6	Comercial	100	98	0,00
		7	7	Comercial	92	95	625,50
		8	8	Comercial	99	98	126,00
		9	9	Comercial	96	96	501,73
		10	10	Escuela	97	98	335,51
		11	11	Comercial	99	98	123,55
		12	12	Comercial	100	98	0,00
		13	13	Comercial	99	98	113,91
		14	14	Comercial	100	98	0,00
		15	15	Comercial	98	97	189,85
		16	16	Colegio	100	98	0,00
		17	17	Comercial	100	98	12,54
		18	18	Comercial	93	95	710,48
		19	19	Comercial	100	98	0,00
		20	20	Comercial	91	94	957,95
		21	21	Comercial	100	98	0,00
		22	22	Comercial	99	98	73,68
		23	23	Comercial	100	98	0,00
		24	24	Comercial	100	98	0,00
		25	25	Colegio	98	98	166,79
		26	26	Colegio	92	98	770,74
		27	27	Comercial	87	93	1268,42
		28	28	Comercial	98	97	223,07



Tabla 7.11: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 - "C" actual = 0,78 - Método Racional).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Área Total [m ²]	Área con vegetación [m ²]	Área sin vegetación [m ²]	Área con hormigón [m ²]	Área con tejados [m ²]	Cubiertas de Edificios o Tejados [m ²]
6	2	2	37	14712,73	0,00	0,00	7356,37	7356,37	
			38	10069,93	177,11	0,00	1021,62	8871,20	
			39	9557,06	430,03	0,00	2090,36	7036,67	
			40	10307,66	795,26	0,00	1466,33	8046,07	
2	3	4	9655,51	160,17	0,00	1600,23	7895,11		
		5	8189,02	0,00	0,00	415,91	7773,11		
	6	9412,08	189,83	342,77	739,65	839,83			
	7	7327,24	0,00	0,00	1721,95	5605,29			
	8	6236,95	366,19	68,94	612,22	5189,60			
9	10269,87	476,66	0,00	1306,50	8486,71				
10	8125,90	187,25	95,88	1502,67	6340,10				
11	10968,25	1043,21	0,00	2288,48	7636,56				
12	4089,80	0,00	153,54	0,00	3936,26				
13	4027,53	0,00	0,00	132,25	3895,28				
14	12067,20	63,38	1137,29	1069,51	9797,02				
21	16149,15	2665,60	136,96	99,66	13246,93				
22	6042,77	0,00	0,00	1524,21	4518,56				
23	7905,99	0,00	0,00	3193,45	4712,54				
24	5648,49	468,37	0,00	462,19	4717,93				
25	6676,39	325,93	68,89	619,92	5661,65				
26	3603,88	0,00	0,00	0,00	3603,88				
27	4181,79	0,00	0,00	0,00	4181,79				
28	4548,66	1055,02	93,27	3400,37					



29	3330,95	248,58	0,00	406,69	2675,68
30	2631,03	1290,72	241,70	864,25	234,37
31	2631,03	1074,38	405,36	550,83	600,47
32	10697,56	318,81	616,77	790,35	8971,63
33	2401,64	0,00	0,00	504,62	1897,02
34	23672,44	2780,10	210,57	3188,23	17493,54
36	15781,63	1659,04	0,00	257,85	13864,74
37	5824,93	1433,14	0,00	0,00	4391,79
38	10378,56	0,00	0,00	5189,28	5189,28
39	4818,52	0,00	0,00	2409,26	2409,26
40	8806,52	862,04	0,00	733,57	7210,91
41	12330,73	524,33	0,00	442,36	11364,04
Σ	293079,39	18595,15	3478,66	44654,03	226351,56

Tabla 7.12: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 6 - “C” anterior = 0,78 - Método Número de Curva).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Tipo de Zona	Área impermeable conectada (%)	Área abiertos	Cobertura vegetal (%)	Condiciones	CN
6	2	2	37	Vivienda	100	0,00	0,00		98
			38	Vivienda	98	177,11			97
			39	Escuela	96	430,03			96
			40	Escuela	92	795,26			95
2	3	4	4	Vivienda	98	160,17			97
			5	Vivienda	100	0,00			98
			6	Vivienda	94	532,60			96
			7	Vivienda	100	0,00			98
			8	Vivienda	93	435,13			95
			9	Escuela	95	476,66			96
			10	Vivienda	97	283,13			97
			11	Parque	90	1043,21	100	Buenas	61
			12	Vivienda	96	153,54			96
			13	Vivienda	100	0,00			98
			14	Vivienda	90	1200,67			94
			21	Escuela	83	2802,56			92
			22	Colegio	100	0,00			98
			23	Escuela	100	0,00			98
			24	Vivienda	92	468,37			95
			25	Vivienda	94	394,82			96
			26	Vivienda	100	0,00			98
			27	Vivienda	100	0,00			98
			28	Vivienda	77	1055,02			89



29	Vivienda	93	248,58	95
30	Parque	42	1532,42	84
31	Parque	44	1479,74	73
32	Vivienda	91	935,58	94
33	Vivienda	100	0,00	98
34	Vivienda	87	2990,67	93
36	Parque	89	1659,04	100
37	Vivienda	75	1433,14	61
38	Vivienda	100	0,00	89
39	Vivienda	100	0,00	98
40	Vivienda	90	862,04	94
41	Vivienda	96	524,33	96

Tabla 7.13: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 31 - "C" anterior = 0,76 - Método Racional).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Área Total [m ²]	Área con vegetación [m ²]	Área sin vegetación [m ²]	Área con hormigón [m ²]	Área con tejados [m ²]	Cubiertas de Edificios o Tejados [m ²]
31	6	2	1	46230,18	0,00	0,00	23115,09		
		2		3771,04	901,74	320,14	0,00	2549,16	
	3		46631,47	0,00	0,00	23315,74			23315,74
	4		5742,52	358,11	0,00	0,00	5384,41		
	6		8595,40	2675,45	0,00	0,00	5919,95		
	7		22046,85	2279,20	0,00	0,00	19767,65		
	8		14995,11	5412,20	0,00	0,00	9582,91		
	9		4305,55	1030,85	0,00	0,00	3274,70		
	10		9726,61	0,00	0,00	0,00	4863,31		
	11		7646,01	0,00	0,00	350,24	7295,77		
	12		11701,45	2062,36	0,00	594,27	9044,82		
	13		4305,55	0,00	0,00	2152,78	2152,78		
	14		7561,14	0,00	0,00	0,00	7561,14		
	15		8761,06	0,00	0,00	0,00	8761,06		
	16		8316,47	0,00	0,00	0,00	8316,47		
	17		8728,73	1018,05	0,00	434,72	7275,96		
	18		27528,31	1528,36	0,00	1730,84	24269,11		
	19		8728,73	0,00	0,00	4364,37	4364,37		
	20		41458,92	13548,06	2824,92	2297,83	22788,11		
	21		8728,73	0,00	0,00	4364,37	4364,37		
	Σ		305509,83	30814,38	3145,06	67583,54	203966,86		

Tabla 7.14: Áreas constituyentes de cada manzana (Subcuenca pluvial 31 - "C" anterior = 0,76 - Método Número de Curva).

Subcuenca #	Zona #	Sector #	Manzana #	Tipo de Zona	Área impermeable conectada (%)	Espacios abiertos	Cobertura vegetal (%)	Condiciones	CN
31	6	2	1	Vivienda	100	23115,09	98		
		2	Vivienda		68	2549,16			72
	3	Vivienda			100	0,00			98
	4	Vivienda			94	5384,41			96
	6	Vivienda			69	5919,95			88
	7	Vivienda			90	19767,65			94
	8	Vivienda			64	9582,91			84
	9	Vivienda			76	3274,70			89
	10	Vivienda			100	0,00			98
	11	Vivienda			100	7295,77			98
	12	Vivienda			82	9044,82			91
	13	Vivienda			100	2152,78			98
	14	Vivienda			100	7561,14			98
	15	Vivienda			100	8761,06			98
	16	Vivienda			100	8316,47			98
	17	Vivienda			88	7275,96			84
	18	Universidad			94	24269,11			96
	19	Vivienda			100	0,00			98
	20	Parque			61	22788,11	83	Buenas	61
	21	Vivienda			100	4364,37			98

Tabla 7.15: Valores de Intensidad de Lluvia de la Estación Cuenca – Aeropuerto (2004).

T = 2 años		T = 5 años		T = 10 años	
t [min]	I [mm/h]	t [min]	I [mm/h]	t [min]	I [mm/h]
5	90	5	115	5	132
10	66	10	86	10	99
15	54	15	71	15	82
20	46	20	61	20	71
25	40	25	54	25	63
30	36	30	49	30	57
35	33	35	45	35	53
40	31	40	42	40	49
45	29	45	39	45	46
50	27	50	37	50	44
55	25	55	35	55	41
60	24	60	33	60	39
65	23	65	32	65	38
70	22	70	30	70	36
75	21	75	29	75	34
80	20	80	28	80	33
85	20	85	27	85	32
90	19	90	26	90	30
95	18	95	25	95	29
100	17	100	24	100	28
105	17	105	23	105	27
110	16	110	22	110	26
115	16	115	22	115	26
120	15	120	21	120	25
125	15	125	20	125	24
130	14	130	20	130	23
135	14	135	19	135	23
140	14	140	19	140	22
145	13	145	18	145	21
150	13	150	18	150	21
155	13	155	17	155	20
160	12	160	17	160	20
165	12	165	16	165	19
170	12	170	16	170	19
175	12	175	16	175	18
180	11	180	15	180	18

Tabla 7.16: Valores de Intensidad de lluvia interpoladas de las Estaciones Ucumbamba – Sayausí (2007).

T = 2 años		T = 3 años		T = 5 años		T = 10 años		T = 15 años		T = 20 años		T = 25 años		T = 50 años	
t (min)	I (mm/h)	t (min)	I (mm/h)	t (min)	I (mm/h)	t (min)	I (mm/h)	t (min)	I (mm/h)	t (min)	I (mm/h)	t (min)	I (mm/h)	t (min)	I (mm/h)
5	108	5	117	5	129	5	145	5	155	5	162	5	167	5	185
10	86	10	93	10	103	10	117	10	125	10	131	10	136	10	151
15	71	15	78	15	87	15	99	15	106	15	111	15	115	15	128
20	61	20	67	20	75	20	85	20	92	20	96	20	100	20	111
25	54	25	59	25	66	25	75	25	81	25	85	25	88	25	99
30	48	30	53	30	59	30	67	30	72	30	76	30	79	30	89
35	43	35	48	35	53	35	61	35	66	35	69	35	72	35	81
40	39	40	43	40	49	40	56	40	60	40	63	40	66	40	74
45	36	45	40	45	45	45	51	45	56	45	59	45	61	45	68
50	34	50	37	50	41	50	48	50	52	50	54	50	57	50	64
55	31	55	34	55	39	55	45	55	48	55	51	55	53	55	59
60	29	60	32	60	36	60	42	60	45	60	48	60	50	60	56
65	28	65	30	65	34	65	39	65	43	65	45	65	47	65	53
70	26	70	29	70	32	70	37	70	40	70	42	70	44	70	50
75	25	75	27	75	31	75	35	75	38	75	40	75	42	75	47
80	23	80	26	80	29	80	34	80	36	80	38	80	40	80	45
85	22	85	25	85	28	85	32	85	35	85	37	85	38	85	43
90	21	90	24	90	26	90	31	90	33	90	35	90	36	90	41
95	20	95	22	95	25	95	29	95	32	95	34	95	35	95	39
100	19	100	22	100	24	100	28	100	31	100	32	100	34	100	38
105	19	105	21	105	23	105	27	105	29	105	31	105	32	105	37
110	18	110	20	110	22	110	26	110	28	110	30	110	31	110	35
115	17	115	19	115	22	115	25	115	27	115	29	115	30	115	34
120	17	120	19	120	21	120	24	120	26	120	28	120	29	120	33



125	16	125	18	125	20	125	23	125	25	125	27	125	28	125	32
130	16	130	17	130	20	130	23	130	25	130	26	130	27	130	31
135	15	135	17	135	19	135	22	135	24	135	25	135	26	135	30
140	15	140	16	140	18	140	21	140	23	140	25	140	26	140	29
145	14	145	16	145	18	145	21	145	23	145	24	145	25	145	28
150	14	150	15	150	17	150	20	150	22	150	23	150	24	150	27
155	13	155	15	155	17	155	20	155	21	155	23	155	24	155	27
160	13	160	15	160	16	160	19	160	21	160	22	160	23	160	26
165	13	165	14	165	16	165	19	165	20	165	21	165	22	165	25
170	12	170	14	170	16	170	18	170	20	170	21	170	22	170	25
175	12	175	13	175	15	175	18	175	19	175	20	175	21	175	24
180	12	180	13	180	15	180	17	180	19	180	20	180	21	180	24

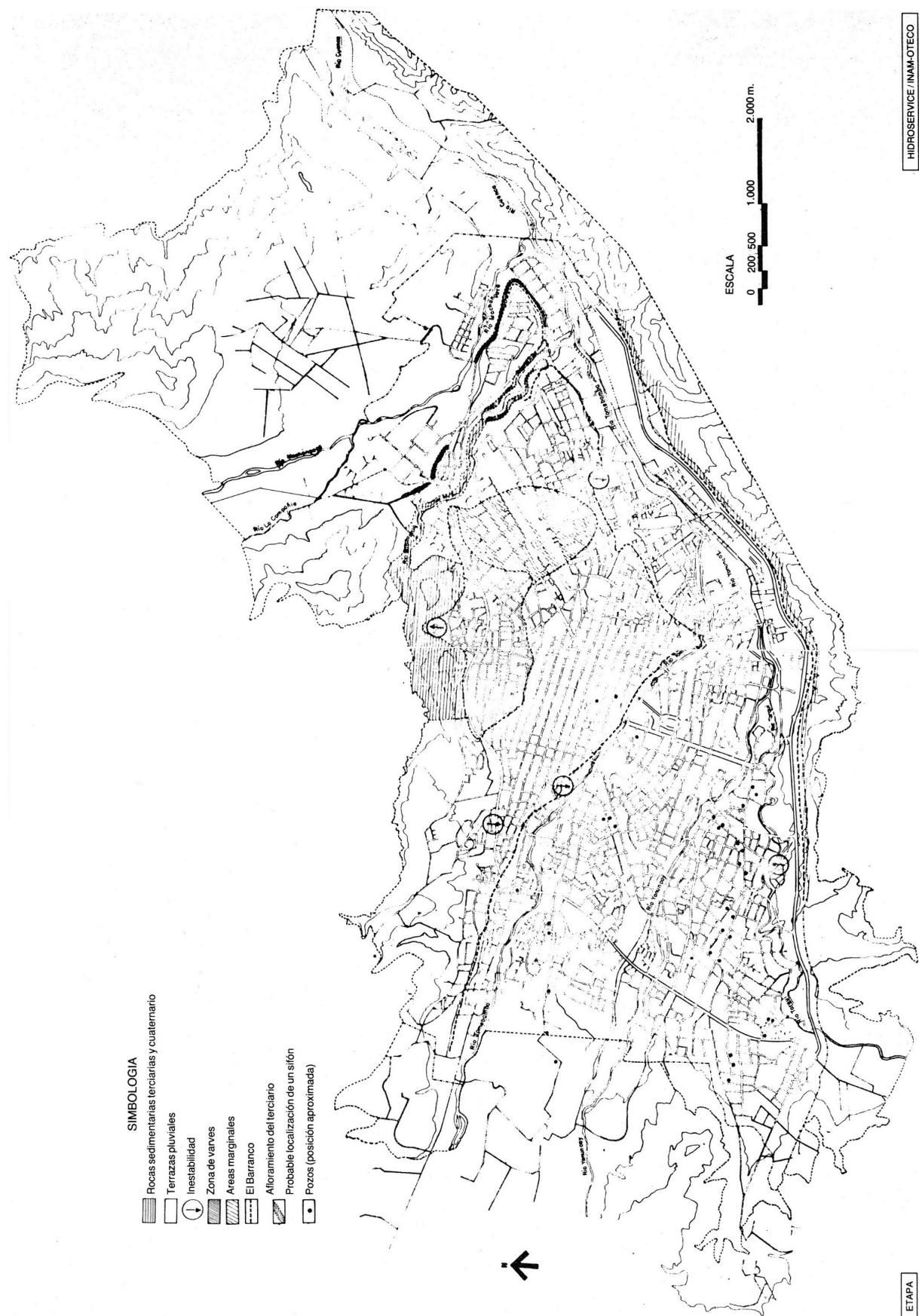


Figura 7.1: Geología del área de expansión urbana de Cuenca.

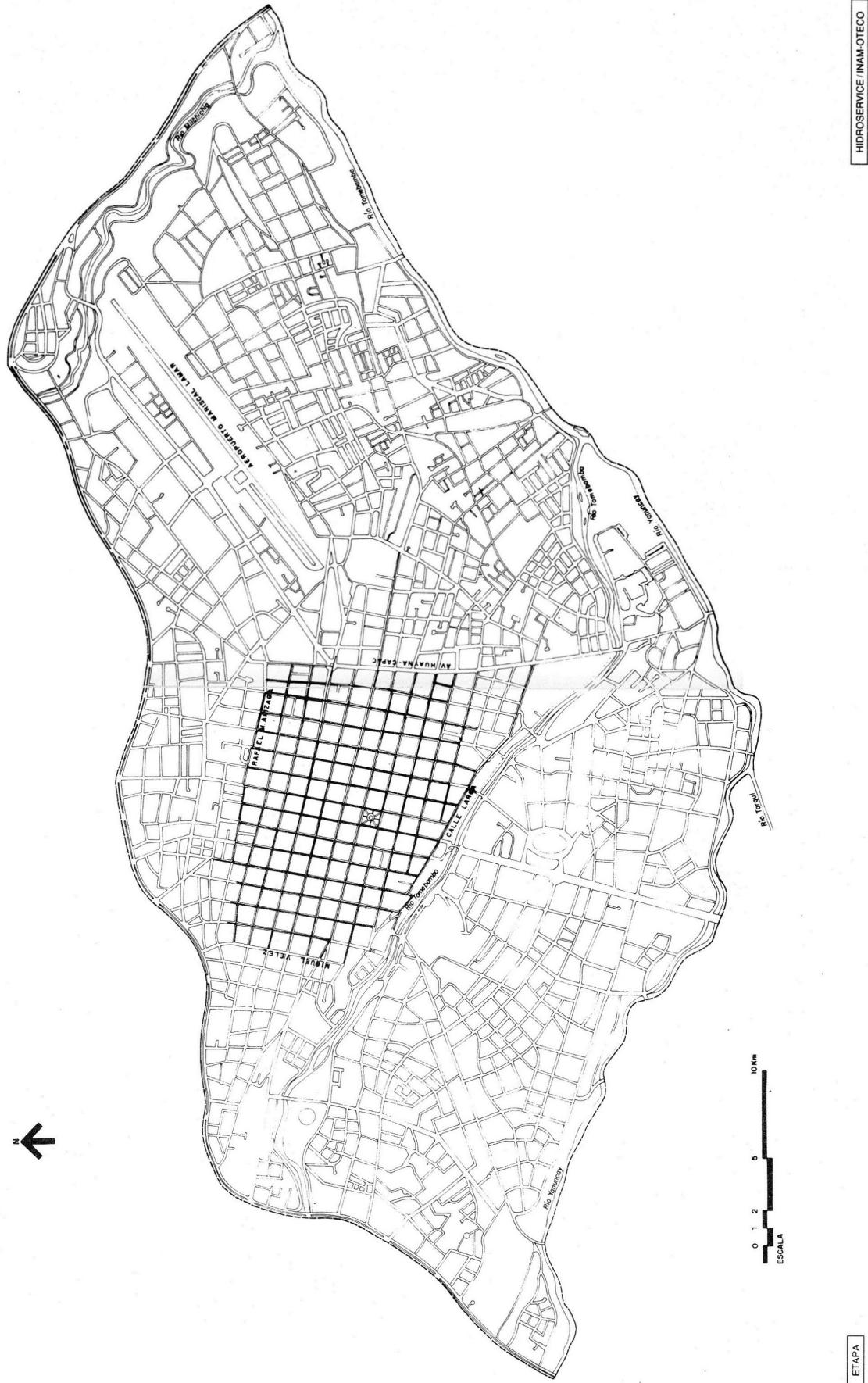


Figura 7.2: Sistema de alcantarillado hasta 1968.

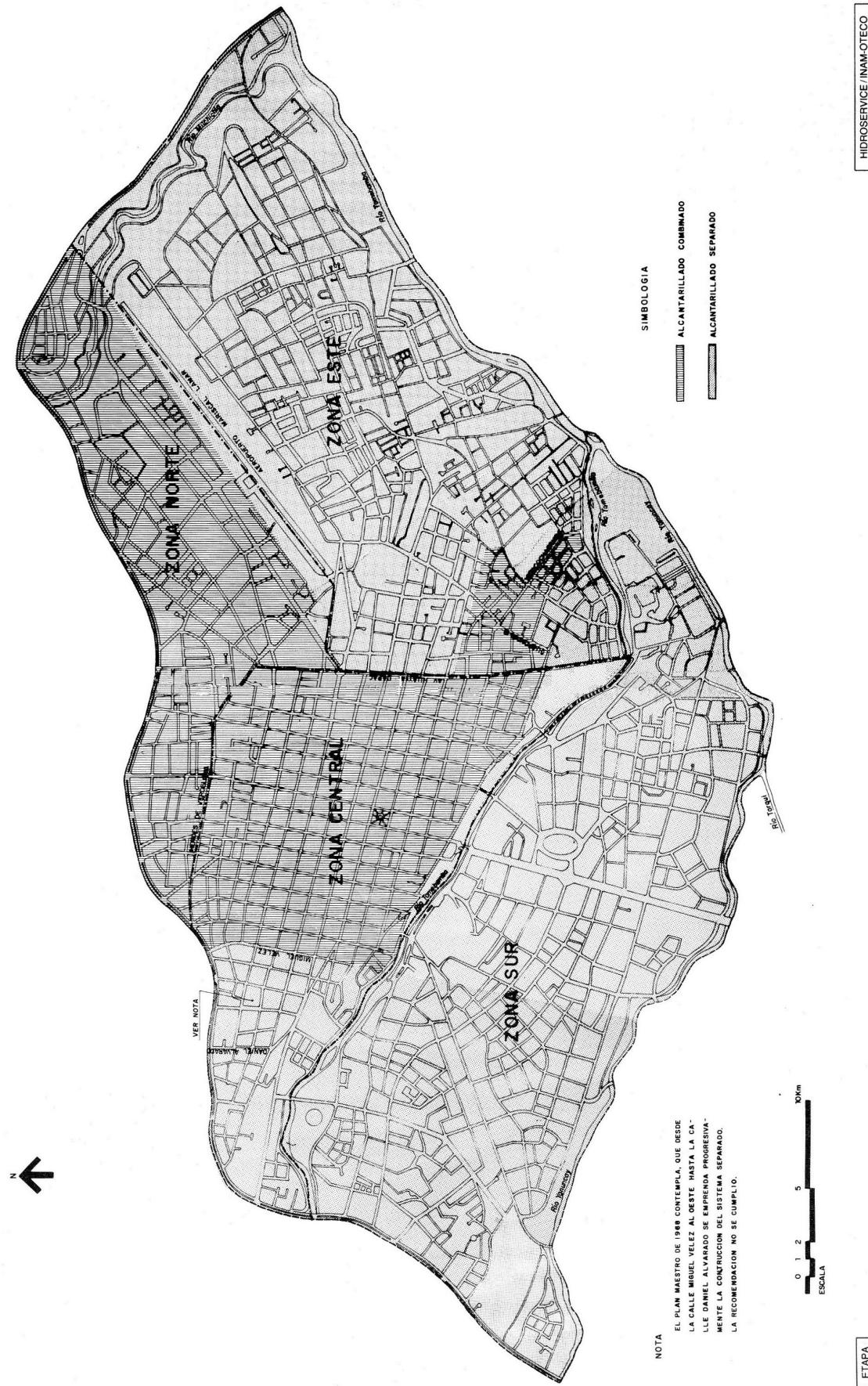


Figura 7.3: Zonificación de la ciudad - Plan Maestro de 1968.

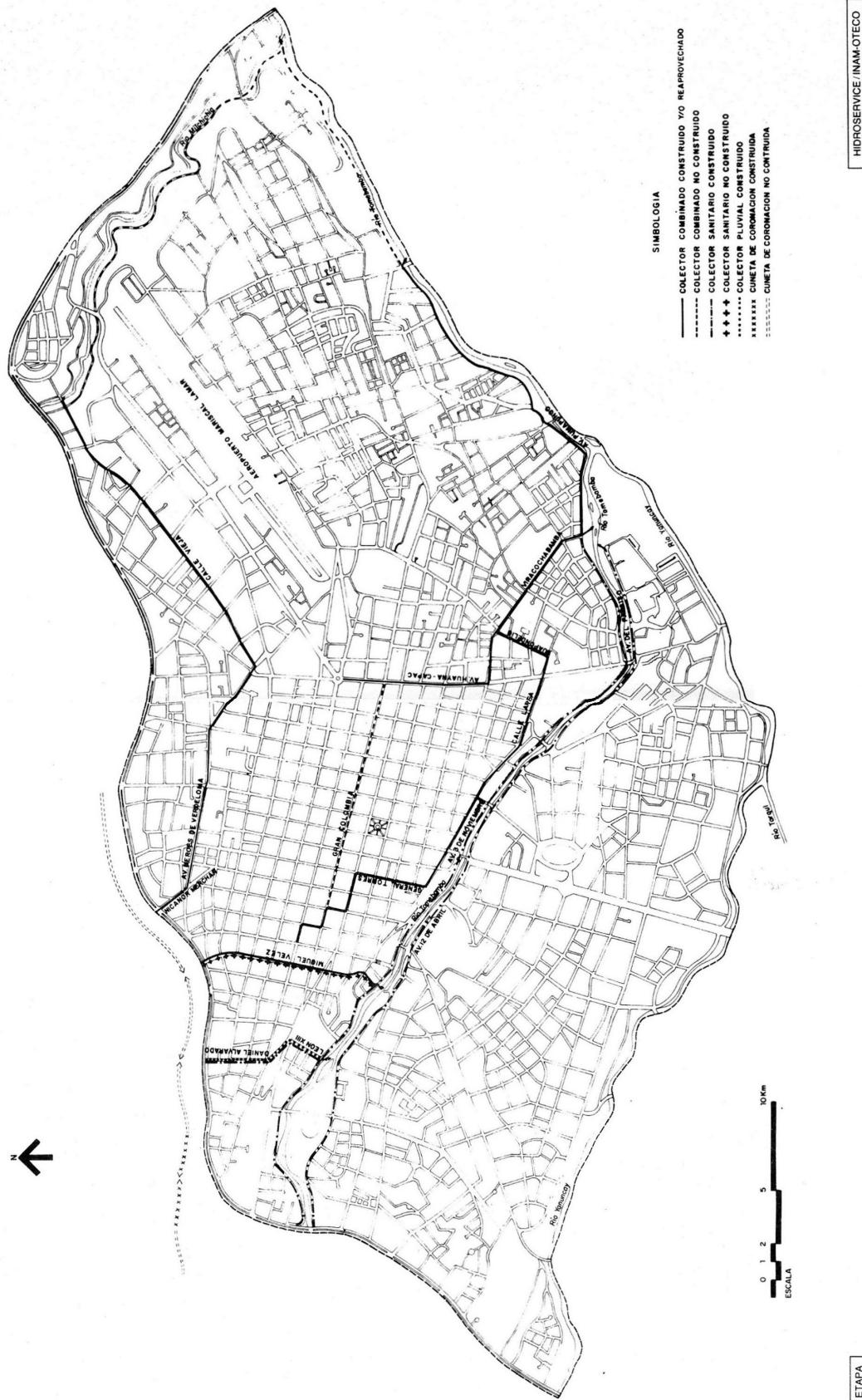


Figura 7.4: Colectores según el Plan Maestro de 1968.

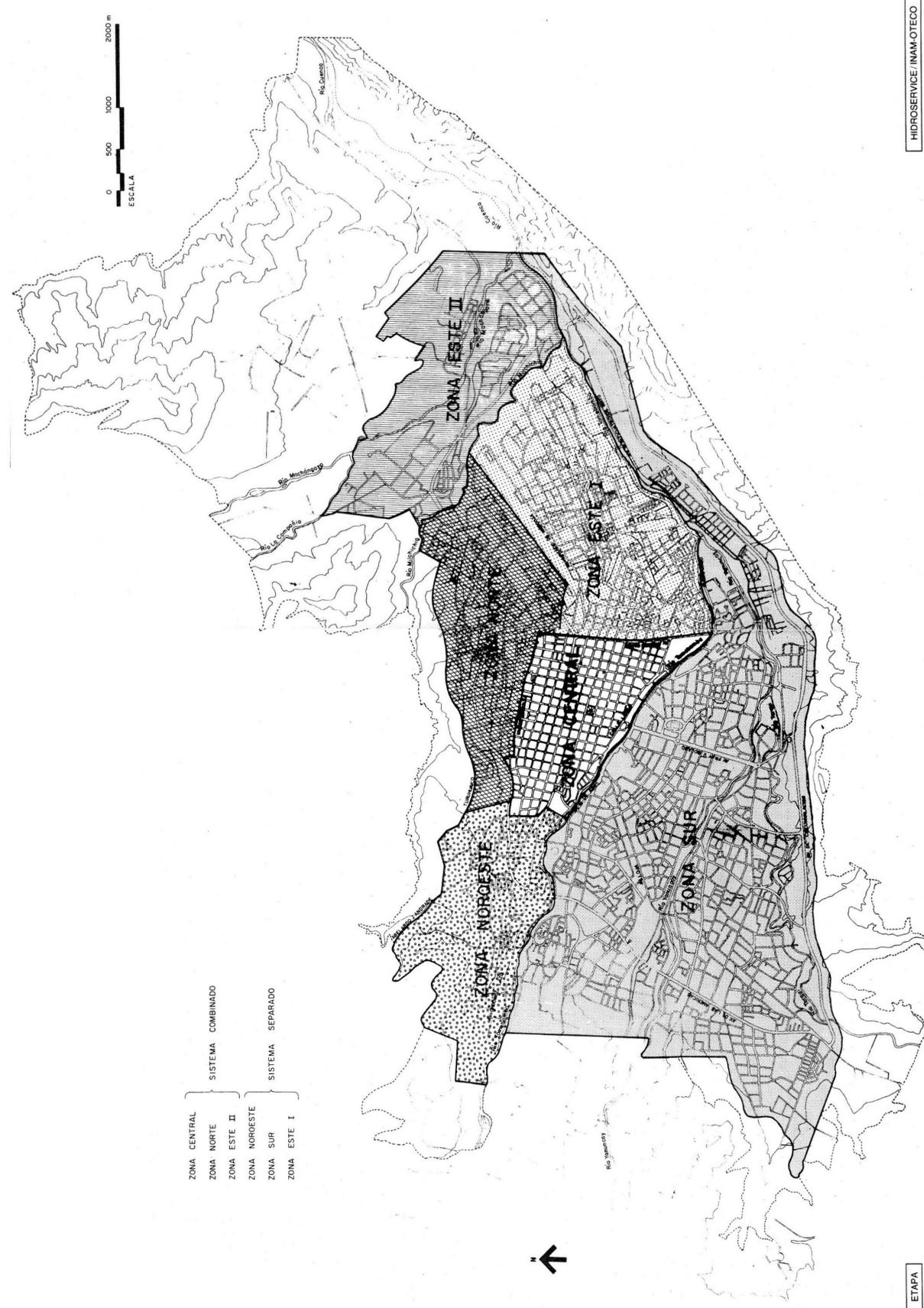


Figura 7.5: Zonificación de la ciudad - Sistema a partir de 1985.



Figura 7.6: Intersección de las calles Bajada de Todos Santos y Bajada de Los Molinos.



Figura 7.7: Alcantarilla de descarga del caudal de alivio de la Calle Larga (Tramo 2).



Figura 7.8: Escaleras de disipación de energía en la salida de la alcantarilla (Tramo 2).



Figura 7.9: Empate de los colectores Calle Larga y Av. Huayna - Cápac.



Figura 7.10: Vista interior del colector de la Calle Larga (Tramo 2).



Figura 7.11: Alcantarilla de descarga de los colectores de la Calle Larga y Hermano Miguel (Tramo 1).



Figura 7.12: Vista interior del colector de descarga de la Calle Larga y Hermano Miguel (Tramo 1).



Figura 7.13: Colector de descarga del colector de la calle Miguel Vélez.



Figura 7.14: Vista interior del colector de la calle Miguel Vélez.



Figura 7.15: Canal construido a la salida del colector de la calle Miguel Vélez.



Figura 7.16: Empate del colector de calle Mariscal Sucre con el colector de la calle Miguel Vélez.



Figura 7.17: Empate del colector de la Av. 3 de Noviembre con el colector de la calle Miguel Vélez.

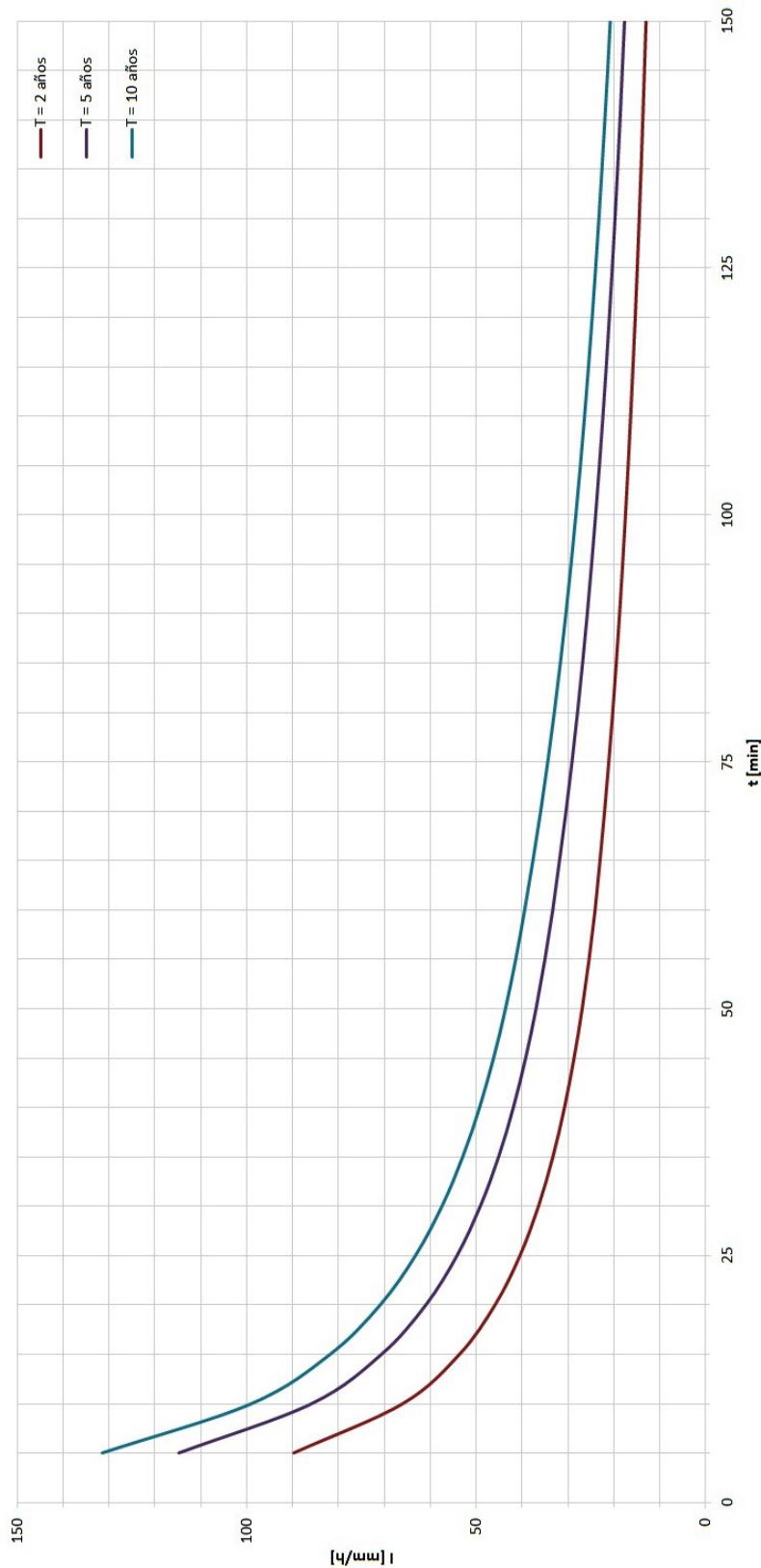


Figura 7.18: Curvas IDF de la Estación Cuenca - Aeropuerto.

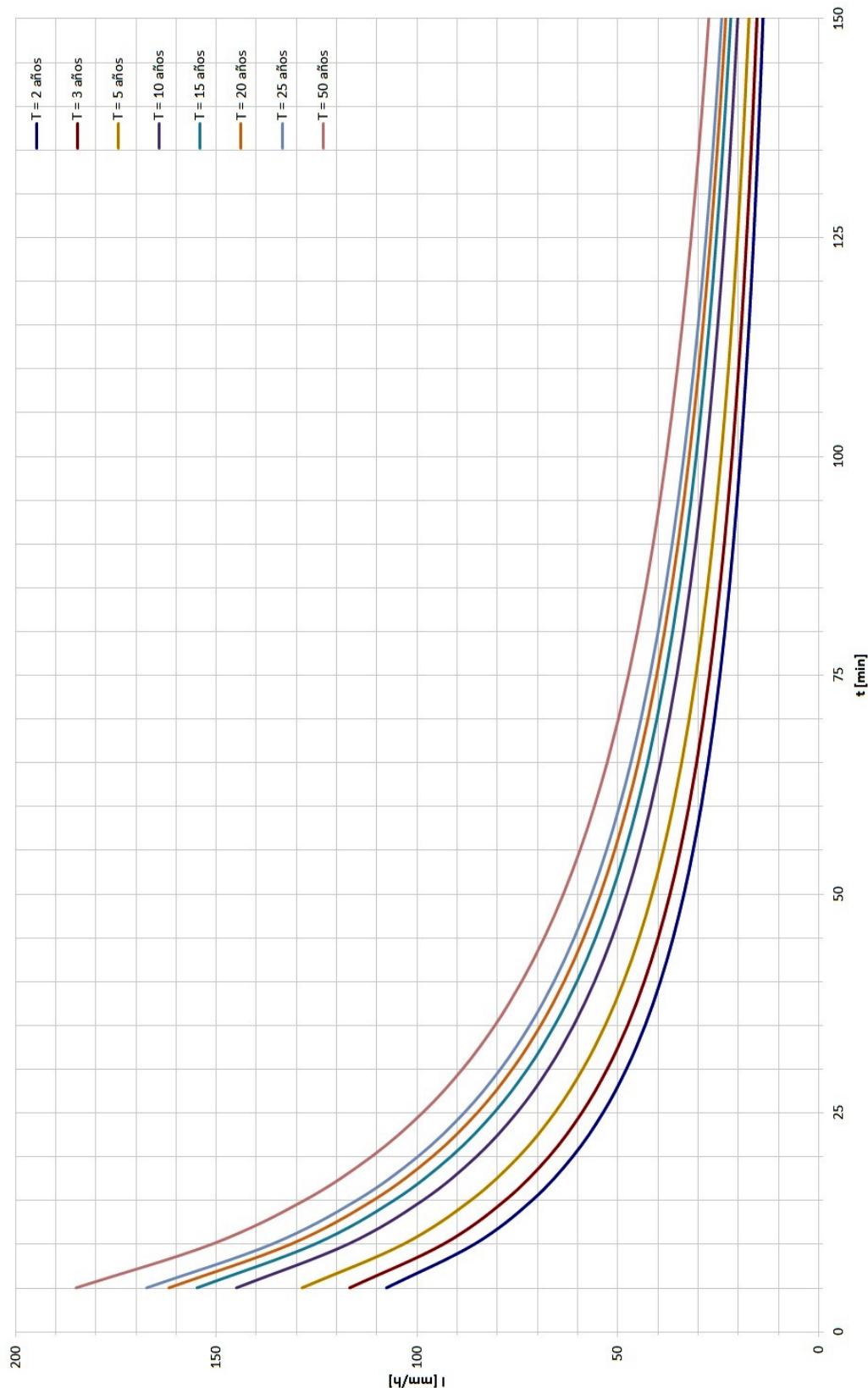
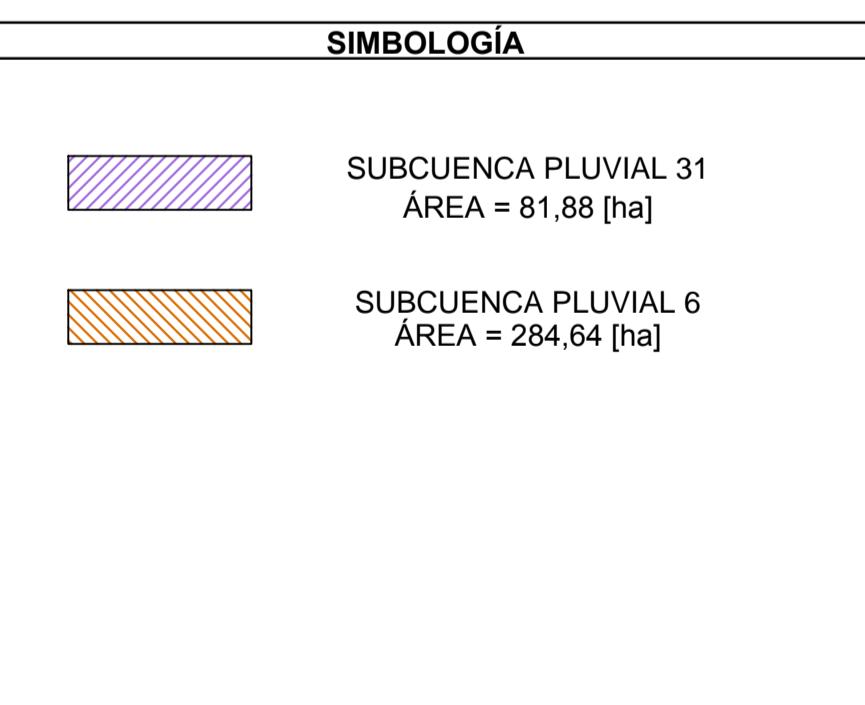
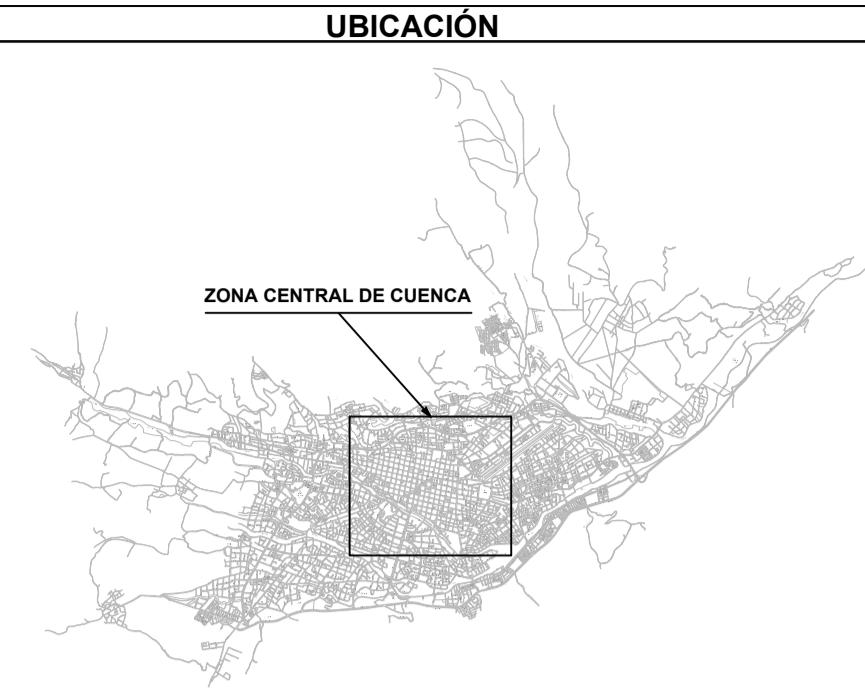
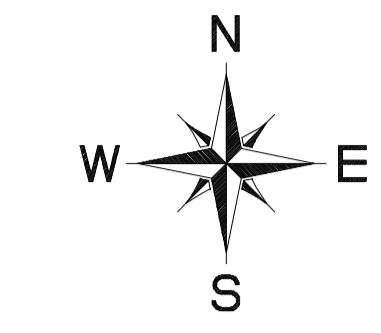
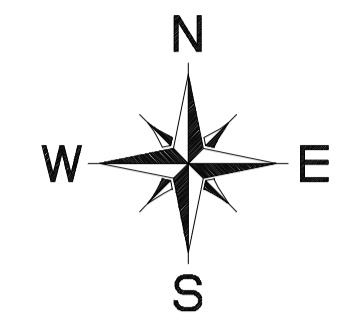
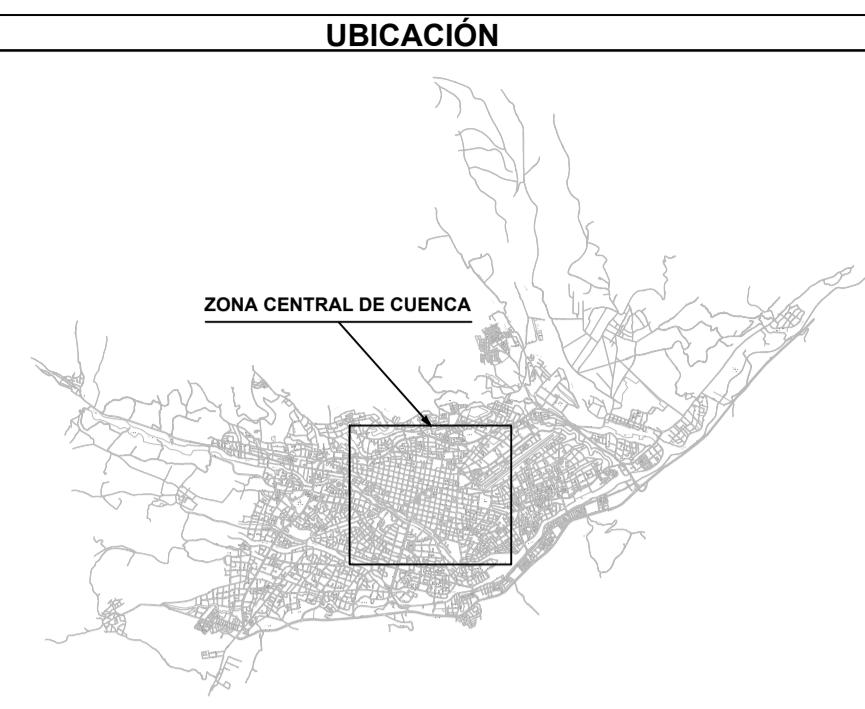


Figura 7.19: Curvas IDF de la Interpolación de Estaciones Ucumbamba y Sayausí.



TESIS: "ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRIENTÍA Y SU IMPACTO EN LOS COLECTORES DE LA CALLE LARGA Y CALLE MIGUEL VÉLEZ DE LA CIUDAD DE CUENCA"

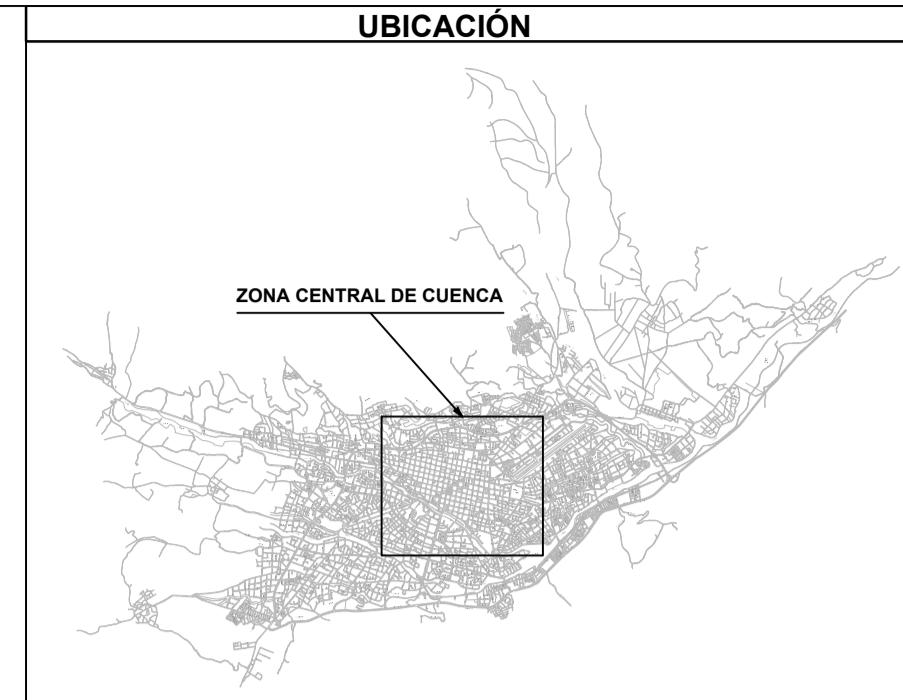
CONTENIDO:	PLANO: SUBCUENCIAS PLUVIALES 6 Y 31 (CARTAS IGM 1986 - UNIDAD DE CATASTROS ETAPA)
	ESCALA: 1:7500
	ARCHIVO NOMBRE: plano1.dwg
DIRECTOR DE TESIS: Ing. Diego Idrovo Murillo.	DIBUJO: David Muñoz Pauta.
	FECHA: Octubre del 2013



SÍMBOLOGÍA	
	C = 0,60 ÁREA = 37,24 [ha]
	C = 0,74 ÁREA = 109,18 [ha] ÁREA = 42,30 [ha]
	C = 0,80 ÁREA = 137,92 [ha]
	C = 0,67 ÁREA = 35,77 [ha]
—	LÍMITE SUBCUENCA PLUVIAL



TESIS: "ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRIENTÍA Y SU IMPACTO EN LOS COLECTORES DE LA CALLE LARGA Y CALLE MIGUEL VÉLEZ DE LA CIUDAD DE CUENCA"	PLANO: 2 / 10
SUBCUENCAS PLUVIALES 6 Y 31 Y ÁREAS DE IGUAL IMPERMEABILIDAD - AÑO 2015	ESCALA: 1:7500
	ARCHIVO NOMBRE: plano2.dwg
DIRECTOR DE TESIS: Ing. Diego Idrovo Murillo.	DIBUJO: David Muñoz Pauta.
	FECHA: Octubre del 2013



SÍMBOLOGÍA

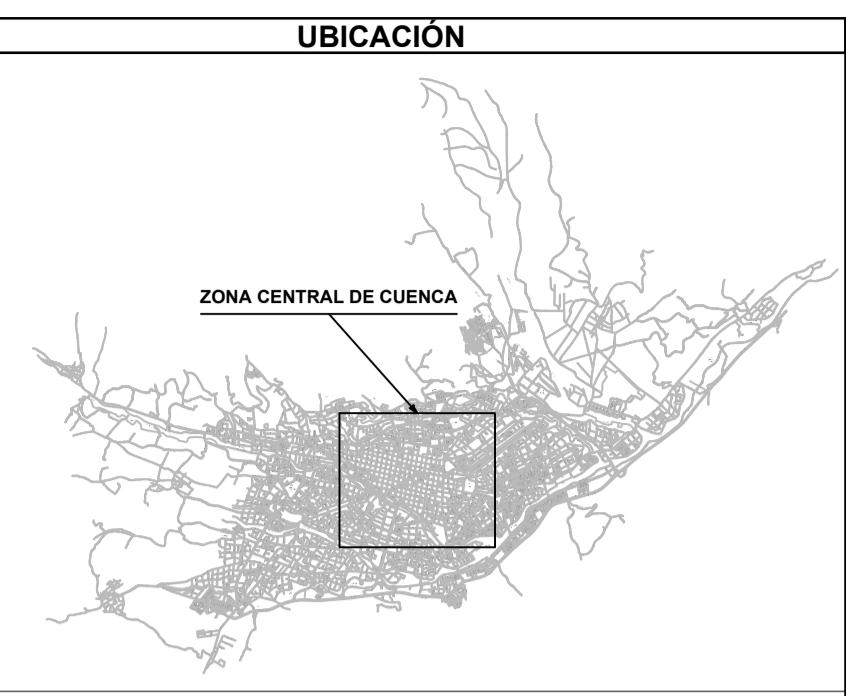
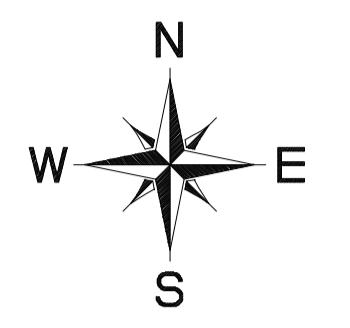
—	LÍMITE SUBCUENCA PLUVIAL
—	LÍMITE DE ZONA
—	LÍMITE DE SECTOR
3	NÚMERO DE ZONA
2	NÚMERO DE SECTOR
6	MANZANAS CON $C = 0,60$
4	MANZANAS CON $C = 0,74$
5	MANZANAS CON $C = 0,80$
1	MANZANAS CON $C = 0,67$



TESIS: "ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRIENTÍA Y SU IMPACTO EN LOS COLECTORES DE LA CALLE LARGA Y CALLE MIGUEL VÉLEZ DE LA CIUDAD DE CUENCA"

CONTENIDO:	PLANO:
ZONIFICACIÓN POR SECTOR - MANZANA EN LAS ÁREAS DE IGUAL IMPERMEABILIDAD DE LA CIUDAD DE CUENCA	3 / 10
ESCALA:	1:7500
ARCHIVO NOMBRE:	plano3.dwg
DIRECTOR DE TESIS:	Ing. Diego Idrovo Murillo.
DIBUJO:	David Muñoz Pauta.
FECHA:	Octubre del 2013

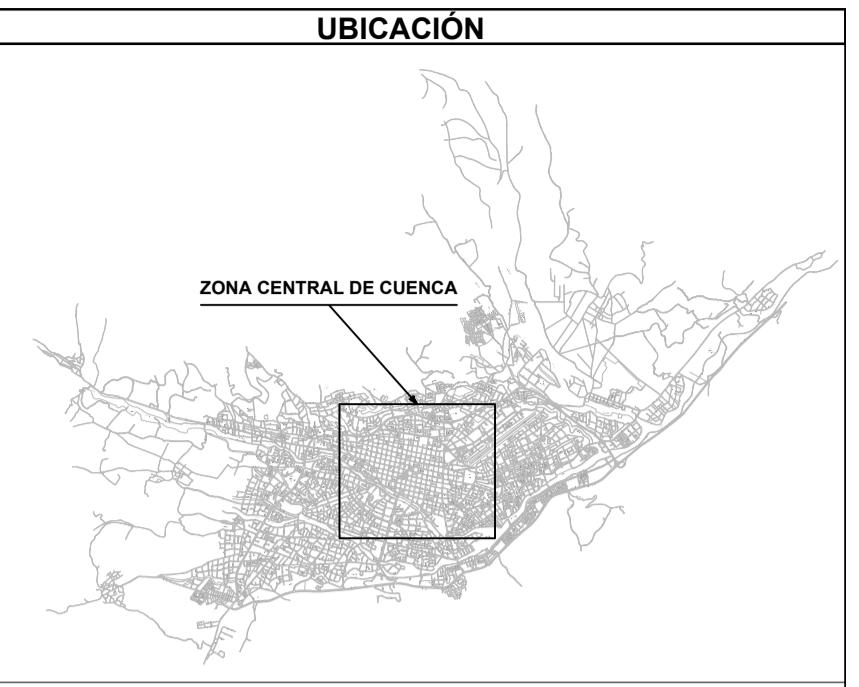
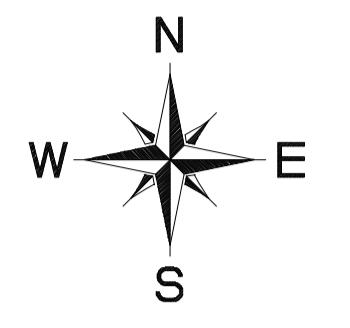




SIMBOLOGIA	
	TRAMO 1 ÁREA = 8,95 [ha]
	TRAMO 2 ÁREA = 8,07 [ha]
	RÍO TOMEBAMBAA



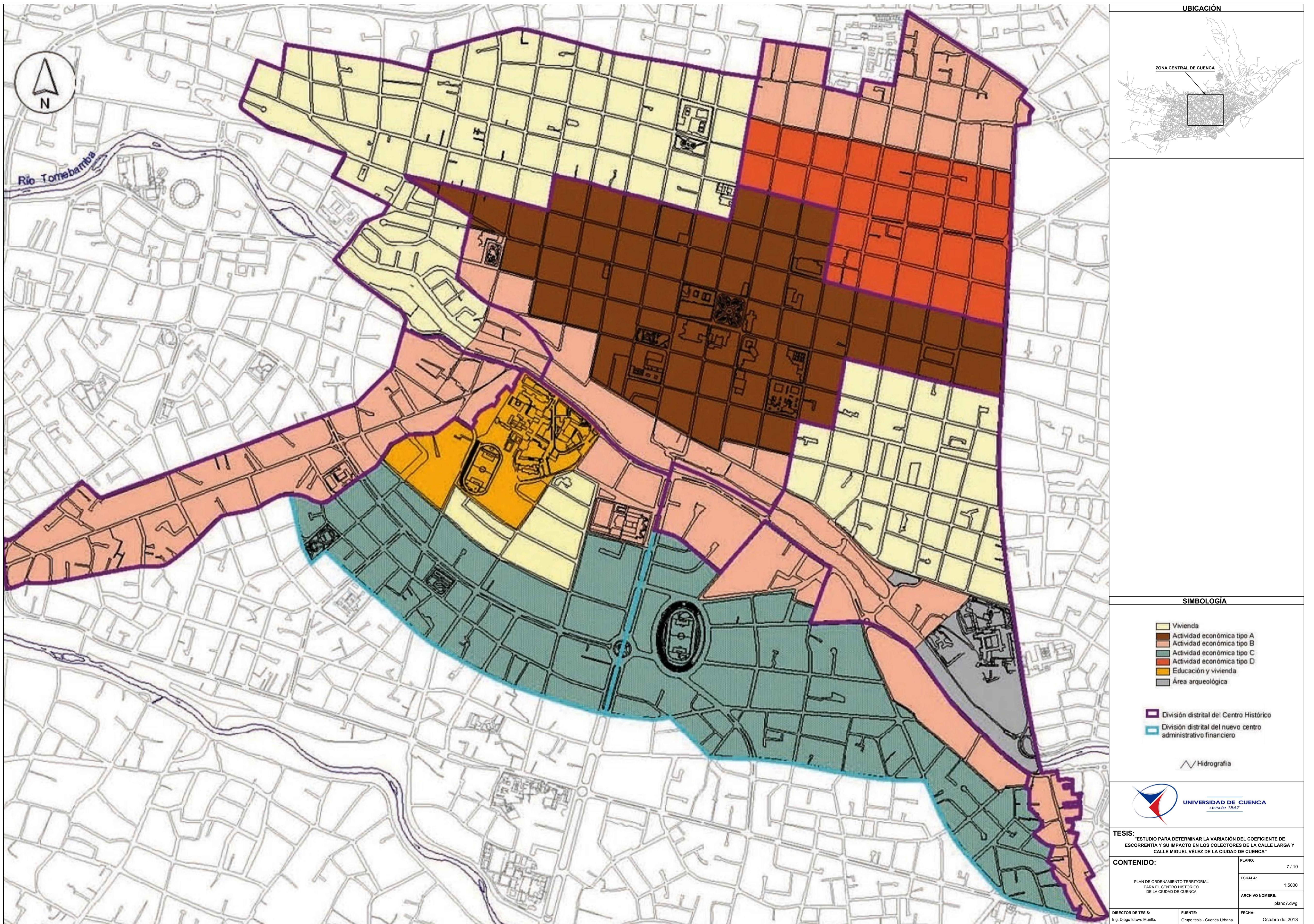
TESIS: "ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRIENTIA Y SU IMPACTO EN LOS COLECTORES DE LA CALLE LARGA Y CALLE MIGUEL VÉLEZ DE LA CIUDAD DE CUENCA"	PLANO: 5 / 10
CONTENIDO: ÁREA DE APORTE DE LA CALLE LARGA TRAMOS 1 Y 2	ESCALA: 1:7500
	ARCHIVO NOMBRE: plano5.dwg
DIRECTOR DE TESIS: Ing. Diego Idrovo Muñilo.	DIBUJO: David Muñoz Pauta.
	FECHA: Octubre del 2013

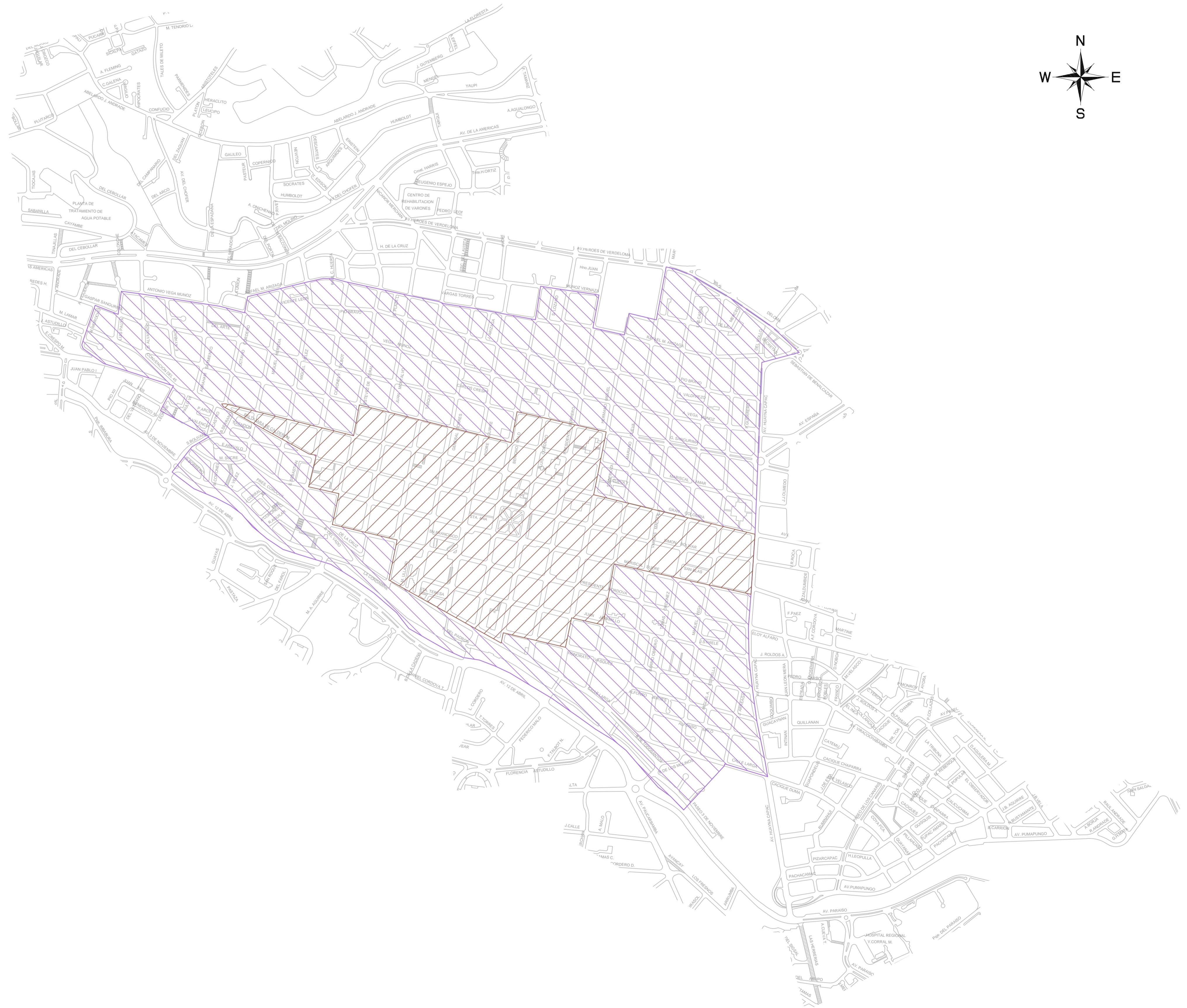


SIMBOLÓGIA	
	ZONA CENTRAL NORTE ÁREA = 35,55 [ha]
	ZONA CENTRAL OESTE ÁREA = 33,84 [ha]
RÍO TOMEBAMBAA	

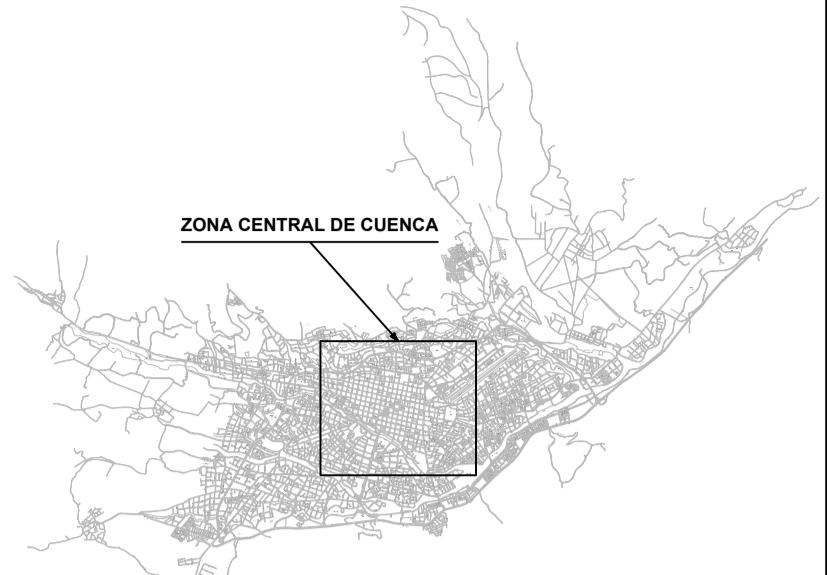


TESIS: "ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRIENTIA Y SU IMPACTO EN LOS COLECTORES DE LA CALLE LARGA Y CALLE MIGUEL VÉLEZ DE LA CIUDAD DE CUENCA"	PLANO: 6 / 10
CONTENIDO: ÁREA DE APORTE DE LA CALLE MIGUEL VÉLEZ ZONA CENTRAL NORTE Y OESTE	ESCALA: 1:7500
	ARCHIVO NOMBRE: plano6.dwg
DIRECTOR DE TESIS: Ing. Diego Idrovo Muñoz.	DIBUJO: David Muñoz Pauta.
	FECHA: Octubre del 2013





UBICACIÓN



ZONA CENTRAL DE CUENCA

SIMBOLOGÍA



ZONA RESIDENCIAL
ÁREA = 275,10 [ha]



ZONA COMERCIAL
ÁREA = 78,90 [ha]

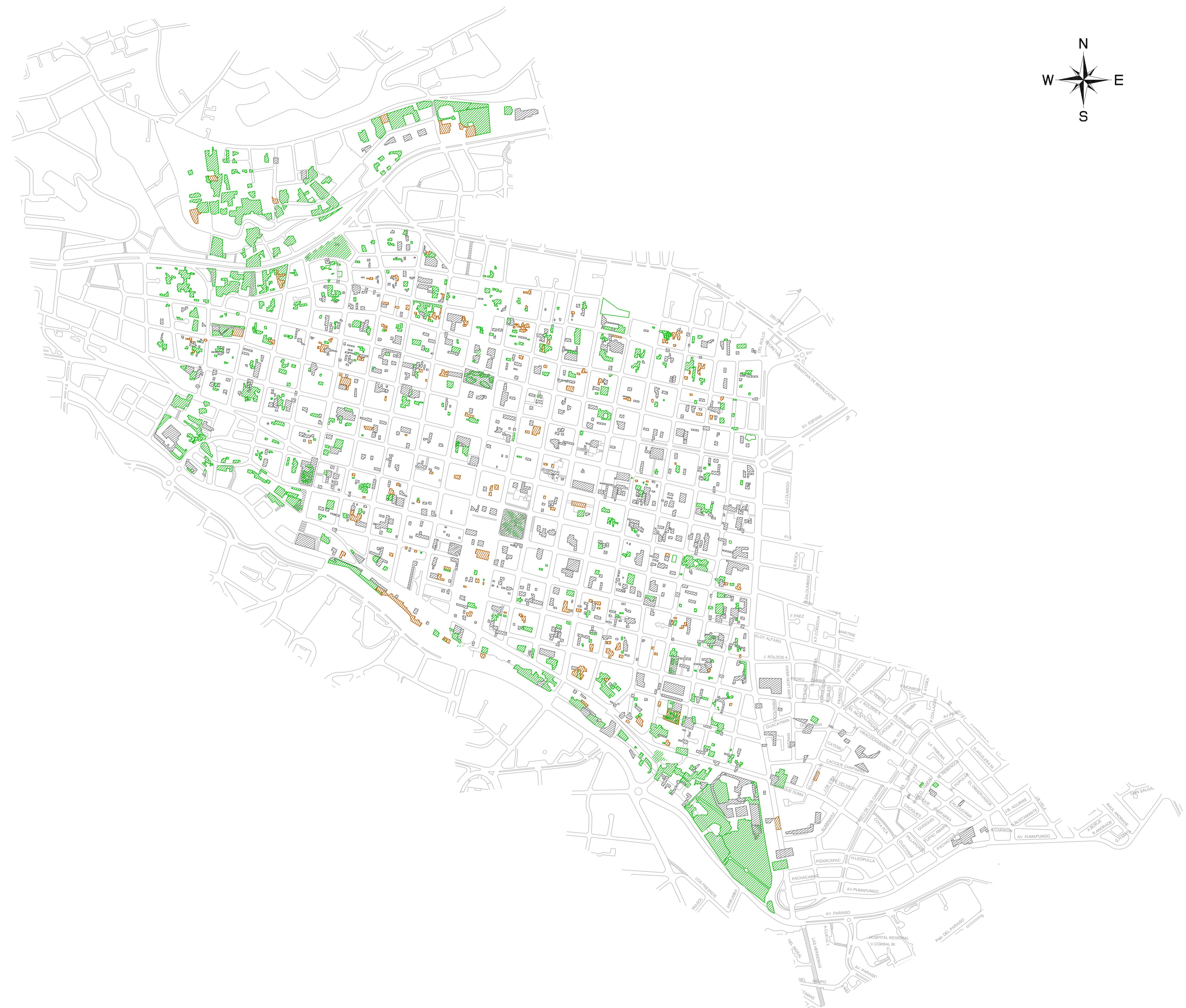


UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

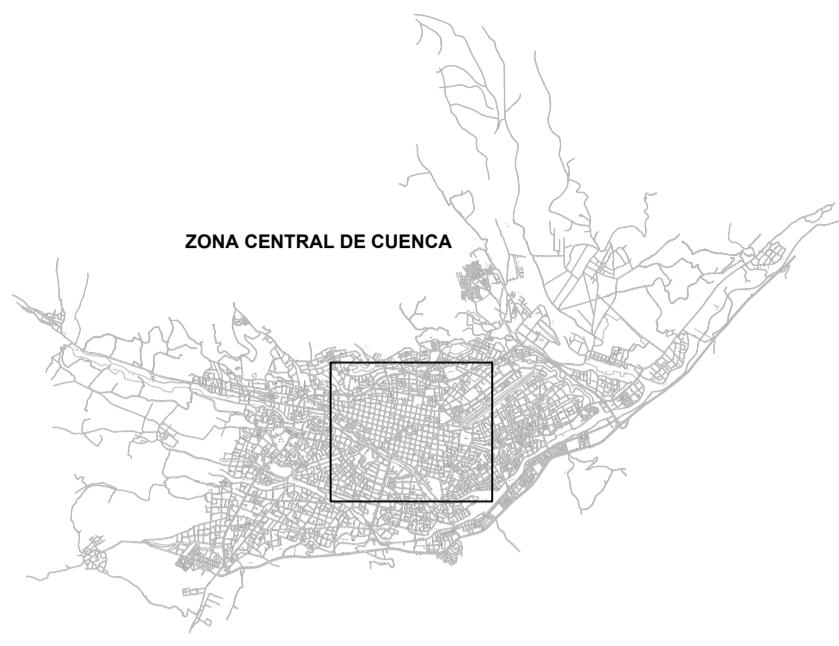
ESIS:

"ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y SU IMPACTO EN LOS COLECTORES DE LA CALLE LARGA Y CALLE MIGUEL VÉLEZ DE LA CIUDAD DE CUENCA"

CONTENIDO:	PLANO: 8 / 10
PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CUENCA	ESCALA: 1:7500
	ARCHIVO NOMBRE: plano8.dwg
SECTOR DE TESIS: Diego Idrovo Murillo.	DIBUJO: David Muñoz Pauta.
	FECHA: Octubre del 2013



UBICACIÓN



SIMBOLOGÍA



ÁREA SIN VEGETACIÓN



ÁREA CON VEGETACIÓN

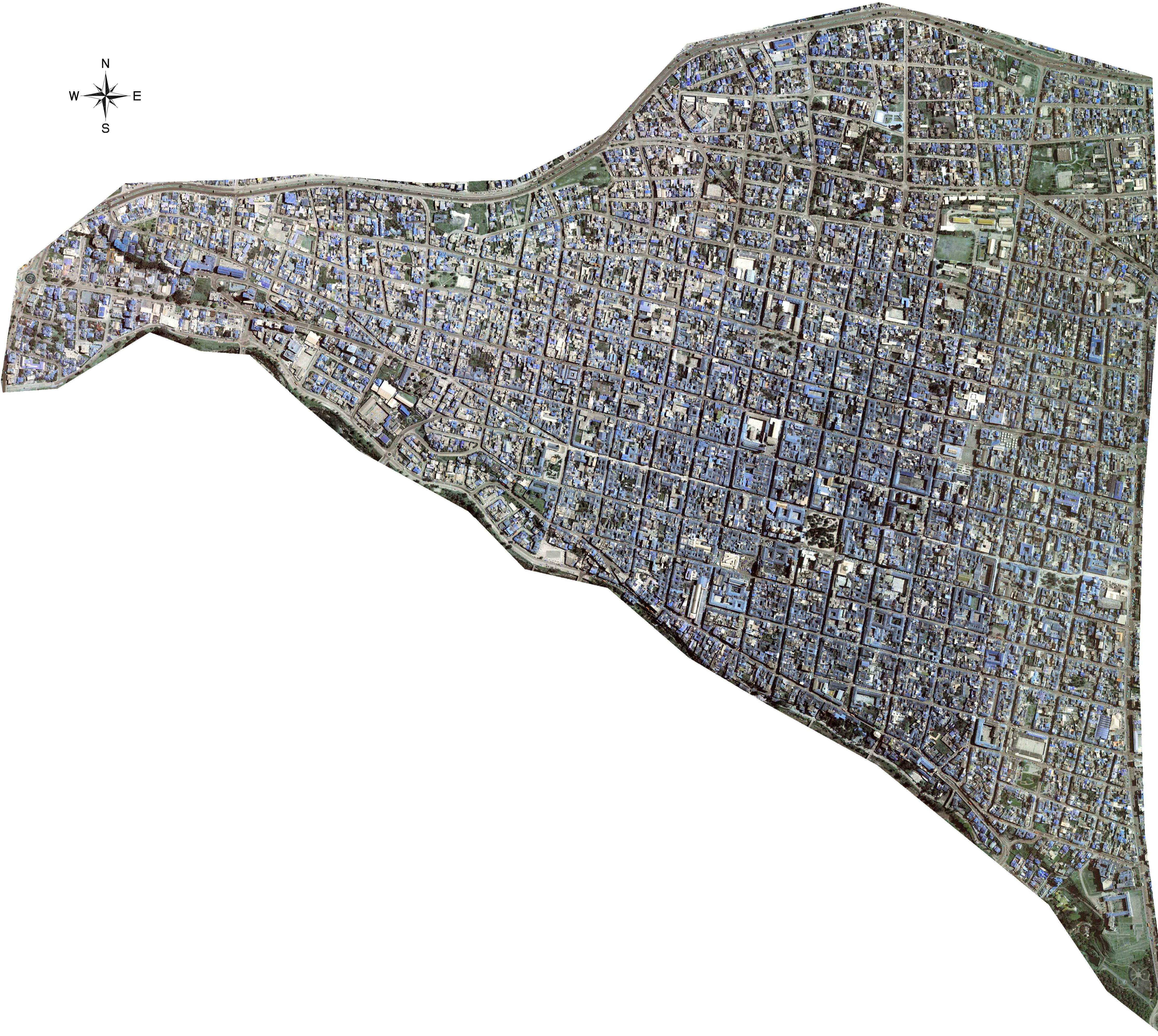
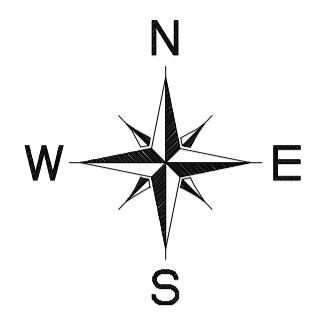


ÁREA CON HORMIGÓN

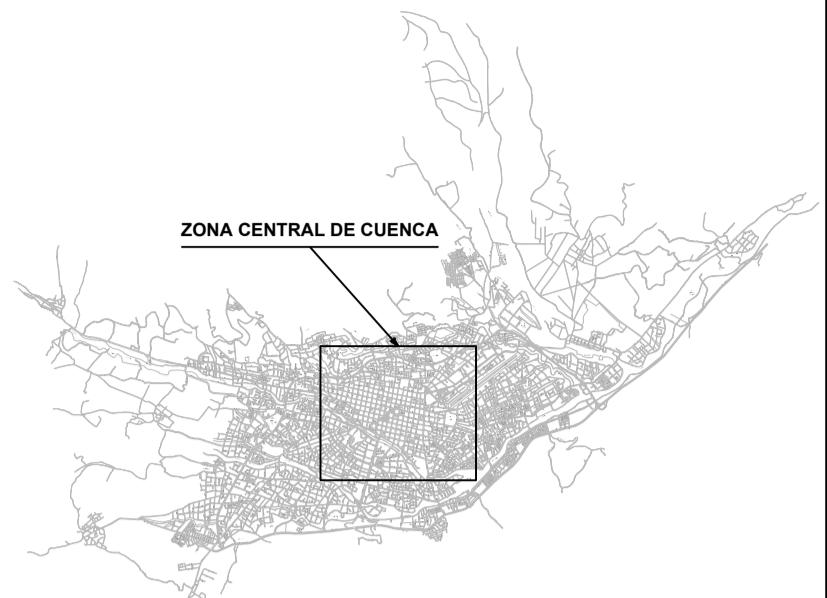
TESIS:

TESIS:
**"ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE
ESCORRENTÍA Y SU IMPACTO EN LOS COLECTORES DE LA CALLE LARGA Y
CALLE MIGUEL VÉLEZ DE LA CIUDAD DE CUENCA"**

CONTENIDO:	PLANO: 9 / 10
IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS VERDES, ÁREAS SIN VEGETACIÓN Y SUPERFICIES DE HORMIGÓN	ESCALA: 1:7500
	ARCHIVO NOMBRE: plano9.dwg
DIRECTOR DE TESIS: Ing. Diego Idrovo Murillo.	DIBUJO: David Muñoz Pauta.
	FECHA: Octubre del 2013



UBICACIÓN



TESIS:
"ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE
ESCORRIENTIA Y SU IMPACTO EN LOS COLECTORES DE LA CALLE LARGA Y
CALLE MIGUEL VÉLEZ DE LA CIUDAD DE CUENCA"

CONTENIDO:	PLANO:	10 / 10
PLANO AEROFOTOGRÁMICO DE LA CIUDAD DE CUENCA	ESCALA:	1:5000
	ARCHIVO NOMBRE:	plano10.dwg
DIRECTOR DE TESIS: Ing. Diego Idrovo Muñoz.	FUENTE:	FECHA: Octubre del 2013