

# FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

# ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Estudio para determinar el coeficiente C de escorrentía en la zona Sur del río Tomebamba

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL CON ENFÁSIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

AUTORES: PAÚL FERNANDO ORDÓÑEZ SERPA MARCOS EUGENIO ESCANDÓN SACOTO

DIRECTOR: JOSUÉ BERNARDO LARRIVA VÁSQUEZ

> CUENCA – ECUADOR 2018

#### **DEDICATORIA**

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, logrando cumplir con mis objetivos propuestos, a mis padres Vicente Ordóñez y Javiera Serpa quienes han sido el pilar fundamental en mi vida para salir adelante, que con sus valores y consejos me han impulsado cada día para conseguir el éxito, demostrando mi potencial dentro del campo universitario y así culminar mi carrera, también son partes de este regocijo mis hermanos Javier, Santiago, y Diana Cristina, aquellos que con sabiduría y acierto me han sabido guiar en este arduo camino y siempre han confiado en mi capacidad, a todos ellos dedico este trabajo realizado con mucho cariño y esfuerzo.

PAÚL FERNANDO ORDÓÑEZ SERPA

Quiero agradecer a mis padres Eugenio Escandón y Ruth Sacoto por haberme apoyado y guiado no solo en mi carrera universitaria sino a lo largo de mi vida, de igual manera a mi hermano Santiago que con su experiencia y cariño siempre supo aconsejarme y valorar mis logros. A ellos les dedico esta tesis realizada con mucho esfuerzo y dedicación.

MARCOS EUGENIO ESCANDÓN SACOTO

#### **AGRADECIMIENTO**

Queremos agradecer a la Universidad del Azuay y a todos sus profesores, especialmente aquellos que nos han brindado su conocimiento, experiencias y motivación para culminar nuestra carrera universitaria.

A nuestro director de tesis, Ing. Josué Larriva Vásquez Mst, quien con su paciencia y sabiduría ha puesto todo su empeño y dedicación en la elaboración de este trabajo.

De igual manera queremos agradecer a la Ing. Verónica Chumi de ETAPA EP, quien nos brindó de información relevante para la elaboración del mismo, que con su ayuda, experiencia y criterio personal hemos logrado alcanzar nuestro objetivo.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	. vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN	X
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
CAPÍTULO I	3
1. CONCEPTOS	3
1.1. Ciclo Hidrológico	3
1.2. Impactos de la construcción al ciclo hidrológico	5
1.3. Precipitación	6
1.3.1. Formación de las precipitaciones	6
1.3.2. Tipos de precipitaciones	7
1.3.2.1. Precipitaciones convectivas	7
1.3.2.2. Precipitaciones orográficas	8
1.3.2.3. Precipitaciones por convergencia	8
1.4. Infiltración	. 10
1.4.1. Proceso de Infiltración en el suelo	. 10
1.4.2. Factores que afectan a la infiltración del suelo	. 11
1.4.2.1. Características del medio permeable	. 11
1.4.2.1.1. Condiciones de la superficie	. 11
1.4.2.1.2. Características del terreno	. 11
1.4.2.1.3. Condiciones ambientales	. 12
1.4.2.2. Características del fluido que se infiltra	. 12
1.4.2.3. Características de los gradientes de presión y gravitacional en el suel 12	lo
1.5. Escorrentía	. 13
1.5.1. Origen del escurrimiento	. 13

1.5.2. Factores que afectan el escurrimiento superficial	. 14
1.5.2.1. Factores climáticos	. 14
1.5.2.1.1. Intensidad de precipitación	. 14
1.5.2.1.2. Duración de la precipitación	. 14
1.5.2.1.3. Precipitación antecedente	. 15
1.5.2.2. Factores fisiográficos	. 15
1.5.2.2.1. Área	. 15
1.5.2.2.2. Permeabilidad	. 15
1.5.2.3. Factores humanos	. 15
1.5.3. Coeficiente de escorrentía superficial, C	. 15
1.6. Métodos para determinar el coeficiente de escorrentía	. 16
1.6.1. Método Racional	. 16
1.6.1.1. Coeficiente de escorrentía medio	. 18
1.6.2. Método del Número de Curva	. 18
1.6.2.1. Parámetros de los que depende el Número de Curva	. 20
1.6.2.1.1. Condición hidrológica	. 20
1.6.2.1.2. Grupo hidrológico de suelo	. 20
1.6.2.1.3. Uso de la tierra y tratamiento	. 21
1.6.2.1.4. Condición de humedad antecedente	. 22
1.6.2.2. Relación entre el coeficiente de escorrentía y número de curva	. 23
CAPÍTULO II	. 25
2. ESTUDIO	. 25
2.1. Descripción de zona de estudio	. 25
2.2. Acceso a información	. 26
2.3. Aplicación del Método Racional	. 26
2.3.1. Método Racional adaptado al sector Tomebamba 1	. 26
2.3.2. Método Racional adaptado al sector Tomebamba 2	. 28
2.3.3. Método Racional adaptado al sector Tomebamba 3	. 30
2.3.4. Método Racional adaptado al sector Yanuncay 1	. 32
2.3.5. Método Racional adaptado al sector Tarqui 1	. 34
2.3.6. Método Racional adaptado al sector Tarqui 2	. 36
2.3.7. Método Racional adaptado al sector Tarqui 3	. 38
2.4. Aplicación del Método del Número de Curva	. 40
2.4.1. Ubicación de pluviómetros	. 41
2.4.2. Método del Número de Curva adaptado al sector Tomebamba 1	. 43
2.4.3. Método del Número de Curva adaptado al sector Tomebamba 2	. 45
2.4.4. Método del Número de Curva adaptado al sector Tomebamba 3	. 47

2.4.5. Método del Número de Curva adaptado al sector Yanuncay 1
2.4.6. Método del Número de Curva adaptado al sector Tarqui 1
2.4.7. Método del Número de Curva adaptado al sector Tarqui 2
2.4.8. Método del Número de Curva adaptado al sector Tarqui 3
CAPÍTULO III
3. RESULTADOS
3.1. Representación de mapas de los coeficientes "C" de escorrentía por el método racional en ArcGIS
3.2 Representación de mapas de los coeficientes "C" de escorrentía por el método del número de curva en ArcGIS
3.3. Análisis de los coeficientes de escorrentía
3.3.1. Método Racional
3.3.2. Método del Número de Curva
CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFÍA: 64

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: E	El ciclo hidrológico	4
Figura 1.2: F	Representación esquemática del ciclo hidrológico	5
Figura 1.3: F	Precipitación convectiva.	8
Figura 1.4: F	Precipitación orográfica	8
Figura 1.5: F	Precipitación por convergencia	9
Figura 1.6: F	Precipitación ciclónica	9
Figura 1.7: F	Frentes frío y caliente	10
Figura 1.8: F	Relación entre la precipitación y el escurrimiento total	14
Figura 2.1: Ciu	ıdad de Cuenca	25
Figura 2.2: De	limitación del río Tomebamba	25
Figura 2.3: Áro	ea de estudio	26
Figura 2.4: Sec	ctor Tomebamba 1	27
Figura 2.5: Sec	ctor Tomebamba 2	29
Figura 2.6: Sec	ctor Tomebamba 3	31
Figura 2.7: Sec	ctor Yanuncay 1	33
Figura 2.8: Sec	ctor Tarqui 1	35
Figura 2.9: Sec	ctor Tarqui 2.	37
Figura 2.10: Se	ector Tarqui 3	39
Figura 2.11: U	bicación de pluviómetros en la ciudad de Cuenca	41
Figura 2.12.: E	Estación "El Valle"	42
Figura: 2.13: E	Estación "Huizhil".	42
Figura 2.14: G	eología del sector Tomebamba 1	44
Figura 2.15: G	eología del sector Tomebamba 2.	46
Figura 2.16: G	eología del sector Tomebamba 3	48
Figura 2.17: G	eología del sector Yanuncay 1	50
Figura 2.18: G	eología del sector Tarqui 1	52
Figura 2.19: G	eología sector Tarqui 2.	54
Figura 2.20: G	eología del sector Tarqui 3	56
Figura 3.1: Co	eficientes de escorrentía por el método racional	58
•	eficientes de escorrentía por el método del número de curva con nínima	. 59
_	eficientes de escorrentía por el método del número de curva con náxima	.59

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Coeficientes de escorrentía de distintos de tipos de superficie	17
Tabla 1-2: Coeficientes de escorrentía de distintos de tipos de zona	17
Tabla 1-3: Condición hidrológica	20
Tabla 1-4: Clasificación hidrológica de los suelos.	21
Tabla 1-5: Condiciones de Humedad Antecedente.	22
Tabla 1-6: Precipitación acumulada.	22
Tabla 1-7: Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícol suburbana y urbana (condiciones de humedad antecedente II, Ia=0,2S)	
Tabla 2-1: Área Tomebamba 1.	27
Tabla 2-2: Valores del coeficiente C para el sector Tomebamba 1	27
Tabla 2-3: Valores del coeficiente C multiplicados por su área.	28
Tabla 2-4: Área Tomebamba 2.	29
Tabla 2-5: Valores del coeficiente C para el sector Tomebamba 2	29
Tabla 2-6: Valores del coeficiente C multiplicados por su área.	30
Tabla 2-7: Área Tomebamba 3.	31
Tabla 2-8: Valores del coeficiente C para el sector Tomebamba 3	32
Tabla 2-9: Valores del coeficiente C multiplicados por su área.	32
Tabla 2-10: Área Yanuncay 1.	33
Tabla 2-11: Valores del coeficiente C para el sector Yanuncay 1.	33
Tabla 2-12: Valores del coeficiente C multiplicados por su área.	34
Tabla 2-13: Área Tarqui 1	35
Tabla 2.14: Valores del coeficiente C para el sector Tarqui 1	35
Tabla 2-15: Valores del coeficiente C multiplicado por su área	36
Tabla 2-16: Área Tarqui 2	37
Tabla 2-17: Valores del coeficiente C para el sector Tarqui 2	38
Tabla 2-18: Valores del coeficiente C multiplicados por su área	38
Tabla 2-19: Área Tarqui 3	39
Tabla 2-20: Valores del coeficiente C para el sector Tarqui 3	39
Tabla 2-21: Valores del coeficiente C multiplicados por su área	40
Tabla 2-22: Ubicación de la estación "El Valle".	42
Tabla 2-23: Ubicación de la estación de "Huizhil"	42
Tabla 2-24: Datos de Pluviómetros.	43
Tabla 2-25: Precipitación mínima y máxima de las estaciones "Huizhil" y "El Val	le".
Tabla 2-26: Porcentaje de áreas.	
Tabla 2-27: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo	44

Tabla 2-28: Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos	45
Tabla 2-29: Porcentaje de áreas.	45
Tabla 2-30: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo	46
Tabla 2-31: Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos	47
Tabla 2-32: Porcentaje de áreas.	47
Tabla 2-33: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo	48
Tabla 2-34: Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos	49
Tabla 2-35: Porcentaje de áreas.	50
Tabla 2-36: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo	50
Tabla 2-37: Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos	51
Tabla 2-38: Porcentaje de áreas.	51
Tabla 2-39: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo	52
Tabla 2-40: Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos	53
Tabla 2-41: Porcentaje de áreas.	53
Tabla 2-42: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo	54
Tabla 2-43: Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos	55
Tabla 2-44: Porcentaje de áreas.	55
Tabla 2-45: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo	
Tabla 2-46: Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos	57
Tabla 3-1: Tabla de Resumen para el método racional	60
Tabla 3-2: Tabla de Resumen para el método del número de curva con precipitaciones máximas.	60
Tabla 3-3: Tabla de Resumen para el método del número de curva con precipitaciones mínimas	

# ESTUDIO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE C DE ESCORRENTÍA EN LA ZONA SUR DEL RÍO TOMEBAMBA

#### RESUMEN

En el presente trabajo se obtuvieron los valores del coeficiente de escorrentía "C" en la zona Sur del río Tomebamba para las condiciones actuales a partir de dos métodos. El área de estudio fue dividida en sectores, dependiendo de la cuenca del río al que aportan. Se aplicó el método racional, mediante el uso de herramientas informáticas, para lo cual se clasificaron en tipos de cobertura sean estas techos, pavimento, adoquín, grava, ladera sin vegetación y ladera con vegetación. Por otro lado se aplicó el método del número de curva, utilizando datos de pluviómetros y uso de suelo, brindados por la empresa pública ETAPA EP. Los resultados sirven para ajustar datos a la empresa mencionada.

Palabras Claves: Escorrentía, usos de suelo, SIG, método racional, número de curva.

Ing. Josué Larriva Vásquez, Mst.

Director del trabajo de Titulación

Ing. José Vásquez Calero, M.Sc.

Director de Escuela

Paúl Ordóñez Serpa

Autor

Marcos Escandón Sacoto

Autor

# STUDY TO DETERMINE THE RUNOFF COEFFICIENT C IN THE SOUTH OF THE TOMEBAMBA RIVER

#### **ABSTRACT**

This work obtained the values of the runoff coefficient "C" in the southern area of the Tomebamba river for current conditions from two methods. The study area was divided into sectors depending on the river basin they contribute to. The rational method was applied through the use of computer tools. For this, a classification of types of coverage such as roofs, pavement, cobblestone, gravel, hillside without vegetation and hillside with vegetation was performed. The curve number method was applied, using rain gauge and land use data provided by the public company ETAPA EP. The results served the mentioned company to adjust data.

Keywords: Runoff, land use, GIS, rational method, curve number.

Ing. Josué Larriva Vásquez, Mst.

**Thesis Director** 

Paúl Ordóñez Serpa

Author

lun

Ing. José Vásquez Calero, M.Sc.

HOSEVASON SC

**Faculty Director** 

Marcos Escandón Sacoto

Author

Translated by Ing. Paul Arpi Ordóñez Serpa Paúl Fernando

Escandón Sacoto Marcos Eugenio

Trabajo de Titulación

Ing. Josué Bernardo Larriva Vásquez, Mst.

Septiembre, 2018.

# ESTUDIO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE C DE ESCORRENTÍA EN LA ZONA SUR DEL RÍO TOMEBAMBA

#### INTRODUCCIÓN

#### **ANTECEDENTES**

El sistema de alcantarillado actualmente vigente fue construido bajo los criterios establecidos en los Planes Maestros de 1968 y 1985; no obstante, y según los estudios de factibilidad del año 1985 los sistemas existentes no estaban actuando de acuerdo a lo programado, ya que se detectó una gran cantidad de conexiones y descargas sanitarias ilícitas que vertían a colectores pluviales y viceversa.

Actualmente la mayor parte del sistema de alcantarillado en la ciudad de Cuenca es de tipo combinado y se encuentra conectado al sistema de interceptores mediante las unidades de derivación. Estos interceptores transportan las aguas residuales hacia la PTAR<sup>1</sup> de Ucubamba para su tratamiento, garantizando el servicio y mejora de las condiciones sanitarias con altos índices de calidad, cobertura, cantidad, confiabilidad y continuidad con el fin de preservar los ríos y quebradas (ETAPA EP, 2018).

Todo proyecto de aprovechamiento hídrico requiere datos reales para su dimensionamiento, por esta razón el factor lluvia tiene gran importancia debido a que se necesitan valores reales para correctos diseños futuros de alcantarillado. De esta manera se podrá aproximar la cantidad de agua que recorre en cada parte de la ciudad, evitando altos volúmenes de escorrentía y reduciendo tiempos de concentración. La sustitución de usos y coberturas de suelos naturales por superficies urbanas provoca el aumento de caudal de escorrentía.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

# **JUSTIFICACIÓN**

La empresa pública ETAPA usa valores teóricos de coeficiente de escorrentía C para el diseño del alcantarillado, por esta razón, se efectuará el análisis de la parte sur de la ciudad delimitada por el río Tomebamba, la cual se ha distribuido en siete sectores y nombrados según la zona en la que descargan sus aguas. De ésta manera se tiene tres sectores que descargan al río Tomebamba, tres que descargan al río Tarqui, y un último que descarga al río Yanuncay. Cada sector se analizará de manera independiente, se considerará su composición y uso, que puede ser: residencial, comercial, área verde, industrial, etc. para poder calcular el coeficiente de escorrentía real para cada sector.

#### **OBJETIVOS**

# Objetivo general

 Obtener valores en las condiciones actuales del coeficiente C de escorrentía en la zona Sur del río Tomebamba.

# **Objetivos específicos**

- Investigar y analizar el método racional y el método del número de curva, aplicados al área de estudio.
- Aplicar los métodos para el cálculo de los coeficientes de escorrentía C.
- Analizar los resultados obtenidos, y representarlos en mapas temáticos para todas las subzonas de la ciudad.

# CAPÍTULO I

#### 1. CONCEPTOS

#### 1.1. Ciclo Hidrológico

Según Villón (2004. p. 22), "Se denomina ciclo hidrológico al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.)".

Según Maderey (2005), el ciclo del agua o ciclo hidrológico es el proceso mediante el cual se efectúa el suministro de agua para plantas, animales y el ser humano. Su fundamento en cualquier momento es que toda gota de agua recorre un circuito cerrado. Este recorrido tiene diferentes maneras de cerrarse debido a que el ciclo hidrológico no posee camino único, se puede considerar a la nube como elemento de origen, desde ella se tienen distintas formas de precipitación, consideramos de esta manera que inicia el ciclo.

La atmósfera comprende al agua en forma de vapor y de nubes que derivan la mayor parte del agua evaporada en el mar. Esta humedad es trasladada por los diferentes sistemas de vientos hacia los continentes en donde precipita de manera líquida, sólida o de condensación (rocío y escarcha). Durante la precipitación el agua puede comenzar su retorno a la atmósfera, debido a que en su caída se evapora y un porcentaje de ésta no llega al suelo; por otra parte al caer sobre las plantas, esta queda obstaculizada en la vegetación en donde se evapora y regresa a la atmósfera y parte de ella se escurre e infiltra en el suelo. El agua que precipita directamente en el suelo será el que cumpla el ciclo hidrológico, una fracción de esta precipitación puede caer sobre superficies líquidas como ríos, lagos, lagunas, presas etc. Otra fracción correrá por la superficie originando el escurrimiento superficial o escorrentía que se encaminará a los causes de los ríos, y a través de estos, al mar. Una fracción del agua que se precipitó en la tierra se evapora desde el suelo, otra se infiltra satisfaciendo la humedad del suelo; por otro lado cuando lo satura se produce un flujo subsuperficial que al igual que el flujo superficial llega a los causes de los ríos, de la misma manera por percolación<sup>2</sup> llega a los mantos de agua subterráneos y mediante el flujo subterráneo provee el caudal base de los ríos, como se observa en las Figuras 1.1 y 1.2.

.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Paso lento de fluidos

El agua infiltrada en el suelo puede regresar a la superficie en forma de manantiales en situación próxima, tanto geográfica como temporalmente, o caso contrario profundizar y tener grandes recorridos de larga duración hacia el mar o depresiones endorreicas<sup>3</sup>. Cabe mencionar que los movimientos de flujo subterráneo son muy lentos.

El escurrimiento superficial, el flujo subsuperficial y el flujo subterráneo que descargan en los causes conforman el agua de escurrimiento, y a través de estos llegan al mar, sin embargo, una parte del agua de escurrimiento queda detenida en los mismos ríos. Para culminar, desde la superficie del mar y de otras superficies líquidas hay otra etapa de evaporación que cierra el ciclo, y es donde termina la hidrología y comienza la meteorología (Maderey, 2005).

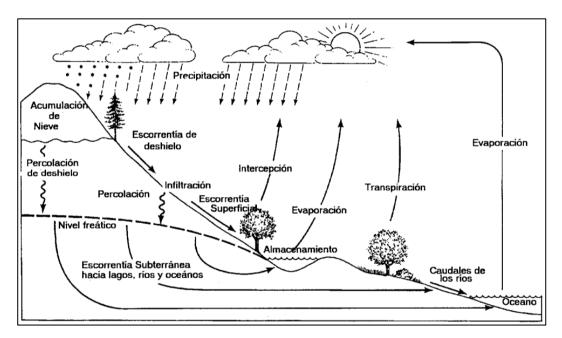


Figura 1.1: El ciclo hidrológico.

Fuente: (Villodas, 2008).

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Área en la que el agua no tiene salida fluvial hacia el océano

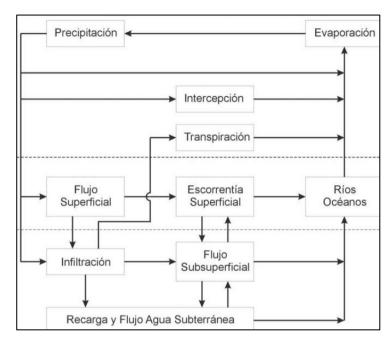


Figura 1.2: Representación esquemática del ciclo hidrológico.

Fuente: (Villodas, 2008).

## 1.2. Impactos de la construcción al ciclo hidrológico

En la historia de la tierra han existido perturbaciones en el clima que han generado alteraciones considerables en el ciclo hidrológico, el Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2001) determina las evidencias de los cambios en las variables críticas que han controlado el ciclo hidrológico y el clima durante el siglo XX. Entre los hechos más notables tenemos: aumento en la temperatura media global, aumento en la precipitación continental, gran retroceso de la mayor parte de los glaciares de montaña y de los polos, retraso en las primeras heladas de otoño, adelanto del deshielo en bastantes lagos, y un incremento del nivel del mar.

Las alteraciones provocadas por el hombre en los recursos hídricos como embalses, sistemas de irrigación, sobreexplotación de acuíferos tienen gran incidencia en las condiciones climáticas. Los cambios que afectan a la temperatura y precipitación no solo dependen de variaciones climáticas, también dependen de factores ambientales como el uso de suelo y vegetación que se ven seriamente afectadas por todo tipo de construcciones y edificaciones, lo que resulta difícil estimar con más exactitud la evolución de la escorrentía y su distribución; todos estos cambios dependen principalmente de factores económicos y sociológicos (demografía, cultura, necesidades económicas, entre otros) y de limitaciones climáticas (Duarte, 2006).

La sustitución de superficies de cobertura vegetal por superficies impermeables disminuye considerablemente los coeficientes de intercepción de las lluvias por parte de los follajes. Esto refiere a la cantidad de agua retenida por la vegetación y que escurre lentamente hasta llegar al suelo e infiltrándose con mayor simplicidad, que si cae directamente desde las nubes cubriendo los suelos y produciendo un aumento del escurrimiento, ocasionado por la disminución de la infiltración superficial y subsuperficial de los flujos de agua, creando inundaciones y el desplazamiento de aguas contaminadas de fuentes puntuales y no puntuales hacia lagos, arroyos y estuarios. De igual manera se producen variaciones en los tiempos, tasas y volúmenes de recarga y descarga de los acuíferos subterráneos a causa de la evapotranspiración (Romero y Vásquez, 2005).

Como consecuencia del impacto generado por el crecimiento de la construcción en el ciclo hidrológico y al medio ambiente, es muy importante generar sensibilización en la población para la conservación de áreas verdes cuando se realice un proyecto u obra de construcción, debido a que la impermeabilización de áreas rurales está totalmente ligada a la alteración del ciclo hidrológico, por lo que se debe seguir las normas establecidas e inspeccionar factores que influyen en el paso del flujo natural.

#### 1.3. Precipitación

Según Monsalve (1999. p. 79), "Precipitación es, en general, el término que se refiere a todas las formas de humedad emanadas de la atmósfera y depositadas en la superficie terrestre, como la lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o helada".

#### 1.3.1. Formación de las precipitaciones

Para la formación de las precipitaciones se necesita la presencia de algunos elementos como son:

- Humedad atmosférica
- Radiación Solar
- Mecanismo de enfriamiento del aire
- Presencia de núcleos higroscópicos para que haya condensación
- Mecanismo de crecimiento de las partículas

Su proceso es el siguiente:

a) El aire húmedo de los estratos bajos es calentado por conducción.

- b) El aire húmedo se vuelve más leve que el de sus alrededores y experimenta una ascensión adiabática<sup>4</sup>.
- c) Luego el aire húmedo se propaga y se enfría a razón de 1°C por cada 100 metros (expansión adiabática seca), hasta colocarse en un estado de saturación, para alcanzar un nivel de condensación.
- d) Alcanzado este nivel y con núcleos higroscópicos<sup>5</sup>, el vapor de agua se condensa creando pequeñas gotas a lo largo de dichos núcleos.
- e) Las gotas permanecen suspendidas para seguir un proceso de crecimiento alcanzando el tamaño adecuado para descender.

El crecimiento de las gotas puede seguir dos procesos:

- a) Coalescencia: Las gotas grandes al ponerse en contacto con las gotas pequeñas aumentan de tamaño.
- b) Difusión de vapor: Es el proceso que sigue el aire luego de alcanzar su nivel de condensación, continúa desarrollándose y provoca una propagación de vapor supersaturado y su condensación consecutiva en torno a las gotas que aumentan de tamaño.

#### 1.3.2. Tipos de precipitaciones

Pueden ser convectivas, orográficas, y de convergencia, de acuerdo con las condiciones que originan movimiento vertical del aire.

#### 1.3.2.1. Precipitaciones convectivas

Cuando una masa de aire se encuentra cerca de la superficie del terreno incrementa su temperatura, la densidad se reduce y la masa de aire trata de ascender y ser sustituida por otra más densa (Figura 1.3).

Si las masas se encuentran en reposo y no hay turbulencia el proceso suele ser bastante lento, pero en regiones tropicales donde estas precipitaciones son muy peculiares, el calentamiento desigual de la superficie terrestre ocasiona el surgimiento de estratos de aire con densidades distintas, y origina una estratificación térmica de la atmósfera en equilibrio inestable.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Proceso en el cual un fluido no intercambia calor con su entorno

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Partículas de sales o gotas de soluciones salinas, procedentes de mares y océanos

Si se rompe dicho equilibrio por cualquier razón ya sea provocado por viento o supercalentamiento, ocasiona una ascensión rápida y violenta del aire menos denso, capaz de obtener grandes altitudes (Monsalve, 1999).

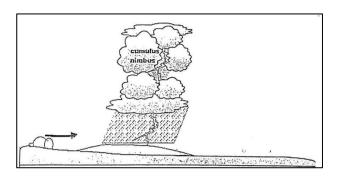


Figura 1.3: Precipitación convectiva.

Fuente: (Villón, 2004).

# 1.3.2.2. Precipitaciones orográficas

Está relacionada con la existencia de una barrera montañosa (Figura 1.4), la particularidad de la precipitación orográfica depende de la altitud, de la pendiente y de su orientación, como también de la separación entre la masa de aire caliente del lugar de levantamiento, por lo regular presentan una intensidad y frecuencia uniforme (Ordóñez, 2011).

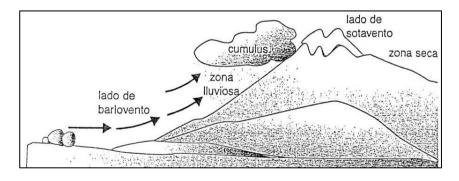


Figura 1.4: Precipitación orográfica.

Fuente: (Villón, 2004).

# 1.3.2.3. Precipitaciones por convergencia

Pueden ser de tres tipos: convergencia propiamente dicha, ciclones y frentes.

La convergencia propiamente dicha sucede cuando dos masas de aire que poseen temperaturas similares, que viajan en dirección opuesta se encuentran a un mismo nivel. La colisión de estas produce que ambas masas de aire se eleven, como se observa en la Figura 1.5.

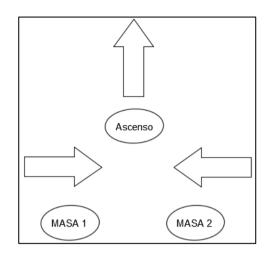


Figura 1.5: Precipitación por convergencia.

Fuente: (Elaboración propia).

El ciclón está formado por una masa de aire que gira en sentido antihorario en el hemisferio norte (Figura 1.6). Posee en su núcleo el "ojo del ciclón", en donde su presión es pequeña comparada con la masa del aire. Su funcionamiento es parecido al de una chimenea, produciendo que el aire de las capas inferiores se eleven. El anticiclón, es una zona de alta presión circular que gira en sentido horario en el hemisferio norte.

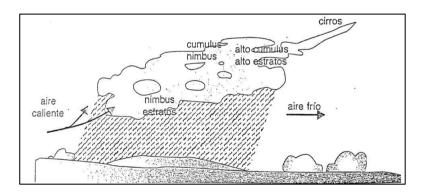


Figura 1.6: Precipitación ciclónica.

Fuente: (Villón, 2004).

Un frente se produce cuando colisionan dos masas de aire de diferente temperatura (Figura 1.7). Si una masa de aire fría en su desplazamiento se encuentra con otra masa de temperatura superior, esta última por ser menos densa se eleva sobre la capa de aire frío, formando de esta manera un frente frío. Por el contrario si una masa con mayor temperatura se encuentra con otra de aire frío, se forma un frente cálido (Monsalve, 1999).



Figura 1.7: Frentes frío y caliente.

Fuente: (Monsalve, 1999).

#### 1.4. Infiltración

La infiltración es un proceso, por el cual el agua igresa al suelo mediante su superficie, alcanzando un manto acuífero que aumenta el volumen de este, o simplemenete permance retenido en el suelo (Campos, 1998).

#### 1.4.1. Proceso de infiltración en el suelo

En ocasiones donde la velocidad de entrada del agua que penetra la superficie del suelo, no está limitada, la capacidad de infiltración será regida por el flujo del agua a lo largo del perfil del suelo.

La distribución de la humedad en el perfil está conformado por cuatro zonas:

- Zona de saturación y transición
- Zona de transmisión
- Zona de humedecimiento
- Frente de humedad o frente húmedo

La zona de saturación es un área muy inmediata a la superficie donde el suelo se encuentra completamente saturado y por debajo de esta se halla la zona de transición, el espesor de estas zonas no se alteran con el tiempo. Por debajo de estas se encuentra la zona de transmisión cuyo espesor aumenta con la duración de la infiltración, y su contenido de humedad suele ser levemente mayor que la capacidad de campo. Culminamos con la zona de humedecimiento, que es la unión de la zona de humedecimiento y el frente húmedo, esta región da como resultado una frontera entre el avance o flujo del agua y el contenido de humedad del suelo (Campos, 1998).

#### 1.4.2. Factores que afectan a la infiltración del suelo

Campos (1998) afirma que la infiltración del suelo suele considerarse como la sucesión de tres pasos: Entrada a la superficie, transmisión a través del suelo, y agotamiento de la capacidad de almacenamiento del suelo. Esta sucesión es definida por un grupo de factores que pueden ser clasificados en:

- Factores que dependen de las características del medio permeable
- Factores que dependen de las características del fluido que se infiltra
- Factores que dependen de las características de los gradientes de presión y gravitacional que se originan en el suelo.

Los factores que se explican a continuación, predominan más en la intensidad de la infiltración, al detener el ingreso del agua, que en el volumen total infiltrado.

# 1.4.2.1. Características del medio permeable

#### 1.4.2.1.1. Condiciones de la superficie

Existe una disminución de la infiltración a causa de la disgregación, arrastre de materiales finos y compactación en el suelo desnudo por parte del agua lluvia. Un suelo con excelente drenaje puede mostrar una capacidad de infiltración baja, producto del sellado en la superficie y estratos superiores.

Por otro lado cuando el suelo posee vegetación, esta intercepta el agua lluvia disminuyendo su desplazamiento normal por la superficie y exponiéndola por mayor tiempo para el proceso de infiltración. Las raíces de las plantas al penetrar en el suelo provocan grietas que satisfacen de mejor manera la incorporación del agua.

En lugares donde carece la formación de suelos, se debe considerar de manera indispensable para el proceso de infiltración la clase, tamaño y orientación de las grietas o fisuras. La pendiente del terreno influye en el tiempo que el escurrimiento persiste sobre la superficie y en el espesor de la lámina del flujo sobre el suelo.

#### 1.4.2.1.2. Características del terreno

La textura del suelo definida como las proporciones relativas de los distintos agregados del suelo y la estructura conocida como la asociación de las partículas primarias del suelo en agregados, son de vital importancia, debido a que en un suelo, la porción de

limos y arcillas al ser materiales disgregados y arrastrados por el agua, pueden saturan sus poros, y la estructura determinará el tamaño y distribución de los poros.

#### 1.4.2.1.3. Condiciones ambientales

Es muy importante considerar las condiciones ambientales, la humedad inicial del suelo es un factor que afecta a la velocidad de infiltración, por ejemplo, al comienzo de una lluvia se establece una capilaridad al humectar las capas superiores, y a este resultado se añade la gravedad lo que provoca un aumento en la velocidad de infiltración, posteriormente a medida que se humedece el suelo se satura por hidratación y las arcillas y coloides obstruyen las grietas disminuyendo la velocidad de infiltración.

En suelos helados, la capacidad de infiltración es nula, debido a la gruesa capa de hielo formada en la superficie, o simplemente la temperatura es demasiado baja para congelar el agua impidiendo de esta manera su infiltración.

# 1.4.2.2. Características del fluido que se infiltra

La turbidez del agua que penetra en el suelo, debido a los materiales finos que se encuentran suspendidos, afecta el proceso de infiltración, pues estos bloquean los poros.

El contenido de sales ayuda a la formación de flóculos con los coloides del suelo, disminuyendo su permeabilidad por efecto de la colmatación<sup>6</sup>, lo cual retarda la velocidad de infiltración.

La temperatura afecta a la viscosidad del agua, por esta razón las velocidades de infiltración de invierno son menores a las de verano.

## 1.4.2.3. Características de los gradientes de presión y gravitacional en el suelo

El gradiente de presión se ve afectado en dos niveles de flujo:

- Presión en la superficie del suelo, determinada por la carga hidrostática y la presión barométrica.
- Presión en el frente húmedo, producida por el contenido de humedad, tensión superficial, ángulo de contacto y presión del aire confinado.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Relleno de una cuenca sedimentaria con materiales detríticos arrastrados y depositados por el agua

El gradiente gravitacional se ve afectado por la profundidad al frente húmedo, el cual está condicionado por el contenido de humedad y el volumen infiltrado.

#### 1.5. Escorrentía

El escurrimiento es otro componente del ciclo hidrológico, forma parte de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie del terreno (Campos, 1998).

La escorrentía superficial es un fenómeno de gran importancia en la ingeniería, trata de la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre. Gran parte de los estudios hidrológicos están atados al buen uso del agua superficial y a la protección contra los fenómenos provocados por su movimiento (Monsalve, 1999).

## 1.5.1. Origen del escurrimiento

En la Figura 1.8 se describe como actúa la precipitación al llegar al suelo y se comporta de la siguiente manera:

- Una fracción de la precipitación se infiltra.
- Se satisface la humedad del suelo con una fracción de la precipitación infiltrada, saturando las capas que se localizan por encima del nivel freático del agua.
- Al saturarse estas capas, el agua restante que se infiltró se suma al agua subterránea.
- Otra fracción de la precipitación escurre sobre la superficie terrestre llamada precipitación en exceso (hp).

Basada en esta explicación el escurrimiento se puede clasificar en tres tipos:

Escurrimiento superficial: Parte de la precipitación que escurre sobre la superficie del terreno y que no se infiltra en el suelo. El impacto que tiene sobre la precipitación total es inmediato, y se hallará durante la tormenta e incluso luego de su culminación. La fracción de la precipitación total que da origen a este escurrimiento se denomina precipitación en exceso (hp).

**Escurrimiento subsuperficial:** Fracción del agua infiltrada proveniente de la precipitación, el impacto sobre el escurrimiento total suele ser inmediato o demorado. Si es de inmediato, se sigue el mismo proceso que el escurrimiento superficial, por el contrario su proceso se considerará como escurrimiento subterráneo.

**Escurrimiento subterráneo:** Proveniente del agua subterránea, a este escurrimiento se suma la fracción de la precipitación que se infiltra cuando el suelo ha sido saturado.

El escurrimiento puede ser directo cuando su efecto es inmediato, por el contario cuando es retardado se denomina escurrimiento base (Villón, 2004).

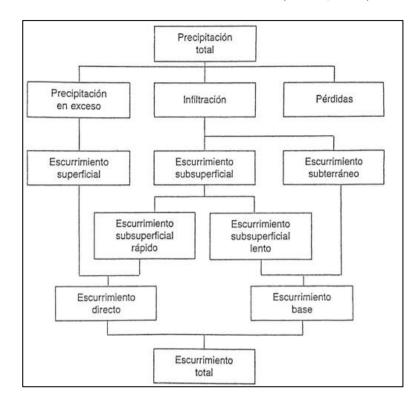


Figura 1.8: Relación entre la precipitación y el escurrimiento total.

Fuente: (Villón, 2004).

#### 1.5.2. Factores que afectan el escurrimiento superficial

#### 1.5.2.1. Factores climáticos

#### 1.5.2.1.1. Intensidad de precipitación

Cuando la intensidad de precipitación es mayor, la capacidad de infiltración del suelo es saturada de inmediato produciendo un exceso de precipitación que es escurrirá a lo largo del terreno.

## 1.5.2.1.2. Duración de la precipitación

La duración de la precipitación es directamente proporcional al escurrimiento superficial, es decir en lluvias de mayor duración existirá mayor posibilidad de escurrimiento superficial.

#### 1.5.2.1.3. Precipitación antecedente

Se puede generar escurrimiento superficial, cuando en un suelo húmedo se produce nuevamente una precipitación posterior a la antecedente.

## 1.5.2.2. Factores fisiográficos

### 1.5.2.2.1. Área

La extensión del área está vinculada con la cantidad de agua generada por el escurrimiento superficial de la cuenca.

#### 1.5.2.2.2. Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad de infiltración que posee el suelo, es decir se infiltrará mayor cantidad de agua si el terreno de la superficie tiene una permeabilidad alta, reduciendo de esta manera el exceso de precipitación.

#### 1.5.2.3. Factores humanos

Entre los factores relacionados con la intervención del hombre tenemos:

- Obras hidráulicas construidas en la hoya
- Rectificación de ríos

(Monsalve, 1999)

#### 1.5.3. Coeficiente de escorrentía superficial, C

Según Monsalve (1999. p. 193) "Es la relación entre el volumen de agua de escorrentía superficial total y el volumen total de agua precipitado, en un intervalo de tiempo determinado".

Este coeficiente es relativo a una lluvia aislada o a un intervalo de tiempo en donde acontecen varias lluvias. Si se conoce el coeficiente de escorrentía para cierta lluvia con una intensidad y duración definida en un área dada, se puede obtener la escorrentía superficial de otras precipitaciones de intensidades distintas, desde que la duración de la lluvia sea la misma (Monsalve, 1999).

$$c = \frac{Q}{P}$$
 Ecuación 1

Donde:

C = Coeficiente de Escorrentía, es adimensional.

Q = Volumen de agua de escorrentía superficial total, en mm.

P = Volumen total de agua precipitado, en mm.

#### 1.6. Métodos para determinar el coeficiente de escorrentía

#### 1.6.1. Método Racional

Según Villón (2004), la aplicación del Método Racional tiene una antigüedad de más de 100 años que se ha extendido en todo el mundo. La Universidad de Virginia realizó una conferencia internacional en mayo de 1989, en celebración del centenario de la Fórmula Racional.

El método es válido para cuencas de drenaje agrícola, que no excedan de 1300 ha ó 13  $km^2$ . En este método se supone que la máxima escorrentía producto de una precipitación se produce cuando la duración de ésta es igual al tiempo de concentración (tc), cuando esto ocurre la cuenca coopera con el caudal en el punto de salida. Si la duración sobrepasa el tiempo de concentración (tc) coopera asimismo a toda la cuenca, pero en este caso la intensidad de la precipitación es menor, por ser mayor su duración, por lo que genera un menor caudal.

Con este planteamiento el caudal máximo se obtiene mediante la siguiente expresión, que representa la formula racional:

$$Q_{max} = \frac{C*I*A}{360}$$
 Ecuación 2

Donde:

 $Qm\acute{a}x = Caudal m\acute{a}ximo, en m<sup>3</sup>/s.$ 

C = Coeficiente de escorrentía, que depende de la cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de suelo, es adimensional.

I = Intensidad máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración, y para un periodo de retorno dado, en mm/h.

A =Área de la cuenca, en ha.

El coeficiente de escorrentía C, está determinado por la relación entre el volumen de agua de escorrentía superficial total y el volumen total de agua precipitado como se indica en la ecuación 1, y va a depender de ciertos factores topográficos, edafológicos<sup>7</sup>, cobertura vegetal, etc. Dependiendo del tipo de superficie y el tipo de zona se ha propuesto un rango de variación como se indica en las Tablas 1-1 y 1-2.

Tabla 1-1: Coeficientes de escorrentía de distintos de tipos de superficie.

Tipo de Superficie	Tipo de Superficie Rango de C		Recomendado	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Cubiertas de Edificios/Tejado/Azoteas	0,75	0,95	0,90	1,00
Hormigón o Asfalto	0,85	1,00	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	0,50	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

Fuente: (Hernadez Muñoz, 1997).

Tabla 1-2: Coeficientes de escorrentía de distintos de tipos de zona.

Tipo de Zona	Rang	o de C
	Mín.	Máx.
Comercial en zona central	0.70	0.95
Comercial en zona periférica	0.50	0.7
Residencial unifamiliar agrupada	0.50	0.75
Residencial unifamiliar separada/ con jardines	0.30	0.5
Residencial multifamiliar agrupada	0.60	0.75
Residencial multifamiliar separada/ con jardines	0.40	0.6
Industrial	0.50	0.8
Rurales y Cementerios	0.10	0.25
Verdes	0.20	0.35

Fuente: (Ayala, 1979).

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Composición y naturaleza del suelo en relación con las plantas y el entorno que le rodea

#### 1.6.1.1. Coeficiente de escorrentía medio

Se obtiene una media ponderada cuando la cuenca está formada de superficies de diferentes características o propiedades.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i * A_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$
 Ecuación 3

Donde:

C = Coeficiente de Escorrentía, es adimensional.

A = Área de la cuenca, en ha.

#### 1.6.2. Método del Número de Curva

El Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos desarrolló este método el cual considera cuencas pequeñas y medianas. Considera como parámetro principal a la altura de lluvia, y su intensidad pasa a ser secundaria. Este método se usa para estimar el escurrimiento tanto en el estudio de avenidas máximas como el cálculo de aportaciones líquidas (Villón, 2004).

Este método se debe a varias curvas, las cuales representan un número adimensional CN que varía entre 0 y 100, de esta forma un CN=100 representa una superficie totalmente impermeable, y para un CN=0 representa una superficie totalmente permeable (Chow, 2000).

Los datos de precipitación y otras características de las cuencas, son necesarias para el cálculo de la escorrentía, en base a un gran número de cuencas experimentales; Villón (2004) establece que:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{Pe}$$
 Ecuación 4

Donde:

F = Infiltración real acumulada, en mm.

S = Infiltración potencial máxima, en mm.

Q = Escorrentía total acumulada, en mm.

Pe = Escorrentía potencial o exceso de precipitación, en mm.

La ecuación 4 se considera valida a partir del inicio de la escorrentía, donde *Pe* se define como:

$$Pe = P - Ia$$
 Ecuación 5

Al mismo tiempo F se define como:

$$F = Pe - Q$$
 Ecuación 6

El término *Ia* se define como la precipitación acumulada hasta el inicio de la escorrentía y está en función de la intercepción, almacenamiento en depresiones e infiltración antes del comienzo de la escorrentía, por lo que:

$$\frac{Pe - Q}{S} = \frac{Q}{Pe}$$

$$Pe^2 - PeQ = SQ$$

$$Pe^2 = (Pe + S)Q$$

De donde:

$$Q = \frac{Pe^2}{Pe+S}$$
 Ecuación 7

Reemplazando tenemos:

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S}$$
 Ecuación 8

Los autores obtuvieron por datos experimentales una relación entre Ia y S:

$$Ia = 0.2S$$
 Ecuación 9

Con dicha relación tenemos que:

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S}$$
 Ecuación 10

Donde:

Q = Escorrentía total acumulada, en mm.

P = Precipitación, en mm.

S = Infiltración potencial máxima, en mm.

Cabe recalcar que esta es la ecuación del método y que P y S deben tener las mismas unidades. El SCS después de estudiar varias cuencas, impuso una relación para determinar S en función del número de curva N, entonces:

$$S = \frac{1000}{N} - 10$$
 Ecuación 11

Esta expresión se encuentra en pulgadas, en milímetros tenemos que:

$$S = \frac{25400}{NC} - 254$$
 Ecuación 12

# 1.6.2.1. Parámetros de los que depende el Número de Curva

Son los siguientes:

- Condición hidrológica
- Grupo hidrológico de suelo
- Uso de la tierra y tratamiento
- Condición de humedad antecedente

# 1.6.2.1.1. Condición hidrológica

Hace referencia a la facilidad o dificultad de escurrimiento directo de la cuenca, esto se encuentra ligado a la cobertura vegetal, como se indica en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3: Condición hidrológica.

Cobertura vegetal	Condición hidrológica	
Buena	Mayor al 75% del área	
Regular	Entre 50% y 75% del área	
Pobre	Menor al 50% del área	

Fuente: (Villón, 2004).

#### 1.6.2.1.2. Grupo hidrológico de suelo

Se clasifican dependiendo de su potencial de escurrimiento, una descripción detallada para definir el grupo de suelo se indica en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4: Clasificación hidrológica de los suelos.

Grupo de suelos	Descripción
A	Suelos que tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento) aunque están enteramente mojados y constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
В	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas cuando están cuidadosamente mojados u están constituidos mayormente por suelos profundos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua.
С	Son suelos que tienen bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con una textura que va de moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión del agua.
D	Son suelos de alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con arcilla o capa de arcilla en la superficie o cerca de ella y suelos superficiales sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.

Fuente: (Villón, 2004).

# 1.6.2.1.3. Uso de la tierra y tratamiento

Según, Villón (2004) el uso de la tierra es la cobertura de la cuenca. Incluye vegetación, escombros, pajonales, desmontes, así como lagos, pantanos, fangales, y superficies impermeables (carreteras, cubiertas).

El tratamiento de la tierra se aplica a los usos agrícolas e incluye prácticas mecánicas como sistemas de bordos, curvas de nivel, terraplenado y ejecución de prácticas para el control de erosión y rotación de cultivos.

El método del SCS analiza tres clases de tierras, según su uso y tratamiento:

- Tierras cultivadas.
- Tierras cubiertas de pastos o hierbas.
- Tierras cubiertas de bosques y arboledas.

#### 1.6.2.1.4. Condición de humedad antecedente

Considera los antecedentes previos de humedad de la cuenca (Tabla 1-5), determinado por la lluvia total en el periodo de 5 días previos a la tormenta (Tabla 1-6).

Tabla 1-5: Condiciones de Humedad Antecedente.

Condición de Humedad Antecedente	Descripción
СНА-І	Es el límite inferior de humedad. Hay un mínimo potencial de escurrimiento. Los suelos de la cuenca están lo suficientemente secos para permitir el arado o cultivos.
CHA-II	Suelos que están en condiciones medias.
CHA-III	Es el límite superior de humedad. Hay máximo potencial de escurrimiento. La cuenca está prácticamente saturada por lluvias anteriores.

Fuente: (Villón, 2004).

Tabla 1-6: Precipitación acumulada.

Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración [cm]				
СНА	Estación Seca	Estación de crecimiento		
I	Menor que 1,3	Menor de 3,5		
II	1,3 a 2,5	3,5 a 5		
III	Más de 2,5	Más de 5		

Fuente: (Villón, 2004).

Para condiciones secas o húmedas (Chow, 2000), los números de curva equivalentes pueden calcularse por:

$$CN(I) = \frac{4,2CN(II)}{10-0,058*CN(II)}$$
 Ecuación 13

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10+0,13CN(II)}$$
 Ecuación 14

Los valores de CN para varios tipos de uso de la tierra en los diferentes tipos de suelos se indican en la Tabla 1-7.

Tabla 1-7: Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones de humedad antecedente II, Ia=0,2S).

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	В	С	D
Tierra Cultivada: sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierba.	45	66	77	83
cubierta buena	25	55	70	77
Areas abierta, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. Optimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial:				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio				
1/8 acre o menos (506m²) 65	77	85	90	92
$\frac{1}{4} \text{ acre } (1012\text{m}^2)$ 38	61	75	83	87
$1/3 \text{ acre } (1349\text{m}^2)$ 30	57	72	81	86
½ acre (2023m²) 25	54	70	80	85
1 acre $(4047 \text{m}^2)$ 20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

Fuente: (Chow, 2000).

# 1.6.2.2. Relación entre el coeficiente de escorrentía y número de curva

Al igualar la ecuación 1 y ecuación 8, se observa que el coeficiente de escorrentía depende de la precipitación y el número de curva.

$$C = \frac{\frac{(P-Ia)^2}{P+4Ia}}{P}$$
 Ecuación 15

$$C = \frac{(P-Ia)^2}{P^2 + 4PIa}$$
 Ecuación 16

De la misma manera al igualar la ecuación 9 y la ecuación 12 se obtiene:

$$Ia = 0.2S = \frac{5080}{CN} - 50.80$$
 Ecuación 17

Para culminar sustituyendo la ecuación 17 en la ecuación 15, se tiene la relación final:

$$C = \frac{\left(P - \frac{5080}{CN} + 50,80\right)^2}{P^2 + 4P\left(\frac{5080}{CN} - 50,80\right)}$$
 Ecuación 18

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía, es adimensional.

P = Precipitación, en mm.

CN = Número de Curva

# CAPÍTULO II

# 2. ESTUDIO

# 2.1. Descripción de zona de estudio

La ciudad de Cuenca se encuentra ubicada en el sur del Ecuador, forma parte de la cordillera de los Andes y cuenta con  $72 \ km^2$  de superficie (Figura 2.1).



Figura 2.1: Ciudad de Cuenca. Fuente: Elaboración propia.

La zona de estudio se encuentra delimitada por el río Tomebamba y comprende el sur de la ciudad. Cuenta con una superficie de 4575.307 hectáreas (Figura 2.2).

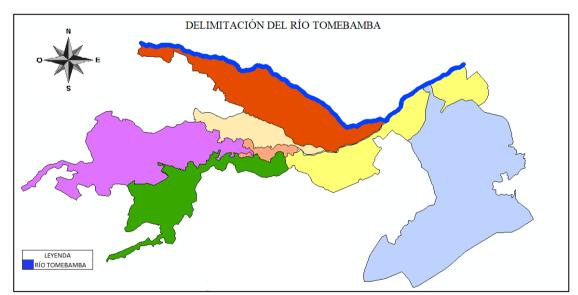


Figura 2.2: Delimitación del río Tomebamba.

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.2. Acceso a información

La empresa ETAPA EP y su departamento de catastros brindó la información necesaria para realizar este estudio, tales como: planimetría de la ciudad de Cuenca, predios urbanos y rurales actualizados, así como el sistema de alcantarillado con el cual se determinó los siete sectores que se van a analizar según el río al que descargan sus aguas. Así se tienen los sectores: Tomebamba 1, Tomebamba 2 y Tomebamba 3, que descargan al río Tomebamba. De igual manera: Tarqui 1, Tarqui 2 y Tarqui 3, que descargan a río Tarqui. Y por último el sector Yanuncay 1 que descarga al río Yanuncay (Figura 2.3).

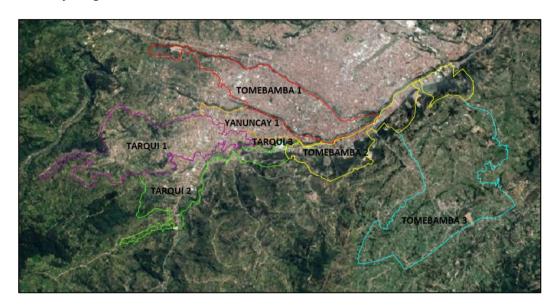


Figura 2.3: Área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

# 2.3. Aplicación del Método Racional

# 2.3.1. Método Racional adaptado al sector Tomebamba 1

Para este y todos los sectores del área de estudio, se utilizó el software Google Earth Pro, el que permitió determinar las diferentes coberturas tales como: techos, asfalto, grava, adoquín, ladera con vegetación y ladera sin vegetación. Para constatar la veracidad de la información obtenida por el programa, se realizó visitas de campo de tal manera que ciertas construcciones, parques o cualquier obra en construcción sean consideradas en su respectiva área de aporte. Una vez hecho esto, se realizó el cálculo de dichas áreas mediante la herramienta AutoCAD (Figura 2.4).

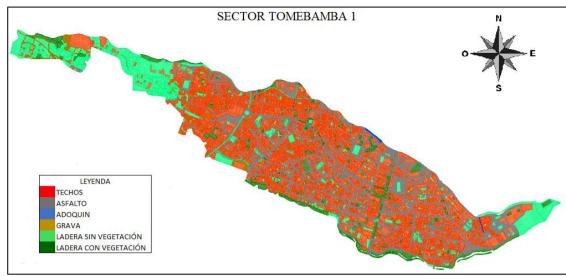


Figura 2.4: Sector Tomebamba 1.

De este sector se calcularon los siguientes datos que se observan en la Tabla 2-1:

Tabla 2-1: Área Tomebamba 1.

Tomebamba 1			
Designación	Área (m2)	Área (ha)	
Techos	3751686,04	375,17	
Asfalto	1990523,13	990,05	
Grava	121886,03	12,19	
Adoquín	10632,47	1,06	
Ladera sin vegetación	886549,09	88,66	
Ladera con vegetación	576973,46	57,70	
Área total	7338250,23	733,83	

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de los coeficientes de escorrentía del sector Tomebamba 1, se usaron criterios como: pendientes de las carreteras, laderas y el tipo de vegetación. De esta manera se escogió los valores de coeficientes según los rangos establecidos en la Tabla 1-1, y que se observan a continuación en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Valores del coeficiente C para el sector Tomebamba 1.

Coeficiente C	Designación
	Cubiertas de
0,90	Edificios/Tejado/Azoteas
0,90	Hormigón o Asfalto
0,40	Caminos de Grava
0,75	Adoquines/Adocretos

Coeficiente C	Designación
0,40	Ladera sin vegetación
0,15	Ladera con vegetación/Praderas

Una vez asignados los coeficientes C, se multiplicaron por sus respectivas áreas de aporte, como se observa en la Tabla 2-3:

Tabla 2-3: Valores del coeficiente C multiplicados por su área.

	Tomebamba 1			
Designación	Área (ha)	Coeficiente C	CxA	
Techos	375,17	0,90	337,65	
Asfalto	199,01	0,90	179,10	
Grava	12,19	0,40	4,88	
Adoquín	1,06	0,75	0,80	
Ladera sin vegetación	88,66	0,40	35,46	
Ladera con vegetación	57,70	0,15	8,65	
	Total			

Fuente: Elaboración propia.

Se aplica la ecuación 3, para determinar el coeficiente de escorrentía ponderado:

$$C_{ponderado} = \frac{566,55}{733,83} = 0,77$$

Si se considera lo establecido en la Tabla 1-2, se puede decir que el sector Tomebamba 1 se encuentra en la categoría Comercial en zona central.

# 2.3.2. Método Racional adaptado al sector Tomebamba 2

El proceso utilizado anteriormente es el mismo para este sector, como se observa en la Figura 2.5.

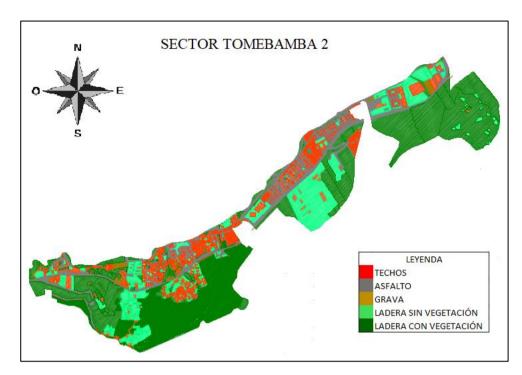


Figura 2.5: Sector Tomebamba 2. Fuente: Elaboración propia.

De este sector se calcularon los siguientes datos que se observan en la Tabla 2-4:

Tabla 2-4: Área Tomebamba 2.

Tomebamba 2			
Designación	Área (m2)	Área (ha)	
Techos	738946,50	73,90	
Asfalto	816424,73	81,64	
Grava	108380,17	10,84	
Ladera sin vegetación	1102446,10	110,02	
Ladera con vegetación	3171107,58	317,11	
Área total	5937305,08	593,73	

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de los coeficientes de escorrentía del sector Tomebamba 2, se usaron criterios como: pendientes de las carreteras, laderas y el tipo de vegetación. De esta manera se escogió los valores de coeficientes según los rangos establecidos en la Tabla 1-1, y que se observan a continuación en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5: Valores del coeficiente C para el sector Tomebamba 2

Coeficiente C	Designación
	Cubiertas de
0,90	Edificios/Tejado/Azoteas

Designación
Hormigón o Asfalto
Caminos de Grava
Ladera sin vegetación
Ladera con
vegetación/Praderas

Una vez asignados los coeficientes C, se multiplicaron por sus respectivas áreas de aporte, como se observa en la Tabla 2-6:

Tabla 2-6: Valores del coeficiente C multiplicados por su área.

Tomebamba 2			
Designación	Área (ha)	Coeficiente C	CxA
Techos	73,90	0,90	66,51
Asfalto	81,64	0,95	77,56
Grava	10,84	0,60	6,50
Ladera sin vegetación	110,02	0,50	55,01
Ladera con vegetación	317,11	0,15	47,57
	Total		253,15

Fuente: Elaboración propia.

Se aplica la ecuación 3, para determinar el coeficiente de escorrentía ponderado:

$$C_{ponderado} = \frac{253,15}{593.73} = 0.43$$

Si se considera lo establecido en la Tabla 1-2, se puede decir que el sector Tomebamba 2 se encuentra en la categoría Residencial unifamiliar separada/con jardines.

# 2.3.3. Método Racional adaptado al sector Tomebamba 3

El proceso utilizado anteriormente es el mismo para este sector, como se observa en la Figura 2.6.

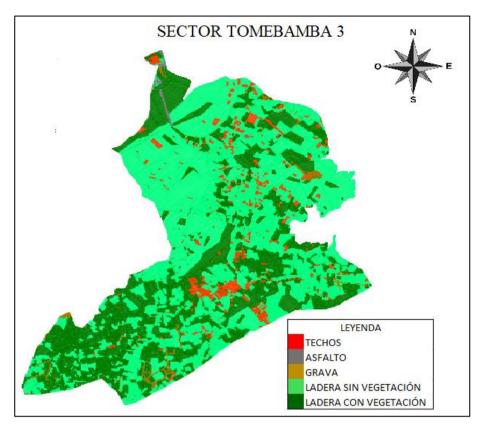


Figura 2.6: Sector Tomebamba 3. Fuente: Elaboración propia.

De este sector se calcularon los siguientes datos que se observan en la Tabla 2-7:

Tabla 2-7: Área Tomebamba 3.

Tomebamba 3			
Designación	Área (m2)	Área (ha)	
Techos	835796,03	83,58	
Asfalto	121284,59	12,13	
Grava	616484,62	61,65	
Ladera sin vegetación	9001062,72	900,11	
Ladera con vegetación	5649455,08	564,95	
Área total	16224083,04	1622,41	

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de los coeficientes de escorrentía del sector Tomebamba 3, se usaron criterios como: pendientes de las carreteras, laderas y el tipo de vegetación. De esta manera se escogió los valores de coeficientes según los rangos establecidos en la Tabla 1-1, y que se observan a continuación en la Tabla 2-8.

Tabla 2-8: Valores del coeficiente C para el sector Tomebamba 3.

Coeficiente C	Designación
	Cubiertas de
0,90	Edificios/Tejado/Azoteas
0,95	Hormigón o Asfalto
0,60	Caminos de Grava
0,60	Ladera sin vegetación
0,15	Ladera con vegetación/Praderas

Una vez asignados los coeficientes C, se multiplicaron por sus respectivas áreas de aporte, como se observa en la Tabla 2-9:

Tabla 2-9: Valores del coeficiente C multiplicados por su área.

Tomebamba 3			
Designación	Área (ha)	Coeficiente C	CxA
Techos	83,58	0.90	75,22
Asfalto	12,13	0.95	11,52
Grava	61,65	0.60	36,99
Ladera sin vegetación	900,11	0.60	540,06
Ladera con vegetación	564,95	0.15	84,74
	Total		748,54

Fuente: Elaboración propia.

Se aplica la ecuación 3, para determinar el coeficiente de escorrentía ponderado:

$$C_{ponderado} = \frac{748,54}{1622,41} = 0,46$$

Si se considera lo establecido en la Tabla 1-2, se puede decir que el sector Tomebamba 3 se encuentra en la categoría Residencial unifamiliar separada/con jardines.

# 2.3.4. Método Racional adaptado al sector Yanuncay 1

El proceso utilizado anteriormente es el mismo para este sector, como se observa en la Figura 2.7.

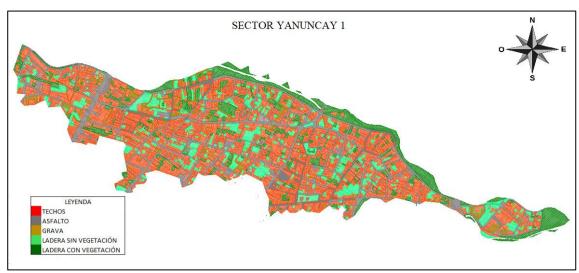


Figura 2.7: Sector Yanuncay 1. Fuente: Elaboración propia.

De este sector se calcularon los siguientes datos que se observan en la Tabla 2-10:

Tabla 2-10: Área Yanuncay 1.

Yanuncay 1			
Designación	Área (m2)	Área (ha)	
Techos	834966,62	83,50	
Asfalto	372236,02	37,22	
Grava	83212,08	8,32	
Ladera sin vegetación	699570,82	69,96	
Ladera con vegetación	230092,32	23,01	
Área total	2220077,86	222,01	

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de los coeficientes de escorrentía del sector Yanuncay 1, se usaron criterios como: pendientes de las carreteras, laderas y el tipo de vegetación. De ésta manera se escogió los valores de coeficientes según los rangos establecidos en la Tabla 1-1, y que se observan a continuación en la Tabla 2-11.

Tabla 2-11: Valores del coeficiente C para el sector Yanuncay 1.

Coeficiente C	Designación
0,90	Cubiertas de Edificios/Tejado/Azoteas
0,85	Hormigón o Asfalto
0,40	Caminos de Grava
0,40	Ladera sin vegetación

Coeficiente C	Designación
	Ladera con
0,10	vegetación/Praderas

Una vez asignados los coeficientes C, se multiplicaron por sus respectivas áreas de aporte, como se observa en la Tabla 2-12:

Tabla 2-12: Valores del coeficiente C multiplicados por su área.

Yanuncay 1			
Designación	Área (ha)	Coeficiente C	CxA
Techos	83,50	0,90	75,15
Asfalto	37,22	0,85	31,64
Grava	8,32	0,40	3,33
Ladera sin vegetación	69,96	0,40	27,98
Ladera con vegetación	23,01	0,10	2,30
Total			140,40

Fuente: Elaboración propia.

Se aplica la ecuación 3, para determinar el coeficiente de escorrentía ponderado:

$$C_{ponderado} = \frac{140,40}{222,01} = 0,63$$

Si se considera lo establecido en la Tabla 1-2, se puede decir que el sector Yanuncay 1 se encuentra en la categoría Residencial unifamiliar agrupada.

# 2.3.5. Método Racional adaptado al sector Tarqui 1

El proceso utilizado anteriormente es el mismo para este sector, como se observa en la Figura 2.8.

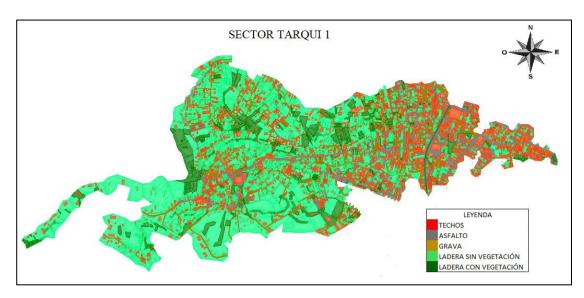


Figura 2.8: Sector Tarqui 1. Fuente: Elaboración propia.

De este sector se calcularon los siguientes datos que se observan en la Tabla 2-13:

Tabla 2-13: Área Tarqui 1.

Tarqui 1		
Designación	Área (m2)	Área (ha)
Techos	1729409.77	172,94
Asfalto	695310,12	69,53
Grava	570540,91	57,05
Ladera sin vegetación	4396739.54	439,67
Ladera con vegetación	944877,27	94,49
Área total	8336877,61	833,68

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de los coeficientes de escorrentía del sector Tarqui 1, se usaron criterios como: pendientes de las carreteras, laderas y el tipo de vegetación. De esta manera se escogió los valores de coeficientes según los rangos establecidos en la Tabla 1-1, y que se observan a continuación en la Tabla 2-14.

Tabla 2.14: Valores del coeficiente C para el sector Tarqui 1.

Coeficiente C	Designación
	Cubiertas de
0,90	Edificios/Tejado/Azoteas
0,90	Hormigón o Asfalto
0,35	Caminos de Grava
0,45	Ladera sin vegetación

Coeficiente C	Designación
	Ladera con
0,15	vegetación/Praderas

Una vez asignados los coeficientes C, se multiplicaron por sus respectivas áreas de aporte, como se observa en la Tabla 2-15:

Tabla 2-15: Valores del coeficiente C multiplicado por su área.

	Tarqui 1		
Designación	Área (ha)	Coeficiente C	CxA
Techos	172,94	0,90	155,65
Asfalto	69,53	0,90	62,58
Grava	57,05	0.35	19,97
Ladera sin vegetación	439,67	0.45	197,85
Ladera con vegetación	94,49	0.15	14,17
	Total		

Fuente: Elaboración propia.

Se aplica la ecuación 3, para determinar el coeficiente de escorrentía ponderado:

$$C_{ponderado} = \frac{450,22}{833,69} = 0,54$$

Si se considera lo establecido en la Tabla 1-2, se puede decir que el sector Tarqui 1 se encuentra en la categoría Residencial unifamiliar agrupada.

# 2.3.6. Método Racional adaptado al sector Tarqui 2

El proceso utilizado anteriormente es el mismo para este sector, como se observa en la Figura 2.9.

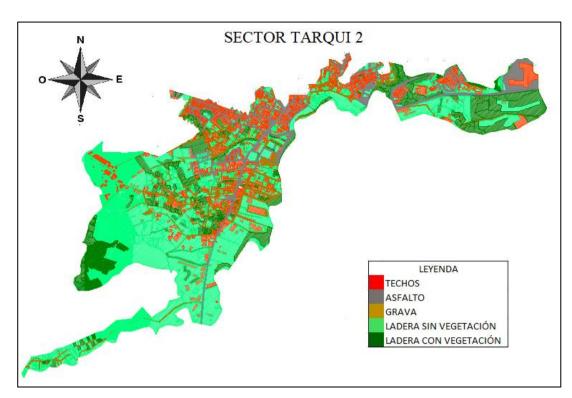


Figura 2.9: Sector Tarqui 2. Fuente: Elaboración propia.

De este sector se calcularon los siguientes datos que se observan en la Tabla 2-16:

Tabla 2-16: Área Tarqui 2.

Ta	nrqui 2	
Designación	Área (m2)	Área (ha)
Techos	871643,57	87,16
Asfalto	782875,96	78,29
Grava	297960,08	29,80
Ladera sin vegetación	2050926,06	205,09
Ladera con vegetación	1122322,76	112,23
Área total	5125726,42	512,57

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de los coeficientes de escorrentía del sector Tarqui 2, se usaron criterios como: pendientes de las carreteras, laderas y el tipo de vegetación. De esta manera se escogió los valores de coeficientes según los rangos establecidos en la Tabla 1-1, y que se observan a continuación en la Tabla 2-17.

Tabla 2-17: Valores del coeficiente C para el sector Tarqui 2.

Coeficiente C	Designación
	Cubiertas de
0,90	Edificios/Tejado/Azoteas
0,90	Hormigón o Asfalto
0,50	Caminos de Grava
0,45	Ladera sin vegetación
	Ladera con
0,15	vegetación/Praderas

Una vez asignados los coeficientes C, se multiplicaron por sus respectivas áreas de aporte, como se observa en la Tabla 2-18:

Tabla 2-18: Valores del coeficiente C multiplicados por su área.

	Tarqui 2		
Designación	Área (ha)	Coeficiente C	CxA
Techos	87,16	0,90	78,45
Asfalto	78,29	0,90	70,46
Grava	29,80	0,50	14,90
Ladera sin vegetación	205,09	0,45	92,29
Ladera con vegetación	112,23	0,15	16,83
	Total		

Fuente: Elaboración propia.

Se aplica la ecuación 3, para determinar el coeficiente de escorrentía ponderado:

$$C_{ponderado} = \frac{272,93}{512,57} = 0,53$$

Si se considera lo establecido en la Tabla 1-2, se puede decir que el sector Tarqui 2 se encuentra en la categoría Residencial unifamiliar agrupada.

# 2.3.7. Método Racional adaptado al sector Tarqui 3

El proceso utilizado anteriormente es el mismo para este sector, como se observa en la Figura 2.10.



Figura 2.10: Sector Tarqui 3. Fuente: Elaboración propia.

De este sector se calcularon los siguientes datos que se observan en la Tabla 2-19:

Tabla 2-19: Área Tarqui 3.

Tarq	ui 3	
Designación	Área (m2)	Área (ha)
Techos	194483,98	19,45
Asfalto	127268,41	12,73
Grava	10179,82	1,02
Ladera sin vegetación	80857,33	8,09
Ladera con vegetación	157966,97	15,80
Área total	570756,51	57,09

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de los coeficientes de escorrentía del sector Tarqui 3, se usaron criterios como: pendientes de las carreteras, laderas y el tipo de vegetación. De esta manera se escogió los valores de coeficientes según los rangos establecidos en la Tabla 1-1, y que se observan a continuación en la Tabla 2-20.

Tabla 2-20: Valores del coeficiente C para el sector Tarqui 3.

Coeficiente C	Designación
	Cubiertas de
0,90	Edificios/Tejado/Azoteas
0,85	Hormigón o Asfalto
0,30	Caminos de Grava

Coeficiente C	Designación
0,30	Ladera sin vegetación
	Ladera con
0,15	vegetación/Praderas

Una vez asignados los coeficientes C, se multiplicaron por sus respectivas áreas de aporte, como se observa en la Tabla 2-21:

Tabla 2-21: Valores del coeficiente C multiplicados por su área.

	Tarqui 3		
Designación	Área (ha)	Coeficiente C	CxA
Techos	19,45	0,90	17,50
Asfalto	12,73	0,85	10,82
Grava	1,02	0,30	0,31
Ladera sin vegetación	8,09	0,30	2,43
Ladera con vegetación	15,80	0,15	2,37
	Total		33,42

Fuente: Elaboración propia.

Se aplica la ecuación 3, para determinar el coeficiente de escorrentía ponderado:

$$C_{ponderado} = \frac{33,42}{57.08} = 0,58$$

Si se considera lo establecido en la Tabla 1-2, se puede decir que el sector Tarqui 3 se encuentra en la categoría Residencial unifamiliar agrupada.

#### 2.4. Aplicación del Método del Número de Curva

Para la aplicación del método del número de curva se determinó el porcentaje que representa cada área de aporte, estos son: techos, pavimentos, grava, adoquín, ladera sin vegetación y ladera con vegetación, aquellos que sumados conforman el área total de cada una de las zonas de estudio. Posteriormente se analizó un mapa geológico brindado por el departamento de geomática y territorio del IERSE<sup>8</sup>, y por medio del software ArcGIS se determinó el tipo de suelo al que pertenece cada sector.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador

Se determinó que para esta área de estudio la condición de humedad antecedente se encuentra en condiciones medias CHA-II. Los datos de los pluviómetros de la ciudad son de gran importancia para el cálculo del Método del Número de Curva, de esta manera se analizó dos pluviómetros, uno ubicado en el sector "El Valle" y otro en "Huizhil" datos que fueron brindados por el departamento de información geográfica de ETAPA EP.

# 2.4.1. Ubicación de pluviómetros

Los datos actualizados de los pluviómetros fueron aplicados en el área de estudio para determinar el coeficiente "C" de escorrentía, para los sectores Tomebamba1, Yanuncay 1, Tarqui 1 y Tarqui 2 se utilizó los datos del pluviómetro que se encuentra en la estación de "Huizhil", y para los sectores Tarqui 3, Tomebamba 2 y Tomebamba 3 se utilizó el de la estación de "El Valle" (Figura 2.11).



Figura 2.11: Ubicación de pluviómetros en la ciudad de Cuenca. Fuente: (Google Earth Pro, s.f).

En la Figura 2.12 y Figura 2.13 se observan los pluviómetros correspondientes a las estaciones de "El Valle" y "Huizhil", así como sus ubicaciones mediante coordenadas geográficas en la Tabla 2-22 y Tabla 2-23 respectivamente.



Figura 2.12.: Estación "El Valle".

Fuente: (Departamento de Información Geográfica, 2016).

Tabla 2-22: Ubicación de la estación "El Valle".

Ut	picación
Latitud:	726538
Longitud:	9674218
Altura:	2683 msnm

Fuente: (Departamento de Información Geográfica, 2016).



Figura: 2.13: Estación "Huizhil".

Fuente: (Departamento de Información Geográfica, 2016).

Tabla 2-23: Ubicación de la estación de "Huizhil".

Ubicación		
Latitud:	714747	
Longitud:	9678318	
Altura:	2773 msnm	

Fuente: (Departamento de Información Geográfica, 2016).

En la Tabla 2-24 se observan los datos obtenidos en los pluviómetros desde Enero hasta Diciembre del año 2016.

Tabla 2-24: Datos de Pluviómetros.

A = 2016	Precipitación mensual (mm)				
Año 2016	Huizhil	El Valle			
Enero	40,81	54,25			
Febrero	42,50	15,59			
Marzo	156,00	137,16			
Abril	122,59	112,07			
Mayo	80,55	59,82			
Junio	86,78	54,71			
Julio	14,10	4,80			
Agosto	5,40	14,90			
Septiembre	59,05	44,90			
Octubre	36,07	38,49			
Noviembre	42,01	28,20			
Diciembre	75,10	106,50			

Fuente: (Departamento de Información Geográfica, 2016).

Para la aplicación de método se tomó la precipitación mínima y máxima de cada una de las estaciones correspondientes para encontrar el coeficiente de escorrentía C, como se observa en la Tabla 2-25:

Tabla 2-25: Precipitación mínima y máxima de las estaciones "Huizhil" y "El Valle".

Estación	Mes	Precipitación mínima y máxima (mm)
Huizhil	Agosto	5,40
Huizini	Marzo	156,00
TOL \$7 - 11 -	Julio	4,80
El Valle	Marzo	137,16

Fuente: (Departamento de Información Geográfica, 2016).

# 2.4.2. Método del Número de Curva adaptado al sector Tomebamba 1

Se obtuvieron los porcentajes que representa cada área de aporte (Tabla 2.26).

Tabla 2-26: Porcentaje de áreas.

Tomebamba 1				
Designación	Área (ha)	%		
Techos	375,17	51,13		
Asfalto	199,01	27,12		
Grava	12,19	1,66		
Adoquín	1,06	0,14		

Designación	Área (ha)	%
Ladera sin vegetación	88,66	12,08
Ladera con vegetación	57,70	7,86
Área total	733,78	100

A continuación en la Figura 2.14 se observa el mapa geológico del sector Tomebamba 1 mediante el cual se determinó el tipo de suelo según la Tabla 1-4 de clasificación hidrológica de los suelos y se obtuvo que posee un suelo tipo A, B y C, y sus porcentajes se indican en la Tabla 2-27.

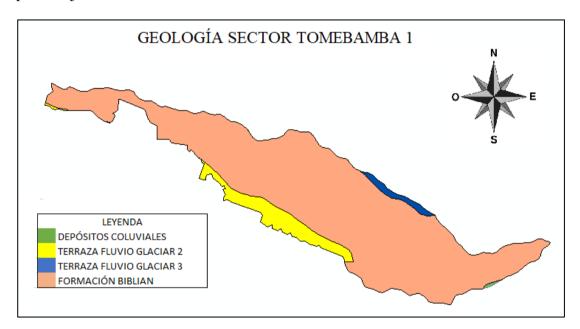


Figura 2.14: Geología del sector Tomebamba 1.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-27: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo.

Tomebamba 1					
Designación	0,15% Tipo A	9,17% Tipo B	90,68% Tipo C		
Techos	0,08	4,69	46,36		
Asfalto	0,04	2,49	24,59		
Grava	0,00	0,15	1,51		
Adoquín	0,00	0,01	0,13		
Ladera sin vegetación	0,02	1,11	10,95		
Ladera con vegetación	0,01	0,72	7,13		

Fuente: Elaboración propia.

A cada uno de estos valores de los distintos tipos de suelos se les asigna un valor CN, en función del tipo de superficie según la Tabla 1-7, como se indica en la Tabla 2-28:

10,95

7,13

79

70

865,05

499,10

8464,38

Designación	0,15% Tipo A	Valor CN	Tipo A x CN	9,17% Tipo B	Valor CN	Tipo B x CN	90,68% Tipo C	Valor CN	Tipo C x CN
Techos	0,08	98	7,84	4,69	98	459,62	46,36	98	4543,28
Asfalto	0,04	98	3,92	2,49	98	244,02	24,59	98	2409,82
Grava	0,00	76	0,00	0,15	85	12,75	1,51	89	134,39
Adoquín	0,00	98	0,00	0,01	98	0,98	0,13	98	12,74

1,11

0,72

69

55

76,59

39,60

833,56

Tabla 2-28: Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos.

Fuente: Elaboración propia.

0,02

0,01

49

25

Ladera sin

vegetación Ladera con

vegetación

Se determina el valor de CN ponderado mediante la siguiente relación:

0,98

0,25

12,99

$$CNponderado = \frac{12,99 + 833,56 + 8464,38}{100} = 93$$

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía con la precipitación mínima y máxima se aplica la ecuación 18 respectivamente, y su valor CN obtenido de la Tabla 2-28.

$$C = \frac{(5,40 - \frac{5080}{93} + 50,80)^2}{5,40^2 + 4 * 5,40 * (\frac{5080}{93} - 50,80)} = 0,02$$

$$C = \frac{(156 - \frac{5080}{93} + 50,80)^2}{156^2 + 4 * 156 * (\frac{5080}{93} - 50,80)} = 0,87$$

# 2.4.3. Método del Número de Curva adaptado al sector Tomebamba 2

Se obtuvieron los porcentajes que representa cada área de aporte (Tabla 2-29).

Tabla 2-29: Porcentaje de áreas.

Tomebamba 2				
Designación	Área (ha)	%		
Techos	73,90	12,45		
Asfalto	81,64	13,76		
Grava	10,84	1,83		

Designación	Área (ha)	%
Ladera sin vegetación	110,02	18,54
Ladera con vegetación	317,11	53,43
Área total	593,51	100

A continuación en la Figura 2.15 se observa el mapa geológico del sector Tomebamba 2 mediante el cual se determinó el tipo de suelo según la Tabla 1-4 de clasificación hidrológica de los suelos y se obtuvo que posee un suelo tipo A, B, C y D, sus porcentajes se indican en la Tabla 2-30.

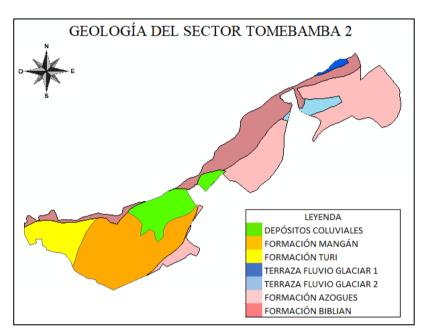


Figura 2.15: Geología del sector Tomebamba 2. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-30: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo.

Tomebamba 2									
Designación	18,37% Tipo A	3,16% Tipo B	45,99% Tipo C	32,48% Tipo D					
Techos	2,29	0,39	5,73	4,04					
Asfalto	2,53	0,43	6,33	4,47					
Grava	0,34	0,06	0,84	0,59					
Ladera sin vegetación	3,41	0,59	8,53	6,02					
Ladera con vegetación	9,82	1,69	24,57	17,35					

Fuente: Elaboración propia.

A cada uno de estos valores de los distintos tipos de suelos se les asigna un valor CN, en función del tipo de superficie según la Tabla 1-7, como se indica en la Tabla 2-31.

Tabla 2-31: Valor de CN para o	cada tipo de suelo y s	sus respectivos productos.
--------------------------------	------------------------	----------------------------

Designación	18,37% Tipo A	Valor CN	Tipo A x CN	3,16% Tipo B	Valor CN	Tipo B x CN	45,99% Tipo C	Valor CN	Tipo C x CN	32,48% Tipo D	Valor CN	Tipo D x CN
Techos	2,29	98	224,42	0,39	98	38,22	5,73	98	561,54	4,04	98	395,92
Asfalto	2,53	98	247,94	0,43	98	42,14	6,33	98	620,34	4,47	98	438,06
Grava	0,34	76	25,84	0,06	85	5,10	0,84	89	74,76	0,59	91	53,69
Ladera sin vegetación	3,41	49	167,09	0,59	69	40,71	8,53	79	673,87	6,02	84	505,68
Ladera con vegetación	9,82	25	245,50	1,69	55	92,95	24,57	70	1719,90	17,35	77	1335,95
		•	910,79			219,12			3650,41			2729,3

Se determina el valor de CN ponderado mediante la siguiente relación:

$$CNponderado = \frac{910,79 + 219,12 + 3650,41 + 2729,3}{100} = 75$$

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía con la precipitación mínima y máxima se aplica la ecuación 18 respectivamente, y su valor CN obtenido de la Tabla 2-31.

$$C = \frac{(4,80 - \frac{5080}{75} + 50,80)^2}{4,80^2 + 4 * 4,80 * (\frac{5080}{75} - 50,80)} = 0,42$$

$$C = \frac{(137,16 - \frac{5080}{75} + 50,80)^2}{137,16^2 + 4 * 137,16 * (\frac{5080}{75} - 50,80)} = 0,51$$

#### 2.4.4. Método del Número de Curva adaptado al sector Tomebamba 3

Se obtuvieron los porcentajes que representa cada área de aporte (Tabla 2-32).

Tabla 2-32: Porcentaje de áreas.

Tomebamba 3							
Designación	Área (ha)	%					
Techos	83,58	5,15					
Asfalto	12,13	0,75					

Designación	Área (ha)	%
Grava	61,65	3,80
Ladera sin vegetación	900,11	55,48
Ladera con vegetación	564,95	34,82
Área total	1622,42	100

A continuación en la Figura 2.16 se observa el mapa geológico del sector Tomebamba 3 mediante el cual se determinó el tipo de suelo según la Tabla 1-4 de clasificación hidrológica de los suelos y se obtuvo que posee un suelo tipo A, B, C y D, sus porcentajes se indican en la Tabla 2-33.

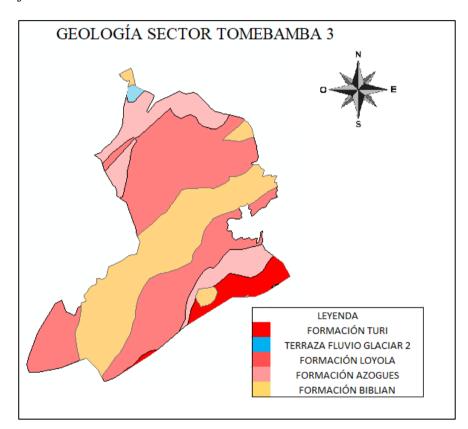


Figura 2.16: Geología del sector Tomebamba 3.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-33: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo.

Tomebamba 3									
Designación	5,29% Tipo A	0,50% Tipo B	79,85% Tipo C	14,36% Tipo D					
Techos	0,27	0,03	4,11	0,74					
Asfalto	0,04	0,00	0,60	0,11					
Grava	0,20	0,02	3,03	0,55					
Ladera sin vegetación	2,93	0,28	44,30	7,97					
Ladera con vegetación	1,84	0,17	27,80	5,00					

Fuente: Elaboración propia.

A cada uno de estos valores de los distintos tipos de suelos se les asigna un valor CN, en función del tipo de superficie según la Tabla 1-7, como se indica en la Tabla 2-34.

	Tabla 2-34: Valo	r de CN para	cada tipo de su	ielo y sus res	pectivos productos.
--	------------------	--------------	-----------------	----------------	---------------------

Designación	5,29% Tipo A	Valor CN	Tipo A x CN	0,50% Tipo B	Valor CN	Tipo B x CN	79,85% Tipo C	Valor CN	Tipo C x CN	14,36% Tipo D	Valor CN	Tipo D x CN
Techos	0,27	98	26,46	0,03	98	2,94	4,11	98	402,78	0,74	98	72,52
Asfalto	0,04	98	3,92	0,00	98	0,00	0,60	98	58,80	0,11	98	10,78
Grava	0,20	76	15,20	0,02	85	1,70	3,03	89	269,67	0,55	91	50,05
Ladera sin vegetación	2,93	49	143,57	0,28	69	19,32	44,30	79	3499,70	7,97	84	669,48
Ladera con vegetación	1,84	25	46,00	0,17	55	9,35	27,80	70	1946,00	5,00	77	385
		•	235,15			33,31		•	6176,95			1187,83

Fuente: Elaboración propia.

Se determina el valor de CN ponderado mediante la siguiente relación:

$$CNponderado = \frac{235,15 + 33,31 + 6176,95 + 1187,83}{100} = 76$$

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía con la precipitación mínima y máxima se aplica la ecuación 18 respectivamente, y su valor CN obtenido de la Tabla 2-34.

$$C = \frac{(4,80 - \frac{5080}{76} + 50,80)^2}{4,80^2 + 4 * 4,80 * (\frac{5080}{76} - 50,80)} = 0,38$$

$$C = \frac{(137,16 - \frac{5080}{76} + 50,80)^2}{137,16^2 + 4 * 137,16 * (\frac{5080}{76} - 50,80)} = 0,53$$

# 2.4.5. Método del Número de Curva adaptado al sector Yanuncay 1

Se obtuvieron los porcentajes que representa cada área de aporte (Tabla 2-35).

Tabla 2-35: Porcentaje de áreas.

Yanuncay 1						
Designación	Área (ha)	%				
Techos	83,50	37,61				
Asfalto	37,22	16,77				
Grava	8,32	3,75				
Ladera sin vegetación	69,96	31,51				
Ladera con vegetación	23,01	10,36				
Área total	222,01	100				

A continuación en la Figura 2.17 se observa el mapa geológico del sector Yanuncay 1 mediante el cual se determinó el tipo de suelo según la Tabla 1-4 de clasificación hidrológica de los suelos y se obtuvo que posee un suelo tipo B y C, sus porcentajes se indican en la Tabla 2-36.

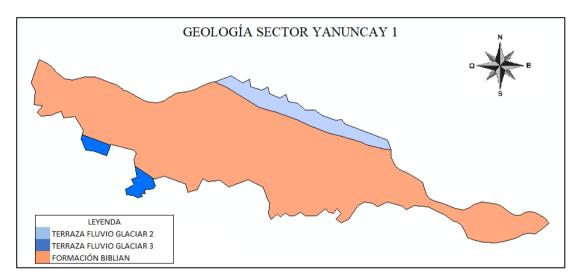


Figura 2.17: Geología del sector Yanuncay 1.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-36: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo.

Yanuncay 1								
Designación	9,78% Tipo B	90,22% Tipo C						
Techos	3,68	33,93						
Asfalto	1,64	15,13						
Grava	0,37	3,38						
Ladera sin vegetación	3,08	28,43						
Ladera con vegetación	1,01	9,35						

Fuente: Elaboración propia.

A cada uno de estos valores de los distintos tipos de suelos se les asigna un valor CN, en función del tipo de superficie según la Tabla 1-7, como se indica en la Tabla 2-37:

Tabla 2-37: Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos.
--

Designación	9,78% Tipo A	Valor CN	Tipo A x CN	90,22% Tipo B	Valor CN	Tipo B x CN
Techos	3,68	98	360,64	33,93	98	3325,14
Asfalto	1,64	98	160,72	15,13	98	1482,74
Grava	0,37	76	28,12	3,38	85	287,30
Ladera sin vegetación	3,08	49	150,92	28,43	69	1961,67
Ladera con vegetación	1,01	25	25,25	9,35	55	514,25
			725,65			7571,10

Fuente: Elaboración propia.

Se determina el valor de CN ponderado mediante la siguiente relación:

$$CNponderado = \frac{725,65 + 7571,10}{100} = 83$$

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía con la precipitación mínima y máxima se aplica la ecuación 18 respectivamente, y su valor CN obtenido de la Tabla 2-37.

$$C = \frac{(5,40 - \frac{5080}{83} + 50,80)^2}{5,40^2 + 4 * 5,40 * (\frac{5080}{83} - 50,80)} = 0,10$$

$$C = \frac{(156 - \frac{5080}{83} + 50,80)^2}{156^2 + 4 * 156 * \left(\frac{5080}{83} - 50,80\right)} = 0,69$$

#### 2.4.6. Método del Número de Curva adaptado al sector Tarqui 1

Se obtuvieron los porcentajes que representa cada área de aporte (Tabla 2-38).

Tabla 2-38: Porcentaje de áreas.

Tarqui 1				
Designación	Área (ha)	%		
Techos	172,94	20,74		
Asfalto	69,53	8,34		
Grava	57,05	6,84		

Designación	Área (ha)	%
Ladera sin vegetación	439,67	52,74
Ladera con vegetación	94,49	11,33
Área total	833,68	100

A continuación en la Figura 2.18 se observa el mapa geológico del sector Tarqui 1 mediante el cual se determinó el tipo de suelo según la Tabla 1-4 de clasificación hidrológica de los suelos y se obtuvo que posee un suelo tipo A, B y C, sus porcentajes se indican en la Tabla 2-39.

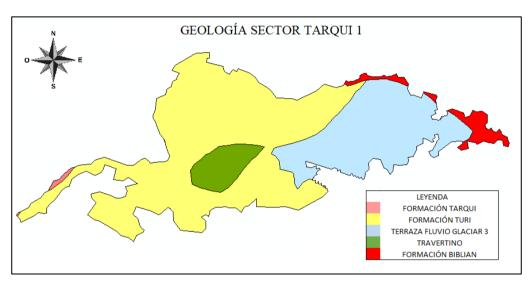


Figura 2.18: Geología del sector Tarqui 1.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-39: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo.

Tarqui 1						
Designación	62,81% Tipo A	33,69% Tipo B	3,50% Tipo C			
Techos	13,03	6,99	0,73			
Asfalto	5,24	2,81	0,29			
Grava	4,30	2,30	0,24			
Ladera sin vegetación	33,13	17,77	1,85			
Ladera con vegetación	7,12	3,82	0,40			

Fuente: Elaboración propia.

A cada uno de estos valores de los distintos tipos de suelos se les asigna un valor CN, en función del tipo de superficie según la Tabla 1-7, como se indica en la Tabla 2-40.

Designación	62,81% Tipo A	Valor CN	Tipo A x CN	33,69% Tipo B	Valor CN	Tipo B x CN	3,5% Tipo C	Valor CN	Tipo C x CN
Techos	13,03	98	1276,94	6,99	98	685,02	0,73	98	71,54
Grava	4,30	76	326,80	2,30	85	195,50	0,24	89	21,36
Ladera sin vegetación	33,13	49	1623,37	17,77	69	1226,13	1,85	79	146,15
Ladera con vegetación	7,12	25	178,00	3,82	55	210,10	0,40	70	28,00
			3918,63		•	2592,13			295,47

Se determina el valor de CN ponderado mediante la siguiente relación:

$$CNponderado = \frac{3918,63 + 2592,13 + 295,47}{100} = 68$$

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía con la precipitación mínima y máxima se aplica la ecuación 18 respectivamente, y su valor CN obtenido de la Tabla 2-40.

$$C = \frac{(5,40 - \frac{5080}{68} + 50,80)^2}{5,40^2 + 4 * 5,40 * (\frac{5080}{68} - 50,80)} = 0,63$$

$$C = \frac{(156 - \frac{5080}{68} + 50,80)^2}{156^2 + 4 * 156 * (\frac{5080}{68} - 50,80)} = 0,44$$

# 2.4.7. Método del Número de Curva adaptado al sector Tarqui 2

Se obtuvieron los porcentajes que representa cada área de aporte (Tabla 2-41).

Tabla 2-41: Porcentaje de áreas.

Tarqui 2					
Designación	Área (ha)	%			
Techos	87,16	17,00			
Asfalto	78,29	15,27			
Grava	29,80	5,81			
Ladera sin vegetación	205,09	40,01			
Ladera con vegetación	112,23	21,90			
Área total	512,57	100			

Fuente: Elaboración propia.

A continuación en la Figura 2.19 se observa el mapa geológico del sector Tarqui 2 mediante el cual se determinó el tipo de suelo según la Tabla 1-4 de clasificación hidrológica de los suelos y se obtuvo que posee un suelo tipo A, B y C, sus porcentajes se indican en la Tabla 2-42.

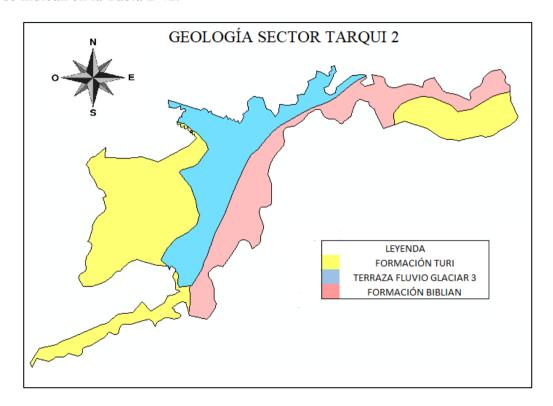


Figura 2.19: Geología sector Tarqui 2.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-42: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo.

Tarqui 2					
Designación	46,98% Tipo A	26,77% Tipo B	26,25% Tipo C		
Techos	7,99	4,55	4,46		
Asfalto	7,17	4,09	4,01		
Grava	2,73	1,56	1,53		
Ladera sin vegetación	18,80	10,71	10,50		
Ladera con vegetación	10,29	5,86	5,75		

Fuente: Elaboración propia.

A cada uno de estos valores de los distintos tipos de suelos se les asigna un valor CN, en función del tipo de superficie según la Tabla 1-7, como se indica en la Tabla 2-43.

Tabla 2-43: Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos
---

Designación	46,98% Tipo A	Valor CN	Tipo A x CN	26,77% Tipo B	Valor CN	Tipo B x CN	26,25% Tipo C	Valor CN	Tipo C x CN
Techos	7,99	98	783,02	4,55	98	445,90	4,46	98	437,08
Asfalto	7,17	98	702,66	4,09	98	400,82	4,01	98	392,98
Grava	2,73	76	207,48	1,56	85	132,60	1,53	89	136,17
Ladera sin vegetación	18,80	49	921,20	10,71	69	738,99	10,50	79	829,50
Ladera con vegetación	10,29	25	257,25	5,86	55	322,30	5,75	70	402,50
			2871,61			2040,61			2198,23

Se determina el valor de CN ponderado mediante la siguiente relación:

$$CNponderado = \frac{2871,61 + 2040,61 + 2198,23}{100} = 71$$

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía con la precipitación mínima y máxima se aplica la ecuación 18 respectivamente, y su valor CN obtenido de la Tabla 2-43.

$$C = \frac{(5,40 - \frac{5080}{71} + 50,80)^2}{5,40^2 + 4 * 5,40 * (\frac{5080}{71} - 50,80)} = 0,49$$

$$C = \frac{(156 - \frac{5080}{71} + 50,80)^2}{156^2 + 4 * 156 * (\frac{5080}{71} - 50,80)} = 0,49$$

# 2.4.8. Método del Número de Curva adaptado al sector Tarqui 3

Se obtuvieron los porcentajes que representa cada área de aporte (Tabla 2-44).

Tabla 2-44: Porcentaje de áreas.

Tarqui 3				
Designación	Área (ha)	%		
Techos	19,45	34,07		
Asfalto	12,73	22,30		
Grava	1,02	1,79		
Ladera sin vegetación	8,09	14,17		

Designación	Área (ha)	%
Ladera con vegetación	15,80	27,68
Área total	57,09	100

A continuación en la Figura 2.29 se observa el mapa geológico del sector Tarqui 3 mediante el cual se determinó el tipo de suelo según la Tabla 1-4 de clasificación hidrológica de los suelos y se obtuvo que posee un suelo tipo C (Tabla 2-45).

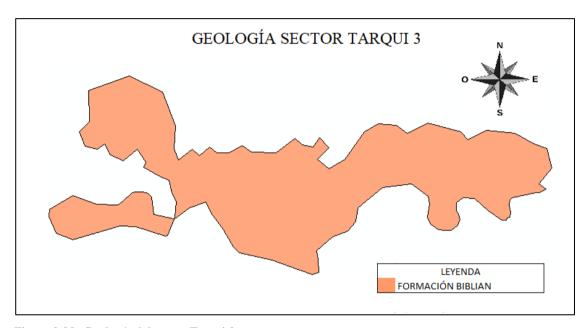


Figura 2.20: Geología del sector Tarqui 3.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-45: Porcentaje de áreas según el tipo de suelo.

Tarqui 3				
Designación	100% Tipo C			
Techos	34,07			
Asfalto	22,30			
Grava	1,79			
Ladera sin vegetación	14,17			
Ladera con vegetación	27,68			

Fuente: Elaboración propia.

A cada uno de estos valores de los distintos tipos de suelos se les asigna un valor CN, en función del tipo de superficie según la Tabla 1-7, como se observa en la Tabla 2-46.

T 11 2 46	17 1 1 CM	1	1 1	. •	1 .
1 abia 2-46:	valor de CN	para cada tij	po de suelo	y sus respectivos	productos.

Designación	100% Tipo A	Valor CN	Tipo A x CN
Techos	34,07	98	3338,86
Asfalto	22,30	98	2185,40
Grava	1,79	76	136,04
Ladera sin vegetación	14,17	49	694,33
Ladera con vegetación	27,68	25	692,00
			7046,63

Se determina el valor de CN ponderado mediante la siguiente relación:

$$CNponderado = \frac{7046,63}{100} = 70$$

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía con la precipitación mínima y máxima se aplica la ecuación 18 respectivamente, y su valor CN obtenido de la Tabla 2-46.

$$C = \frac{(4,80 - \frac{5080}{70} + 50,80)^2}{4,80^2 + 4 * 4,80 * (\frac{5080}{70} - 50,80)} = 0,65$$

$$C = \frac{(137,16 - \frac{5080}{70} + 50,80)^2}{137,16^2 + 4 * 137,16 * (\frac{5080}{70} - 50,80)} = 0,43$$

# **CAPÍTULO III**

#### 3. RESULTADOS

# 3.1. Representación de mapas de los coeficientes "C" de escorrentía por el método racional en ArcGIS

En la figura 3.1 se puede apreciar los diferentes valores de coeficientes de escorrentía para cada sector mediante el método racional. El sector Tomebamba 1 tiene el coeficiente más alto, esto quiere decir que posee mayor impermeabilidad debido a sus características (mayor área de techos y carreteras). Por otro lado, el sector Tomebamba 2 tiene el coeficiente más bajo, esto quiere decir que es más permeable debido a sus características (mayor área de laderas con y sin vegetación).

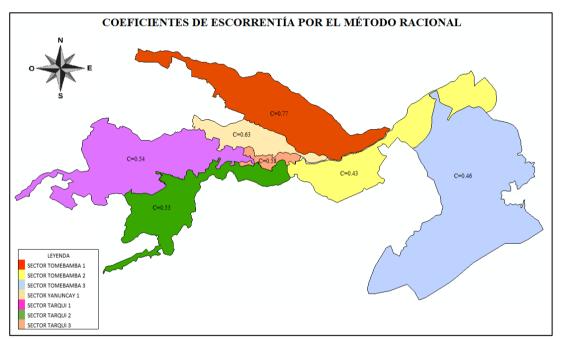


Figura 3.1: Coeficientes de escorrentía por el método racional.

Fuente: Elaboración propia

# 3.2 Representación de mapas de los coeficientes "C" de escorrentía por el método del número de curva en ArcGIS.

En la figura 3.2 se aprecian los valores de coeficientes de escorrentía para la precipitación mínima de los dos pluviómetros utilizados, según los datos del año 2016. En este caso el coeficiente más alto corresponde al sector Tarqui 3, esto quiere decir que posee mayor impermeabilidad debido a sus características (mayor área de techos y carreteras). Por otro lado, el sector Tomebamba 1 tiene el coeficiente más bajo, esto

quiere decir que es más permeable debido a sus características (mayor área de laderas con y sin vegetación).

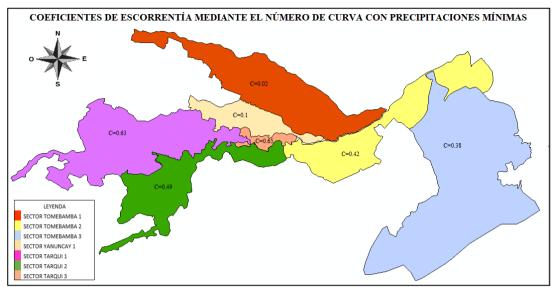


Figura 3.2: Coeficientes de escorrentía por el método del número de curva con precipitación mínima. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.3 se aprecian los valores de coeficientes de escorrentía para la precipitación máxima de los dos pluviómetros utilizados, según los datos del año 2016. Se puede observar que los sectores difieren, en este caso el coeficiente más alto corresponde al sector Tomebamba 1 y el más bajo al sector Tarqui 3. De igual manera existe una variación considerable en los coeficientes de escorrentía debido a que el valor de precipitación mínima y máxima influye directamente en la Ecuación 18 que se utilizó para el cálculo del Método del Número de Curva.

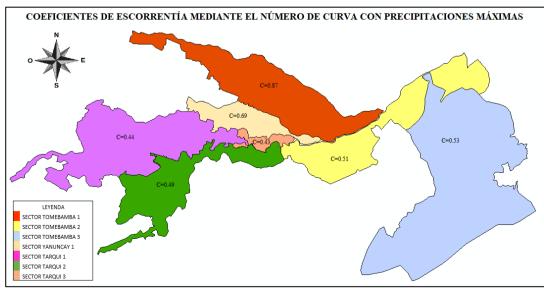


Figura 3.3: Coeficientes de escorrentía por el método del número de curva con precipitación máxima. Fuente: Elaboración propia.

#### 3.3. Análisis de los coeficientes de escorrentía

#### 3.3.1. Método Racional

Se clasificaron cada uno de los sectores de estudio dependiendo del tipo de zona al que pertenece, de esta manera se puede observar en la Tabla 3-1 que mientras el coeficiente "C" de escorrentía es menor el suelo tendrá mayor capacidad de infiltración lo que provoca una disminución de escorrentía superficial, por el contrario si el coeficiente "C" de escorrentía es mayor, la capacidad de infiltración del suelo se reducirá, es decir la superficie poseen una impermeabilidad alta y así aumentará la escorrentía superficial.

Tabla 3-1: Tabla de Resumen para el método racional.

Método Racional				
Sector	Coeficiente "C" de Escorrentía	Tipo de zona		
Tomebamba 1	0,77	Comercial en zona central		
Tomebamba 2	0,43	Residencial unifamiliar separada/con jardines.		
Tomebamba 3	0,46	Residencial unifamiliar separada/con jardines.		
Yanuncay 1	0,63	Residencial unifamiliar agrupada.		
Tarqui 1	0,54	Residencial unifamiliar agrupada.		
Tarqui 2	0,53	Residencial unifamiliar agrupada.		
Tarqui 3	0,58	Residencial unifamiliar agrupada.		

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.3.2. Método del Número de Curva

Como se observa en las Tablas 3-2 y 3-3, el coeficiente "C" de escorrentía depende de la precipitación, como también del número de curva que este a su vez está en función del grupo hidrológico de suelo; por lo cual se puede inferir que a mayor precipitación mayor será el coeficiente "C" de escorrentía.

Tabla 3-2: Tabla de Resumen para el método del número de curva con precipitaciones máximas.

Método Número de Curva para precipitación máxima				
Sector	CN	P (mm)	Coeficiente de Escorrentía	
Tomebamba 1	93	156,00	0,87	
Tomebamba 2	75	137,16	0,51	
Tomebamba 3	76	137,16	0,53	
Yanuncay 1	83	156,00	0,69	
Tarqui 1	68	156,00	0,44	
Tarqui 2	71	156,00	0,49	
Tarqui 3	70	137,16	0,43	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-3: Tabla de Resumen para el método del número de curva con precipitaciones mínimas.

Método Número de Curva para precipitación mínima				
Sector	CN	P (mm)	Coeficiente de Escorrentía	
Tomebamba 1	93	5,40	0,02	
Tomebamba 2	75	4,80	0,42	
Tomebamba 3	76	4,80	0,38	
Yanuncay 1	83	5,40	0,10	
Tarqui 1	68	5,40	0,63	
Tarqui 2	71	5,40	0,49	
Tarqui 3	70	4,80	0,65	

Para el cálculo del coeficiente "C" de escorrentía, en este estudio se dividió y nombró a siete sectores de la zona sur de la ciudad de Cuenca según la descarga de sus aguas hacia los ríos de la zona.

Una vez obtenidos los resultados de los coeficientes de escorrentía por ambos métodos, se pudo observar que los coeficientes del Método del Número de curva con precipitaciones máximas fueron superiores en un 14% con respecto a los del Método Racional en ciertos sectores (Tomebamba 1, Tomebamba 2, Tomebamba 3 y Yanuncay 1), por otro lado los coeficientes del Método Racional fueron superiores en un 21% con respecto a los del método de numero de curva en los demás sectores (Tarqui 1, Tarqui 2 y Tarqui 3). Realizando una comparación de la metodología propuesta por los dos métodos se puede inferir que la diferencia que existe entre ellos radica en que el Método Racional no considera efectos de retención temporal de agua (hasta la saturación del suelo), como también el grado de rugosidad superficial y procesos de infiltración, propiedades de los distintos tipos de cobertura del suelo. Mientras que el Método del Número de Curva considera todos estos factores mediante la clasificación hidrológica de los suelos y otros parámetros como geología, humedad antecedente y datos de lluvia.

El Método del Número de Curva fue más aproximado debido a que se estimó los resultados de una manera más técnica al considerar los parámetros antes mencionados, mientras que el Método Racional solo consideró las áreas de aporte y tablas con los coeficientes de escorrentía recomendados para distintos tipos de zonas y superficies. Sin embargo la exactitud del método mejoraría con un mayor número de datos de lluvia.

#### **CONCLUSIONES**

Se obtuvieron valores en las condiciones actuales del coeficiente "C" de escorrentía en la zona Sur del rio Tomebamba.

Se investigó y analizó el Método Racional y el Método del Número de Curva, para el área de estudio. En el capítulo 1 se indicaron los procesos con sus respectivas fórmulas para su cálculo.

Se aplicaron los métodos para el cálculo de los coeficientes "C" de escorrentía. En el capítulo 2 se mostró el procedimiento a seguir para el cálculo de estos, además se representó el área de estudio y cada subzona mediante figuras, así como su cálculo en tablas.

Se analizaron los resultados obtenidos y se representaron en mapas temáticos para todas las subzonas de la ciudad. En el capítulo 3 además se realizó una comparación entre ambos métodos y se determinó que el Método del Número de Curva se aproxima a las condiciones actuales.

#### RECOMENDACIONES

- Usar estos valores de coeficientes de escorrentía para futuros estudios de caudales
  o diseños de alcantarillados pluviales, debido a que se tomaron en cuenta todos los
  parámetros establecidos en ambos métodos como: áreas de aporte, condición de
  humedad antecedente, datos de pluviómetros, geología y clasificación hidrológica
  de suelo.
- Aplicar el método racional en cuencas de hasta 1300 hectáreas debido a que su cálculo usa solamente el área de la zona de estudio, mientras que el método del número de curva necesita datos exactos de precipitación.
- Para el método racional, clasificar las áreas de aporte de tal manera que se ajusten
  a las condiciones reales de estudio; de igual manera para el método del número de
  curva, la clasificación hidrológica de suelo debe hacerse de manera correcta debido
  a que influye directamente en el valor del número de curva.

#### **BIBLIOGRAFÍA:**

- Ayala, L. (1979). Hidrología Urbana. Caracas, Venezuela: Editorial Génesis Caracas.
- Campos, D. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. México: Editorial Universitaria Potosina.
- Chow, V. T. (2000). *Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Departamento de Información Geográfica. (2016). *Datos de pluviómetros*. Cuenca: ETAPA.
- Departamento de Geomática y Territorio. (2015). Tipos de Suelo. Cuenca: IERSE UDA.
- Duarte, Carlos M. (Coord.), Cambio Global. Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra, 2006, Colección divulgación, 3. 167 p.
- ETAPA EP. (2018). Recuperado a partir de http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Saneamiento/Saneamiento
- Google Earth Pro. (s.f). *Ubicación de pluviómetros en la ciudad de Cuenca*.
- Hernández Muñoz, A. (1997). *Saneamiento y Alcantarillado. Vertidos Residuales*. Madrid, España: Colegio de Ingenieros de caminos, Canales y Puertos.
- Maderey, L. (2005). *Principios de Hidrogeografía Estudio del Ciclo Hidrológico*. Distrito Federal: Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ordoñez, J. (2011). Balance Hídrico Superficial. Sociedad Geográfica de Lima. Recuperado a partir de <a href="https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\_files/publicaciones/varios/ciclo\_hidrologico.pdf">https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\_files/publicaciones/varios/ciclo\_hidrologico.pdf</a>
- Romero, Hugo, & Vásquez, Alexis. (2005). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. *EURE* (Santiago), 31(94),97-117. <a href="https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612005009400006">https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612005009400006</a>
- Villón, M. (2004). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Villodas, R. (2008). Guía de estudio para Hidrología I, Hidrología II. Universidad Nacional de Cuyo. Recuperado a partir de file:///C:/Users/Usuario/Desktop/carpeta%20de%20respaldo%201584/descar gas/01.PDF