



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**Estudio para Determinar el Coeficiente C de Escorrentía en la  
Zona Norte del Río Tomebamba**

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

**AUTORES:**

**CABRERA PAZMIÑO CARMEN LEONOR  
RODRÍGUEZ GONZÁLEZ RUTH YADIRA**

**DIRECTOR:**

**LARRIVA VÁSQUEZ JOSUÉ BERNARDO, MST**

**CUENCA, ECUADOR**

**2017**

## DEDICATORIA

Este trabajo, producto de mi esfuerzo lo dedico con mucho amor y cariño a mis padres, Waldo Ariosto, y Margarita Leticia, quienes han sido mi respaldo para seguir adelante, en la búsqueda de la superación personal, y llegar a un feliz término en la culminación de mis metas, a mi esposo, Fernando Benjamín quien me ha apoyado en el logro obtenido y a mi hijo, Fernando Eugenio, quien me ha impulsado para alcanzar este sueño, a mis hermanos, Waldo José y David Alberto, quienes siempre estuvieron conmigo apoyándome a conseguir que se haga realidad y culminar con ello uno de los anhelos más importantes de mi vida.

CARMEN LEONOR

Dedico este trabajo a mis Padres Milton Hernán y Ruth Isabel por guiarme por el buen camino, darme fuerzas en todo momento, consejos y comprensión, para seguir adelante en busca de mi meta profesional, a mi hermana Marely Jamileth, ya que quiero ser su guía y su ejemplo, a mis abuelitos, Emeterio, Rosa y Luzmila pues con sus palabras me alentaron a nunca rendirme y llegar a mi meta. De manera especial a mi esposo Vicente Eduardo quien ha sido un apoyo constante y me brindo su confianza, a mi hija Amber Isabella por ser mi motivación para superarme cada día, este fruto es en gran parte gracias a su esfuerzo y apoyo incondicional, puesto que hoy logro un importante escalón en mi vida.

RUTH YADIRA

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos expresar nuestra sincera gratitud, a los señores profesores de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad del Azuay, por habernos brindado la oportunidad de ser estudiantes de esta casa educativa.

De manera especial al Ing. Josué Larriva Vázquez, Mst director de esta tesis, el mismo que con sus vastos conocimientos nos ha guiado con sabiduría y mucha paciencia en la elaboración de este trabajo.

Así como a Verónica Chumi, Ingeniera en modelación hidráulica del Departamento Información Geográfica de ETAPA EP, por su ayuda incondicional en la culminación del mismo y por facilitarnos la información requerida.

<b>ÍNDICE</b>	
<b>RESUMEN</b> .....	9
<b>ABSTRACT</b> .....	10
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>ANTECEDENTES</b> .....	11
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	12
<b>OBJETIVOS</b> .....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos .....	12
<b>CAPÍTULO 1. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y SUS CARACTERÍSTICAS</b> .....	13
<b>1.1 Ciclo hidrológico: impactos de la construcción</b> .....	13
<b>1.1.1 Elementos del ciclo hidrológico</b> .....	13
<b>1.1.2 Impactos de la construcción</b> .....	15
<b>1.2 Precipitación</b> .....	16
<b>1.2.1 Incidencias y distribución de la precipitación.</b> .....	16
<b>1.2.2 Clasificación de la precipitación</b> .....	17
<b>1.2.2.1 Precipitación convectiva</b> .....	17
<b>1.2.2.2 Precipitación orográfica</b> .....	18
<b>1.2.2.3 Precipitación ciclónica o por convergencia</b> .....	19
<b>1.3 Infiltración</b> .....	20
<b>1.3.1 Factores que intervienen en la capacidad de infiltración</b> .....	20
<b>1.4 Escorrentía</b> .....	21
<b>1.4.1 Factores que intervienen en la escorrentía</b> .....	21
<b>1.4.2 Escorrentía superficial</b> .....	21
<b>1.4.3 Escorrentía subsuperficial</b> .....	22
<b>1.4.4 Escorrentía subterráneo</b> .....	22
<b>1.4.5 Procesos de escorrentía</b> .....	22
<b>1.4.6 Urbanización en la escorrentía</b> .....	23
<b>1.4.7 Coeficiente de escorrentía</b> .....	24
<b>1.5 Métodos para determinar el coeficiente de escorrentía</b> .....	24
<b>1.5.1 Método racional</b> .....	24
<b>1.5.1.1 Factores que determinan el caudal</b> .....	25
<b>1.5.2 Método del Número de Curva</b> .....	27
<b>1.5.2.1 Factores de los que depende el número de curva</b> .....	29

<b>CAPITULO 2. ESTUDIO</b> .....	35
<b>2.1 Descripción de la zona de estudio</b> .....	35
<b>2.2 Recopilación de la información</b> .....	37
<b>2.3 Aplicación del método racional</b> .....	38
<b>2.3.1 Sector Tomebamba 1</b> .....	38
<b>2.3.2 Sector Tomebamba 2</b> .....	40
<b>2.3.3 Sector Milchichig 1</b> .....	41
<b>2.3.4 Sector Milchichig 2</b> .....	43
<b>2.3.5 Sector Machángara 1</b> .....	45
<b>2.3.6 Sector Machángara 2</b> .....	47
<b>2.3.7 Sector Machángara 3</b> .....	49
<b>2.3.8 Sector Machángara 4</b> .....	51
<b>2.4 Aplicación del método del número de curva</b> .....	53
<b>2.4.1 Sector Tomebamba 1</b> .....	55
<b>2.4.2 Sector Tomebamba 2</b> .....	57
<b>2.4.3 Sector Milchichig 1</b> .....	59
<b>2.4.4 Sector Milchichig 2</b> .....	61
<b>2.4.5 Sector Machángara 1</b> .....	63
<b>2.4.6 Sector Machángara 2</b> .....	65
<b>2.4.7 Sector Machángara 3</b> .....	67
<b>2.4.8. Sector Machángara 4</b> .....	69
<b>CAPITULO 3. RESULTADOS</b> .....	71
<b>3.1 Elaboración de mapas de los coeficientes “C” de escorrentía en Arcgis</b> ....	71
<b>3.1.1 Método racional</b> .....	71
<b>3.1.2 Por el método del número de curva</b> .....	72
<b>3.1.2.1 Lluvias altas</b> .....	72
<b>3.1.2.2 Lluvias bajas</b> .....	73
<b>3.2 Análisis de los coeficientes</b> .....	74
<b>3.2.1 Método racional</b> .....	74
<b>3.2.2 Método del número de curva</b> .....	74
<b>3.3 Recomendaciones</b> .....	75
<b>3.4 Conclusiones</b> .....	76
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Coeficientes de escorrentía de distintos tipos de zona	26
Tabla 1-2. Coeficientes de escorrentía de distintos tipos de zona	26
Tabla 1-3. Clasificación hidrológica del suelo	30
Tabla 1-4. Condición hidrológica	31
Tabla 1-5. Condiciones de Humedad Antecedente	31
Tabla 1-6. Lluvia antecedente total de 5 días	32
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)	33
Tabla 2-1. Coordenadas UTM, río Tomebamba	36
Tabla 2-2. Área Tomebamba 1	39
Tabla 2-3. Valores de Área multiplicada por “C”	39
Tabla 2-4. Área Tomebamba 2	40
Tabla 2-5 Valores de Área multiplicada por “C”	41
Tabla 2-6. Área Milchichig 1	42
Tabla 2-7 Valores de Área multiplicada por “C”	43
Tabla 2-8. Área Milchichig 2	44
Tabla 2-9 Valores de Área multiplicada por “C”	45
Tabla 2-10 Áreas Machángara 1	46
Tabla 2-11 Valores de Área multiplicados por “C”	47
Tabla 2-12 Áreas Machángara 2	48
Tabla 2-13. Valores de Área multiplicados por C	49
Tabla 2-14 Áreas Machángara 3	50
Tabla 2-15 Valores de Área multiplicados por “C”	51
Tabla 2-16 Áreas Machángara 4	52
Tabla 2-17. Valores de Área multiplicados por “C”	53
Tabla 2-18. Datos de los pluviómetros en mm	54
Tabla 2-19. Precipitación promedio en días con más lluvia y en días con menos lluvia 2015-2016	54
Tabla 2-20 Porcentaje de áreas	55
Tabla 2-21 Porcentaje de áreas según el tipo de suelo	56
Tabla 2-22. Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos	56

Tabla 2-23. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas _____	56
Tabla 2-24 Porcentaje de áreas _____	57
Tabla 2-25. Porcentaje de áreas por el tipo de suelo _____	58
Tabla 2-26 Valor de CN para el tipo de suelo y su respectivo producto _____	58
Tabla 2-27 Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas _____	58
Tabla 2-28. Porcentaje de áreas _____	59
Tabla 2-29 Porcentaje de áreas según el tipo de suelo _____	60
Tabla 2-30 Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos _____	60
Tabla 2-31. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas _____	60
Tabla 2-32. Porcentaje de áreas _____	61
Tabla 2-33 Porcentaje de áreas según el tipo de suelo _____	62
Tabla 2-34 Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos _____	62
Tabla 2-35 Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas _____	62
Tabla 2-36 Porcentaje de áreas _____	63
Tabla 2-37. Porcentaje de áreas por el tipo de suelo _____	64
Tabla 2-38. Valor de CN para el tipo de suelo y su respectivo producto _____	64
Tabla 2-39. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas _____	64
Tabla 2-40. Porcentaje de áreas _____	65
Tabla 2-41. Porcentaje de áreas por el tipo de suelo _____	66
Tabla 2-42. Valor de CN para el tipo de suelo y su respectivo producto _____	66
Tabla 2-43. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas _____	66
Tabla 2-44. Porcentaje de áreas _____	67
Tabla 2-45. Porcentaje de áreas por el tipo de suelo _____	68
Tabla 2-46. Valor de CN para el tipo de suelo y su respectivo producto _____	68
Tabla 2-47. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas _____	68
Tabla 2-48. Porcentaje de áreas _____	69
Tabla 2-49. Porcentaje de áreas por el tipo de suelo _____	70
Tabla 2-50. Valor de CN para el tipo de suelo y su respectivo producto _____	70
Tabla 2-51. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas _____	70
Tabla 3-1. Mayor precipitación mayor coeficiente “C”, menor precipitación menor coeficiente “C” _____	<b>¡Error! Marcador no definido.4</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. El ciclo hidrológico (Chow Ven te, 2000) _____	15
Figura 1.2. Precipitación convectiva con frente cálido (Maderey, 2005) _____	18
Figura 1.3. Precipitación convectiva con frente frío (Maderey, 2005) _____	18
Figura 1.4. Precipitación orográfica (Maderey, 2005) _____	19
Figura 1.5. Precipitación ciclónica (Morales, s.f) _____	19
Figura 2.1. Ubicación geográfica de Cuenca (elaboración propia) _____	35
Figura 2.2. Localización del río Tomebamba (Google Earth, s.f) _____	36
Figura 2.3. Área de Estudio (elaboración propia) _____	37
Figura 2.4. Zona Tomebamba 1 (elaboración propia) _____	38
Figura 2.5. Zona Tomebamba 2 (elaboración propia) _____	40
Figura 2.6. Zona Milchichig 1 (elaboración propia) _____	42
Figura 2.7. Zona Milchichig 2 (elaboración propia) _____	44
Figura 2.8. Zona Machángara 1 (elaboración propia) _____	46
Figura 2.9. Zona Machángara 2 (elaboración propia) _____	48
Figura 2.10. Zona Machángara 3 (elaboración propia) _____	50
Figura 2.11. Zona Machángara 4 (elaboración propia) _____	52
Figura 2.12. Uso de suelo Tomebamba 1 (elaboración propia) _____	55
Figura 2.13. Uso de suelo Tomebamba 2 (elaboración propia) _____	57
Figura 2.14. Uso de suelo Milchichig 1 (elaboración propia). _____	59
Figura 2.15. Uso de suelo Milchichig 2 (elaboración propia) _____	61
Figura 2.16. Uso de suelo Machangara 1 (elaboración propia). _____	63
Figura 2.17. Uso de suelo Machangara 2 (elaboración propia). _____	65
Figura 2.18. Uso de suelo Machangara 3 (elaboración propia). _____	67
Figura 2.19. Uso de suelo Machangara 4 (elaboración propia). _____	69
Figura 3.1. Mapa de los coeficientes “C” de esorrentía por el método racional. _____	61
Figura 1. Mapa de los coeficientes “C” con precipitaciones máximas. _____	62
Figura 3.3. Mapa de los coeficientes “C” de esorrentía con precipitaciones mínimas. _____	63



## RESUMEN

Estudio para la determinación del coeficiente de escorrentía "C" en la zona norte del río Tomebamba.

El presente trabajo de análisis e investigación aplica dos métodos para determinar el coeficiente de escorrentía "C" en la zona norte del río Tomebamba. Se dividió el área de estudio en sectores para facilitar su observación, estos sectores descargan su caudal al río Tomebamba, al río Milchichig y al río Machángara. Los afluentes conforman el área de estudio en su totalidad. Se aplicó el método racional y con la ayuda de herramientas informáticas, se pudo calcular las secciones de estos sectores y se determinó las diferentes características de zona, sea está cubierta, pavimento o vegetación; además se aplicó el método del número de curva donde se utilizó información proporcionada por la empresa pública ETAPA EP, datos sobre el uso de suelo y de los pluviómetros. Esto se representó en mapas de información geográfica donde se registró el coeficiente "C" obtenidos por estos métodos.

Palabras claves: coeficiente de escorrentía, método racional, método del número de curva, mapas de información



X Ing. Josué Larriva V. Mst.  
**Director de tesis**



Ing. José Vázquez C. M. Sc.  
**Director de la escuela de Ing. civil**



**Estudiante**



Ruth Rodríguez G.  
**Estudiante**

**STUDY TO DETERMINE THE RUNOFF COEFFICIENT "C" IN THE NORTH  
AREA OF THE *TOMBAMBA* RIVER**

**ABSTRACT**

This analytical and research work applied two methods to determine the runoff coefficient (C) in the north zone of the *Tombamba* River. The study area was divided into sectors to facilitate its observation. These sectors discharge their flow to the *Tombamba*, *Milchichig* and *Machangara* rivers. The study area was entirely made up by the tributaries. The rational method was applied; it was possible to calculate the sections of these sectors with the help of computer tools. The different characteristics of the zone were determined whether it was covered, paved or with vegetation. In addition, the curve number method was used with information about data on land use and rain gauges provided by ETAPA EP, a Public Utilities Company. This material was represented in geographic information maps, where the coefficient "C" obtained by these methods was recorded.

**Keywords:** runoff coefficient, rational method, curve number method, information maps



XIng. Josué Larriva V. Mst.  
**Thesis Director**



Ing. José Vázquez C. M. Sc.  
**School Director**



**Student**



Ruth Rodríguez G.  
**Student**



UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
Dpto. Idiomas



Translated by,  
**Lic. Lourdes Crespo**

## INTRODUCCIÓN

### ANTECEDENTES

El sistema de alcantarillado que se utiliza en la actualidad fue construido bajo los criterios establecidos en los Planes Maestros de 1968 y 1985, después de las evaluaciones respectivas y de acuerdo a lo determinado en los estudios de factibilidad del año 1985, se determinó que los sistemas existentes no estaban trabajando según lo planificado, pues se descubrió un número elevado de conexiones ilícitas y de descargas sanitarias que vertían a colectores pluviales y viceversa (ETAPA EP, 2017).

Para preservar los ríos y quebradas de la ciudad de Cuenca y sus parroquias, se consideró que cerca del total del sistema de alcantarillado sea de tipo combinado, los mismos que son captados en el sistema de Interceptores mediante unidades de derivación con el fin de transportar las aguas residuales hacia la PTAR<sup>1</sup> de Ucubamba para su tratamiento, es por esto que el actual sistema está garantizando tanto el servicio como las condiciones sanitarias, con lo que se conserva la naturaleza de la ciudad.

Por lo tanto el factor lluvia tiene mucha relevancia en el presente estudio debido a que la cantidad de flujo que se produce por la lluvia es mayor que a la del caudal sanitario, es por esta razón que se determinarán coeficientes de escorrentía teóricos para futuros diseños de alcantarillado con los que se podrá plasmar proyecciones obteniendo así valores con menos errores debido a que se toma en cuenta parámetros propios de cada sector. De esta manera se podrá identificar la cantidad de agua que circulará por cada zona de la ciudad.

---

<sup>1</sup> Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

## **JUSTIFICACIÓN**

En la ciudad de Cuenca se utilizan valores teóricos del coeficiente de escorrentía  $C$  para el cálculo y diseño del alcantarillado, por lo que se realizará un análisis de la parte norte del río Tomebamba la cual se ha dividido en subcuencas que han sido nombradas de acuerdo a la dirección que toma su descarga, es decir en esta zona se tiene dos sectores que descargan al río Tomebamba, dos sectores que descargan al río Milchichig, y cuatro sectores que descargan al río Machángara, los cuales formarán parte del área de estudio, la misma que se evaluará y describirá la composición de cada sector y sus usos sea este comercial, residencial, industrial, rurales, o área verde, para de esta manera poder determinar su coeficiente real.

Los valores que se obtendrán en esta investigación serán de gran utilidad para el cálculo de caudales, evaluaciones y diseños de redes. Dichos valores serán determinados en base a datos actuales, lo que da significancia a este estudio.

## **OBJETIVOS**

### Objetivo general

En base al uso actual del suelo y mediante dos métodos propuestos, determinar los valores del coeficiente  $C$  de escorrentía en la zona norte del río Tomebamba.

### Objetivos específicos

- Investigar y analizar el método racional y el método del número de curva.
- Aplicar los métodos para determinar los coeficientes  $C$ , y analizar los resultados obtenidos.
- Representar los resultados en un mapa sobre cada uno de los sectores del área de estudio.

## **CAPÍTULO 1. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y SUS CARACTERÍSTICAS**

### **1.1 Ciclo hidrológico: impactos de la construcción**

Se podría definir a partir del concepto "sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la atmósfera a la tierra" (Campos, 1998). El agua en la naturaleza no permanece estática, presenta constante dinamismo en el cual se definen diferentes etapas o fases, éstas por su manera de enlazarse generan un verdadero ciclo, dado que su inicio ocurre dónde posteriormente concluye, de una forma continua (Maderey, 2005).

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación), la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).

Dicho ciclo es el foco central de la hidrología dado que es el proceso mediante el cual se realiza el abastecimiento de agua para las plantas animales y el hombre. Su fundamento es que toda gota de agua, en cualquier momento en que se considere, recorre un circuito cerrado, puede ser por cualquier vía, pues el ciclo hidrológico no tiene un camino único (Campos, 1998).

#### **1.1.1 Elementos del ciclo hidrológico**

**Evaporación de agua.**- Se podría suponer que el inicio del ciclo hidrológico se da con la evaporación del agua en los océanos, esta emisión de vapor de agua que va por una superficie libre a temperatura inferior a su punto de ebullición.

**Transpiración.**- Proceso por el cual el agua de la vegetación pasa a la atmósfera en forma de vapor.

**Condensación.-** Luego de los dos procesos anteriores cuando el vapor de agua es transportado por las masas de aire en movimiento hacia los continentes. Bajo condiciones meteorológicas adecuadas el vapor de agua se condensa para formar nubes. Ésta fase se le podría considerar una transición del agua de la fase de vapor a la líquida. (Monsalve Sáenz)

**Precipitación.-** La condensación (nubes) da origen a la precipitación la cual no llega en su totalidad al terreno, puesto que una parte se evapora durante su caída y otra es retenida por la vegetación, edificios, carreteras, etc. Este agregado de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas o amorfas, que caen de una nube o grupo de nubes y alcanzan el suelo. Es decir la precipitación muestra una representación del agua en su mayoría de estado líquido.

**Escorrentía.-** Es el volumen de agua lluvia que hace su recorrido por la superficie del terreno o por debajo de él, desde el sitio dónde cae hasta la corriente de agua que alimenta.

**Flujo subsuperficial.-** Es parte del agua gravitacional que no alcanza a llegar hasta el nivel freático porque toma una dirección paralela a la de la superficie del suelo, y que desembocará en un río.

**Infiltración.-** Es la parte de la precipitación que penetra bajo la superficie del terreno sea este de materiales naturales o artificiales, en el cual se va rellenando los poros y fisuras de tal medio poroso, cuando las resultantes de todas las fuerzas que actúan sobre las partículas del suelo tienen una componente vertical en el sentido de la gravedad.

**Flujo subterráneo.-** Si el agua infiltrada es abundante una parte desciende hasta recargar el agua subterránea, a través de un medio poroso debido a la acción de gradientes hidráulicos moderados, principalmente es un flujo debido a la acción de la gravedad, de ser escaso el agua queda retenida en la zona no saturada, de dónde vuelve a la atmósfera por evaporación.

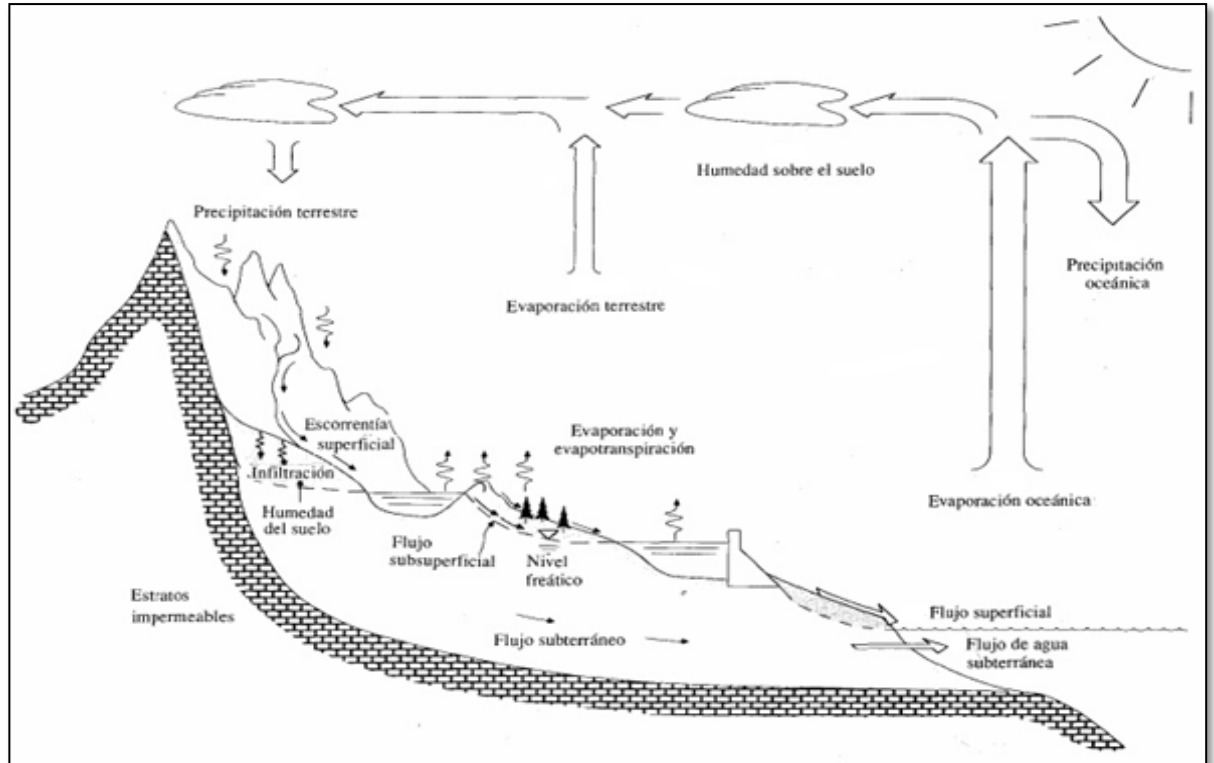


Figura 1.1. El ciclo hidrológico (Chow Ven Te, 2000).

### 1.1.2 Impactos de la construcción

Desde la segunda mitad del siglo XIX el ciclo hidrológico ha sido tema de exploración científica, por lo que se creía que " El agua circula en la hidrósfera a través de un laberinto de caminos consecutivos que constituyen el ciclo hidrológico" (Chow Ven Te, 2000), por tanto en la antigüedad se podía decir que el ciclo hidrológico y sus etapas tenían un continuismo sin interrupción y con facilidad de que se llegue a cumplir el mismo, al paso de los años y con la urbanización de las ciudades, se ha llegado a afectar el normal desempeño del ciclo, pues se crean grandes zonas impermeables incrementando así el aumento del caudal medio, los volúmenes de escorrentías y provocando inundaciones. La lluvia, posteriormente arrastra materiales sobre las aguas superficiales, causando la contaminación de los cursos, por ejemplo al existir mayor edificaciones la precipitación tarda en llegar a su destino final desviando así el camino del ciclo hidrológico, además la construcción de vías pavimentadas también generan este efecto en el agua de precipitación ya que tardará el proceso de infiltración, por lo que existirá abundante líquido debido a la

densidad del material de las vías que impide su paso. Como consecuencia del impacto que genera la construcción sobre el ciclo hidrológico se concluiría que ha futuro mientras más construcción exista más alteración tendrá el ciclo, es por eso que es importante la preservación de áreas verdes así como la generación de sensibilidad ambiental al momento de implantar proyectos, obedeciendo todas las normas establecidas y llevando un control de los factores que más influyen en el transcurso del flujo natural.

## **1.2 Precipitación**

Es el factor básico de los procesos de esorrentía de agua lluvia. Es importante comprender algunos de los procesos que controlan la formación de lluvia tan bien como las fuentes de datos y los métodos de descripción de la precipitación.

### **1.2.1 Incidencias y distribución de la precipitación.**

La formación de las precipitaciones puede ser por:

- Humedad atmosférica.- Es la cantidad de vapor de agua que se aloja en la atmósfera que se origina en el aire, influye en los procesos de evapotranspiración de los océanos, ríos, mares y cualquier ser vivo.
- Radiación solar.- Es un conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol.
- Mecanismos de enfriamiento del aire.
- Presencia de núcleos higroscópicos<sup>2</sup> para que haya condensación.
- Mecanismo de crecimiento de las partículas.- Esto se debe a la sobresaturación relativa del sistema debido a factores como la temperatura, la velocidad con que se mezclan los reactivos, la concentración de los mismos y la solubilidad del precipitado en el momento de la precipitación.

La precipitación se produce mediante la ascensión, constante expansión y enfriamiento del aire húmedo. Este enfriamiento ocasiona la formación de gotitas sobre partículas de polvo en suspensión en el aire. Estas gotitas crecen hasta un tamaño suficiente para vencer la resistencia del aire y caen a la tierra mediante dos procesos:

---

<sup>2</sup>Comportamiento de compuestos químicos



- 1) La coalescencia o colisión de un gran número de pequeñas gotitas.
- 2) El crecimiento de cristales de hielo por difusión del vapor de agua fuera de las gotitas de líquido hasta formar cristales de hielo a causa de la menor presión de vapor de la superficie del hielo.

## **1.2.2 Clasificación de la precipitación**

La precipitación se clasifica comúnmente según los factores responsables de la ascensión de las masas de aire. Estos factores pueden ser separados dentro de tres categorías principales: convectiva, orográfica y ciclónica.

### **1.2.2.1 Precipitación convectiva**

Esta forma de precipitación es típica de áreas cálidas, principalmente los trópicos y es causada por el calentamiento de aire en la superficie de la tierra. El aire caliente se expande y sube captando humedad por el camino. En algún momento, la masa de aire alcanza el punto donde se enfría y condensa. Las tempestades son ejemplos extremos de precipitación convectiva. En estas tormentas se forman fuertes torbellinos ascendentes durante las fases iniciales. En la porción superior del nubarrón de la tormenta, la masa de aire se expande hasta el punto en el que ocurre la condensación y formación de gotitas. Los fuertes torbellinos impiden a estas gotitas precipitarse a la tierra, por tanto, se acumula una gran cantidad de agua en la parte superior de la nube. Eventualmente, el peso del agua soportada retarda los torbellinos suficientemente para permitir la lluvia caer. El agua caída deshace los torbellinos, permitiendo caer el agua acumulada en grandes chaparrones (Corbitt, 2003).

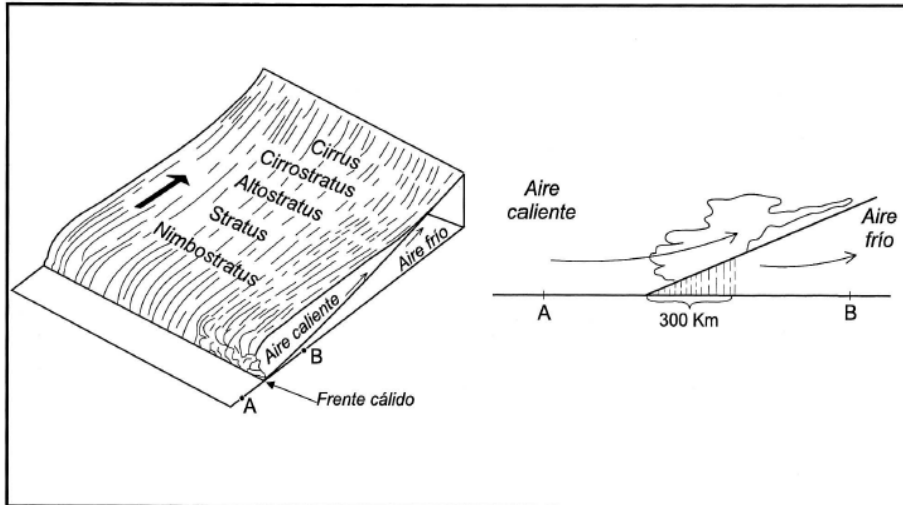


Figura 1.2. Precipitación convectiva con frente cálido (Maderey, 2005)

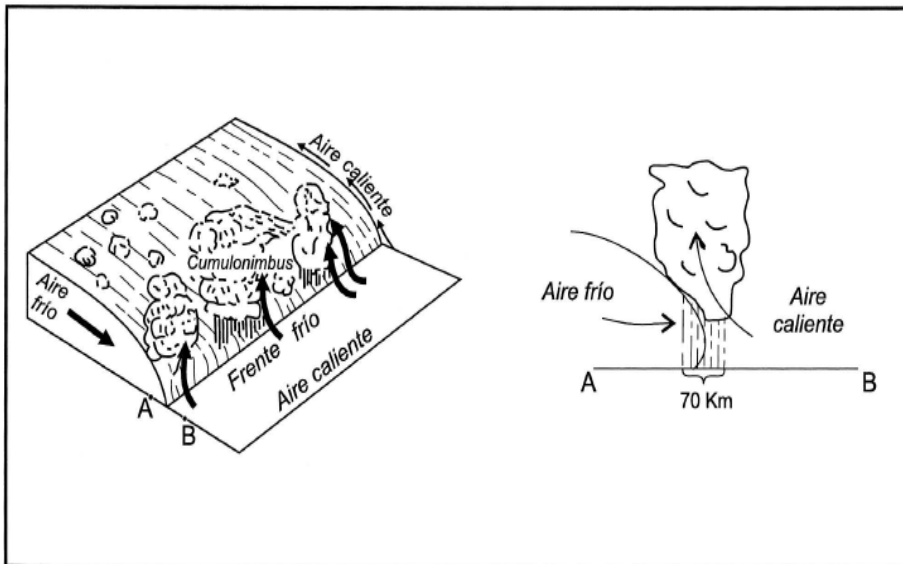


Figura 1.3. Precipitación convectiva con frente frío (Maderey, 2005)

### 1.2.2.2 Precipitación orográfica

Esta forma de precipitación está causada por la elevación mecánica de una masa de aire húmedo sobre barreras montañosas.

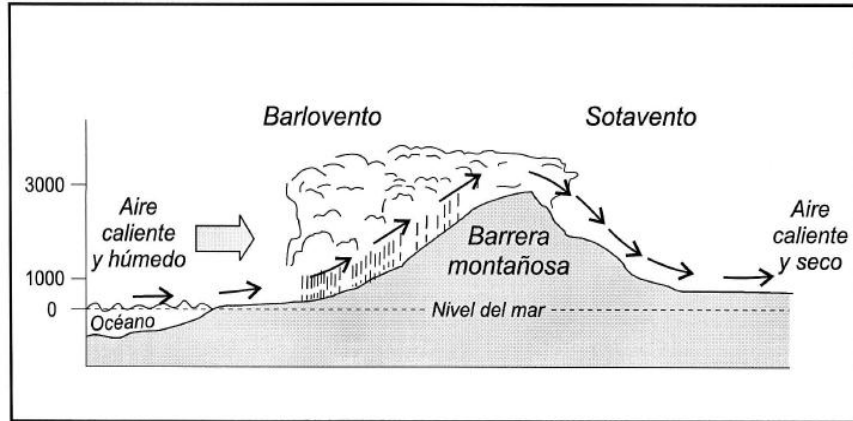


Figura 1.4. Precipitación orográfica (Maderey, 2005)

### 1.2.2.3 Precipitación ciclónica o por convergencia

Este tipo de precipitación es el resultado del movimiento de masas de aire desde áreas de alta presión a áreas de baja, la precipitación ciclónica puede ser clasificada más detenidamente como frontal o no frontal.

La precipitación frontal ocurre cuando el aire caliente es forzado sobre una masa de aire frío. Un frente se denomina caliente si el aire caliente está avanzado y frente frío si se produce lo contrario. (Corbitt, 2003)

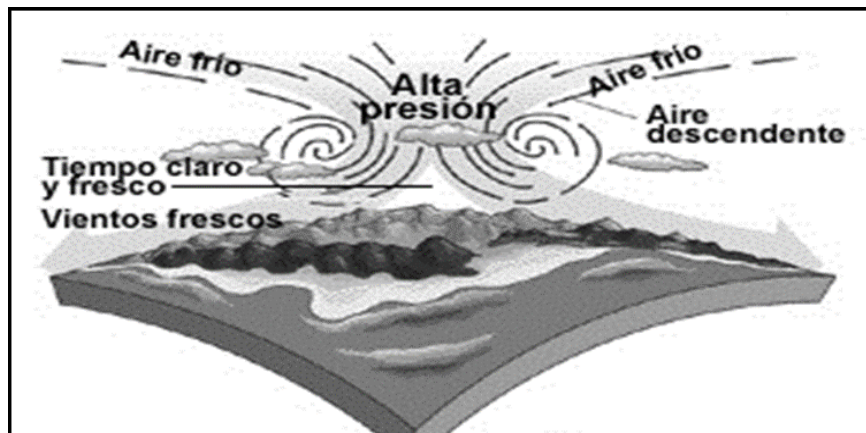


Figura 1.5. Precipitación ciclónica (Morales, s.f)

### 1.3 Infiltración

Es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno en el suelo; se distingue del proceso de percolación<sup>3</sup> porque este último es el movimiento hacia abajo de agua desde o a través de la zona no saturada hasta el nivel freático o zona saturada. (Monsalve Sáenz)

#### 1.3.1 Factores que intervienen en la capacidad de infiltración

**Humedad del suelo.**- Un suelo seco tiene mayor capacidad de infiltración inicial por el hecho de que se suman fuerzas gravitacionales y de capilaridad.

**Permeabilidad del suelo.**- Es la velocidad de infiltración para un gradiente unitario de carga hidráulica en un flujo saturado a través de un medio poroso. La permeabilidad puede ser afectada por otros factores como la cobertura vegetal, compactación del suelo, la infiltración del agua, etc.

**Temperatura del suelo y condiciones de contorno.**- Como la capacidad de infiltración es una de las medidas de infiltración, que a su vez es también es un fenómeno de flujo de agua a través del suelo, su medida depende directa o indirectamente de la temperatura del agua y del suelo y de las condiciones de contorno, cualquiera que sea la profundidad del suelo.

**Pendiente del terreno.**- Este parámetro actúa de manera que si aumenta la pendiente disminuye la capacidad de infiltración, esto se debe a que si existen pendientes altas las aguas tienden a descender superficialmente hacia las zonas bajas.

En las zonas donde no existe permeabilidad, debido a la construcción de parqueaderos, techos y vías, la capacidad de infiltración se reduce por lo que no existe la libre absorción.

---

<sup>3</sup> Paso lento de fluidos

## **1.4 Escorrentía**

Es el fenómeno más importante desde el punto de vista de la ingeniería y consiste en la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre pues el volumen de agua lluvia hace su recorrido por la superficie del terreno, desde el sitio donde cae hasta la corriente de agua que alimenta.

### **1.4.1 Factores que intervienen en la escorrentía**

Los factores son: climáticos y fisiográficos.

**Factores climáticos.**- Son los que alteran o afectan directamente a la escorrentía

- Precipitación
- Temperatura
- Viento
- Presión
- Humedad relativa

**Factores fisiográficos.**- Son los que dependen de las características físicas del terreno.

- Factores morfométricos<sup>4</sup> como es la superficie, la forma, la pendiente, la orientación, la altitud.
- Factores físicos como son los usos y cubiertas del suelo, el tipo de suelo, la geología, la topografía.
- Red de drenaje como la densidad hidrográfica y la densidad de drenaje.

### **1.4.2 Escorrentía superficial**

Es la primera preocupación en la mayor parte de problemas de gestión de agua de lluvia, alcantarillas, canales de drenaje y estanques de detención se encuentran diseñados típicamente para la escorrentía superficial con un aporte de agua subterránea que se asume que es despreciable. Una excepción a esto es el análisis de infiltración de los sistemas

---

<sup>4</sup> Análisis cuantitativo

sanitarios de alcantarillado. En estos sistemas, el agua subterránea es el control primario y debe ser analizado a detalle para caracterizar apropiadamente los caudales. (Corbitt, 2003)

### **1.4.3 Escorrentía subsuperficial**

Es aquella que circula a través de los horizontes superiores del suelo hacia las corrientes con una velocidad que depende de la permeabilidad de las capas de suelo y que por lo general se le considera inferior a la velocidad de la escorrentía superficial, pero superior a la velocidad de la escorrentía subterránea, además una parte de este tipo de escurrimiento entra a formar parte de las corrientes superficiales y a la otra le toma bastante tiempo unirse a ellas (Maderey, 2005).

### **1.4.4 Escorrentía subterránea**

Es aquel que ocurre en una profundidad permeable y bajo el nivel freático como consecuencia de la percolación del agua infiltrada en el suelo y que posteriormente descarga a las corrientes fluviales<sup>5</sup>.

Es por eso que tanto la parte retardada de la escorrentía subsuperficial como la escorrentía subterránea constituyen la escorrentía base de los ríos (Maderey, 2005).

### **1.4.5 Procesos de escorrentía**

Los procesos que controlan la generación y transporte de escorrentía superficial deben ser entendidos para predecir exactamente la velocidad del caudal en cualquier punto. Cuando la precipitación cae desde el cielo, una parte humedece la superficie de la vegetación y otros objetos. El agua que alcanza la superficie del suelo puede filtrarse hasta el subsuelo o acumularse en depresiones pequeñas o agujeros. En el comienzo de una tormenta la velocidad de infiltración es usualmente alta y las gotitas descienden a una velocidad estable si la precipitación es continua. Si la velocidad de precipitación excede la velocidad de infiltración, puede aparecer la escorrentía superficial. Esta escorrentía puede moverse

---

<sup>5</sup> Proceso asociado a los ríos

ladera abajo como una lámina irregular de flujo sobre el terreno; la velocidad es función de la pendiente del suelo y las pérdidas por fricción. Esta agua se acumula eventualmente dentro de pequeños riachuelos y arroyos que fluyen hacia grandes ríos. La velocidad del caudal en cualquier punto dado la función de la escorrentía superficial aportada por el drenaje de las zonas y el curso del flujo del agua.

La escorrentía de agua lluvia puede ser producida por diversos procesos incluyendo el flujo terrestre hortoniano, flujo terrestre de saturación y el flujo subsuperficial de tormenta.

El flujo hortoniano se da cuando existe un exceso de precipitación con respecto a la capacidad de infiltración del suelo ya que existe impermeabilización del terreno (Pérez, 2017).

El flujo terrestre de saturación se da cuando la cuenca de almacenamiento está llena y el suelo saturado por lo que la precipitación producirá una escorrentía superficial (Pérez, 2017).

El flujo subsuperficial de tormenta se produce luego de que el agua se infiltre en el suelo, la cual puede fluir de forma lateral por el suelo y exfiltrarse<sup>6</sup> cerca de un canal (Pérez, 2017).

#### **1.4.6 Urbanización en la escorrentía**

La urbanización desarrolla áreas impermeables por lo que aumenta la escorrentía superficial, esto causará un incremento de los caudales debido a que no existen áreas para que el agua se filtre en el suelo, entonces éstos serán conducidos directamente por las vías pavimentadas hacia los cauces de los ríos, provocando inundaciones en caso de que el sistema de alcantarillado colapse. Esto es un problema que se puede dar en nuestro medio debido a que por falta de aguas subterráneas se produce sequías en las zonas agrícolas causando así un incremento monetario en los productos de consumo humano.

---

<sup>6</sup> Fluir fuera

Los seres vivos corremos grandes riesgos al incrementarse la escorrentía debido a que estas aguas pueden arrastrar contaminantes tóxicos, que pueden perjudicar el medio ambiente y peor aún nuestra salud.

### 1.4.7 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía relaciona la cantidad de agua escurrida (escorrentía) y cantidad de agua precipitada (precipitación), los cuales a su vez varían dependiendo del tipo de precipitación y del tipo de cobertura que exista en el suelo de estudio.

$$C = \frac{E}{P}$$

(Ecuación 1)

C = Coeficiente de escorrentía [%]  
 E = Escorrentía superficial [mm]  
 P = Precipitación [mm]

## 1.5 Métodos para determinar el coeficiente de escorrentía

### 1.5.1 Método racional

Es un método simple para estimar el máximo caudal, es utilizado para cuencas urbanas entre 5 y 200 hectáreas cuya distancia no exceda de 1,5 a 2 km en las que se puede considerar que las precipitaciones cubren uniformemente el área. (Hernandez Muñoz , Hernandez Lehmann, & Galán Martinez, Manual de Depuracion Uralita, 1996)

El método racional establece una relación entre la lluvia caída y el caudal a desaguar, se tiene la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

(Ecuación 2)

Q = Caudal de escorrentía [m³/s]  
 C = Coeficiente de escorrentía [adimensional]  
 I = Intensidad de lluvia para el periodo de retorno dado y una duración del aguacero igual al tiempo de concentración [mm/h]  
 A = Superficie de la cuenca [ha]

(Malo Nogués & Armengol, 2004)



### 1.5.1.1 Factores que determinan el caudal

**Cuencas vertientes.**- Es el área de la cuenca que recoge la alcantarilla que se va a dimensionar, en el que se subdividen en diferentes ocupaciones que existan (calles pavimentadas, edificios aislados o contiguos, parques, bosques) porque cada una de ellas tiene un diferente grado de impermeabilidad el cual hará que escurra más o menos de agua lluvia.

**Coefficiente de escorrentía.**- Es el que se define como el cociente del caudal,  $Q_e$ , que discurre por dicha superficie, en relación con el caudal total precipitado  $Q_t$ , como se indica en la (Ecuación1). El coeficiente de escorrentía varía a lo largo del tiempo y está en función de las características del terreno (vegetación, permeabilidad, inclinación), y de la zona (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, horas de soleamiento) (Hernandez Muñoz , Hernandez Lehmann, & Galán Martinez, Manual de Depuración Uralita, 1996).

En una precipitación, conforme vaya aumentando la humedad relativa y el estado de inhibición<sup>7</sup> del terreno irá disminuyendo la evaporación y la infiltración de agua, aumentando así el coeficiente de escorrentía desde valores iguales o semejantes a cero hasta valores cercanos a la unidad. (Hernandez Muñoz , Hernandez Lehmann, & Galán Martinez, Manual de Depuración Uralita, 1996)

---

<sup>7</sup> Desaparecer

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

<b>Tipo de Superficie</b>	<b>Rango de C</b>		<b>Recomendado</b>	
	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
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

Autor: (Chow Ven Te, 2000)

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

<b>Tipo de Zona</b>	<b>Rango de C</b>	
	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
Comercial en zona central	0.70	0.95
Comercial en zona periférica	0.50	0.70
Residencial unifamiliar agrupada	0.50	0.75
Residencial unifamiliar separada/ con jardines	0.30	0.50
Residencial multifamiliar agrupada	0.60	0.75
Residencial multifamiliar separada/ con jardines	0.40	0.60
Industrial	0.50	0.80
Rurales y cementerios	0.10	0.25
Verdes	0.20	0.35

Autor: (Chow Ven Te, 2000)

El valor máximo se tomará cuando:

- La pendiente del terreno sea mayor del 10 %, por lo que el agua lluvia tiene menos tiempo para infiltrarse.

- El terreno sea muy impermeable, con predominio de rocas o arcillas, o pavimentos impermeables.
- La duración de lluvias sea continua porque el terreno no infiltrará a causa de las lluvias anteriores.
- No exista vegetación o se presenten irregularidades en la superficie que retengan agua, valores inferiores al 10 % del total de superficie.

El valor mínimo se tomará en situaciones contrarias:

- La pendiente del terreno sea inferior al 3%.
  - El terreno sea permeable, gravas y arenas.
  - Exista vegetación abundante y espesa, del 50 al 90% de la superficie total.
- (Malo Nogués & Armengol, 2004)

Para obtener los valores de escorrentía de una zona compuesta por varias superficies de diferente naturaleza, se emplea la media ponderada de los coeficientes de escorrentía de las superficies parciales que componen la zona total considerada:

$$C_{ponderada} = \frac{\sum C * A}{\sum A} \quad (\text{Ecuación 3})$$

C = Coeficiente de escorrentía  
[adimensional]  
A = Superficie de la cuenca [ha]

### 1.5.2 Método del Número de Curva

El método del número de curva del Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU (S.C.S<sup>8</sup>.) fue utilizado por primera vez en los setentas es un modelo conceptual muy utilizado en hidrología operacional para determinar la precipitación neta o escorrentía directa originada por una tormenta. La gran aceptación del método radica en su simplicidad y en la facilidad de uso en cuencas con un mínimo de información hidrológica. (Castillo, Martínez-Mena, & Albaladejo, 1997)

---

<sup>8</sup> Soil Conservation Service

Se asume la hipótesis conceptual de que la escorrentía directa “E” es menor o igual a la precipitación total “P”, sabiendo que la escorrentía potencial máxima, empieza cuando el suelo se satura, por lo que se genera una abstracción inicial “Ia” es decir P - Ia, y por último se considera que después de iniciada la escorrentía la retención de agua “Fa” es menor o igual a la retención potencial “S” , por lo que se plantea lo siguiente:

$$\frac{Fa}{S} = \frac{E}{P-Ia} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Fa = pérdida efectiva después de iniciada la escorrentía.  
 S = la retención potencial después de iniciada la escorrentía [mm]  
 E = escorrentía directa  
 P = precipitación total [mm]  
 Ia = las pérdidas iniciales o umbral de escorrentía

Se debe considerar que por continuidad se debe cumplir:

$$P = E + Ia + Fa \quad (\text{Ecuación 5})$$

y asumiendo una relación media experimental entre el umbral de escorrentía y la máxima infiltración potencial de:

$$Ia = 0.2S \quad (\text{Ecuación 6})$$

Por lo tanto:

$$E = \frac{(P-Ia)^2}{P+4Ia} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$E = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Los estudios empíricos realizados por el SCS permitieron relacionar la retención potencial con un parámetro de referencia, denominado Numero de Curva, NC, cuyos valores están tabulados entre 0 y 100.

$$S = \frac{25400}{NC} - 254 \quad (\text{Ecuación 9})$$

Debemos considerar que:

- Cuando  $NC = 0$ , el terreno o la cuenca es tan permeable que no escurre agua ante ningún aguacero<sup>9</sup>, con una retención potencial ilimitada ( $S = \infty$ ) que permite retener toda la precipitación. Esta situación es extrema y prácticamente imposible en la práctica.
- Cuando  $NC = 100$ , el terreno es totalmente impermeable, es decir, escurre todo lo que llueve, representando una condición nula de retención potencial ( $S = 0$ ). Sería el caso de superficies de agua, tejados o carreteras asfaltadas.

### 1.5.2.1 Factores de los que depende el número de curva

Los factores que tienen un comportamiento directo sobre la cantidad de escorrentía para determinar los Números de Curva son:

- Uso y tratamiento del suelo
- Clasificación hidrológica del suelo
- La condición hidrológica
- La condición humedad antecedente

**Uso y tratamiento del suelo.-** En este factor se evalúa el efecto de la condición superficial sobre la cuenca hidrográfica. El método del número de curva distingue entre suelos cultivados, prado y bosques. Para suelos cultivados identifica los siguientes usos y tratamientos: tierras en descanso, prados, cultivos de hilera, cultivos de granos, vegetales sembrados cercanamente, rotaciones (de pobre a buena), cultivos en hileras rectas, campos sembrados a lo largo de las curvas de nivel y cultivos terraceados.

**Clasificación hidrológica del suelo.-** A continuación, se describirá los tipos de suelos que han sido clasificados de acuerdo al potencial de escurrimiento.

---

<sup>9</sup> Lluvia violenta o abundante

Tabla 1-3. Clasificación hidrológica del suelo

Tipo de suelo	Características
A	Bajo potencial de escorrentía suelos que tienen una alta velocidad de infiltración incluso cuando se encuentran completamente mojados. Como los pozos con arenas o gravillas excesivamente drenadas.
B	Suelos que tienen una velocidad de infiltración moderada cuando se encuentran completamente mojados y consisten principalmente en suelos moderadamente profundos a profundos, suelos moderados a bien drenados, con textura de moderadamente fina a moderadamente gruesa.
C	Suelos que tienen una baja velocidad de infiltración cuando se encuentran mojados, consistiendo principalmente en suelos con una capa que impide el movimiento vertical del agua o suelos de textura moderadamente fina a fina.
D	Elevado potencial de escorrentía suelos que tienen una velocidad de infiltración verdaderamente baja cuando se encuentran mojados consiste en especial en suelos arcillosos con un elevado potencial de esponjamiento, suelo con un nivel freático permanentemente alto, suelos poco profundos sobre material casi impermeable.

Autor: (Corbitt, 2003)

**La condición hidrológica.-** Se refiere a la capacidad de superficie de la cuenca hidrográfica para aumentar o impedir la escorrentía directa, éstos se evalúan en el porcentaje del área cubierta por pasto natural e intensidad de pastoreo, se determinan visualmente.

Tabla 1-4. Condición hidrológica

<b>Condición hidrológica</b>	<b>Características</b>
Pobre	Menos de 50% de área cubierta y alta intensidad de pastoreo.
Aceptable	50 a 75 % del área cubierta y media intensidad de pastoreo.
Buena	Más del 75% del área cubierta y ligera intensidad de pastoreo.

Autor: (Corbitt, 2003)

**La condición humedad antecedente.-** Se tiene en cuenta la historia reciente de la precipitación y consecuentemente es una cantidad almacenada por una cuenca.

Tabla 1-5. Condiciones de Humedad Antecedente

<b>Condiciones de humedad antecedente</b>	<b>Características</b>
Secas (CAH I)	Son suelos que están secos, pero no hasta el estado de marchitez, se han desarrollado cultivos satisfactoriamente.
Normales (CAH II)	Suelos que están en condiciones medias.
Húmedas (CAH III)	Precipitaciones intensas o ligeras y bajas temperaturas, se han producido durante los últimos cinco días; suelos saturados.

Autor: (Corbitt, 2003)

La clasificación de un nuevo evento en estos tres grupos dependía de la precipitación total de los 5 días anteriores dependiendo esto último del clima del área geográfica que se localiza, éstos límites son proporcionados en la Tabla 1-6.

Tabla 1-6. Lluvia antecedente total de 5 días

<b>Lluvia antecedente total de 5 días [mm]</b>		
<b>GRUPO AMC</b>	<b>Estación inactiva</b>	<b>Estación de crecimiento</b>
I	Menor que 12,70	Menor que 35,6
II	12,70 a 27,90	35,6 a 53,3
III	Sobre 27,90	Sobre 53,3

Autor: (Chow Ven Te, 2000)

Cuando hay varios usos en diferentes suelos o tipos de suelo dentro de una cuenca de drenaje, la escorrentía puede determinarse de una de las dos maneras:

1. Para diferencias pequeñas en la CN entre los usos de suelo, puede usarse una media ponderada de CN para el área.
2. Para diferencias grandes en la CN, debe calcularse la escorrentía por separado para cada área y después ponderarse para encontrar la media para cuenca de drenaje total.

Como alternativa al uso de estas tablas Chow Ven Te desarrolló ecuaciones de correlación aplicables para números de curva de condiciones medias:

$$NCI = \frac{4.2NC(II)}{10-0.058*NC(II)} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$NCIII = \frac{23NC(II)}{10+0.13*NC(II)} \quad (\text{Ecuación 11})$$



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	B	C	D
Tierra Cultivada: sin tratamiento de conservación con tratamiento de conservación	72	81	88	91
	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres condiciones óptimas	68	79	86	89
	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierba. Cubierta buena	45	66	77	83
	25	55	70	77
Áreas abierta, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	39	61	74	80
	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 (506m <sup>2</sup> )	65			
1/4 acre (1012m <sup>2</sup> )	38			
1/3 acre (1349m <sup>2</sup> )	30			
1/2 acre (2023m <sup>2</sup> )	25			
1 acre (4047m <sup>2</sup> )	20			
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados grava tierra	98	98	98	98
	76	85	89	91
	72	82	87	89

Autor: (Chow Ven Te, 2000)

Al igualar la (ecuación 1) y la (ecuación 7) se realiza la relación entre el coeficiente “C” de escorrentía y el número de curva por lo que se obtiene:

$$C = \frac{(P-Ia)^2}{\frac{P+4Ia}{P}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$C = \frac{(P-Ia)^2}{P^2+4PIa} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Igualando la (ecuación 6) y la (ecuación 9)

$$Ia = 0,2S = \frac{5080}{CN} - 50,80 \quad (\text{Ecuación 14})$$

Al sustituir la (ecuación 13) y la (ecuación 14)

$$C = \frac{(P - \frac{5080}{CN} + 50,80)^2}{P^2 + 4P(\frac{5080}{CN} - 50,80)} \quad (\text{Ecuación 15})$$

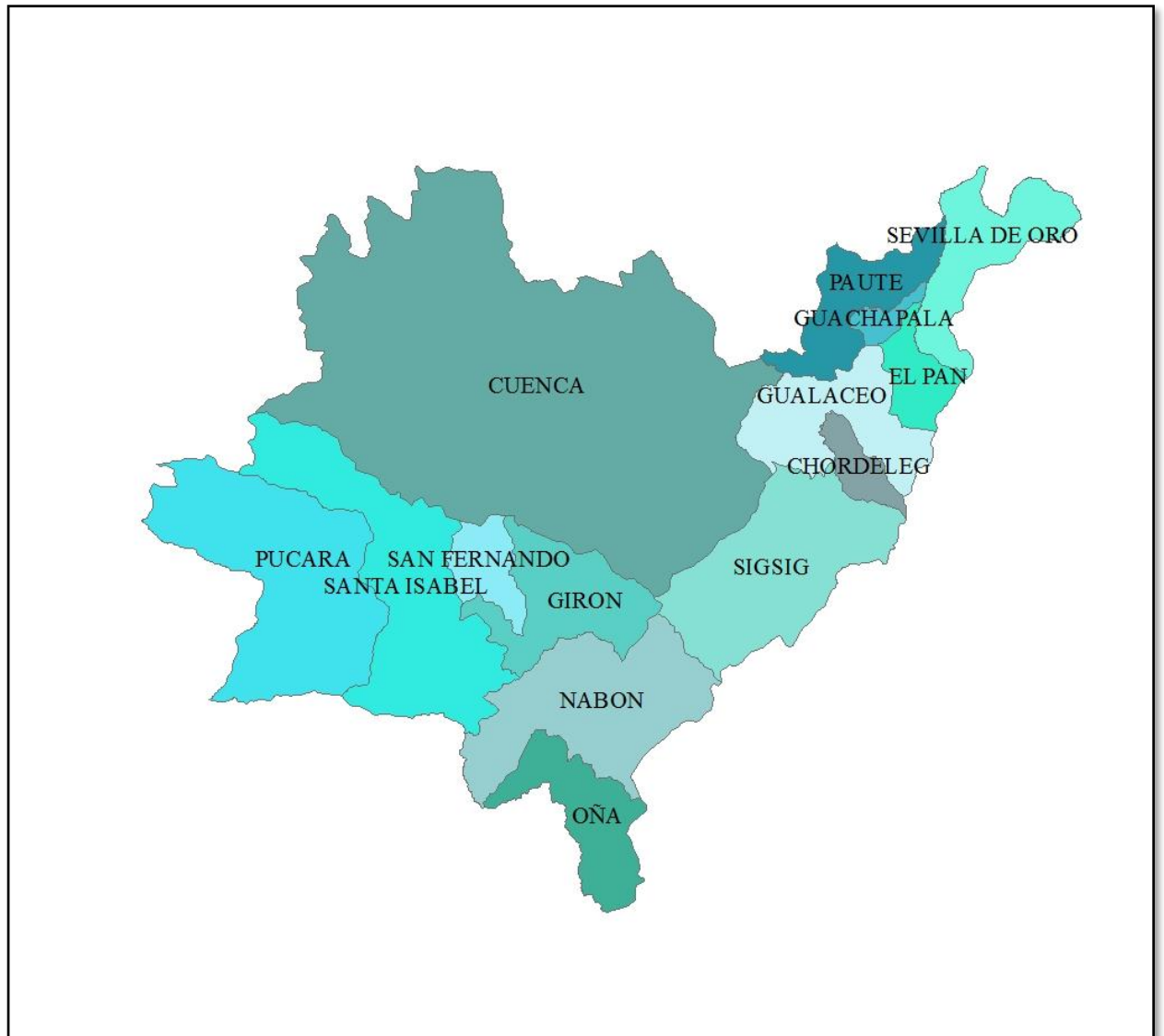
C= coeficiente de escorrentía [adimensional]. P= precipitación total [mm]. CN= número de curva.
--

## CAPITULO

### 2.1

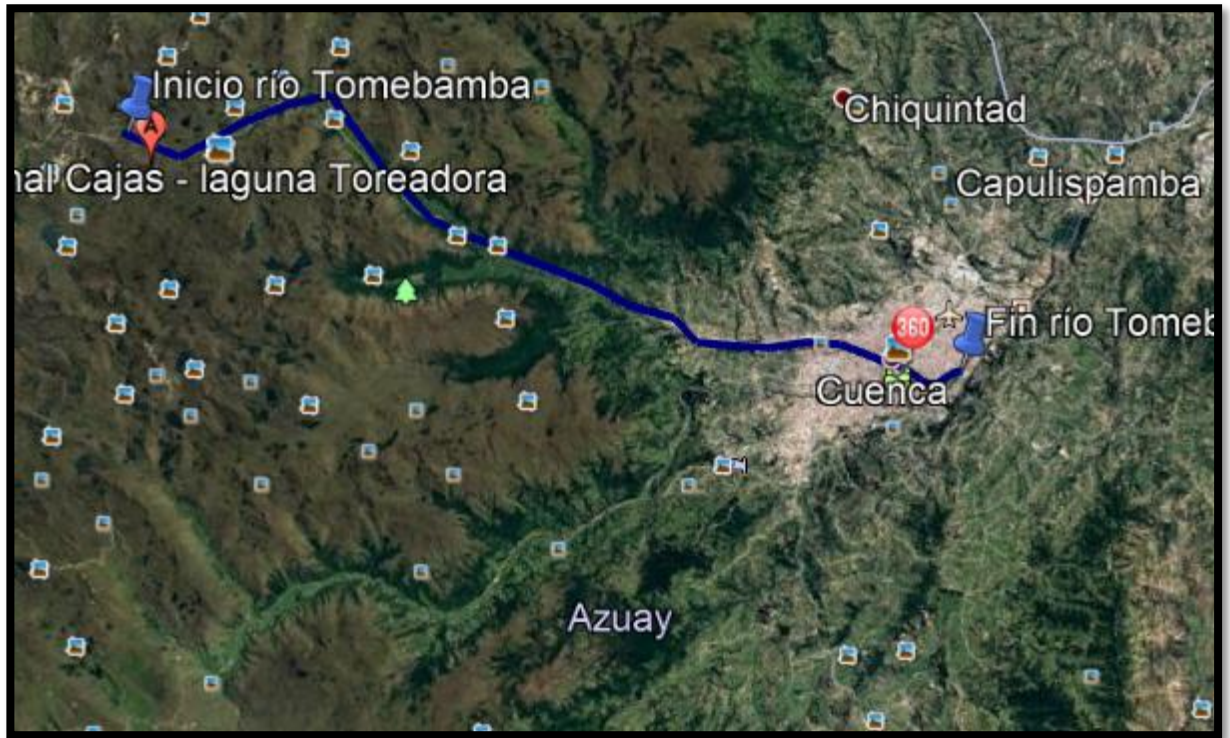
La

UTM:



Figura

En



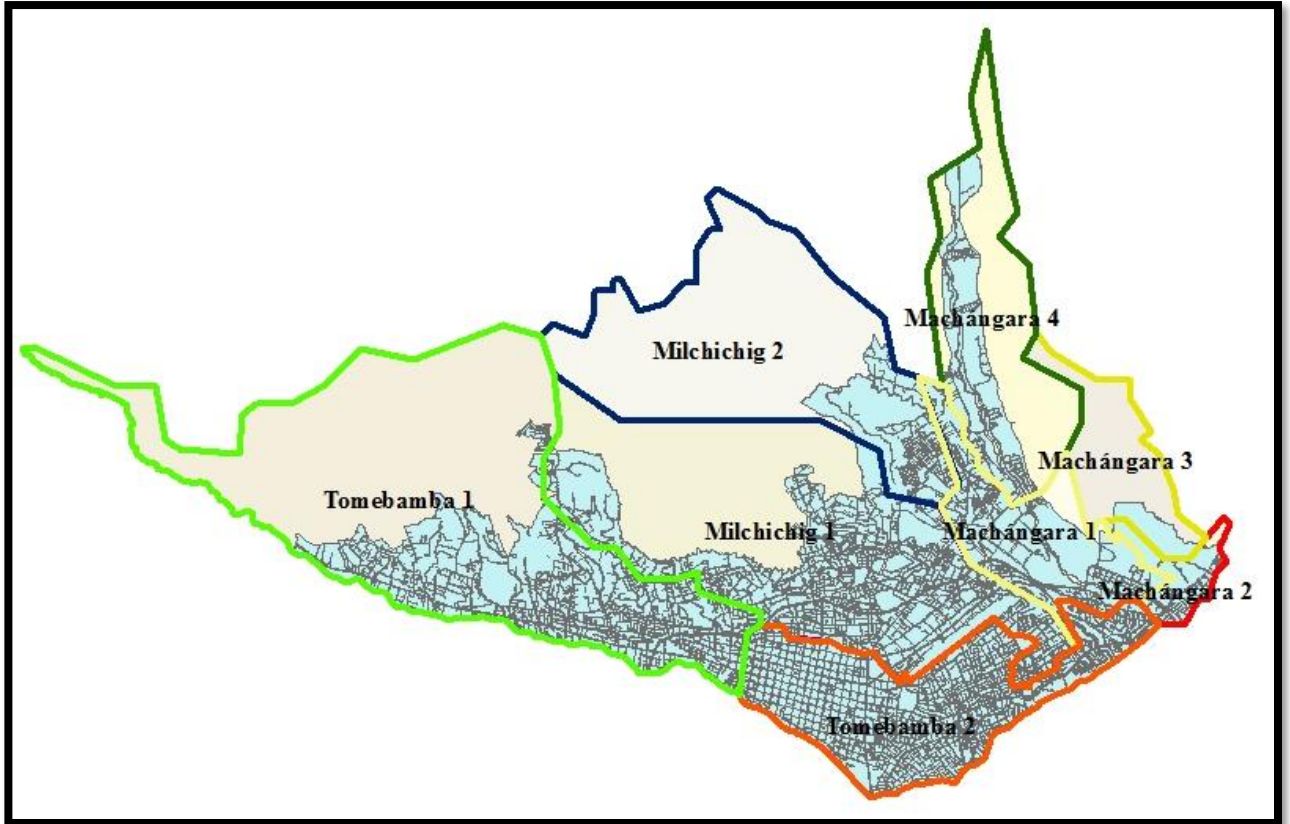
Figura

Tabla

Punto	Coordenadas
Inicio	UTM:
Fin	UTM:

Autor:

El



Figura

## 2.2 Recopilación de la información

El

Por

## 2.3 Aplicación del método racional

### 2.3.1

Para



Figura

Donde

Tabla

<b>Tomebamba</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Área</b>
1	Vegetación	11115002.57	1111.50
2	Cubiertas	7101454.98	710.15
3	Pavimento	2203923.60	220.39
<b>Área</b>		20420381.15	2042.04

Autor:

De

Tabla

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>CxA</b>
----------	-------------	------------

0.20	Ladera	222.30
0.95	Cubierta/tejados	674.64
0.93	Hormigón/	203.86
<b>Total</b>		1100.80

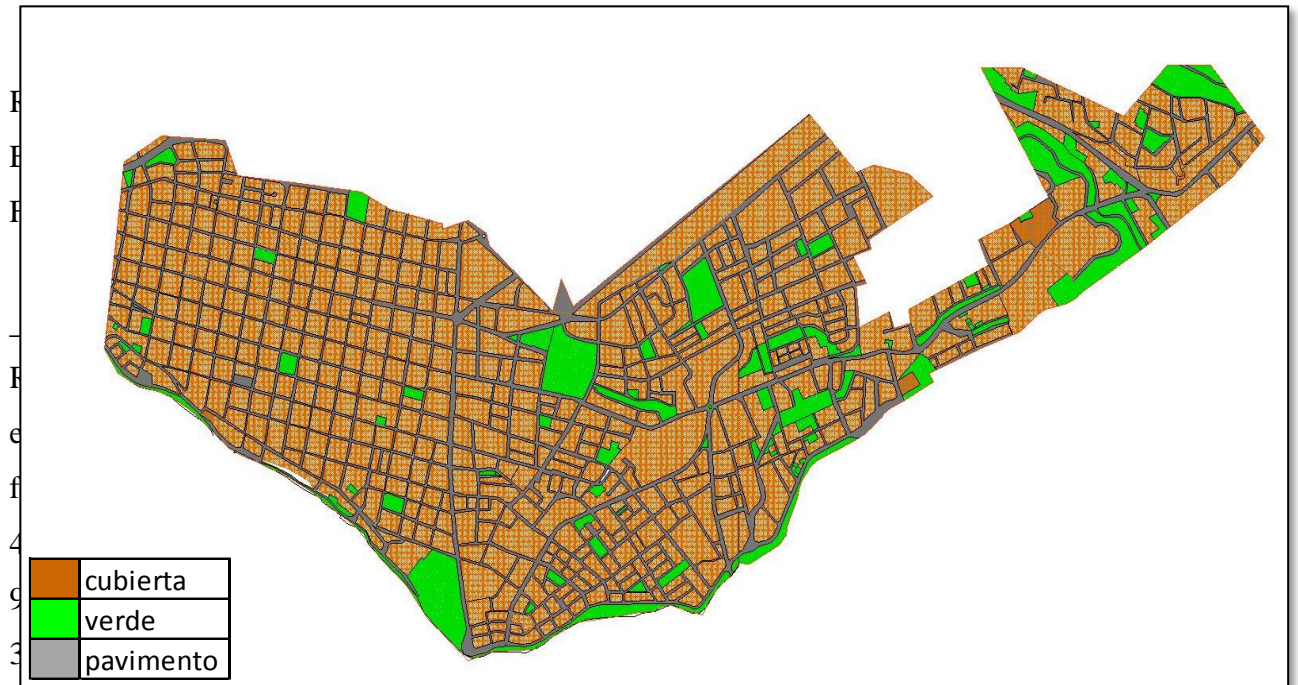
A  
P  
l  
i  
c  
a  
n  
d  
o  
  
l  
a

$$C_{ponderada} = \frac{1100.80}{2042.04} = 0.54$$

Tomando

### 2.3.2

Para



F  
F  
F  
F  
F  
e  
f  
4  
9  
3

Figura

1  
0  
1  
0  
7

Donde se obtiene los siguientes datos:

Tabla

<b>Tomebamba</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Área</b>
1	Vegetación	826519.13	82.65
2	Cubiertas	5312637.55	531.26
3	Pavimento	1704253.28	170.43
<b>Área</b>		7843409.96	784.34

Autor:

Se

Tabla

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>CxA</b>
0.2	Ladera	16.53
0.95	Cubierta/Tejados	504.70
0.93	Hormigón/	157.64
<b>Total</b>		678.87

Autor:

A  
p  
l  
i  
c  
a  
n  
d  
o  
  
l  
a

$$C_{ponderada} = \frac{678.87}{784.34} = 0.87$$

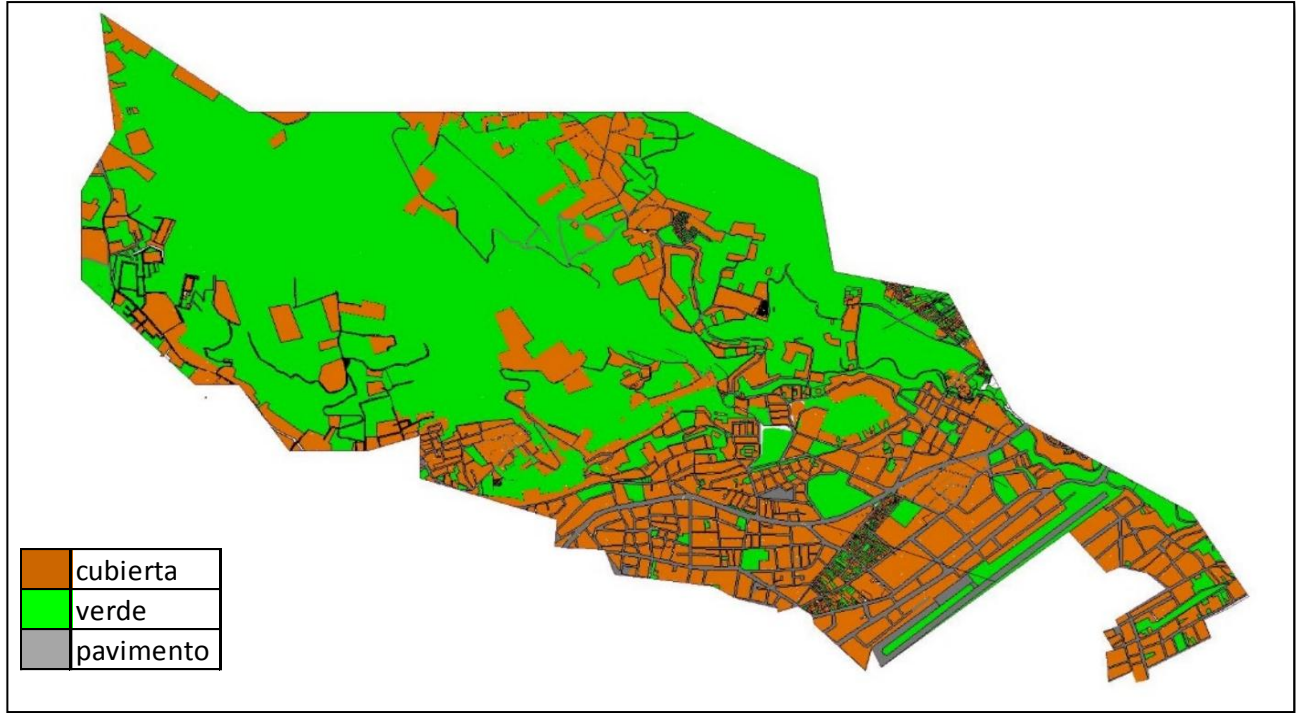
Tomando

### 2.3.3

Para

R  
E  
F





Figura

Donde

Tabla

<b>Milchichig</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Área</b>
1	Vegetación	8926496.05	892.65
2	Cubiertas	5160158.00	516.02
3	Pavimento	2287779.13	228.78
<b>Área</b>		16374433.19	1637.44

Autor:

De

Tabla

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>CxA</b>
----------	-------------	------------

0.2	Ladera	178.53
0.95	Cubierta/Tejados	490.22
0.93	Hormigón/	211.62
<b>Total</b>		880.36

Autor:

A  
p  
l  
i  
c  
a  
n  
d  
o  
  
l  
a

$$C_{ponderada} = \frac{880.36}{1637.44} = 0.54$$

Tomando

**2.3.4**

Para

R  
E  
F

-  
R  
e  
f  
4  
9  
3  
1  
0  
1  
0  
7

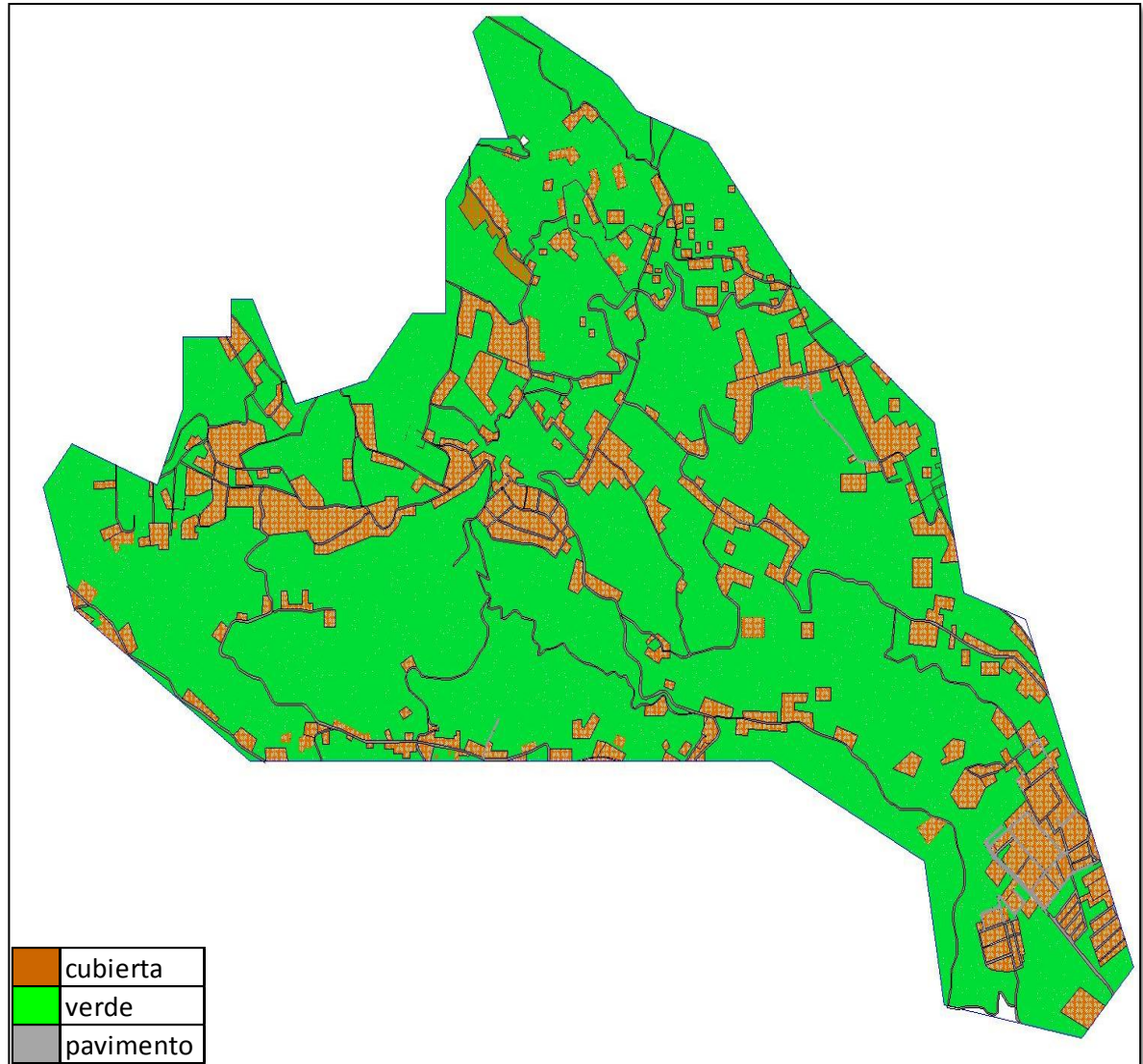


Figura 2.7. Zona Milchichig 2 (elaboración propia)

Donde

Tabla

<b>Milchichig</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Área</b>
1	Vegetación	3962513.32	396.25
2	Cubiertas	2186230.97	218.62
3	Pavimento	5820170.30	582.02
<b>Área</b>		11968914.58	1196.89

Autor:

De

Tabla

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>CxA</b>
0.2	Ladera	79.25
0.95	Cubierta/Tejados	207.69
0.93	Hormigón/	538.37
<b>Total</b>		<b>825.31</b>

Autor:

A

P

l

$$C_{ponderada} = \frac{825.31}{1196.89} = 0.69$$

i

Tomando en cuenta la tabla 1-2, se establece que este sector se encuentra dentro de una zona tipo Residencial Multifamiliar agrupada.

n

d

### 2.3.5 Sector Machángara 1

o

Para determinar el coeficiente “C” de escorrentía de la zona Machángara 1, denominado se utiliza una fotografía de la ciudad sobre la cual se trazó las zonas a ser estudiadas como son: cubierta, pavimento y vegetación determinando así sus áreas.

R

E

F

–

R

e

f

4

9

3

1

0

1

0



Figura 2.8. Zona Machángara 1 (elaboración propia).

Donde se obtiene los siguientes datos:

Tabla 2-10. Áreas Machángara 1

<b>Machángara 1</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Área (ha)</b>
1	Vegetación	2359143.34	235.91
2	Cubiertas	1425936.99	142.59
3	Pavimento	655443.00	65.54
<b>Área total</b>		<b>4440523.33</b>	<b>444.05</b>

Autor: (elaboración propia)

De la tabla 1-1. se escoge el valor de “C” por los tipos de zonas que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2-11 Valores de Área multiplicados por “C”

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>CxA</b>
0.2	Ladera con vegetación	47.18
0.95	Cubierta/Tejados	135.46
0.93	Hormigón/ Asfalto	60.63
<b>Total</b>		243.28

Autor: (elaboración propia)

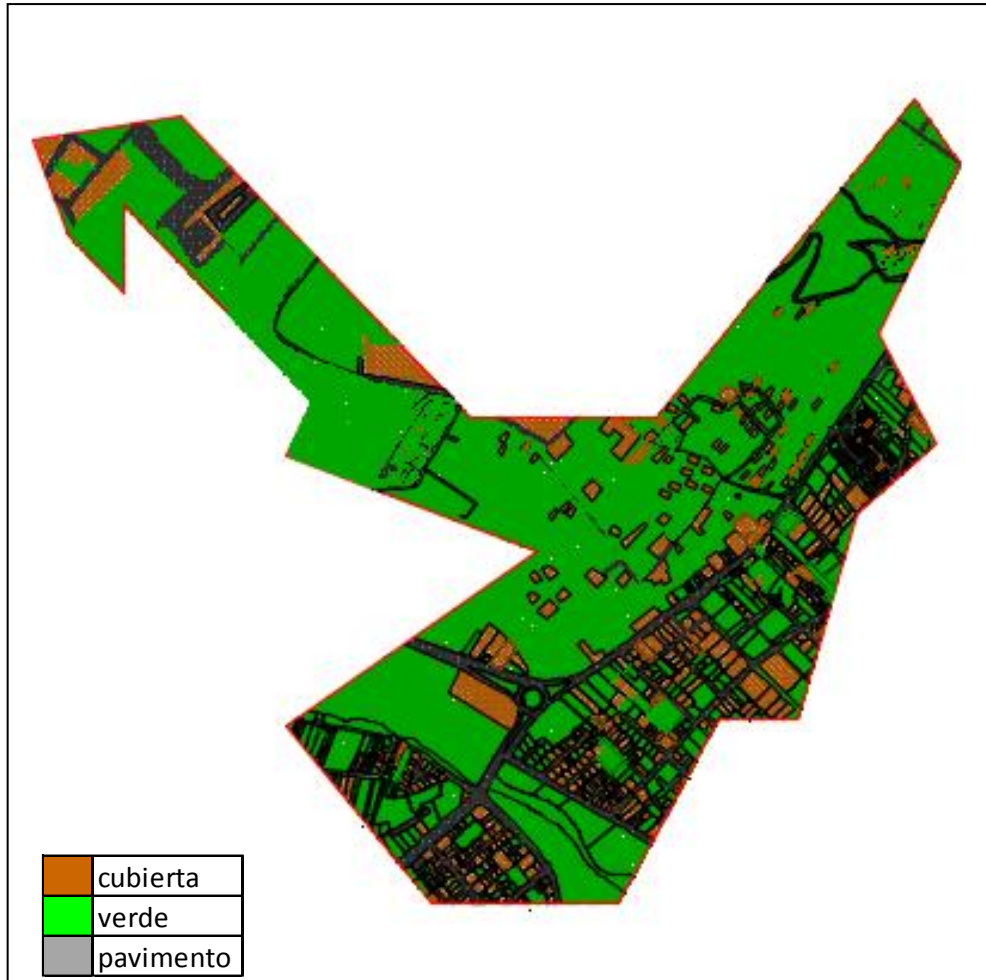
Aplicando la  $C_{ponderada} = \frac{\sum C \cdot A}{\sum A}$  (Ecuación 3) se determina el coeficiente “C” de escorrentía:

$$C_{ponderada} = \frac{243.28}{444.05} = 0.55$$

Tomando

### 2.3.6

Para



Figura

Donde

Tabla

<b>Machángara</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Área</b>
1	Vegetación	823801.89	82.38
2	Cubiertas	196481.36	19.65
3	Pavimento	78028.71	7.80
<b>Área</b>		1098311.96	109.83

Autor:

De

Tabla

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>CxA</b>
0.2	Ladera	16.48
0.95	Cubierta/Tejados	18.67
0.93	Hormigón/	7.22
<b>Total</b>		42.36

Autor:

A

p

l

i

c

a

n

d

o

l

a

R

E

F

-

R

e

f

4

9

3

1

0

1

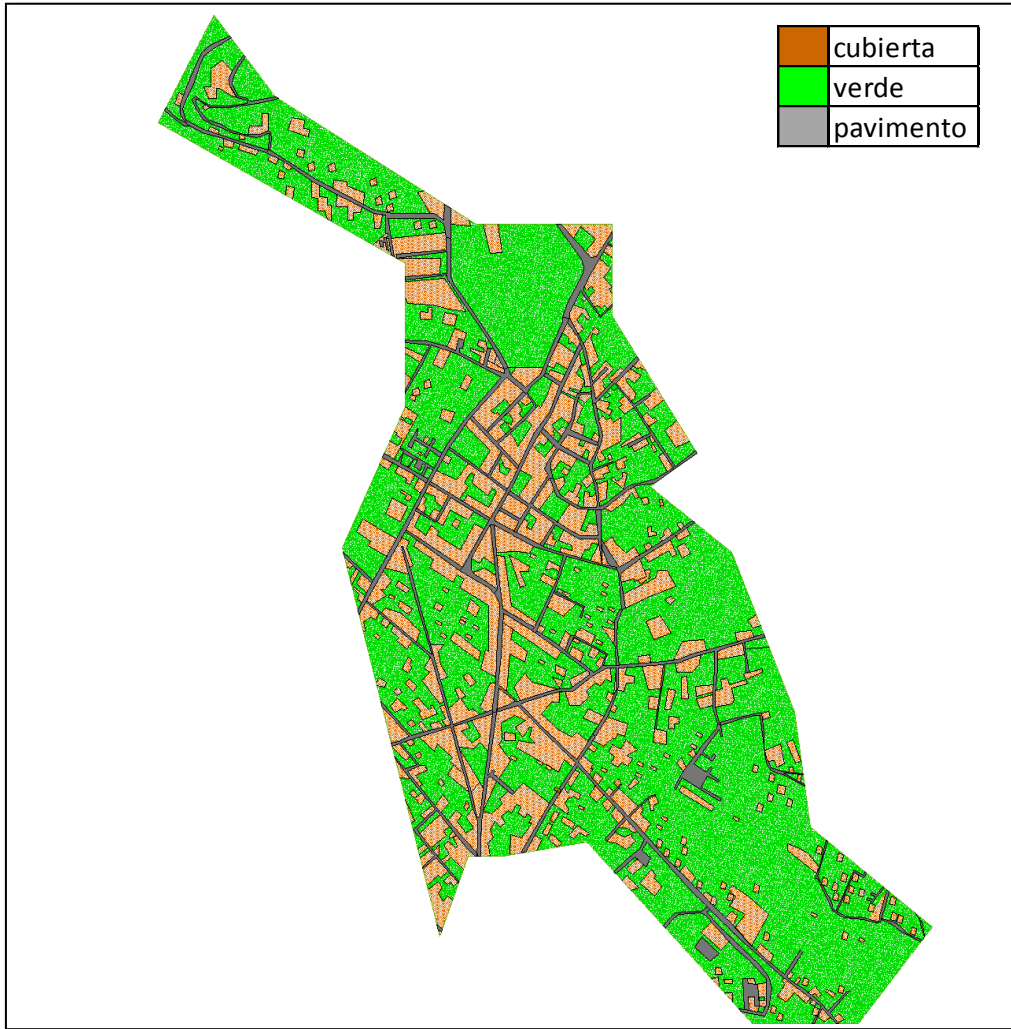
0

$$C_{ponderada} = \frac{42.36}{109.83} = 0.39$$

### 2.3.7

Para





Figura

Donde

Tabla

<b>Machángara</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Área</b>
1	Vegetación	1913074.26	191.31
2	Cubiertas	819770.79	81.98
3	Pavimento	282162.95	28.22
<b>Área</b>		3015008.00	301.50

Autor:

De

Tabla

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>CxA</b>
0.2	Ladera	38.26
0.95	Cubierta/Tejados	77.88
0.93	Hormigón/	26.10
<b>Total</b>		142.24

Autor:

A

P

l

i

c

a

n

d

o

l

a

R

E

F

-  
R

e

f

4

9

3

1

0

1

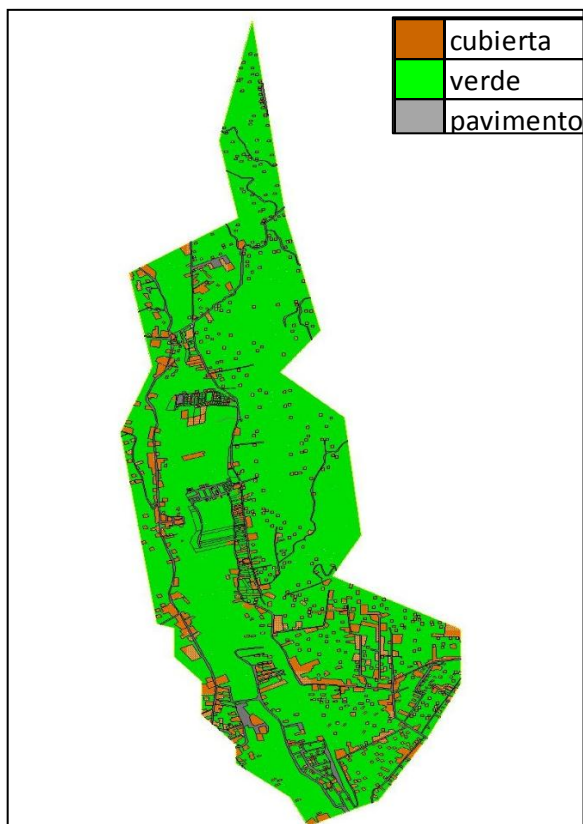
0

$$C_{ponderada} = \frac{142.24}{301.50} = 0.47$$

Tomando

**2.3.8**

Para



Figura

Donde

Tabla

<b>Machángara</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Área</b>
1	Vegetación	5746228.91	574.62
2	Cubiertas	858629.32	85.86
3	Pavimento	420800.31	42.08
<b>Área</b>		<b>7025658.54</b>	<b>702.57</b>

Autor:

De

Tabla

<b>C</b>	<b>Razón</b>	<b>CxA</b>
----------	--------------	------------

0.2	Ladera	114.92
0.95	Cubierta/Tejados	81.57
0.93	Hormigón/	38.92
<b>Total</b>		235.42

Autor:

A  
p  
l  
i

$$C_{ponderada} = \frac{235.42}{702.57} = 0.34$$

Tomando en cuenta la tabla 1-2. se establece que este sector se encuentra dentro de una zona tipo Verde.

n

#### 2.4 Aplicación del método del número de curva

o

Para aplicar este método se necesita determinar el porcentaje que existe de área verde, cubierta y pavimentos en cada sector de estudio, se fija mediante un mapa geológico el tipo de suelo que existe en los distintos sectores y por último se evalúa los datos obtenidos de los pluviómetros que existen en la ciudad y que están interviniendo en dichos sectores, es por eso que se tomó los datos de los pluviómetros de Ricaurte y de Totoracocha.

R

Por lo tanto, los datos obtenidos en los pluviómetros desde enero hasta diciembre de 2015 y desde enero hasta diciembre de 2016 son los siguientes:

-

R

e

f

4

9

Tabla 2-18. Datos de los pluviómetros en mm

3

MES	Totoracocha	Ricaurte
-----	-------------	----------

1

0

1

0

7

	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
<b>Enero</b>	57.46	31.21	37.05	29.86
<b>Febrero</b>	2.56	21.20	4.40	19.49
<b>Marzo</b>	48.31	69.92	34.47	62.03
<b>Abril</b>	40.61	83.64	28.00	51.59
<b>Mayo</b>	19.98	36.88	19.11	19.98
<b>Junio</b>	18.70	28.51	25.20	29.52
<b>Julio</b>	30.30	6.60	19.70	6.70
<b>Agosto</b>	9.90	7.20	4.60	9.10
<b>Septiembre</b>	4.60	32.53	5.30	42.52
<b>Octubre</b>	52.20	6.22	35.29	36.62
<b>Noviembre</b>	36.30	3.20	22.21	16.07
<b>Diciembre</b>	16.20	3.60	4.90	67.65

Autor: (Departamento de información geográfica, 2015, 2016)

En consecuencia, se elige los meses con mayor y con menor precipitación de los pluviómetros y se obtiene el siguiente promedio:

Tabla 2-19. Precipitación promedio en días con más lluvia y en días con menos lluvia 2015-2016

	<b>Totoracocha</b>	<b>Ricaurte</b>	$\Sigma$	<b>Totoracocha</b>	<b>Ricaurte</b>	$\Sigma$	<b>Promedio 2015- 2016</b>
	<b>2015</b>			<b>2016</b>			
Mes que llueve mas	57.46 enero	37.05 enero	47.26	83.64 abril	67.65 diciembre	75.65	61.45
Mes que llueve menos	2.56 febrero	4.40 febrero	3.48	3.20 noviembre	6.70 julio	4.95	4.22

Autor: (elaboración propia)

#### 2.4.1 Sector Tomebamba 1

Los porcentajes de áreas obtenidos en este sector fueron los siguientes:

Tabla 2-20. Porcentaje de áreas

<b>Tomebamba 1</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
Vegetación	1111.50	54.43
Cubiertas	710.15	34.78
Pavimento	220.39	10.79
<b>Área total</b>	<b>2042.04</b>	<b>100</b>

Autor: (elaboración propia)

Mediante el mapa geológico se obtiene que este sector posee un 15% de suelo tipo B y un 85% de suelo tipo C, determinado mediante la tabla 1-3. de clasificación hidrológica del suelo.

Por lo tanto, los porcentajes para cada tipo de suelo son:

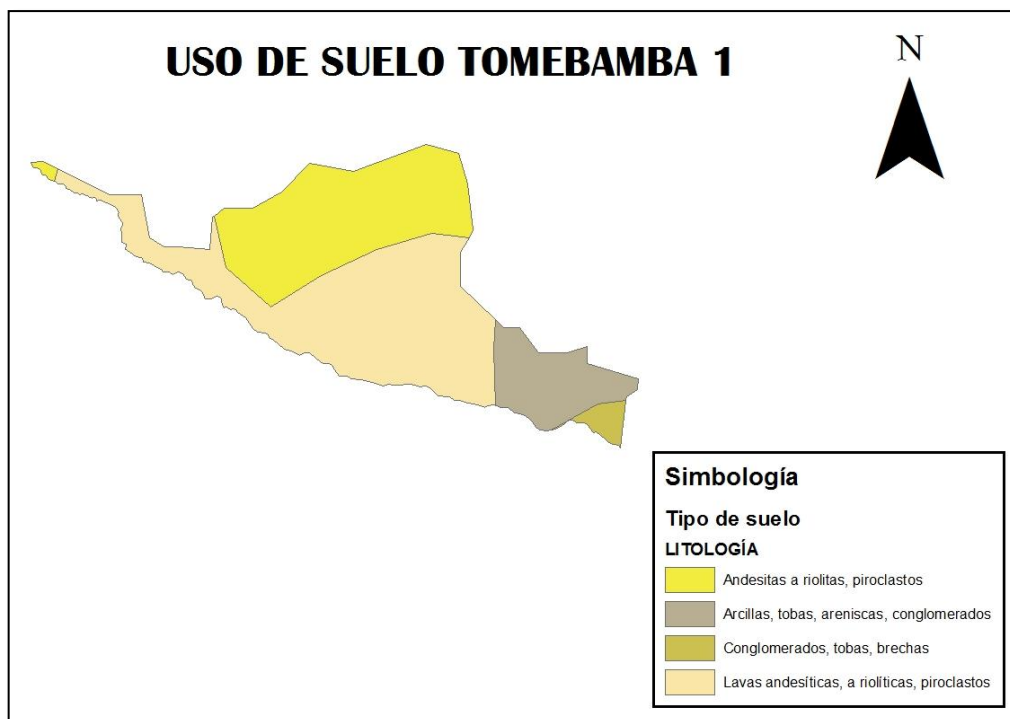


Figura 2.12. Uso de suelo Tomebamba 1 (elaboración propia)

Tabla 2-21 Porcentaje de áreas según el tipo de suelo

Tipo	15% Tipo B	85% Tipo C
Vegetación	8.16	46.27
Cubiertas	5.22	29.56
Pavimento	1.62	9.17

Autor: (elaboración propia)

A estos valores se les asigna un número de curva según la tabla 1-7 y se obtiene el producto de los mismos:

Tabla 2-22. Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos

Tipo	15% Tipo B	Valor CN	Producto (tipo x CN)	85% Tipo C	Valor CN	Producto (tipo x CN)
Vegetación	8.16	69	563.36	46.27	79	3655.04
Cubiertas	5.22	75	391.23	29.56	83	2453.47
Pavimento	1.62	98	158.65	9.17	98	899.04
			1113.25			7007.54

Autor: (elaboración propia)

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

$$CN_{ponderado} = \frac{1113.25 + 7007.54}{100} = 81$$

Aplicando la (ecuación 15) con el valor obtenido al usar la tabla 2-22. se obtiene los siguientes valores de C:

Tabla 2-23. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas

	Sector	Tipo de precipitación	CN	P	C
año 2015-2016	Tomebamba 1	máxima	81	61.45	0.37
		mínima	81	4.22	0.27

Autor: (elaboración propia)

#### 2.4.2 Sector Tomebamba 2

Los porcentajes de áreas obtenidos en este sector fueron los siguientes:

Tabla 2-24. Porcentaje de áreas

<b>Tomebamba 2</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
Vegetación	82.65	10.54
Cubiertas	531.26	67.73
Pavimento	170.43	21.73
<b>Área total</b>	<b>784.34</b>	<b>100</b>

Autor: (elaboración propia)

Mediante el mapa geológico se obtiene que este sector posee un 100% de suelo tipo B, determinado mediante la tabla 1-3. de clasificación hidrológica del suelo.

Por lo tanto, el porcentaje para este tipo de suelo es el siguiente:

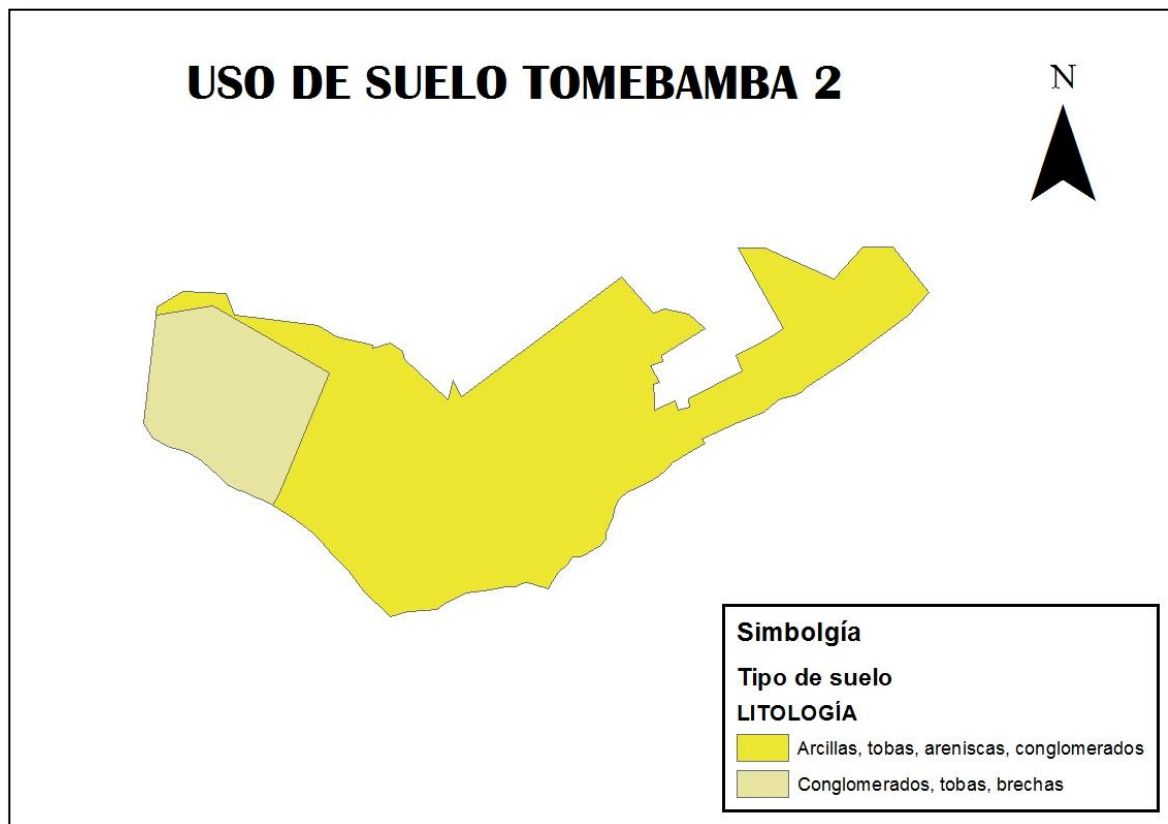


Figura 2.13. Uso de suelo Tomebamba 2 (elaboración propia)

Tabla 2-25. Porcentaje de áreas por el tipo de suelo



<b>Tipo</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>100% Tipo B</b>
Vegetación	82.65	10.54
Cubiertas	531.26	67.73
Pavimento	170.43	21.73

Autor: (elaboración propia)

A estos valores se les asigna un número de curva según la tabla 1-7. y se obtiene el producto de los mismos:

Tabla 2-26. Valor de CN para el tipo de suelo y su respectivo producto

<b>Tipo</b>	<b>100% Tipo B</b>	<b>Valor CN</b>	<b>Producto (tipo x CN)</b>
Vegetación	10.54	69	727.10
Cubiertas	67.73	75	5080.03
Pavimento	21.73	98	2129.39
			7937

Autor: (elaboración propia)

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

$$CN_{ponderado} = \frac{7937}{100} = 79$$

Aplicando la (ecuación 15) con el valor obtenido al usar la tabla 2-26. se obtiene los siguientes valores de C:

Tabla 2-27. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas

	<b>Sector</b>	<b>Tipo de precipitación</b>	<b>CN</b>	<b>P</b>	<b>C</b>
<b>año 2015-2016</b>	Tomebamba 2	máxima	79	61.45	0.32
		mínima	79	4.22	0.35

Autor: (elaboración propia)

### 2.4.3 Sector Milchichig 1

Los porcentajes de áreas obtenidos en este sector fueron los siguientes:

Tabla 2-28. Porcentaje de áreas

<b>Milchichig 1</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
Vegetación	892.65	54.51
Cubiertas	516.02	31.51
Pavimento	228.78	13.97
<b>Área total</b>	<b>1637.44</b>	<b>100</b>

Autor: (elaboración propia)

Mediante el mapa geológico se obtiene que este sector posee un 90% de suelo tipo B y un 10% de suelo tipo C, determinado mediante la tabla 3 de clasificación hidrológica del suelo.

Por lo tanto, los porcentajes para cada tipo de suelo son:



Figura 2.14. Uso de suelo Milchichig 1 (elaboración propia).

Tabla 2-29. Porcentaje de áreas según el tipo de suelo

<b>Tipo</b>	<b>90% Tipo B</b>	<b>10% Tipo C</b>
Vegetación	49.06	5.45
Cubiertas	28.36	3.15
Pavimento	12.57	1.40

Autor: (elaboración propia)

A estos valores se les asigna un número de curva según la tabla 1-7. y se obtiene el producto de los mismos:

Tabla 2-30. Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos

<b>Tipo</b>	<b>90% Tipo B</b>	<b>Valor CN</b>	<b>Producto (tipo x CN)</b>	<b>10% Tipo C</b>	<b>Valor CN</b>	<b>Producto (tipo x CN)</b>
Vegetación	49.06	69	3385.37	5.45	79	430.67
Cubiertas	28.36	75	2127.16	3.15	83	261.56
Pavimento	12.57	98	1232.30	1.40	98	136.92
			6744.83			829.15

Autor: (elaboración propia)

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

$$CN_{ponderado} = \frac{6744.83+829.15}{100} = 76$$

Aplicando la (ecuación 15) con el valor obtenido al usar la tabla 2-30. se obtiene los siguientes valores de C:

Tabla 2-31. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas

	<b>Sector</b>	<b>Tipo de precipitación</b>	<b>CN</b>	<b>P</b>	<b>C</b>
<b>año 2015-2016</b>	Milchichig 1	máxima	76	61.45	0.27
		mínima	76	4.22	0.49

Autor: (elaboración propia)

#### 2.4.4 Sector Milchichig 2

Los porcentajes de áreas obtenidos en este sector fueron los siguientes:

Tabla 2-32. Porcentaje de áreas

<b>Milchichig 2</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
Vegetación	396.25	33.11
Cubiertas	218.62	18.27
Pavimento	582.02	48.63
<b>Área total</b>	<b>1196.89</b>	<b>100</b>

Autor: (elaboración propia)

Mediante el mapa geológico se obtiene que este sector posee un 90% de suelo tipo B y un 10% de suelo tipo C, determinado mediante la tabla 1-3 de clasificación hidrológica del suelo.

Por lo tanto, los porcentajes para cada tipo de suelo son:

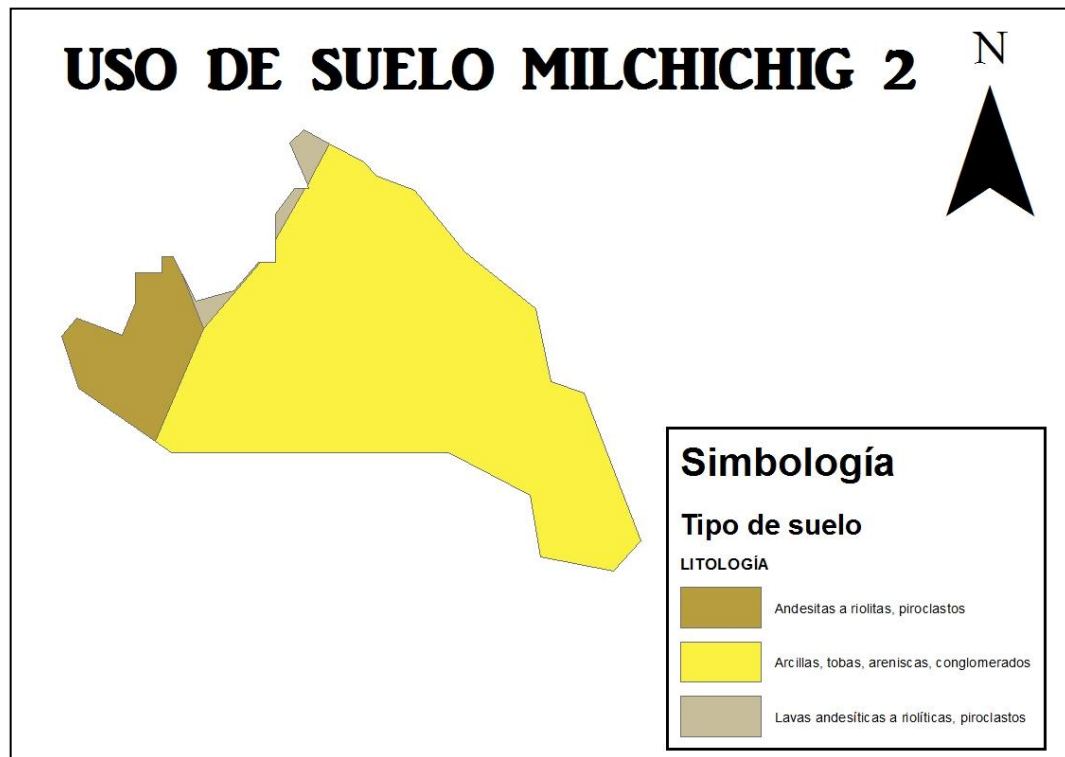


Figura 2.15. Uso de suelo Milchichig 2 (elaboración propia)

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

<b>Tipo</b>	<b>90% Tipo B</b>	<b>10% Tipo C</b>
Vegetación	29.80	3.31
Cubiertas	16.44	1.83
Pavimento	43.76	4.86

Autor: (elaboración propia)

A estos valores se les asigna un número de curva según la tabla 1-7 y se obtiene el producto de los mismos:

Tabla 2-34. Valor de CN para cada tipo de suelo y sus respectivos productos

<b>Tipo</b>	<b>90% Tipo B</b>	<b>Valor CN</b>	<b>Producto (tipo x CN)</b>	<b>10% Tipo C</b>	<b>Valor CN</b>	<b>Producto (tipo x CN)</b>
Vegetación	29.80	69	2055.93	3.31	79	261.54
Cubiertas	16.44	75	1232.95	1.83	83	151.61
Pavimento	43.76	98	4288.94	4.86	98	476.55
			7577.81			889.70

Autor: (elaboración propia)

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

$$CN_{ponderado} = \frac{7577.81 + 889.70}{100} = 85$$

Aplicando la (ecuación 15) con el valor obtenido al usar la tabla 2-34 se obtiene los siguientes valores de C:

Tabla 2-35. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas

	<b>Sector</b>	<b>Tipo de precipitación</b>	<b>CN</b>	<b>P</b>	<b>C</b>
<b>año 2015-2016</b>	Milchichig 2	máxima	85	61.45	0.46
		mínima	85	4.22	0.13

Autor: (elaboración propia)

#### 2.4.5 Sector Machángara 1

Los porcentajes de áreas obtenidos en este sector fueron los siguientes:

Tabla 2-36. Porcentaje de áreas

<b>Machángara 1</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Vegetación	235.91	53.13
Cubiertas	142.59	32.11
Pavimento	65.54	14.76
<b>Área total</b>	<b>444.05</b>	<b>100</b>

Autor: (elaboración propia)

Mediante el mapa geológico se obtiene que este sector posee un 100% de suelo tipo B, determinado mediante la tabla 1-3 de clasificación hidrológica del suelo.

Por lo tanto, el porcentaje para este tipo de suelo es el siguiente:

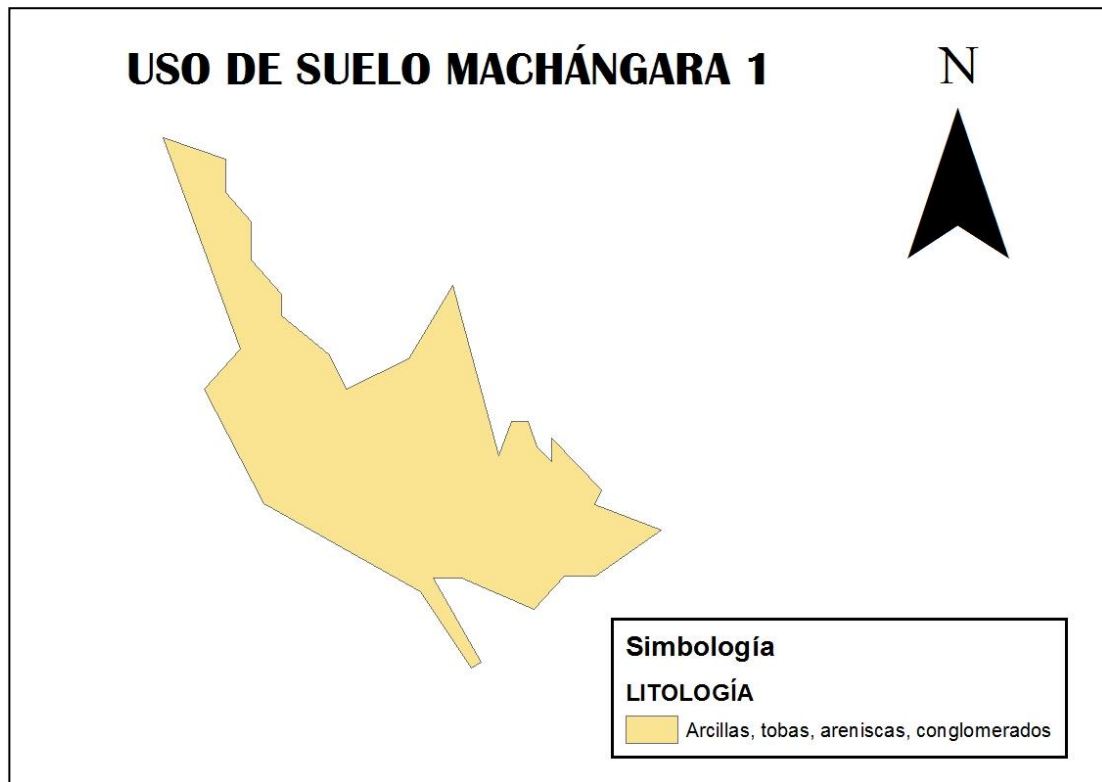


Figura 2.16. Uso de suelo Machángara 1 (elaboración propia).

Tabla 2-37. Porcentaje de áreas por el tipo de suelo

<b>Tipo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>100% Tipo B</b>
Vegetación	235.91	53.13
Cubiertas	142.59	32.11
Pavimento	65.54	14.76

Autor: (elaboración propia)

A estos valores se les asigna un número de curva según la tabla 1-7. y se obtiene el producto de los mismos:

Tabla 2-38. Valor de CN para el tipo de suelo y su respectivo producto

<b>Tipo</b>	<b>100% Tipo B</b>	<b>Valor CN</b>	<b>Producto (tipo x CN)</b>
Vegetación	53.13	69	3665.80
Cubiertas	32.11	75	2408.39
Pavimento	14.76	98	1446.53
			7521

Autor: (elaboración propia)

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

$$CN_{ponderado} = \frac{7521}{100} = 75$$

Aplicando la (ecuación 15) con el valor obtenido al usar la tabla 2-38 se obtiene los siguientes valores de C:

Tabla 2-39. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas

	<b>Sector</b>	<b>Tipo de precipitación</b>	<b>CN</b>	<b>P</b>	<b>C</b>
<b>año 2015-2016</b>	Machángara 1	máxima	75	61.45	0.25
		mínima	75	4.22	0.53

Autor: (elaboración propia)

#### 2.4.6 Sector Machángara 2

Los porcentajes de áreas obtenidos en este sector fueron los siguientes:

Tabla 2-40. Porcentaje de áreas

<b>Machángara 2</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
Vegetación	82.38	75.01
Cubiertas	19.65	17.89
Pavimento	7.80	7.10
<b>Área total</b>	<b>109.83</b>	<b>100</b>

Autor: (elaboración propia)

Mediante el mapa geológico se obtiene que este sector posee un 100% de suelo tipo B, determinado mediante la tabla 1-3. de clasificación hidrológica del suelo.

Por lo tanto, el porcentaje para este tipo de suelo es el siguiente:

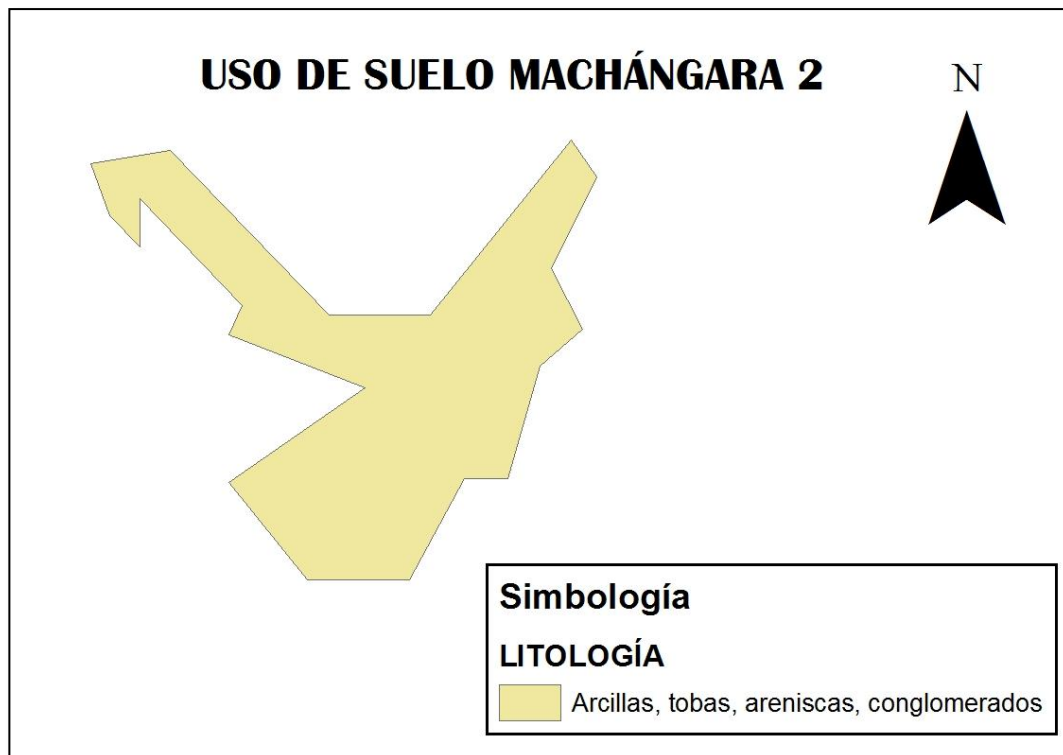


Figura 2.17. Uso de suelo Machángara 2 (elaboración propia).

Tabla 2-41. Porcentaje de áreas por el tipo de suelo



<b>Tipo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>100% Tipo B</b>
Vegetación	82.38	75.01
Cubiertas	19.65	17.89
Pavimento	7.80	7.10

Autor: (elaboración propia)

A estos valores se les asigna un número de curva según la tabla 1-7 y se obtiene el producto de los mismos:

Tabla 2-42. Valor de CN para el tipo de suelo y su respectivo producto

<b>Tipo</b>	<b>100% Tipo B</b>	<b>Valor CN</b>	<b>Producto (tipo x CN)</b>
Vegetación	75.01	69	5175.43
Cubiertas	17.89	75	1341.70
Pavimento	7.10	98	696.23
			7213

Autor: (elaboración propia)

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

$$CN_{ponderado} = \frac{7213}{100} = 72$$

Aplicando la (ecuación 15) con el valor obtenido al usar la tabla 2-42 se obtiene los siguientes valores de C:

Tabla 2-43. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas

	<b>Sector</b>	<b>Tipo de precipitación</b>	<b>CN</b>	<b>P</b>	<b>C</b>
<b>año 2015-2016</b>	Machángara 2	máxima	72	61.45	0.20
		mínima	72	4.22	0.69

Autor: (elaboración propia)

### 2.4.7 Sector Machángara 3

Los porcentajes de áreas obtenidos en este sector fueron los siguientes:

Tabla 2-44. Porcentaje de áreas

<b>Machángara 3</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Vegetación	191.31	63.45
Cubiertas	81.98	27.19
Pavimento	28.22	9.36
<b>Área total</b>	<b>301.50</b>	<b>100</b>

Autor: (elaboración propia)

Mediante el mapa geológico se obtiene que este sector posee un 100% de suelo tipo B, determinado mediante la tabla 1-3. de clasificación hidrológica del suelo.

Por lo tanto, el porcentaje para este tipo de suelo es el siguiente:



Figura 2.18. Uso de suelo Machángara 3 (elaboración propia).

Tabla 2-45. Porcentaje de áreas por el tipo de suelo

<b>Tipo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>100% Tipo B</b>
Vegetación	191.31	63.45
Cubiertas	81.98	27.19
Pavimento	28.22	9.36

Autor: (elaboración propia)

A estos valores se les asigna un número de curva según la tabla 1-7. y se obtiene el producto de los mismos:

Tabla 2-46. Valor de CN para el tipo de suelo y su respectivo producto

<b>Tipo</b>	<b>100% Tipo B</b>	<b>Valor CN</b>	<b>Producto (tipo x CN)</b>
Vegetación	63.45	69	4378.17
Cubiertas	27.19	75	2039.23
Pavimento	9.36	98	917.14
			7335

Autor: (elaboración propia)

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

$$CN_{ponderado} = \frac{7335}{100} = 73$$

Aplicando la (ecuación 15) con el valor obtenido al usar la tabla 2-46 se obtiene los siguientes valores de C:

Tabla 2-47. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas

	<b>Sector</b>	<b>Tipo de precipitación</b>	<b>CN</b>	<b>P</b>	<b>C</b>
<b>año 2015-2016</b>	Machangara 3	máxima	73	61.45	0.22
		mínima	73	4.22	0.63

Autor: (elaboración propia)

#### 2.4.8. Sector Machángara 4

Los porcentajes de áreas obtenidos en este sector fueron los siguientes:

Tabla 2-48. Porcentaje de áreas

<b>Machángara 4</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
Vegetación	574.62	81.79
Cubiertas	85.86	12.22
Pavimento	42.08	5.99
<b>Área total</b>	<b>702.57</b>	<b>100</b>

Autor: (elaboración propia)

Mediante el mapa geológico se obtiene que este sector posee un 100% de suelo tipo B, determinado mediante la tabla 1-3. de clasificación hidrológica del suelo.

Por lo tanto, el porcentaje para este tipo de suelo es el siguiente:

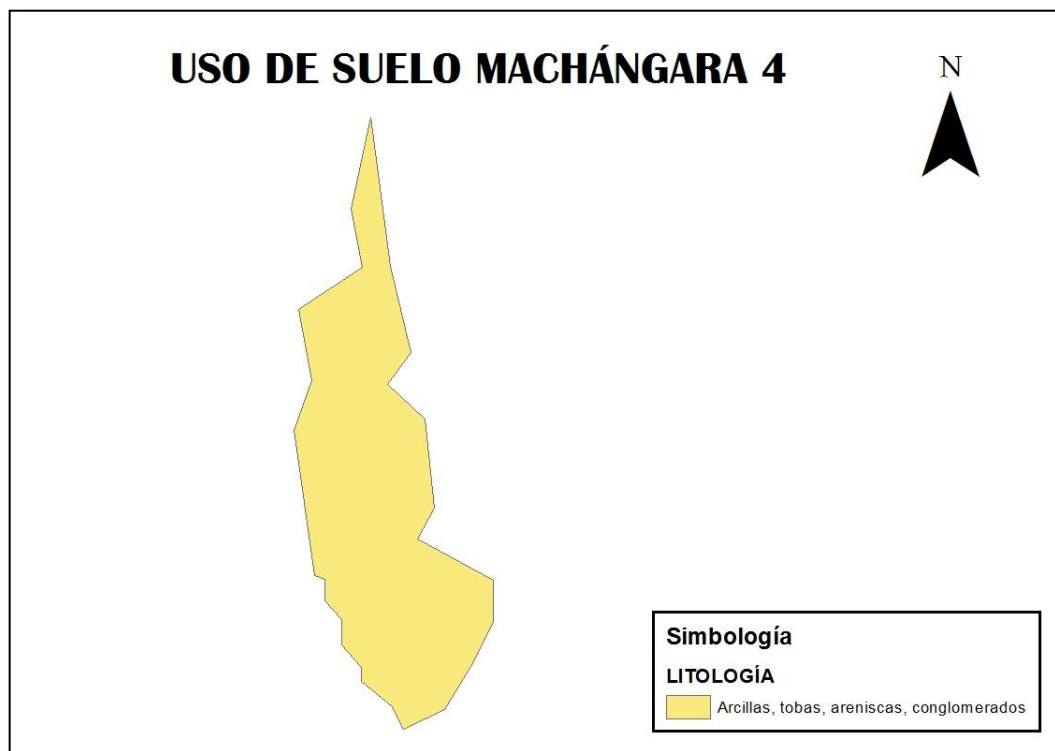


Figura 2.19. Uso de suelo Machángara 4 (elaboración propia).

Tabla 2-49. Porcentaje de áreas por el tipo de suelo

<b>Tipo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>100% Tipo B</b>
Vegetación	574.62	81.79
Cubiertas	85.86	12.22
Pavimento	42.08	5.99

Autor: (elaboración propia)

A estos valores se les asigna un número de curva según la tabla 1-7. y se obtiene el producto de los mismos:

Tabla 2-50. Valor de CN para el tipo de suelo y su respectivo producto

<b>Tipo</b>	<b>100% Tipo B</b>	<b>Valor CN</b>	<b>Producto (tipo x CN)</b>
Vegetación	81.79	69	5643.45
Cubiertas	12.22	75	916.60
Pavimento	5.99	98	586.97
			7147

Autor: (elaboración propia)

Se determinó el valor de CN ponderado con la siguiente relación:

$$CN_{ponderado} = \frac{7147}{100} = 71$$

Aplicando la (ecuación 15) con el valor obtenido al usar la tabla 2-50 se obtiene los siguientes valores de C:

Tabla 2-51. Valores de C para precipitaciones máximas y mínimas

	<b>Sector</b>	<b>Tipo de precipitación</b>	<b>CN</b>	<b>P</b>	<b>C</b>
<b>año 2015-2016</b>	Machángara 4	máxima	71	61.45	0.19
		mínima	71	4.22	0.74

Autor: (elaboración propia)

## CAPITULO 3. RESULTADOS

### 3.1 Elaboración de mapas de los coeficientes “C” de escorrentía en Arcgis

#### 3.1.1 Método racional

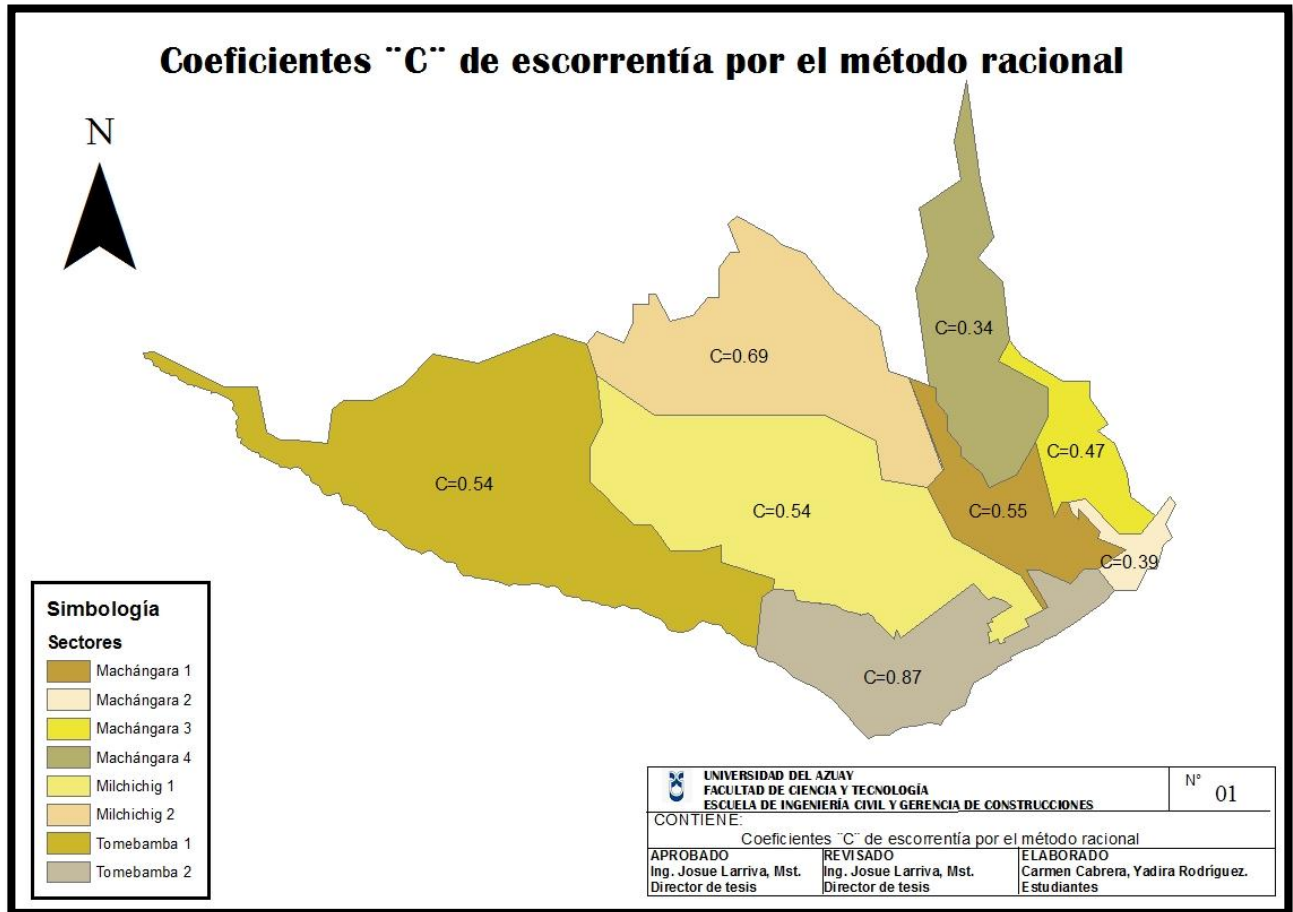


Figura 3.1. Mapa de los coeficientes “C” de escorrentía por el método racional

En la presente figura 3.1. Se puede visualizar los resultados en cada sector, al aplicar el método racional, además se puede constatar el cambio del valor del coeficiente “C”.

En la zona Tomebamba 2 se obtiene el valor mayor de coeficiente de escorrentía y esto se da debido a que es en el área urbana donde existe mayor impermeabilidad.

A su vez se observa que el sector Machángara 4 se obtiene un coeficiente bajo, lo que se podría atribuir a que se trata de un sector con bastante vegetación.

### 3.1.2 Por el método del número de curva

#### 3.1.2.1 Lluvias altas

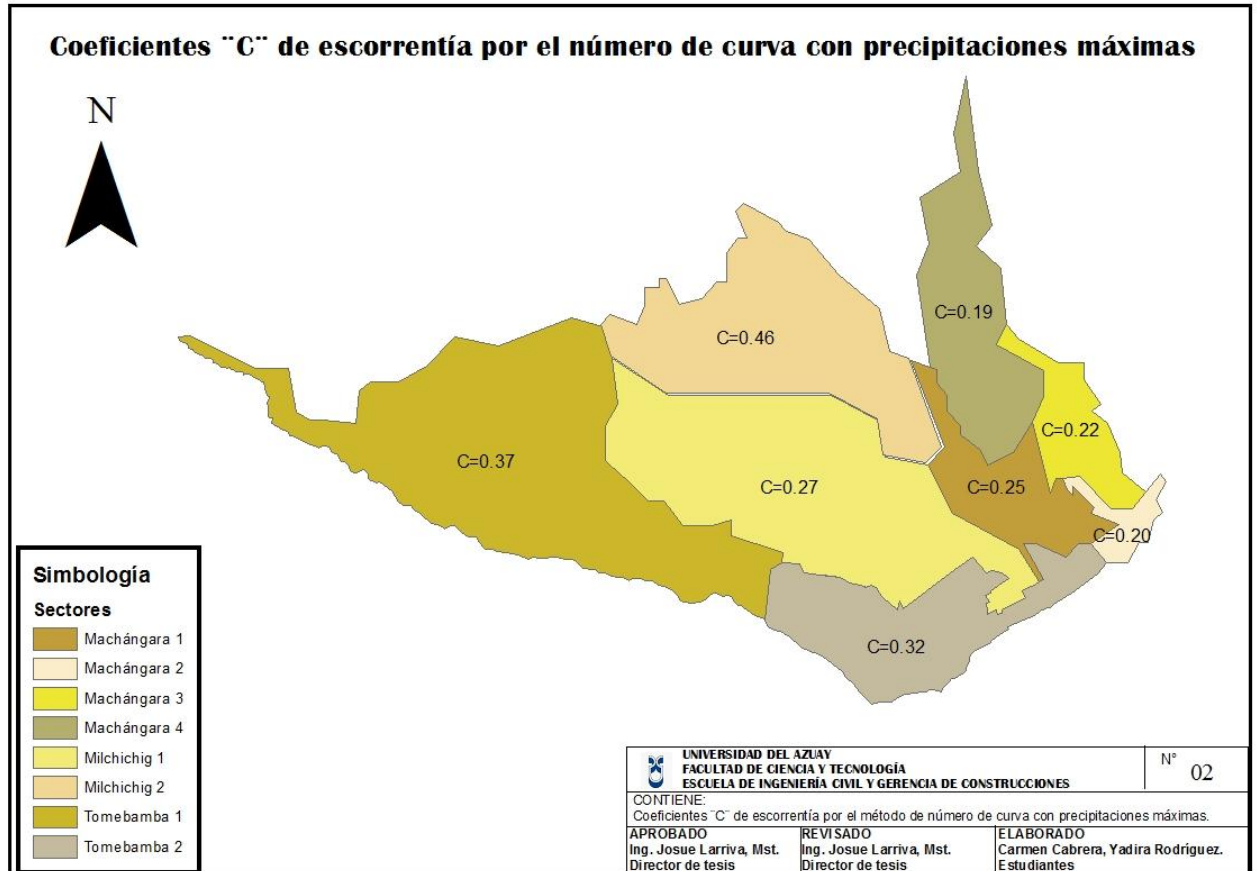


Figura 20. Mapa de los coeficientes "C" con precipitaciones máximas.

En la figura 3.2. se puede encontrar el valor del coeficiente "C" y los resultados obtenidos al utilizar las precipitaciones mayores en el periodo 2015-2016

### 3.1.2.2 Lluvias bajas

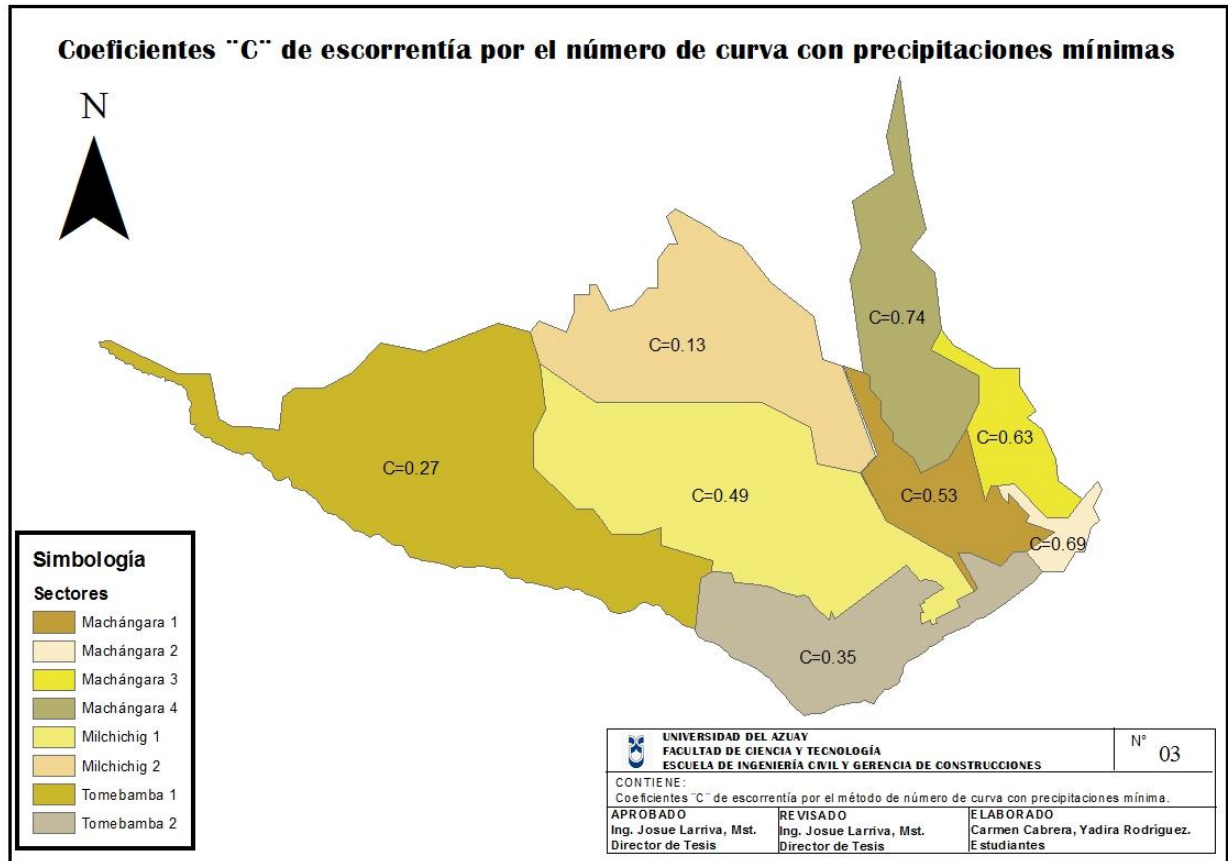


Figura 3.3. Mapa de los coeficientes "C" de escorrentía con precipitaciones mínimas.

Las lluvias bajas generan variación en el coeficiente "C" como se muestra en la figura 3.3.



## 3.2 Análisis de los coeficientes

### 3.2.1 Método racional

Dependiendo únicamente de las áreas, podemos decir que en los sectores donde existe una mayor cantidad de áreas verdes se considera una zona permeable por lo que el coeficiente “C” de escorrentía será menor, y de igual forma en los sectores donde exista áreas grandes de cubierta y pavimento se considera una zona impermeable y el coeficiente “C” aumentara, provocando así una elevación de los caudales.

### 3.2.2 Método del número de curva

Dependerá del grupo hidrológico del suelo y de la cantidad de precipitación, por lo que, el coeficiente “C” de escorrentía es directamente proporcional a la precipitación pero siempre dependiendo del número de curva, es decir mientras mayor sea la precipitación mayor será dicho coeficiente, como podemos observar en las tablas siguientes:

Tabla 3-1. Mayor precipitación mayor coeficiente “C”, menor precipitación menor coeficiente “C”

Año 2015-2016 precipitación mayor			
Sectores	CN	P	C
Tomebamba 1	81	61.45	0.37
Tomebamba 2	79	61.45	0.32
Milchichig 1	76	61.45	0.27
Milchichig 2	85	61.45	0.46
Machángara 1	75	61.45	0.25
Machaágara 2	72	61.45	0.20
Machángara 3	73	61.45	0.22
Machángara 4	71	61.45	0.19

Año 2015-2016 precipitación menor			
Sectores	CN	P	C
Tomebamba 1	81	4.22	0.27
Tomebamba 2	79	4.22	0.35
Milchichig 1	76	4.22	0.49
Milchichig 2	85	4.22	0.13
Machángara 1	75	4.22	0.53
Machaágara 2	72	4.22	0.69
Machángara 3	73	4.22	0.63
Machángara 4	71	4.22	0.74

Autor: (elaboración propia)

### 3.3 Recomendaciones

- Para que se pueda facilitar el análisis y el cálculo de posteriores proyectos la empresa pública ETAPA EP debe contar con valores actuales de los pluviómetros.
- Usar este estudio de valores de coeficiente "C" de escorrentía para futuros diseños, ya que se ha tomado en cuenta absolutamente todos los parámetros de cálculo, como son las áreas de los sectores, los datos de pluviómetros y los usos de suelos.
- Aplicar el método racional cuanto se carezca de información ya que su uso depende únicamente del área que se vaya a estudiar, siempre y cuando esa área este en un rango de 5 a 200 hectáreas, a diferencia del método de número de curva que necesita información hidrológica.
- Con los datos históricos de los pluviómetros se podría realizar un estudio y determinar cuáles son los meses torrenciales y moderados de intensidad de lluvia, para clasificarlos y debido a condiciones más desfavorables usar los valores de coeficiente "C" por el método del número de curva obtenidos en este estudio.

### 3.4 Conclusiones

- Cada sector se definió tomando en cuenta el flujo de descarga a cada uno de los ríos que formaron parte del área de estudio, en los que se aplicó los dos métodos investigados determinando así los coeficientes "C" de escorrentía.
- Una vez obtenidos los resultados de los métodos, se encontró que los coeficientes de escorrentía por el método racional son mayores en un promedio del 40% que los obtenidos por el método de número de curva con precipitaciones máximas, esto se debe a que los métodos consideran diferentes parámetros.
- El método de número de curva es un método más preciso por lo que se utilizó valores del uso de suelo de cada sector y valores de los pluviómetros de Totoracocha y Ricaurte del año 2015 y 2016, con los que se determinó las precipitaciones que fueron utilizados para la aplicación del método en cada sector, en cambio en el método racional solo se tomó en cuenta el área de cada sector.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Campos, A. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Distrito Federal.
- Castillo, V., Martínez-Mena, M., & Albaladejo, J. (1997). Validez del Método del Número de Curva para el cálculo de.
- Chow Ven te. (2000). *Hidrología Aplicada*. Mc Graw Hill.
- Corbitt, R. A. (s.f.). *Manual de referencia de la ingeniería ambiental*. Mc Graw Hill.
- Departamento de información geográfica. (2015, 2016). *Datos de pluviómetros*. Cuenca: ETAPA.
- ETAPA EP. (2017). Obtenido de <http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Saneamiento/Saneamiento>
- Google Earth. (s.f.). *Ubicación Geográfica de Cuenca*.
- Hernandez Muñoz , A., Hernandez Lehmann, A., & Galán Martinez, P. (1996). *Manual de Depuracion Uralita*. Madrid: PARANINFO, S.A.
- Hernandez Muñoz, A. (1997). *Aguas Residuales*. Madrid.
- Maderey, L. (2005). *Principios de Hidrogeografía Estudio del Ciclo Hidrológico*. Distrito Federal: Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México.
- Malo Nogués, L. J., & Armengol, V. G. (2004). *REDES DE SANEAMIENTO T ABASTECIMIENTO PÚBLICO*. Barcelona: ATRIUM S.A.
- Monsalve Sáenz, G. (s.f.). *Hidrología en la ingeniería* (2da Edicion ed.). Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Morales, J. (s.f). *blogspot.com*. Obtenido de [http://2.bp.blogspot.com/\\_vR12591kexU/TOLwgWgxbwI/AAAAAAAAAr8/VqZQnu\\_T\\_Gs/s1600/2638952643\\_fd696646f5.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_vR12591kexU/TOLwgWgxbwI/AAAAAAAAAr8/VqZQnu_T_Gs/s1600/2638952643_fd696646f5.jpg)
- Pérez, G. (s.f.). *Ciclo Hidrologico.com*. Obtenido de [www.ciclohidrologico.com/escorrenta\\_superficial](http://www.ciclohidrologico.com/escorrenta_superficial)