



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**GENERACIÓN DE ESCORRENTÍA, DISPONIBILIDAD
DE AGUA Y USOS DEL SUELO**

PRESENTADO POR:

BACHILLER ARNOLD KEVIN CAXI ARCATA

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA – PERU

2017

CONTENIDO

Página de jurado	ii
Agradecimiento	iii
Contenido	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	viii
Resumen.....	xi
Abstract	xii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos.....	2

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Marco teórico	3
3.1.1. Generación de escorrentía	3
3.1.2. Disponibilidad del agua.....	18
3.1.3. Usos del suelo.....	38
3.2. Caso práctico	42

3.2.1. Cálculo de caudal máximo de escorrentía.....	42
3.2.2. Diseño del sistema de riego por aspersión	81
3.3. Representación de Resultados	90

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	93
APÉNDICE	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos punta del hidrograma adimensional.....	16
Tabla 2. Coeficiente de esorrentía para el método racional	18
Tabla 3. Población, oferta hídrica y número de cuencas según vertientes.....	19
Tabla 4. Caudal y volumen anual según las cuencas de la vertiente del Pacifico..	22
Tabla 5. Distribución de las cordilleras en los Andes del Perú.....	24
Tabla 6. Usos del agua a por la población y los sectores productivos	25
Tabla 7. Usos del agua con fines agrarios en la vertiente del Pacifico	30
Tabla 8. Grupos hidrológicos del suelo.....	40
Tabla 9. Estimación de los números de las curvas de esorrentía	41
Tabla 10. Parámetros morfológicos de las cuencas	50
Tabla 11. Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca A	59
Tabla 12. Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca B	60
Tabla 13. Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca C	61
Tabla 14. Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca D	62
Tabla 15. Usos y áreas del suelo en la cuenca A	65
Tabla 16. Usos y áreas del suelo en la cuenca B.....	65
Tabla 17. Usos y áreas del suelo en la cuenca C.....	66
Tabla 18. Usos y áreas del suelo en la cuenca D	66
Tabla 19. Precipitación efectiva en la cuenca A	69
Tabla 20. Precipitación efectiva en la cuenca B	70
Tabla 21. Precipitación efectiva en la cuenca C	71
Tabla 22. Precipitación efectiva en la cuenca D	72
Tabla 23. Cálculos previos para el caudal máximo de esorrentía	73

Tabla 24. Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca A	77
Tabla 25. Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca B	78
Tabla 26. Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca C	79
Tabla 27. Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca D	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generación de la escorrentía total.....	4
Figura 2. Escorrentía total.....	5
Figura 3. Ciclo de la escorrentía.	6
Figura 4. Primera fase del ciclo de la escorrentía.	7
Figura 5. Segunda fase del ciclo de la escorrentía.	8
Figura 6. Tercera fase del ciclo de la escorrentía.....	9
Figura 7. Cuarta fase del ciclo de la escorrentía	10
Figura 8. Diagrama del hidrograma triangular del SCS.....	13
Figura 9. Diagrama del hidrograma unitario adimensional del SCS.	15
Figura 10. Estructura del método racional.	17
Figura 11. Disponibilidad de agua y volumen poblacional en las vertientes.....	21
Figura 12. Concesiones mineras al 2012.	29
Figura 13. Evolución de las concesiones mineras en el Perú.....	28
Figura 14. Archivo de curvas de nivel de la carta nacional.	43
Figura 15. Vista de la zona en relieve.	43
Figura 16. Importación de los ríos y lagos.	44
Figura 17. Fijación de los puntos de salida.	44
Figura 18. Delimitación de la zona de trabajo.	45
Figura 19. Delimitación de las cuencas.....	45
Figura 20. Áreas y perímetro de las cuencas.....	46
Figura 21. Longitud del cauce principal de la cuenca A.....	46
Figura 22. Longitud del cauce principal de la cuenca B.....	47
Figura 23. Longitud del cauce principal de la cuenca C.....	47

Figura 24. Longitud del cauce principal de la cuenca D.....	48
Figura 25. Altura máxima y altura mínima de la cuenca A.	48
Figura 26. Altura máxima y altura mínima de la cuenca B.	49
Figura 27. Altura máxima y altura mínima de la cuenca C.	49
Figura 28. Altura máxima y altura mínima de la cuenca D.	50
Figura 29. Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca A.	56
Figura 30. Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca B.	57
Figura 31. Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca C.	57
Figura 32. Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca D.	58
Figura 33. Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca A.	59
Figura 34. Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca B.	60
Figura 35. Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca C.	61
Figura 36. Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca D.	62
Figura 37. Usos y áreas del suelo en la cuenca A.	63
Figura 38. Usos y áreas del suelo en la cuenca B.	63
Figura 39. Usos y áreas del suelo en la cuenca C.	64
Figura 40. Usos y áreas del suelo en la cuenca D.	64
Figura 41. Número de curva para los suelos en la cuenca A.	67
Figura 42. Número de curva para los suelos en la cuenca B.....	68
Figura 43. Número de curva para los suelos en la cuenca C.....	68
Figura 44. Número de curva para los suelos en la cuenca D.	69
Figura 45. Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca A.	75
Figura 46. Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca B.	75
Figura 47. Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca C.	76

Figura 48. Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca D.	77
Figura 49. Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca A.	78
Figura 50. Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca B.	79
Figura 51. Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca C.	80
Figura 52. Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca D.	81

RESUMEN

Se denomina escorrentía a la lámina de agua que circula por encima de la superficie. La escorrentía es producto de la precipitación la cual no pudo infiltrar el suelo, esto se debe a que la precipitación es mayor a la capacidad de infiltración que tiene el suelo. Dependiendo de las propiedades del suelo (factores climáticos y morfológicos) se pueden presentar tres tipos de escorrentías: la escorrentía superficial, la escorrentía su subsuperficial y la escorrentía subterránea. Existen varios modelos para el cálculo de la generación de escorrentías, las cuales en la mayoría de estas toman como factor principal las propiedades del suelo. Las metodologías usadas para la elaboración de este trabajo son: método de hidrograma sintético, método racional y el método de número de curva del SCS.

Palabras clave: infiltración, escorrentía, hidrograma, caudal, precipitación.

ABSTRACT

Runoff is the water sheet that circulates above the surface. Runoff is the product of precipitation which could not infiltrate the soil, this is because the precipitation is greater than the infiltration capacity of the soil. Depending on soil properties (climatic and morphological factors) three types of runoff can occur: surface runoff, subsurface runoff and underground runoff. There are several models for the calculation of runoff generation, which in most of these take as the main factor the properties of the soil. The methodologies used for the elaboration of this work are: synthetic hydrograph method, rational method and the SCS curve number method.

Keywords: infiltration, runoff, hydrograph, flow, precipitation.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En el ciclo hidrológico, las precipitaciones y las propiedades del suelo juegan un rol muy importante ya que de ellos depende la cantidad de escorrentía que se va a generar. Una de los aspectos más importantes que interviene en este proceso es la infiltración el cual ocasiona que los flujos de la precipitación puedan entrar al suelo, pero a su vez esto variaran de acuerdo a las características de la superficie.

Para el cálculo de estas escorrentías se recurre al uso de los modelos hidrológicos los cuales ayudan a poder simular el comportamiento de los sistemas hidrológicos, existen una gran variedad de modelos los cuales en su mayoría solicitan la precipitación mientras otras exigen datos más precisos de las características de la cuenca.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

El objetivo del presente trabajo es investigar sobre las distintas modelos de cálculo de escorrentía, además ver de qué modo estas varían al tomar en cuenta las características de los suelos.

2.2.Objetivos específicos

- Identificar los parámetros que influyen en la generación de escorrentías.
- La importancia de las propiedades del suelo ante la presencia de las precipitaciones.
- Aprender la importancia de una buena distribución y el uso eficiente de los recursos hídricos.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1.Marco teórico

3.1.1. Generación de escorrentía

3.1.1.1. Concepto

La escorrentía es la corriente de agua que se vierte al rebosar de su cauce ya sea natural o artificial. En hidrología se refiere a la lámina de agua que circula por encima de la superficie de la cuenca de drenaje, equivalente a la altura de la lluvia en milímetros la cual es escurrida y extendida a lo largo de una determinada superficie.

La escorrentía se resume como la precipitación total menos la evotranspiración real y la infiltración del suelo, este fenómeno de la escorrentía se origina debido a que la precipitación es superior a la capacidad de infiltración que posee el suelo. La escorrentía superficial es uno de los factores de mayor envergadura que ocasiona la erosión en la superficie, estos efectos se aprecian sobretodo en suelos poco permeables y en lugares son los cuales cuentan con poca vegetación.

3.1.1.2. Tipos de escorrentía

Como se mencionó en el enunciado anterior, dependiendo de los diversos factores que influyen en la generación de escorrentías se podrá presentar distintos tipos de casos de escorrentía, en la figura 1 se puede apreciar todo el proceso por el que pasa la precipitación total para convertirse en escorrentía; estos tipos de escorrentía se juntarán al final formando así una escorrentía total tal como se observa en la figura 2.

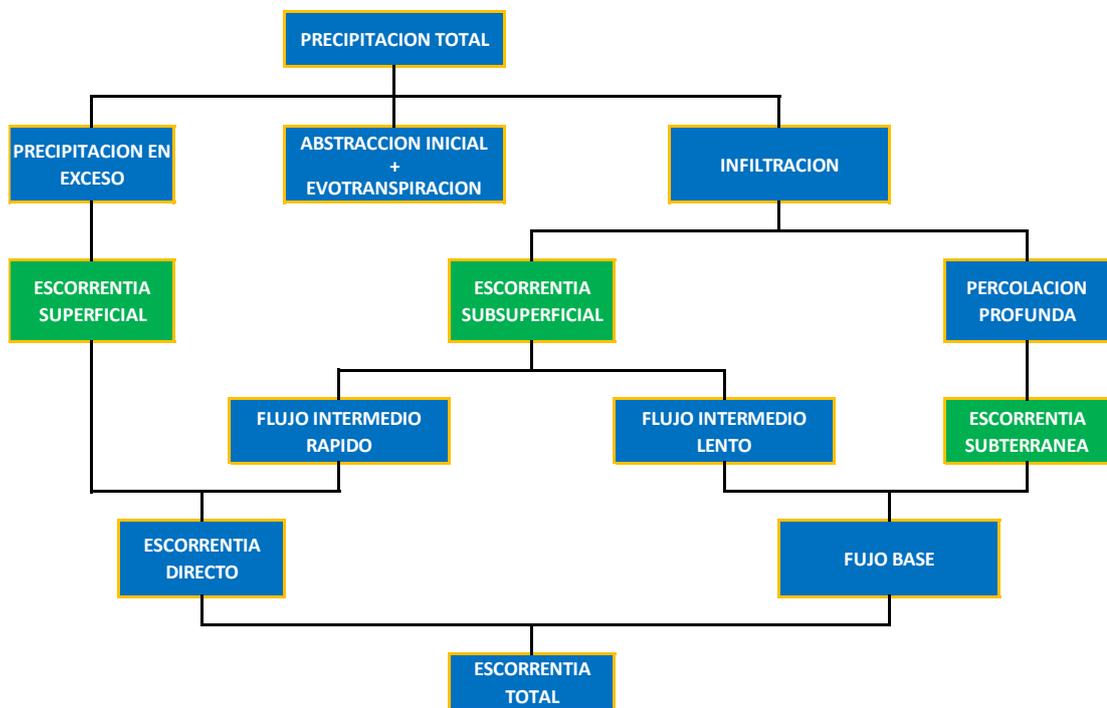


Figura 1. Generación de la escorrentía total
Fuente: Elaboración propia

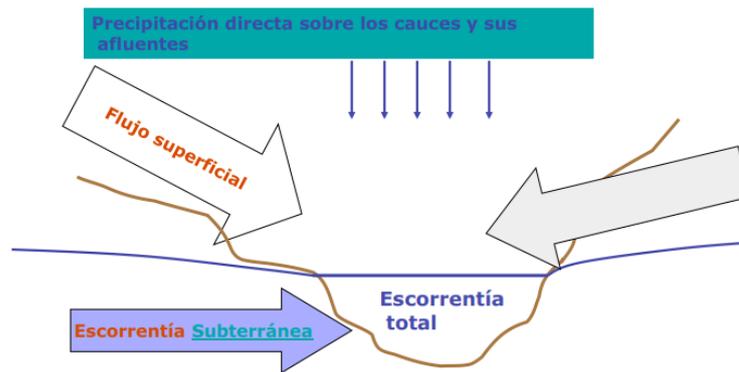


Figura 2. Escorrentía total
Fuente: Elaboración propia

a. Escorrentía superficial

Esto se da generalmente cuando la capacidad de infiltración es menor a la intensidad de la lluvia, el agua empezara a recorrer sobre la superficie del terreno, y es aquí cuando se forma una capa delgada de agua. Esta se deslizará por sobre la superficie del suelo por acción de la gravedad según la pendiente del terreno y cambiara su curso en función a las irregularidades del suelo y presencia de vegetación hasta incorporarse a la red de drenaje, donde se junta con los otros componentes que constituyen la escorrentía total.

b. Escorrentía subsuperficial

Es el proceso en el que agua infiltrado producto de la precipitación se mueve horizontalmente de manera interna en el suelo para después aparecer en el ambiente como manantial y poder juntarse con los otros flujos los cuales se transportaran a la red de drenaje.

c. *Escurrentía subterránea*

Este tipo de escurrentía se da cuando el agua de la precipitación desciende por acción de la gravedad, esta se infiltra hasta el nivel freático, desde donde se mueve horizontalmente hasta llegar a la red de drenaje.

3.1.1.3. *El ciclo de la escurrentía*

Los componentes de la Escurrentía evolucionan según un ciclo que distingue cuatro fases en relación con el ritmo de las precipitaciones, tal y como se logra apreciar en la figura 3.

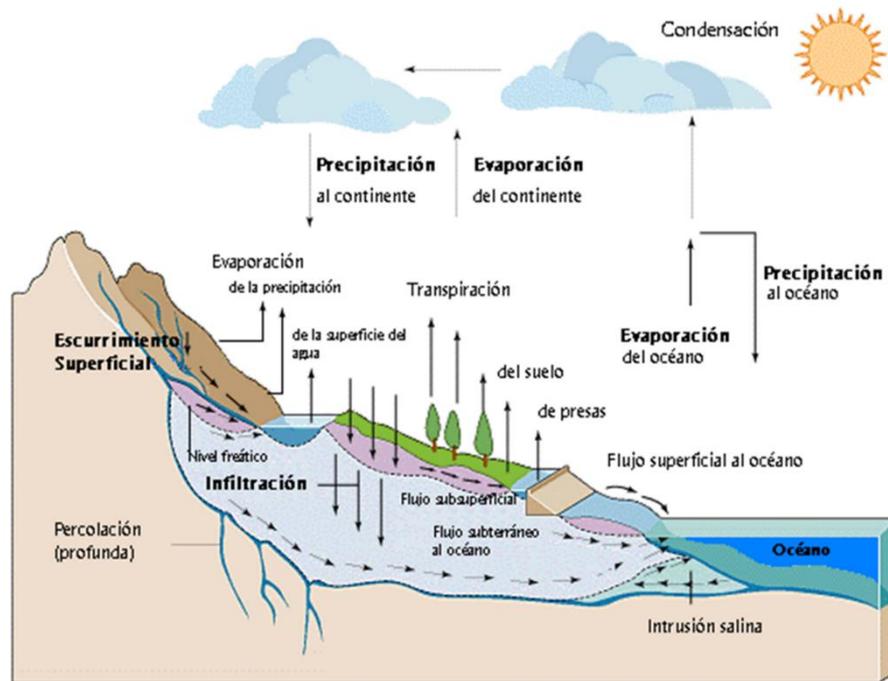


Figura 3: Ciclo de la escurrentía
Fuente: Chow, 1988

a. Primera fase

Este es un periodo en el cual no se dan precipitaciones. Luego de un periodo en el cual no ha habido precipitaciones, la evotranspiración suele agotar la humedad existente en las capas superficiales y a extraer todo el flujo de la franja capilar. En la figura 4 se puede apreciar como las aguas subterráneas tienden a alimentar a las corrientes superficiales descendiendo progresivamente su nivel piezométrico.

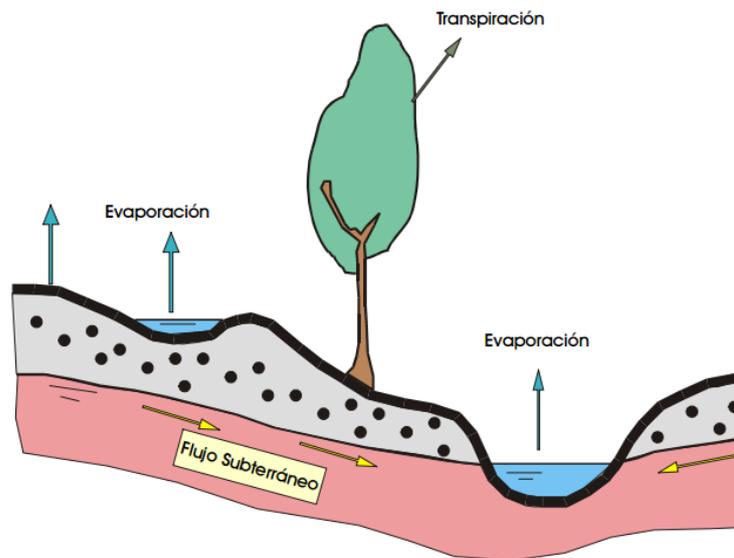


Figura 4: Primera fase del ciclo de la escorrentía
Fuente: Gámez, 2010

b. Segunda fase

Es la iniciación de la precipitación, como se muestra en la figura 5. El proceso de evotranspiración concluye. Las aguas meteóricas son captadas por la vegetación de la zona, así como también por la superficie de agua libre, las redes de agua y el suelo. Esta fase se caracteriza por la infiltración de un gran volumen de agua en el suelo el cual abastecerá su capacidad de almacenamiento; el excedente se transportará de manera superficial en forma de Escorrentía Directa, la cual alimenta débilmente los cursos de agua. Además, se continúan las aportaciones de las

corrientes subterráneas a los cursos superficiales, no interrumpiéndose el descenso de los niveles piezométrico de la capa freática.

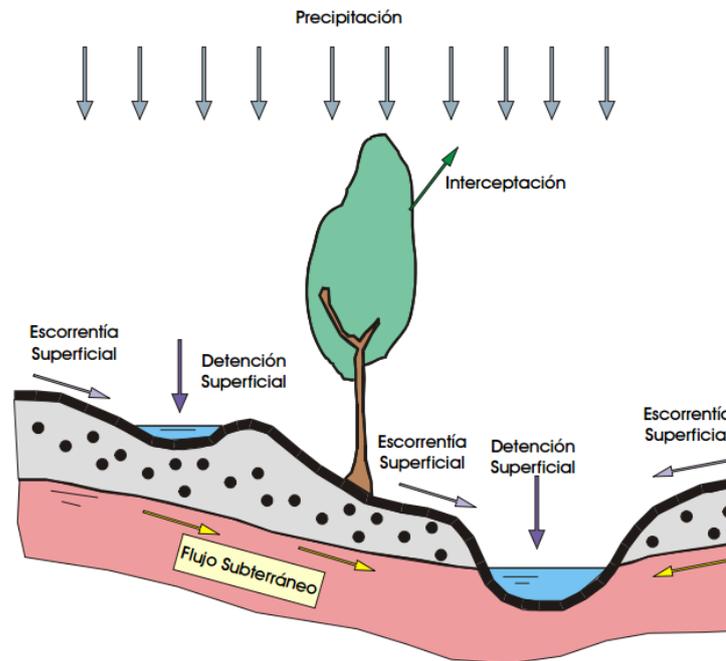


Figura 5: Segunda fase del ciclo de la escorrentía
Fuente: Gámez, 2010

c. Tercera fase

Esta fase se refiere a la precipitación máxima, tal y como se puede apreciar en la figura 6, después de un periodo de la precipitación, la cubierta vegetal apenas intercepta agua, por lo que prácticamente la totalidad de la precipitación alcanza el suelo. Las capas superficiales del suelo están saturadas.

Una porción del agua de las precipitaciones se infiltra, aumentando la Escorrentía Subsuperficial, la precipitación que no logra infiltrarse se denomina Escorrentía Superficial, el cual en esta fase es donde tiende a alzar su tope. La escorrentía Subterránea aumenta ligeramente; por lo tanto, la escorrentía total se encuentra en su máximo esplendor ocasionando crecidas.

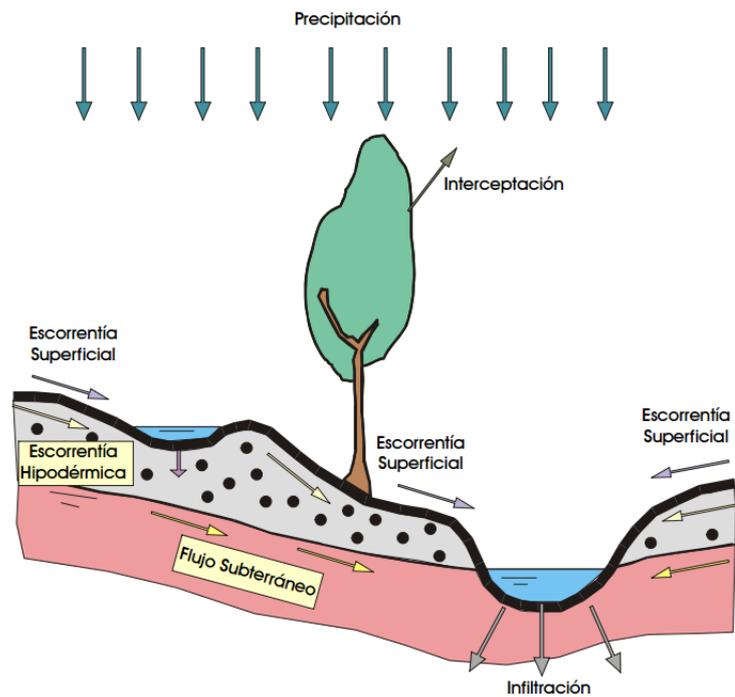


Figura 6: Tercera fase del ciclo de la escorrentía
Fuente: Gámez, 2010

d. Cuarta fase

Luego de haberse presentado la precipitación, la lluvia cesa. La escorrentía superficial desaparece rápidamente. El suelo y subsuelo presentan saturación, además se sigue dando el proceso de infiltración en zonas las cuales presentan depresiones superficiales aumentando los valores de la escorrentía subsuperficial y la subterránea. Luego de este ciclo se continúa con la fase uno cerrando así su ciclo de la escorrentía.

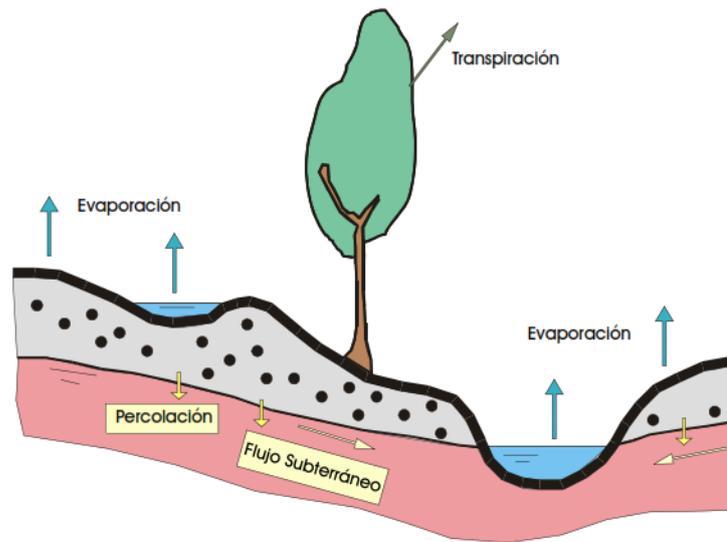


Figura 7: Cuarta fase del ciclo de la escorrentía
 Fuente: Gámez, 2010

3.1.1.4. Factores que influyen en la generación de escorrentías

a. Factores climáticos

- Precipitación
- Evaporación
- Transpiración

b. Factores morfológicos

- Geométricos cuenca
- Físicos cuenca
- Cauces

La comparación de algunos de estos factores nos ayuda a poder representar cual será el comportamiento del suelo ante las diferentes situaciones:

- Si la intensidad resulta ser menor que la capacidad de infiltración y a su vez el contenido de humedad del suelo es menor que la capacidad de campo, el escurrimiento sobre el suelo será reducido; esto se debería a que el suelo podrá captar una gran cantidad del agua que se precipite sobre esta. Además, el flujo subsuperficial será muy bajo, dado que el agua filtrada será retenida por la capilaridad e incrementará el contenido de humedad inicial.
- Si la intensidad resulta ser menor que la capacidad de infiltración y a su vez el contenido de humedad del suelo esta próxima o igual a la capacidad de campo, un segmento de la precipitación se transformará momentáneamente en escurrimiento sobre el terreno, pero la cantidad seguirá siendo mínima. El flujo subsuperficial será importante, también se podrá observar que este segundo caso se deriva de la primera, debido a que la precipitación dura un cierto periodo de manera continua.
- Si la intensidad resulta ser mayor que la capacidad de infiltración y a su vez el contenido de humedad del suelo es menor a su capacidad de campo, en este caso el suelo si presenta un escaso contenido de humedad, causara que el agua que precipite, a pesar de que la capacidad de infiltración es reducida se pueda utilizar para abastecer de humedad al terreno; permitiendo que solo escurra una pequeña porción.
- Si la intensidad resulta ser mayor que la capacidad de infiltración y a su vez el contenido de humedad del suelo es mayor o igual a su capacidad de campo, el suelo se encontrara al borde de la saturación, de tal manera que no permitirá una infiltración pronunciada, por lo que gran cantidad del agua producto de la

precipitación empiece a escurrir sobre el terreno, el flujo subsuperficial también será importante.

3.1.1.5. Métodos para el cálculo de escorrentías

a. Método del hidrograma sintético

El método de hidrograma sintético es un método utilizado para la poder hallar el caudal producido por las precipitaciones, la cual podría ser considerada como una precipitación en exceso o infiltración, las cuales generarían los distintos tipos de escorrentías. Para el análisis de este método se tiene que separar el caudal directo de la caudal base.

- **Tiempo de concentración**

Es el tiempo mínimo el cual se necesita para que el caudal de salida pueda ser alimentado por los afluentes de la cuenca.

$$t_c = 0,3 \left(\frac{L^{0,76}}{S^{0,19}} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud del cauce (km)

S = Pendiente (m/m)

- **Hidrograma triangular del SCS**

Este hidrograma esta esquematizado por una figura en forma de triángulo tal y como se muestra en la figura 8.

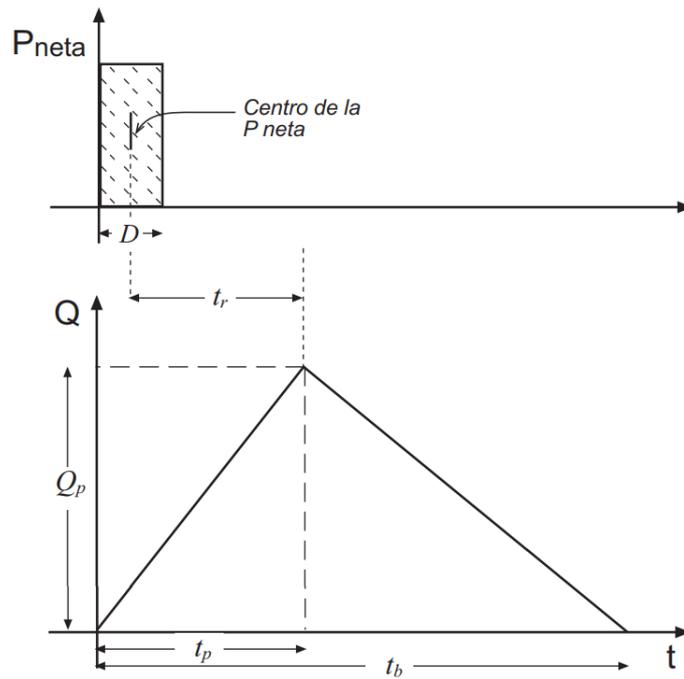


Figura 8: Diagrama del hidrograma triangular del SCS
Fuente: Sanchez, 2006

- **Tiempo de retraso**

$$t_r = 0,6 * t_c \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

t_r = Tiempo de retraso (horas)

t_c = Tiempo de concentración (horas)

- **Tiempo de la punta**

$$t_p = 0,5 * D + t_r \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

t_p = Tiempo de la punta (horas)

t_r = Tiempo de retraso (horas)

D = Duración de la precipitación (horas)

- ***Tiempo base***

$$t_b = 2,67 * t_p$$

Ecuación 4

Donde:

t_b = Tiempo base (horas)

t_p = Tiempo de la punta (horas)

- ***Caudal de la punta***

$$Q_p = \frac{P * A}{1,8 * t_b}$$

Ecuación 5

Donde:

Q_p = Caudal de la punta (m^3/seg)

t_b = Tiempo base (horas)

P = Precipitación neta (mm)

A = Superficie de la cuenca (km^2)

- ***Hidrograma adimensional del SCS***

Este hidrograma se basa en hidrograma triangular, para la elaboración de este modelo se considera que “ $Q_p=1$ ” y “ $t_p=1$ ” debido a que se considera que es ahí donde se da el mayor caudal generado tal y como se muestra en la figura 9.

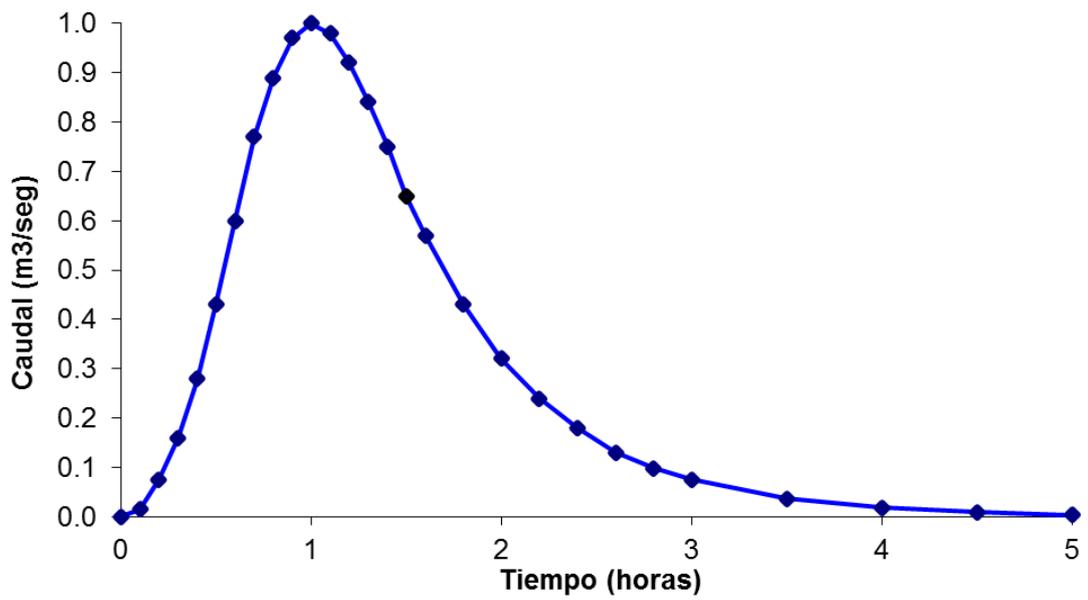


Figura 9: Diagrama del hidrograma unitario adimensional del SCS
Fuente: Sanchez, 2006

Con los datos obtenidos por el método del hidrograma triangular y las coordenadas del hidrograma adimensional se podrá obtener la gráfica del hidrograma adimensional, para la obtención de estos se utilizará los datos punta de la tabla 1.

Tabla 1*Datos punta del hidrograma adimensional*

t/ tp	Q/Qp
0	0
0,1	0,015
0,2	0,075
0,3	0,16
0,4	0,28
0,5	0,43
0,6	0,6
0,7	0,77
0,8	0,89
0,9	0,97
1	1
1,1	0,98
1,2	0,92
1,3	0,84
1,4	0,75
1,5	0,65
1,6	0,57
1,8	0,43
2	0,32
2,2	0,24
2,4	0,18
2,6	0,13
2,8	0,098
3	0,075
3,5	0,036
4	0,018
4,5	0,009
5	0,004

Fuente: Sanchez, 2006

b. Método racional

El método de racional es un método sencillo para la determinar el caudal generado por una precipitación.

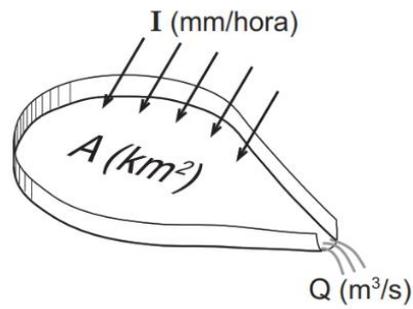


Figura 10: Estructura del Método racional
Fuente: Sanchez, 2006

$$Q = \frac{C * I * A}{3,6}$$

Ecuación 6

Donde:

Q = Caudal de la punta (m³/seg)

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de la precipitación (mm/hora)

A = Superficie de la cuenca (km²)

En caso que se un conjunto de áreas:

$$C_t = \frac{\sum(A * C)}{\sum A}$$

Ecuación 7

Donde:

C_t = Coeficiente total de escorrentía

C = Coeficiente de escorrentía

A = Superficie de la cuenca (km²)

Tabla 2
Coefficiente de escorrentía para el método racional

Cobertura del suelo	Tipo de suelo	Pendiente (%)				
		< 1	1 - 5	5 - 20	20 - 50	> 50
Sin vegetación	Impermeable	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8
	Semipermeable	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
	Permeable	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Cultivo	Impermeable	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
	Semipermeable	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
	Permeable	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65
	Semipermeable	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
	Permeable	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
Hierba	Impermeable	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
	Semipermeable	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
	Permeable	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
	Semipermeable	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
	Permeable	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25

Fuente: MTC, 2008

3.1.2. Disponibilidad del agua

El agua es un elemento esencial para la vida, por lo que es importante saber los temas de gestión de recursos hídricos, especialmente sobre los factores que condicionan el balance entre lo que es la disponibilidad y los usos del agua.

3.1.2.1. La oferta hídrica en el Perú

El Perú es uno de los países más ricos en recursos hídricos, sin embargo, solo contamos con el 0,87 de la superficie continental del planeta, el cual posee aproximadamente el 4.6 % del agua superficial del planeta.

Los problemas en si no tienen a ser su dotación, más bien se refiere a la distribución territorial, cabe indicar que también se cuenta con una deficiente

gestión. Tal como se indica en la tabla 3, se cuenta con una desproporción con la que se distribuye la oferta hídrica en el país entre las vertientes.

Tabla 3
Población, oferta hídrica y número de cuencas según vertientes

Vertiente	Agua (MMC)					%	Nro de cuencas hidrográficas (MMC)
	Población 2007	Extensión (Km ²)	Superficial (MMC)	Subterránea (MMC)	Total (MMC)		
Perú	31 488 625	1 285 215	2 042 870	2 739	2 046 287	100,0	159
Pacífico	19 476 776	279 689	34 291	2 739	37 636	1,8	62
Atlántico	10 464 635	956 751	1 998 405	-----	1 998 752	97,7	84
Titicaca	1 547 214	48 775	10 174	-----	10 174	0,5	13

Fuente: INEI, 2015

Nota: Conforme a la nueva codificación de cuencas aprobadas por la ANA. MMC: millones de metros cúbicos.

Como se logra apreciar en la anterior tabla, se observa que solo el 1.8 % del recurso hídrico disponible deberá abastecer más del 60 % de la población peruana asentada en la vertiente del Pacífico, de esta disponibilidad del recurso hídrico el 52 % se arroja al mar, mientras que del 48 % restante, solo se usa con eficiencia aproximadamente entre 25 % y 40 %. Una mala distribución y el uso ineficiente generan así uno de los más grandes retos al estado y a todos los peruanos. Cabe recalcar que el total del agua disponible en la vertiente del Pacífico, equivale a un rango de entre 7 % y 8 % son aguas subterráneas.

La posibilidad de darle uso a estas aguas resulta crítica en la costa peruana, sobre todo en zona áridas y semiáridas. Del total de 1 500 millones de m³ aforados anualmente de más de 8 mil pozos, un 66 % se otorga a lo que es agricultura, un 24 % para el consumo de la población y un 9 % para uso industrial. En departamentos

como Tacna e Ica se están dando proyectos de irrigación desarrollados exclusivamente con aguas subterráneas.

Algunas cuencas de la vertiente del Pacífico muestran valores altos en cuanto a caudal promedio anual, llegando algunos a un promedio descargas de 100 o más m^3/s ; mientras que, por ejemplo, la descarga en el departamento de Moquegua llega a apenas $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ tal y como se logra apreciar en la tabla 4.

Algunas de las cuencas se hallan en calidad de estrés Hídrico, pero su estado podrá evolucionar con el pasar del tiempo hacia la escasez de agua. Claro ejemplo si se realiza una proyección del crecimiento poblacional al año 2025, aun bajo el supuesto de que no se modifica el caudal actual de los ríos, la disponibilidad per cápita/año de la cuenca de Moquegua pasaría a la condición de escasez y mientras en otra como la de Ica su escasez pasaría a extremo.

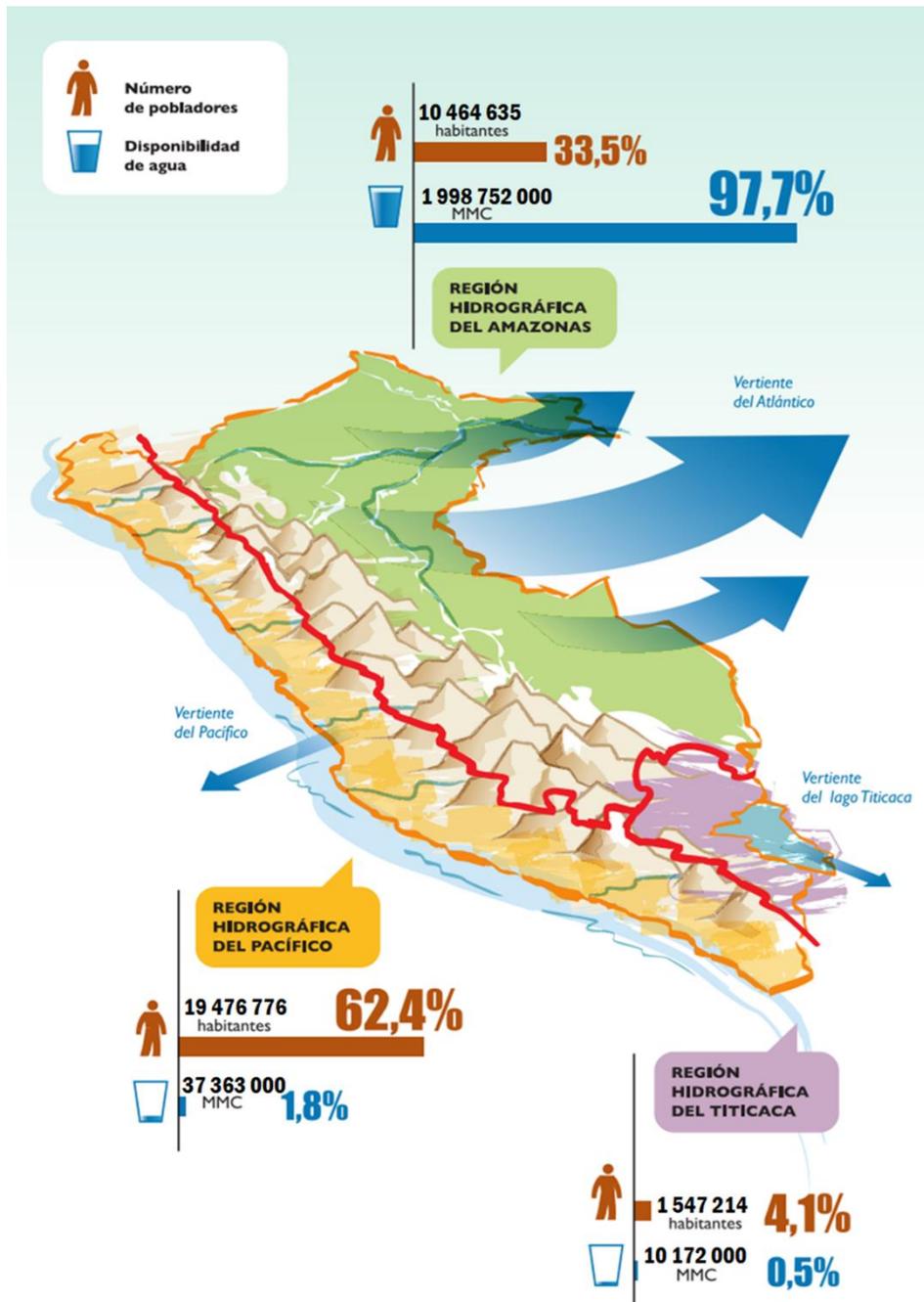


Figura 11: Disponibilidad de agua y volumen poblacional en las vertientes
Fuente: ANA, 2015

Tabla 4*Caudal y volumen anual según las cuencas de la Vertiente del Pacífico*

Cuenca	Caudal medio (m³/s)	Volumen anual (MMC)	Cuenca	Caudal medio (m³/s)	Volumen anual (MMC)
Zarumilla	4,7	148,2	Chancay Huaral	15,2	480,6
Tumbes	123,2	3 885,6	Chillón	7,2	228,0
Bocapán	2,0	62,1	Rímac	30,1	948,6
Quebrada Seca Grande	1,0	30,9	Lurín	4,3	136,2
Quebrada Honda	13,3	419,4	Chilca	0,2	6,3
Chira	1,4	42,9	Mala	16,0	504,3
Piura	99,3	3 130,3	Omas	0,8	25,2
Cascajal	37,2	1 173,1	Cañete	52,1	1 642,7
Olmos	1,2	37,8	Quebrada Topará	1,0	32,2
Motupe	0,7	22,1	San Juan	15,1	474,9
La Leche	3,4	107,2	Pisco	23,4	739,2
Zaña	5,2	163,4	Ica	5,7	180,7
Chamán	7,1	222,3	Acarí	12,7	400,8
Jequetepeque	0,4	12,6	Yauca	9,7	306,5
Chicama	31,8	1 001,6	Chala	0,2	6,3
Moche	21,5	676,8	Chaparra	0,5	15,8
Virú	8,2	258,6	Choclón	1,0	31,9
Huamansaña	3,6	112,3	Atico	0,1	3,2
Santa	2,9	92,1	Caravelí	0,2	6,3
Lacramarca	177,3	5 591,6	Ocoña	100,5	3 168,7
Nepeña	0,1	3,2	Camaná	68,0	2 145,4
Casma	3,3	104,4	Chili	15,6	492,0
Culebras	5,8	184,2	Tambo	35,3	1 113,5
Huarmey	0,5	15,8	Moquegua	1,8	56,8
Fortaleza	5,4	171,6	Locumba	2,7	83,6
Pativilca	5,8	182,9	Sama	2,1	67,2
Supe	44,4	1 399,6	Caplina	1,5	47,9
Huaura	2,4	76,3	Uchusuma	1,2	37,8
	27,4	864,7	Hospicio	0,6	19,6

Fuente: ANA, 2013

Además, en la vertiente del Pacífico, como consecuencia de la mala distribución de agua, las variaciones estacionales y las características de la concentración poblacional, los casos de escasez pudiendo llegar a ser extremas se localizan en cuencas de la costa central y sur; mientras que las condiciones de la

costa norte en conjunto son relativamente mejores, presentándose solamente algunos casos de cuencas con estrés hídrico.

En la vertiente del Atlántico, debido a que cuenta con una baja densidad poblacional y teniendo con un buen caudal en los ríos, la oferta hídrica de las cuencas es elevada. Las cuencas amazónicas más grandes se caracterizarán más que todo por su longitud, su elevado caudal de los ríos y sus condiciones de fácil navegación de sus ríos principales. A su vez existen otros parámetros los cuales contribuyen a acentuar las cuencas acerca de la disponibilidad de los recursos hídricos en las distintas vertientes. La reducción del agua tanto en calidad como en cantidad, sería un claro efecto de otros factores tales como la creciente tala de bosques amazónicos y del impacto del cambio climático en esta vertiente.

3.1.2.2. Los glaciares andinos

El valor de los glaciares andinos se asocia a la influencia de este sobre el sistema hidrológico nacional, debido a que el deshielo de estos produce agua, los cuales nos ayuda a proveer con mayores recursos hídricos para así poder satisfacer la demanda poblacional.

En la actualidad nuestro país cuenta con 19 cordilleras nevadas, en las cuales se muestran un total de 2 679 glaciares sobre una superficie de 1 298,59 km²; siendo las cordilleras de mayor extensión La Cordillera Blanca (ubicada en los Andes del Norte), Vilcanota y Vilcabamba (ubicada en los Andes del Centro). La

altitud mínima de los glaciares contabilizados tiene una altitud mayor a 4 000 m.s.n.m.

La distribución de las 19 cordilleras en los Andes del Perú se puede apreciar en la tabla 5, cabe indicar que la cordillera más alta es la del Huascarán alcanzando una altura de 6 746 msnm, además de ser una de las de ser una de las más extensas contando con una extensión de 3 400 km².

Tabla 5
Distribución de las cordilleras en los Andes del Perú

Ubicación	Grupo de cordilleras
Norte	Cordilleras Blanca, Huayhuash y Huallanca (Áncash, Huánuco y Lima).
	Cordillera Raura (Lima, Huánuco y Pasco).
	Cordilleras La Viuda, Central o Pariahuanca (Lima, Junín y Huancavelica).
Centro	Cordillera Huaytapallana (Junín).
	Cordillera Chonta (Huancavelica).
Sureste	Cordilleras Vilcabamba, Urubamba, Vilcanota y La Raya (Cuzco y Puno).
	Cordilleras de Apolobamba y Carabaya (Puno).
	Cordillera Huanzo (Arequipa, Apurímac y Ayacucho).
Suroeste	Cordillera Ampato (Arequipa y Ayacucho).
	Cordilleras Volcánica y Shila (Arequipa)

Fuente: ANA, 2007

Es habitual indicar que los glaciares proveen de agua las ciudades de la sierra como Huaraz y de la costa como los departamentos de Chimbote, Lima y Chimbote, pero lo que muchos no mencionan es que es que los glaciares andinos también dotan de agua a las cuencas amazónicas.

3.1.2.3. Actividades productivas y usos diversos del agua

El uso del agua en el Perú se da generalmente de manera ineficiente. La población usa el recurso tanto para el ámbito doméstico, así como también para las actividades

económicas. Ambos usos mencionados son abastecidos por las cuencas que a su vez tienen como función importante alimentar los servicios ecosistémicos incluyendo el suministro de alimentos y otros bienes. Esta parte de la investigación trata a las cuencas como espacios productivos, por las modalidades de uso consuntivo del agua, se identifican dos modos: el primero se refiere al uso agrícola, teniendo en cuenta que la agricultura es la principal actividad productora de alimentos, pero a su vez el uso que el recurso hídrico tiende a consumir, esto conlleva que en la mayoría de casos se produzcan problemas de eficiencia; mientras el segundo uso se refiere al uso minero, siendo este el que mayor impacto genera en el ambiente y sobre la calidad y disponibilidad de agua.

3.1.2.4. Uso consuntivo del agua

La distribución del agua en nuestro país para la población y sus actividades económicas se ha instaurado en función a la demanda en las cuencas, esto se puede apreciar en la tabla 6. Si bien el mayor uso del recurso hídrico se brinda al sector agrícola, el constante crecimiento poblacional, las expansiones urbanas, así como el aumento significativo del sector minero, condicionan a un aumento de la demanda sobre este recurso.

Tabla 6
Uso consuntivo del agua por sectores

Vertiente	Población		Agrícola		Industria		Minero		Total	No consuntivo
	MMC	%	MMC	%	MMC	%	MMC	%	MMC	MMC
Perú	2 458	12,25	16 058	80,00	1 155	5,75	401	2,00	20 072	11 139
Pacífico	2 086	11,89	14 051	80,10	1 103	6,29	302	1,72	17 542	4 245
Atlántico	345	14,16	1 946	79,85	49	2,01	97	3,98	2 437	6 881
Titicaca	27	29,03	61	65,59	3	3,23	2	2,15	93	13

Fuente: ANA, 2015

Según los datos brindados por la ANA, el consumo total de este recurso hídrico representa apenas el 1 % de la disponibilidad total, por lo que el problema no sería un tema “estrés hídrico”; sino la mala distribución por las instituciones competentes, además como aprecia en la tabla 6, más del 80 % de la población se encuentra en vertiente del Pacífico el cual solo dispone con el 1.8 % del total de agua dulce.

En esa vertiente se encuentran las cuencas con mayor demanda del recurso hídrico, donde en su mayoría está destinado para el uso agrícola, excepto en la cuenca del Rímac puesto que esa es una zona donde la mayor parte del agua se destina para el uso doméstico e industrial.

a. Uso agrícola del agua

En lo que respecta al uso del agua en el sector agrícola, la más favorecida absolutamente es la región de la costa. Los valles costeros pertenecen a las cuencas de la vertiente del Pacífico. Un claro ejemplo son los datos emitidos por la ANA el cual indica que al 2015 en la costa cerca del 84 % del total del sector agrícola se encuentra bajo un sistema de riego, siendo la costa norte del país la zona más beneficiada. Por otro lado, la región de la sierra posee solo 50 % de su sector agrícola bajo los efectos del riego, mientras la región de la selva apenas llega al 7 %.

Este desbalance de la distribución del agua se dio en las primeras décadas del siglo XX bajo la idea de potenciar la agricultura en la costa, dejando de lado la

sierra; desde un punto de vista económico, en la región de la costa se invierte más de 2/3 del presupuesto nacional destinado a infraestructuras de riego. Esta idea no ha tomado en cuenta que los valles costeros se encuentran abastecidos por cuencas cuyas zonas altas se encuentran la región de la sierra; el no analizar el origen de las cuencas en ha implicado dejar de lado las zonas altas y buscar de desarrollo con las zonas bajas o valles.

El fenómeno del niño es la causa primordial de las variaciones de caudal, siendo estas las que definen el régimen hidrológico, este fenómeno se debe al incremento de las precipitaciones; afectando la costa norte del país, empezando desde el valle de Tumbes has las cuencas de los valles Virú y Chao en la región de la Libertad. Las continuas lluvias y desbordes de los ríos constituyen un factor crítico en los reservorios de la costa, debido a que esto no cuenta con un mantenimiento adecuado reduciendo así la capacidad de la infraestructura siendo en la mayoría de casos el proceso de colmatación un factor importante.

También existen otros problemas en manejo del recurso hídrico, un claro ejemplo es la presencia de grandes proyectos productivos en la zona norte de la región de la cosa las cuales generan biocombustibles y la siembra de algunos cultivos los cuales significan un incremento considerable de la demanda del agua y, esto implica una menor disponibilidad de agua para otros cultivos.

b. Uso minero del agua

El sector minero consume el 2 % del uso consuntivo total del recurso hídrico del país. Por sus características, la minería abarca dos elementos fundamentales y escasos en los lugares donde se realizan estas actividades: el primero es sobre las tierras, esto se debe que la minería tiene a usar grandes extensiones, esto se realiza por medio de las concesiones o la compra de los yacimientos; y la segunda es sobre los recursos hídricos, si bien es importante indicar que las cantidades que usan son relativamente bajas, este sector de la minería tiende a dejar un alto impacto generado a nivel regional o local. El crecimiento del sector minero en nuestro país, se ha dado de manera considerable por ejemplo hasta el año 1991 se había concedido 2,26 millones de hectáreas; pero al año 2014 se han concedido 25,98 millones de hectáreas.

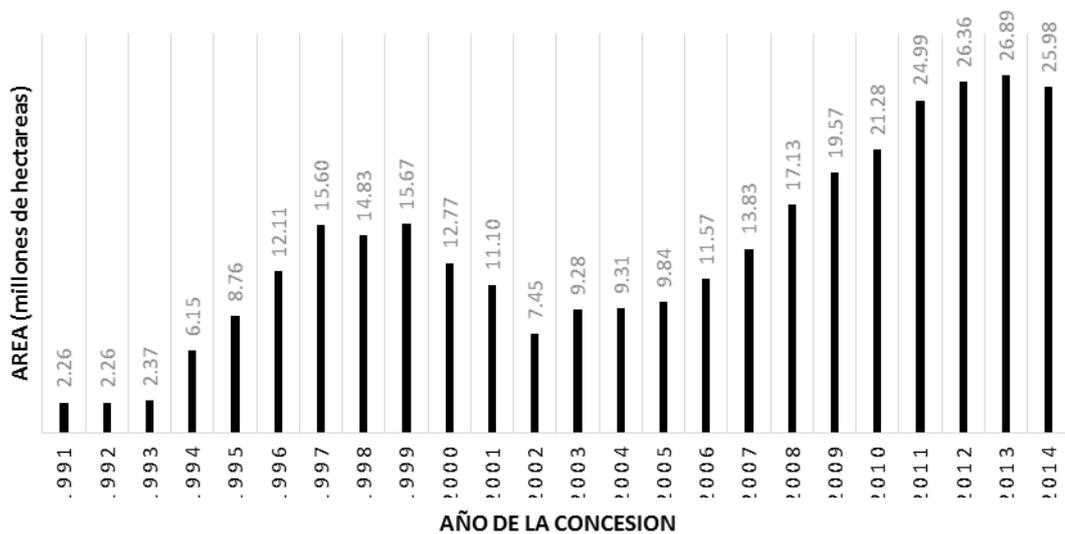


Figura 12: Evolución de las concesiones mineras en el Perú
Fuente: INGEMMET, 2014

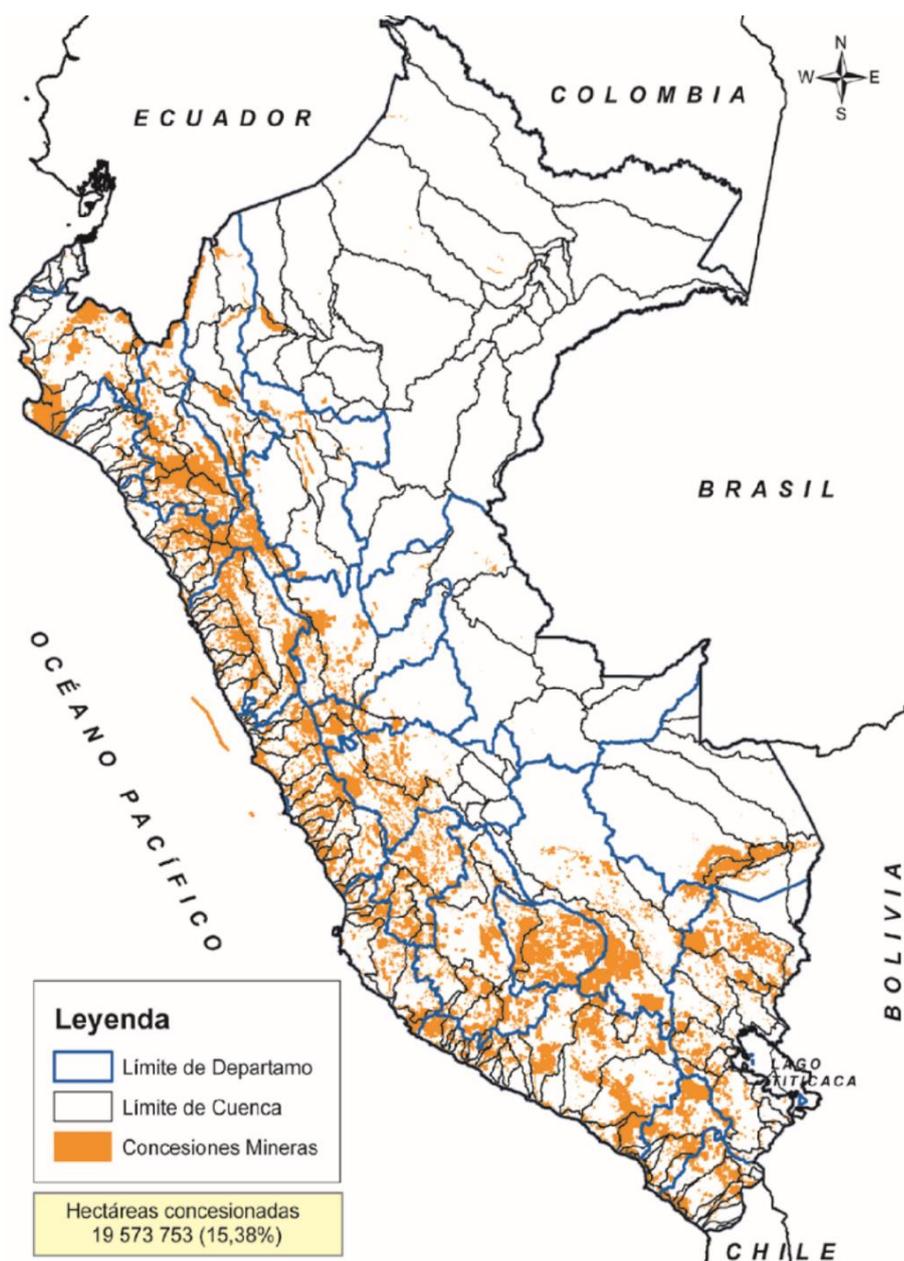


Figura 13: Concesiones mineras al 2012
Fuente: CooperAcción, 2012

3.1.2.5. Criterio de usos del agua destinado a actividades económicas

Como se indicó anteriormente, el uso del agua para la agricultura es muy superior a comparación de las demás actividades; por lo que se podría decir que las cuencas son “mayoritariamente agrarias”. Este mayor uso del agua centrado en el sector agrícola, puede también ser un reflejo claro de los sistemas de riego poco eficientes,

o cédulas de cultivo que demandan una gran cantidad de recursos hídricos. En la tabla 7 la ANA nos indica el porcentaje del uso del agua destinado al sector agrícola, a su vez nos señala que en una gran parte de las cuencas de la vertiente del Pacífico la agricultura consume agua una gran parte del recurso hídrico; a tal punto que en siete cuencas más del 95 % de agua está destinado para las actividades agrícolas.

Tabla 7

Usos del agua con fines agrarios en la vertiente del Pacífico

Cuencas	Proporción del agua disponible total
Zaña	
Huaura	
Chancay-Huaral	
SanJuan-Pisco	Más de 95 %
Grande	
Acarí-Yauca-Chala	
Tambo	
Zarumilla	
Chira	
Piura	
Jequetepeque	Entre 90 % y 95 %
Chicama	
Pativilca-Supe	
Mala-Cañete	
Atico-Caravelí-Ocoña	
Moche-Virú	
Olmos-Motupe	
Chancay-Lambayeque	Entre 80 % y 90 %
Santa-Lacramarca	
Ica	
Moquegua	
Casma-Huarmey	
Camaná-Chili	
Locumba-Sama	Entre 60 % y 80 %
Caplina-Ichusuma	
Lurín-Rómac-Chillón	

Fuente: INADE, 2011

3.1.2.6. Sistemas de riego

Un sistema de riego es un conjunto de estructuras el cual tiene como función principal dotar de recurso hídrico sobre las zonas de cultivo, este conjunto de estructuras tiende a variar con el tipo de sistema que se vaya a utilizar. Con el pasar de los años los sistemas de riego han jugado un rol importante en el desarrollo del sector agrícola.

a. Tipos de sistema de riego

- ***Riego por superficie***

Mueve el agua por acción de la gravedad, no hace el uso de la energía extra debido a la pendiente del suelo.

- ***Riego por aspersión***

En este método se aplica el agua en forma de lluvia, este se usa mayormente cuando se tiene que abastecer grandes extensiones de tierra, esto se realiza mediante el uso de aspersores. Este proceso consiste en pulverizar el chorro de agua, cayendo sobre el suelo en forma de pequeñas gotas, simulando una lluvia.

- ***Riego por goteo***

Este sistema se caracteriza por optimizar los recursos, este medio consume pequeños caudales a baja presión. Este sistema se transporta por medio de tuberías las cuales cuentan con agujeros los cuales abastecen de recurso hídrico de manera directa hacia la raíz de los cultivos. Es el sistema de riego más eficiente, ya que mantiene un constante nivel de humedad en el suelo.

- ***Riego subterráneo***

Es un sistema de riego moderno, consiste en enterrar tuberías a una profundidad entre 5 y 50 cm, garantizándonos de esa manera menos pérdida del recurso hídrico, además su duración es mayor debido a que este sistema no está a la intemperie.

3.1.2.7. Diseño sistema de riego por aspersión

a. Diseño agronómico

- ***Evapotranspiración potencial***

$$ETP = MF * TMF * CH * CE \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)

MF = Factor mensual de latitud

TMF = Temperatura media mensual (°F)

CH = Factor de corrección para la humedad relativa

CE = Factor de corrección para la altura

- ***Factor corrección para humedad relativa***

$$CH = 0,166 * \sqrt{100\% - HR} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

CH = Factor corrección para humedad relativa

HR = Humedad Relativa media relativa (%)

- ***Factor de corrección para altura***

$$CE = 1 + 0,04 \left(\frac{E}{2000} \right) \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

CE = Factor corrección para altura

E = Altitud del lugar (m.s.n.m.)

- ***Evapotranspiración actual***

$$ETA = k * ETP \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

ETA = Evapotranspiración actual (mm/mes)

k = Factor de relación agua-suelo-cultivo

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)

- ***Factor de relación agua-suelo-cultivo***

$$k = kc * kh * ks \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

k = Factor de relación agua-suelo-cultivo

kc = Factor de cultivo

kh = Factor de humedad

ks = Factor de suelo

- ***Precipitación efectiva***

Si “ $P \geq 75$ mm/mes”:

$$PE = 0,8 * P - 25 \quad \text{Ecuación 13}$$

Si “ $P < 75$ mm/mes”:

$$PE = 0,6 * P - 10 \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

P = Precipitación mensual (mm/mes)

PE = Precipitación efectiva (mm/mes)

- ***Demanda de agua de los cultivos***

$$DA = ETA - (PE + CA + N) \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

DA = Demanda de agua de los cultivos (mm/día)

ETA = Evapotranspiración actual (mm/mes)

PE = Precipitación efectiva (mm/mes)

CA = Diferencia entre la capacidad de almacenamiento de humedad (mm/mes)

N = Aporte del nivel freático (mm/mes)

- ***Caudal máximo necesario***

$$Qt = DA * A * n \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

Qt = Caudal máximo necesario (m³/día)

DA = Demanda de agua de los cultivos (mm/día)

A = Área a cultivar (hect)

N = Eficiencia de diseño

b. Diseño hidráulico

• **Número de laterales por riego**

$$N = \frac{Sr}{L * S} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

N = Número de tuberías laterales

Sr = Superficie de riego (m²)

L = Longitud de tubería lateral (m)

S = Separación entre tuberías laterales

• **Número de aspersores por lateral**

$$N = \frac{L}{Sa} + 1 \quad \text{Ecuación 18}$$

Dónde:

n = Número de aspersores por lateral

L = Longitud de tubería lateral (m)

Sa = Separación entre aspersores (m)

• **Caudal requerido**

$$Ql = Qa * N * n \quad \text{Ecuación 19}$$

Dónde:

Ql = Caudal requerido por todas las tuberías laterales (l/s)

Qa = Caudal de cada emisor o aspersor (l/s)

N = Número de tuberías laterales

n = Número de aspersores por tubería lateral

- **Tipo de riego**

$$Tr = \frac{Qr}{Qtl} \quad \text{Ecuación 20}$$

Dónde:

Tr = Tiempo de riego (h)

Qr = Máximo caudal necesario (m³/día)

Qtl = Caudal requerido por todas las tuberías laterales (m³/h)

- **Diámetro interno de la tubería**

$$Di = \left(\frac{3157 * Ql^{1,852} * L}{C^{1,852} * hf} \right)^{0,2053} \quad \text{Ecuación 21}$$

Dónde:

hf = Pérdidas de presión en la tubería principal (m.c.a.)

Ql = Caudal requerido por todas las tuberías laterales (l/h)

L = Longitud de la tubería Principal (m)

C = Constante (C=150 para tubería HDPE)

Di = Diámetro interno de la tubería principal (mm)

- ***Pérdidas de carga por fricción***

$$hf = \frac{3157 * Q^{1,852} * L}{C^{1,852} * D^{4,869}}$$

Ecuación 22

Dónde:

hf = Pérdidas de presión en la tubería principal (m.c.a.)

QtI = Caudal requerido por todas las tuberías laterales (l/h)

L = Longitud de la tubería Principal (m)

C = Constante (C=150 para tubería HDPE)

Di = Diámetro interno de la tubería principal (mm)

- ***Coficiente de salidas múltiples***

$$F = \frac{0,351}{2 * n} + \frac{0,154}{n^2}$$

Ecuación 23

Dónde:

F = Factor de Christiansen

n = Número de salidas que tiene tubería lateral 10

- ***Pérdida de carga efectiva***

$$hfe = hf * F$$

Ecuación 24

Dónde:

hf = Pérdidas de presión en tubería lateral (m.c.a.)

hfe = Pérdida de presión efectiva (m.c.a.)

F = Factor de Christiansen

- ***Presión en el extremo lateral***

$$P_f = P_i - h_{fe} \quad \text{Ecuación 25}$$

Dónde:

P_f = Presión final de la tubería lateral (m.c.a.)

P_i = Presión inicial de la tubería lateral (m.c.a.)

h_{fe} = Pérdida de presión efectiva (m.c.a.)

- ***Presión total***

$$P_t = P_a + 10\%L \quad \text{Ecuación 26}$$

Dónde:

P_t = Presión total (m.c.a.)

P_a = Presión del aspersor (m.c.a.)

L = Longitud de la tubería (m)

3.1.3. Usos del suelo

Las características de los suelos, tanto su uso como las condiciones son aspectos muy importantes a la hora de realizar estudios sobre la escorrentía generada en una cuenca, debido a que nos ayudara al cálculo de la precipitación efectiva.

3.1.3.1. Método de número de curva

Este método al igual que los anteriores fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SGS). Ese método es uno de los más utilizados para evaluar el ciclo de precipitación-escorrentía.

3.1.3.2. Precipitación efectiva

La precipitación efectiva es siempre menor o igual a la precipitación inicial, debido a que una determinada cantidad de la precipitación quedara retenida en la cuenca.

$$Pe = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{P + 0,8 * S} \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

Pe = Precipitación efectiva (mm)

P = Precipitación (mm)

S = Capacidad de retención potencial (mm)

3.1.3.3. Máxima infiltración potencial

Es la diferencia entre la precipitación y la precipitación efectiva, el cual representa la pérdida de la escorrentía ocasionada por la infiltración.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

S = Máxima infiltración potencial

CN = Número de curva

3.1.3.4. Número de curva

Es la capacidad de retención que tiene la zona, esto estará en función Para poder hallar la precipitación efectiva, este valor formulado estará en función al uso del suelo. Este valor está en un rango de 100 a 0, donde 100 indica que el 100 % de la precipitación se convertirá en escorrentía directa, mientras el 0 indica que el 100 % de la precipitación se infiltra en el suelo.

El número de curva estará en función al grupo hidrológico del suelo, el cual divide al suelo en cuatro grupos (A, B, C y D) tal y como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8
Grupos hidrológicos del suelo

Grupo hidrológico	Infiltración	Características	Textura
A	Rápida	Capacidad de infiltración > 76 mm/h	Arenas y grava excesivamente drenadas
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76 - 38 mm/h	Texturas medias
C	Lenta	Capacidad de infiltración 38- 13 mm/h	Textura fina o suelos con una capa que impide el drenaje hacia abajo
D	Muy lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h	Suelos de arcillas hinchadas o compactas o suelos poco profundos sobre capas impermeables

Fuente: SCS, 1986

Luego de haberse seleccionado de acuerdo al grupo hidrológico, se tiene que asignar un número de curva, de acuerdo a la tabla 9.

Tabla 9
Estimación de los números de las curvas de escorrentía

Uso de la tierra o cubierta	Tratamiento o práctica	Condiciones hidrológicas	Grupo hidrológico			
			A	B	C	D
Barbecho	Hilera recta	Deficiente	77	86	91	94
	Hilera recta	Deficiente	72	81	88	91
	Hilera recta	Buena	67	78	85	89
Cultivos en líneas	Por líneas de nivel	Deficiente	70	79	81	88
	Por líneas de nivel	Buena	65	75	82	86
	Terrazas a nivel	Deficiente	66	74	80	82
	Terrazas a nivel	Buena	62	71	78	81
	Hilera recta	Deficiente	65	76	84	88
	Hilera recta	Buena	63	75	83	87
	Por líneas de nivel	Deficiente	63	74	82	85
Granos pequeños	Por líneas de nivel	Buena	61	73	81	85
	Terrazas a nivel	Deficiente	61	72	79	82
	Terrazas a nivel	Buena	59	70	78	81
	Hilera recta	Deficiente	66	77	85	89
	Hilera recta	Buena	58	72	81	85
	Por líneas de nivel	Deficiente	64	75	83	85
Leguminosa muy densas o praderas en rotación	Por líneas de nivel	Buena	55	69	78	83
	Terrazas a nivel	Deficiente	63	73	80	83
	Terrazas a nivel	Buena	51	67	76	80
	Deficiente	68	79	86	89	
Pastos	Regular	49	69	79	84	
	Buena	39	61	74	80	
	Por líneas de nivel	Deficiente	47	67	81	88
	Por líneas de nivel	Regular	25	59	75	83
	Por líneas de nivel	Buena	6	35	70	79
	Buenas	30	58	71	78	
	Deficiente	45	66	77	83	
Bosques	Regular	36	60	73	79	
	Buena	25	55	70	77	
	Granjas	59	74	82	86	
Carreteras sin afirmar	72	82	87	89		
Carreteras afirmadas	74	84	90	92		

Fuente: SCS, 1986

3.2.Caso práctico

3.2.1. Cálculo de caudal máximo de esorrentía

- Calcular los parámetros morfológicos de la cuenca.
- Calcular el caudal máximo de esorrentía de las cuencas por el Método de hidrograma triangular.
- Calcular el caudal máximo de esorrentía de las cuencas por el Método de hidrograma adimensional.
- Calcular el caudal máximo de esorrentía de las cuencas por el Método racional.
- Calcular el caudal máximo de esorrentía de las cuencas por el Método número de curva.

3.2.1.1. Cálculo de los parámetros morfológicos de la cuenca

Para el cálculo de estos parámetros se hizo el uso del software ArcGIS V10.3, para esto se hizo una secuencia del paso a paso del cómo se ha ido modelando las cuencas en el programa. Para empezar, se necesitó una carta nacional el cual se pudo descargar de la página de la Ministerio de Educación, luego se procederá a seguir la secuencia de las siguientes figuras.

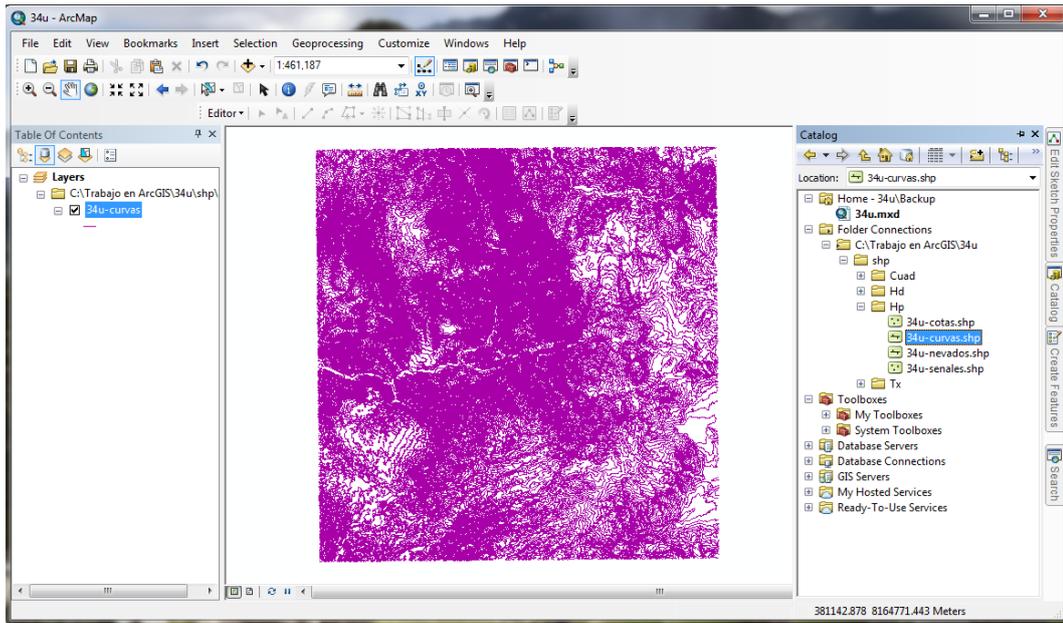


Figura 14: Archivo de curvas de nivel de la carta nacional
Fuente: Elaboración propia

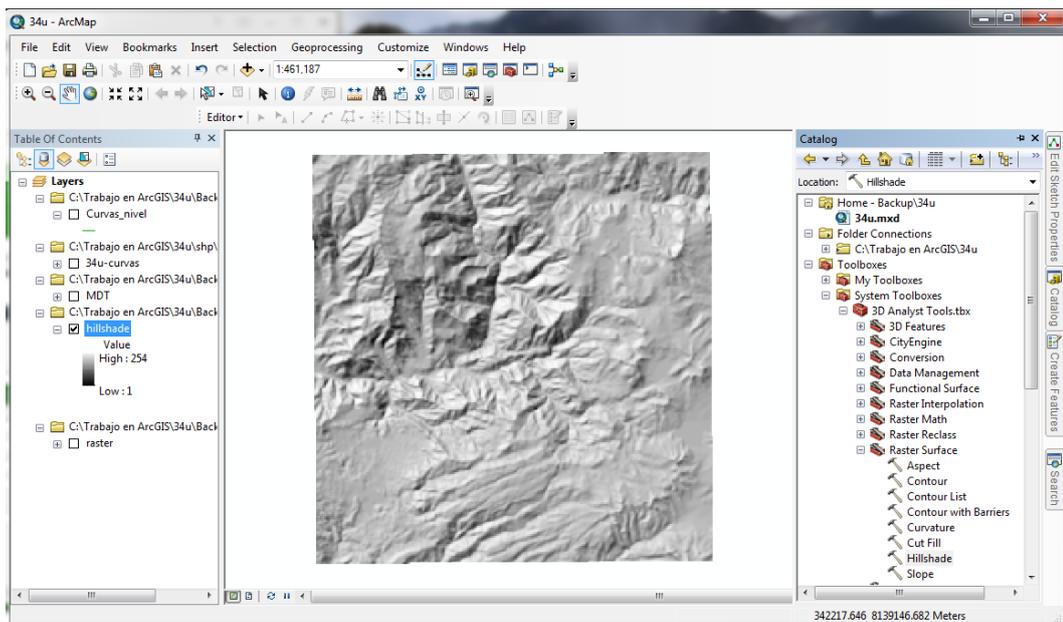


Figura 15: Vista de la zona en relieve
Fuente: Elaboración propia

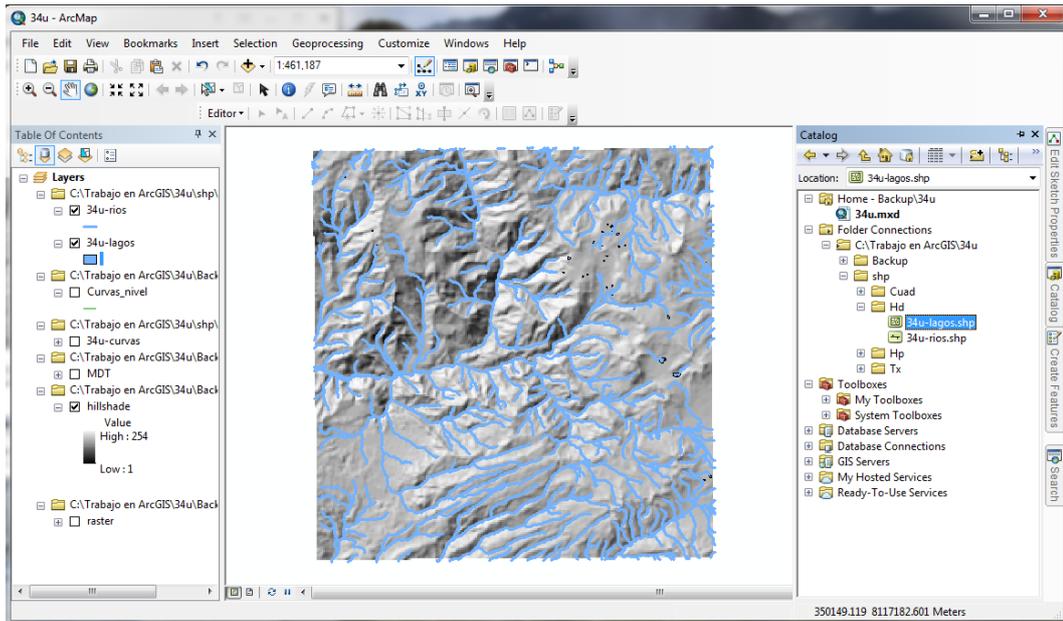


Figura 16: Importación de los ríos y lagos
Fuente: Elaboración propia

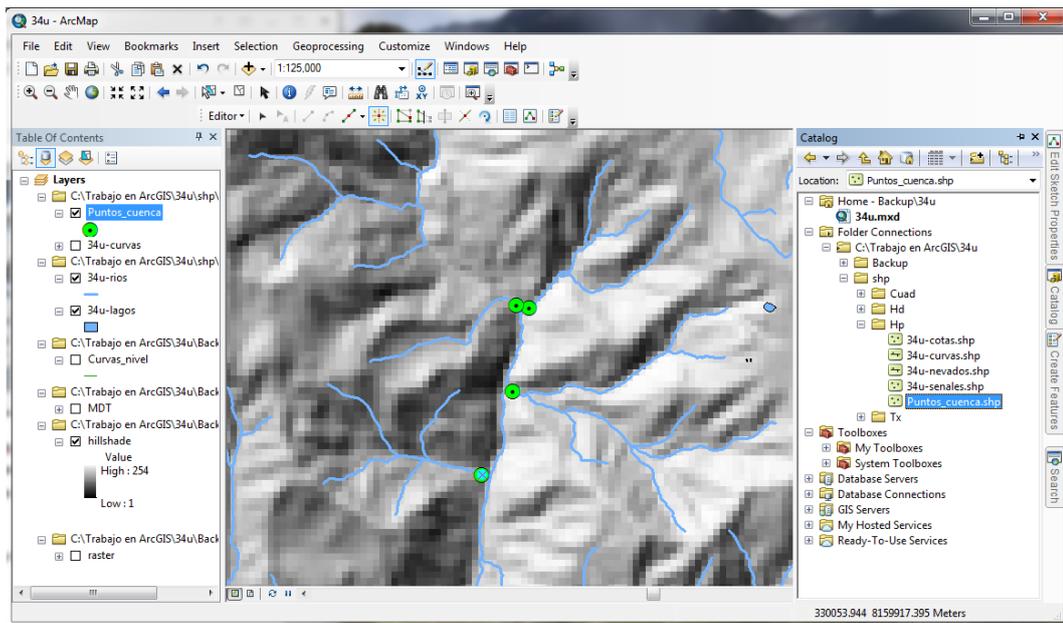


Figura 17: Fijación de los puntos de salida
Fuente: Elaboración propia

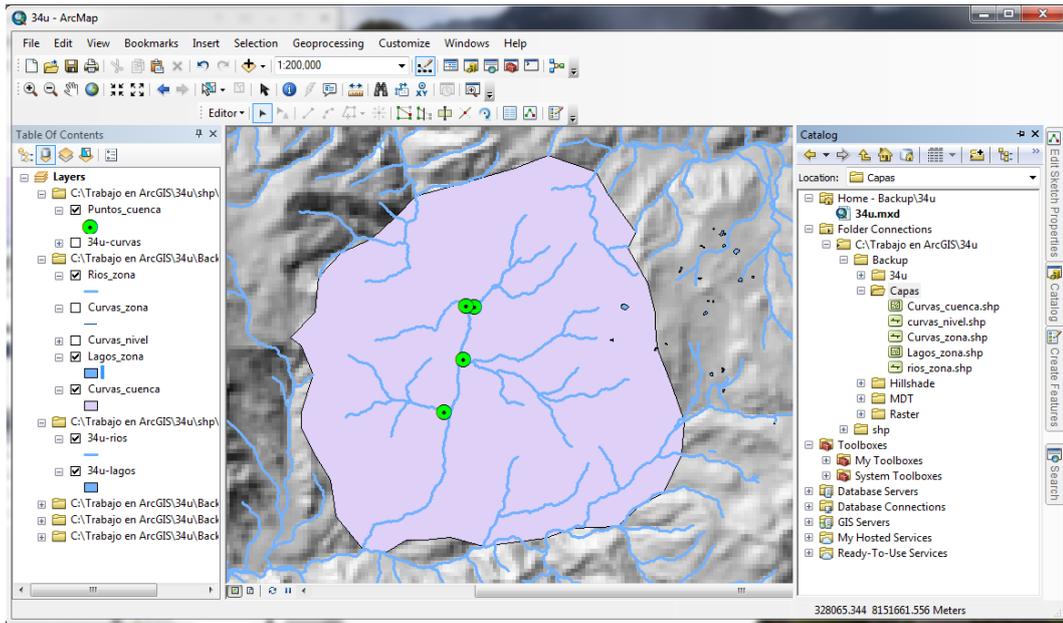


Figura 18: Delimitación de la zona de trabajo
Fuente: Elaboración propia

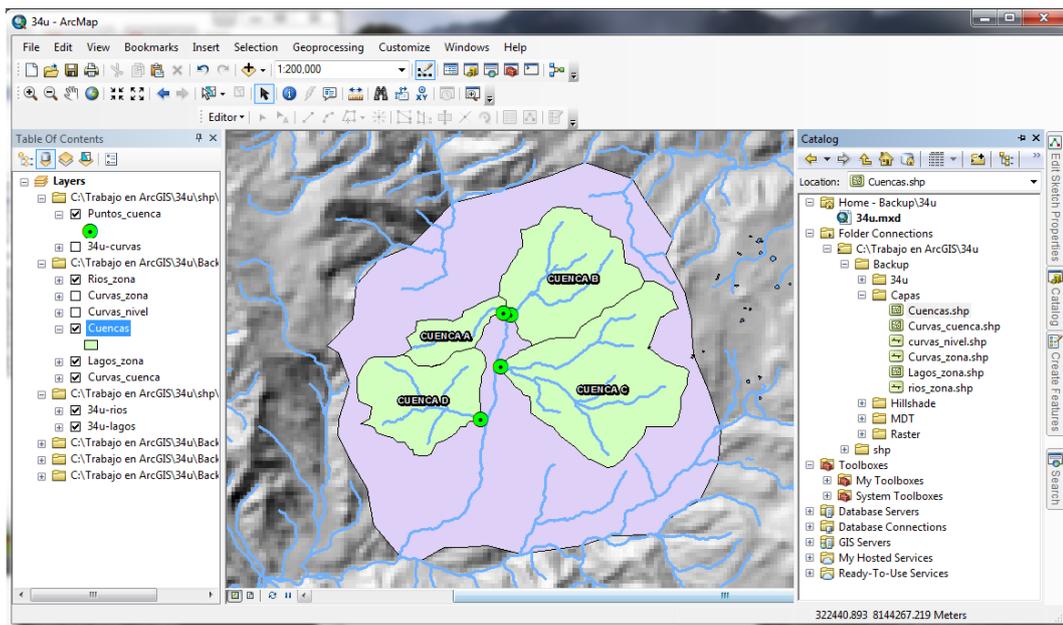


Figura 19: Delimitación de las cuencas
Fuente: Elaboración propia

a. Área y perímetro de la cuenca

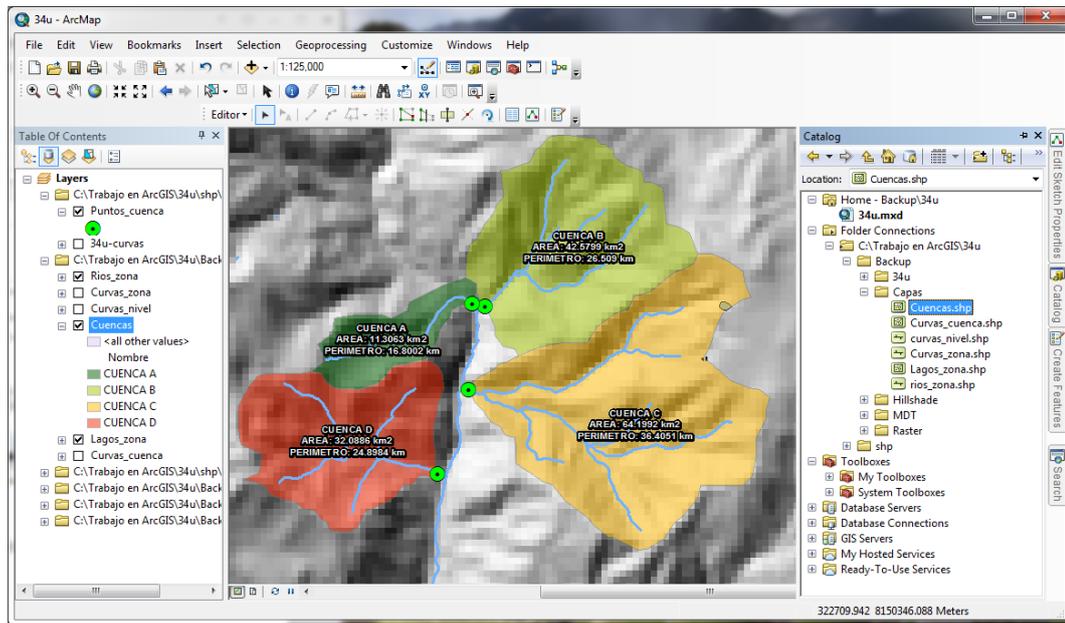


Figura 20: Áreas y perímetro de las cuencas
Fuente: Elaboración propia

b. Longitud del cauce

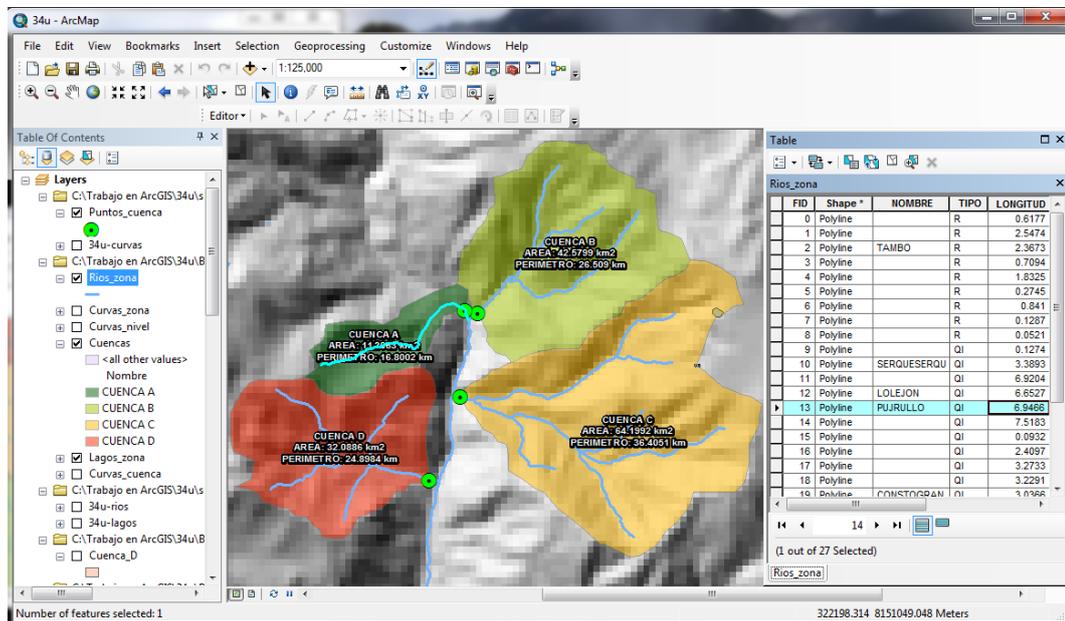


Figura 21: Longitud del cauce principal de la cuenca A
Fuente: Elaboración propia

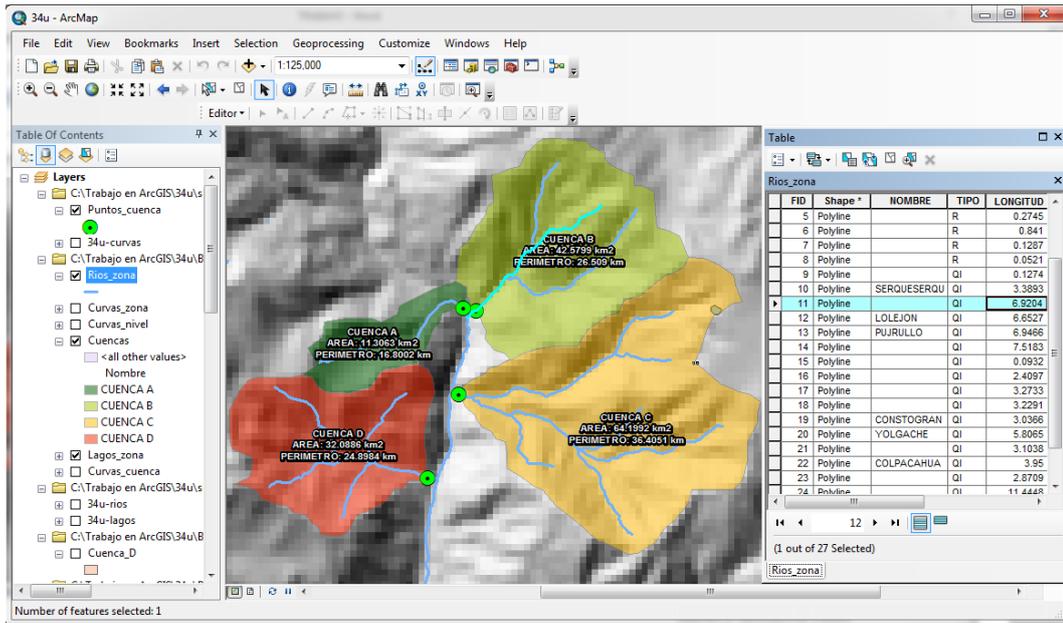


Figura 22: Longitud del cauce principal de la cuenca B
Fuente: Elaboración propia

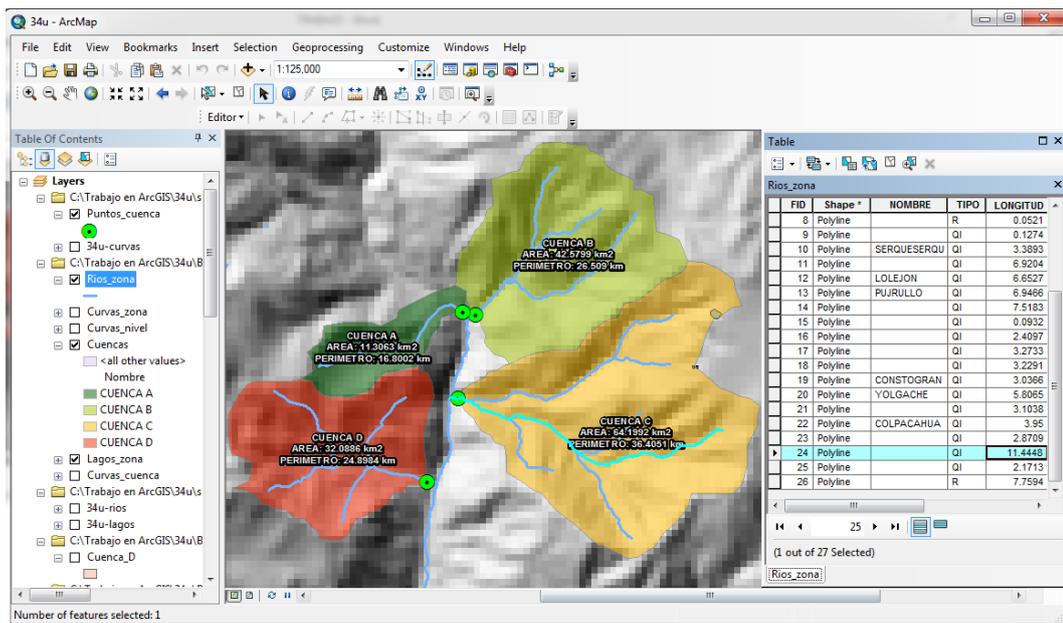


Figura 23: Longitud del cauce principal de la cuenca C
Fuente: Elaboración propia

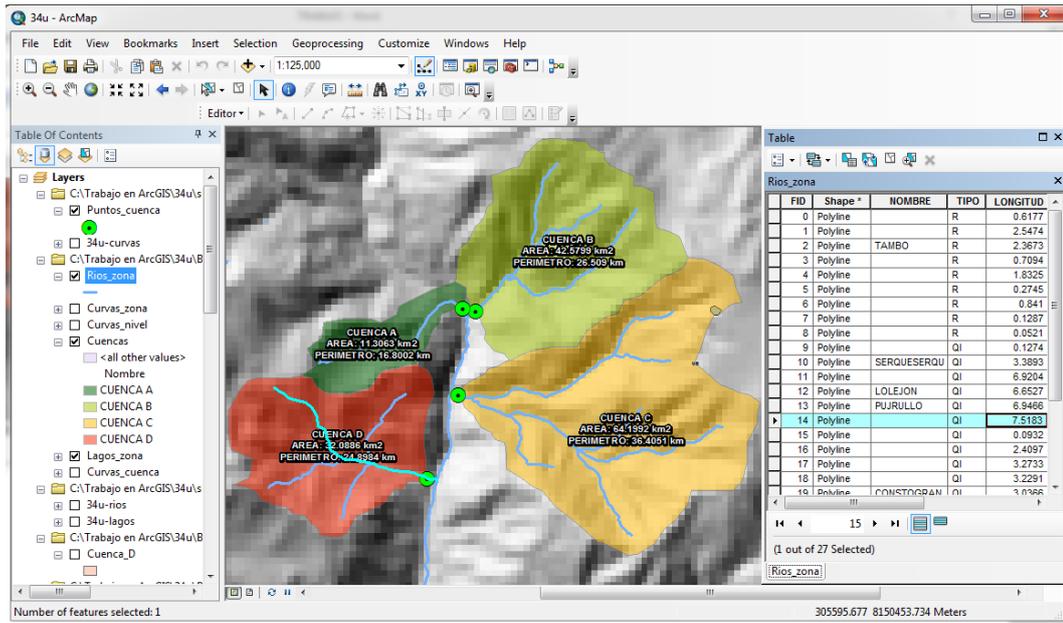


Figura 24: Longitud del cauce principal de la cuenca D
Fuente: Elaboración propia

c. Altura máxima y mínima en las cuencas

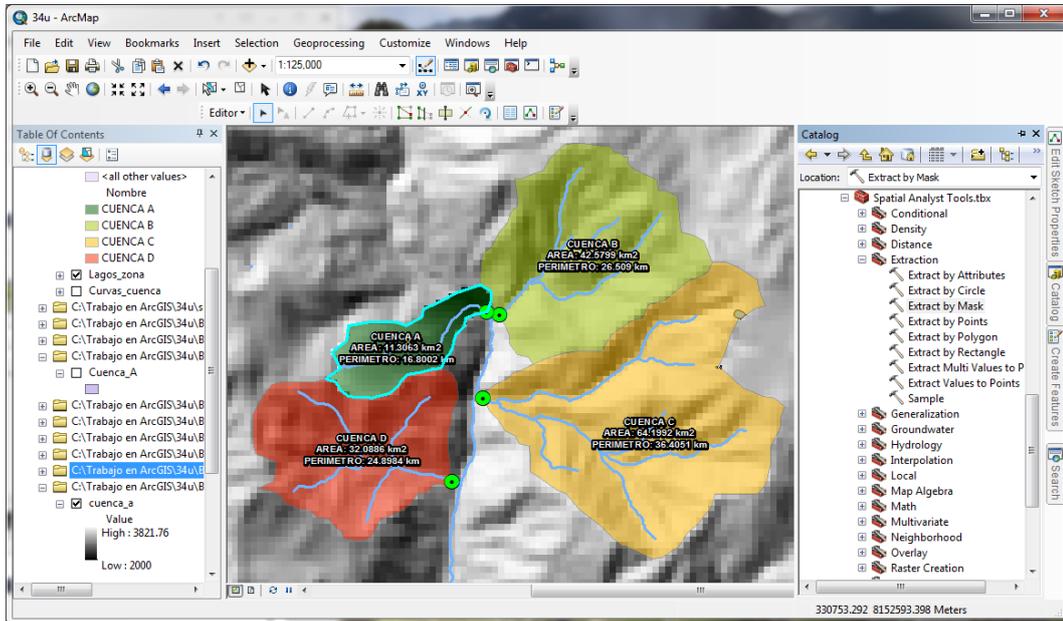


Figura 25: Altura máxima y altura mínima de la cuenca A
Fuente: Elaboración propia

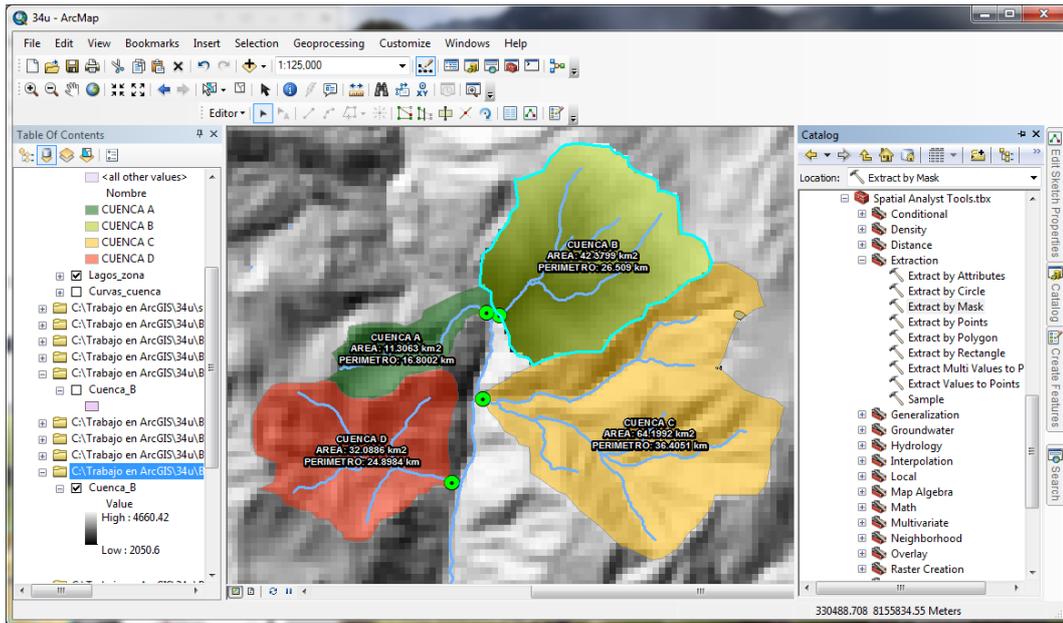


Figura 26: Altura máxima y altura mínima de la cuenca B
Fuente: Elaboración propia

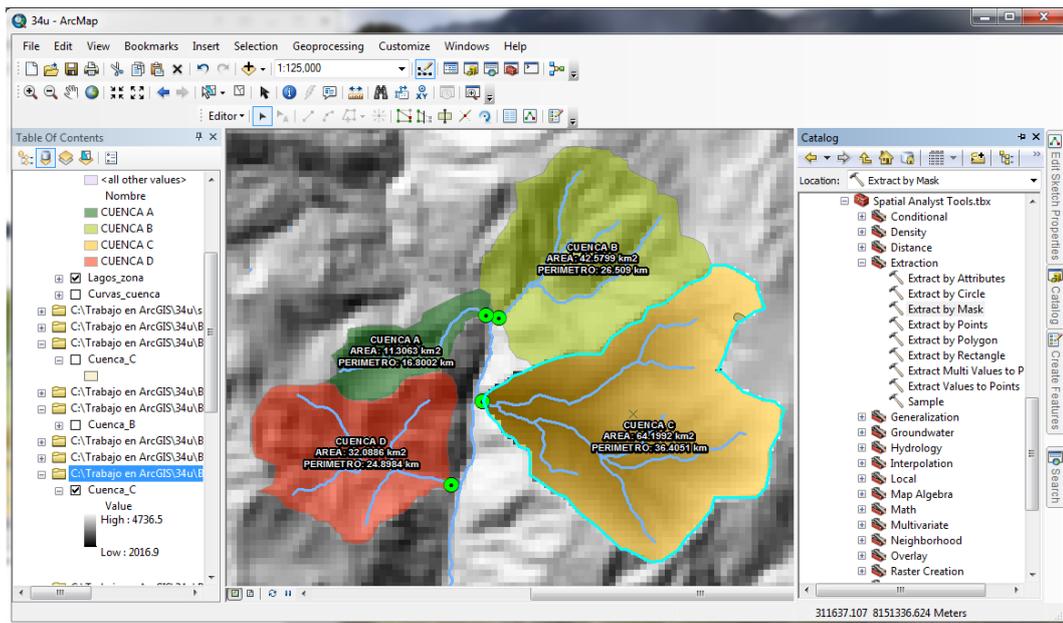


Figura 27: Altura máxima y altura mínima de la cuenca C
Fuente: Elaboración propia

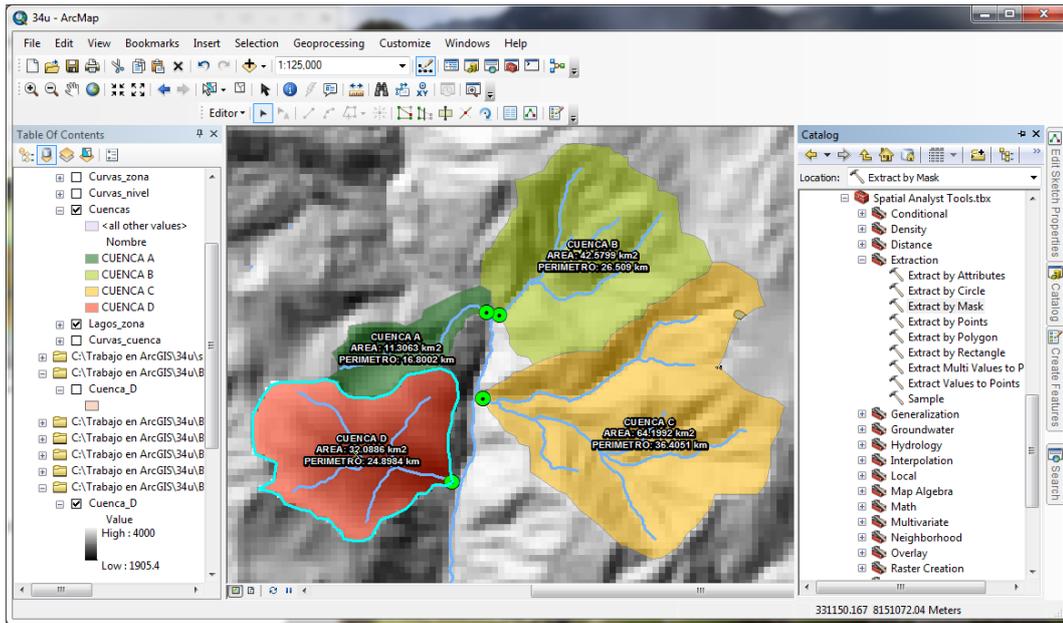


Figura 28: Altura máxima y altura mínima de la cuenca D
Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2. Cálculo del caudal máximo de escorrentía de las cuencas por el método de hidrograma triangular

Para esto se deberá usar los datos obtenidos por el software ArcGIS, del cual se obtuvo los valores indicados en la siguiente tabla.

Tabla 10
Parámetros morfológicos de las cuencas

Cuenca	Altura máxima (m.s.n.m.)	Altura mínima (m.s.n.m.)	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud del cauce (km)
Cuenca A	3 821,76	2 000,00	11,31	16,80	6,95
Cuenca B	4 660,42	2 050,60	42,58	26,51	6,92
Cuenca C	4 736,50	2 016,90	64,20	36,41	11,44
Cuenca D	4 000,00	1 905,40	32,09	24,90	7,52

Fuente: Elaboración propia

a. Tiempo de concentración

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 1.

Para la Cuenca A:

$$t_c = 1,69 \text{ horas}$$

$$L = 6,95 \text{ km}$$

$$S = 0,262 \text{ m/m}$$

Para la Cuenca B:

$$t_c = 1,57 \text{ horas}$$

$$L = 6.92 \text{ km}$$

$$S = 0.377 \text{ m/m}$$

Para la Cuenca C:

$$t_c = 2,51 \text{ horas}$$

$$L = 11,44 \text{ km}$$

$$S = 0,238 \text{ m/m}$$

Para la Cuenca D:

$$t_c = 1,77 \text{ horas}$$

$$L = 7,52 \text{ km}$$

$$S = 0,279 \text{ m/m}$$

b. Tiempo de retraso

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 2.

Para la Cuenca A:

$$tr = 1,01 \text{ horas}$$

$$tc = 1,69 \text{ horas}$$

Para la Cuenca B:

$$tr = 0,94 \text{ horas}$$

$$tc = 1,57 \text{ horas}$$

Para la Cuenca C:

$$tr = 1,51 \text{ horas}$$

$$tc = 2,51 \text{ horas}$$

Para la Cuenca D:

$$tr = 1,06 \text{ horas}$$

$$tc = 1,71 \text{ horas}$$

c. Tiempo de la punta

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 3, además para este cálculo se consideró una duración de la precipitación de 240 min.

Para la Cuenca A:

$$tp = 3,01 \text{ horas}$$

$$tr = 1,01 \text{ horas}$$

$$D = 4 \text{ horas}$$

Para la Cuenca B:

$$t_p = 2,94 \text{ horas}$$

$$t_r = 0,94 \text{ horas}$$

$$D = 4 \text{ horas}$$

Para la Cuenca C:

$$t_p = 3,51 \text{ horas}$$

$$t_r = 1,51 \text{ horas}$$

$$D = 4 \text{ horas}$$

Para la Cuenca D:

$$t_p = 3,06 \text{ horas}$$

$$t_r = 1,06 \text{ horas}$$

$$D = 4 \text{ horas}$$

d. Tiempo base

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 4.

Para la Cuenca A:

$$t_b = 8,04 \text{ horas}$$

$$t_p = 3,01 \text{ horas}$$

Para la Cuenca B:

$$t_b = 7,86 \text{ horas}$$

$$t_p = 2,94 \text{ horas}$$

Para la Cuenca C:

$$t_b = 9,37 \text{ horas}$$

$$t_p = 3,51 \text{ horas}$$

Para la Cuenca D:

$$t_b = 8,18 \text{ horas}$$

$$t_p = 3,06 \text{ horas}$$

e. Caudal de la punta

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 5, además para este cálculo se consideró una precipitación de 5 mm.

Para la Cuenca A:

$$Q_p = 3,90 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$t_b = 8,04 \text{ horas}$$

$$P = 5 \text{ mm}$$

$$A = 11,31 \text{ km}^2$$

Para la Cuenca B:

$$Q_p = 15,06 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$t_b = 7,86 \text{ horas}$$

$$P = 5 \text{ mm}$$

$$A = 42,58 \text{ km}^2$$

Para la Cuenca C:

$$Q_p = 19,04 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$t_b = 9,37 \text{ horas}$$

$$P = 5 \text{ mm}$$

$$A = 64,20 \text{ km}^2$$

Para la Cuenca D:

$$Q_p = 10,90 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$t_b = 8,18 \text{ horas}$$

$$P = 5 \text{ mm}$$

$$A = 32,09 \text{ km}^2$$

f. Diagrama del hidrograma triangular

Con los datos obtenidos se pudo graficar el diagrama hidrograma triangular para cada una de las cuencas.

Para la Cuenca A:

$t_b = 8,04$ horas

$t_p = 3,01$ horas

$Q_p = 3,90$ m³/seg

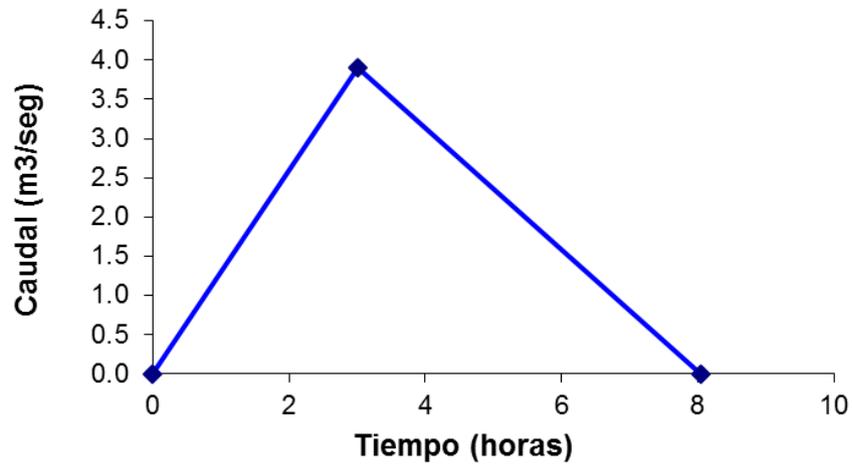


Figura 29: Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca A
Fuente: Elaboración propia

Para la Cuenca B:

$t_b = 7,86$ horas

$t_p = 2,94$ horas

$Q_p = 15,06$ m³/seg

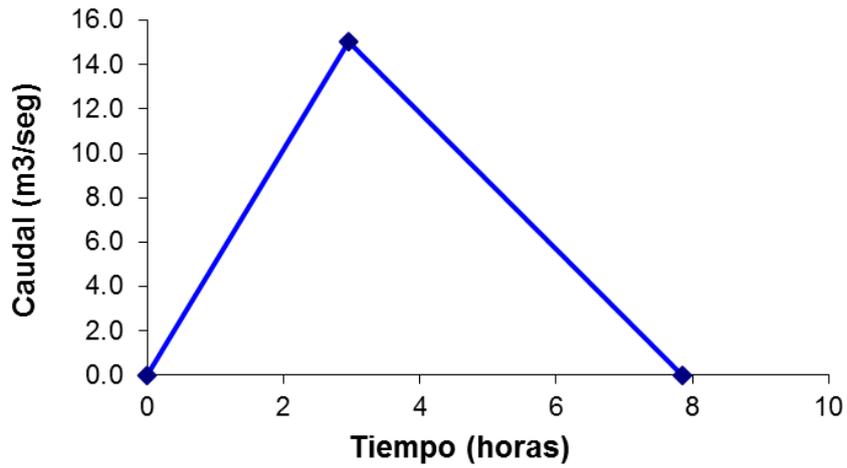


Figura 30: Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca B
Fuente: Elaboración propia

Para la Cuenca C:

$$t_b = 9,37 \text{ horas}$$

$$t_p = 3,51 \text{ horas}$$

$$Q_p = 19,04 \text{ m}^3/\text{seg}$$

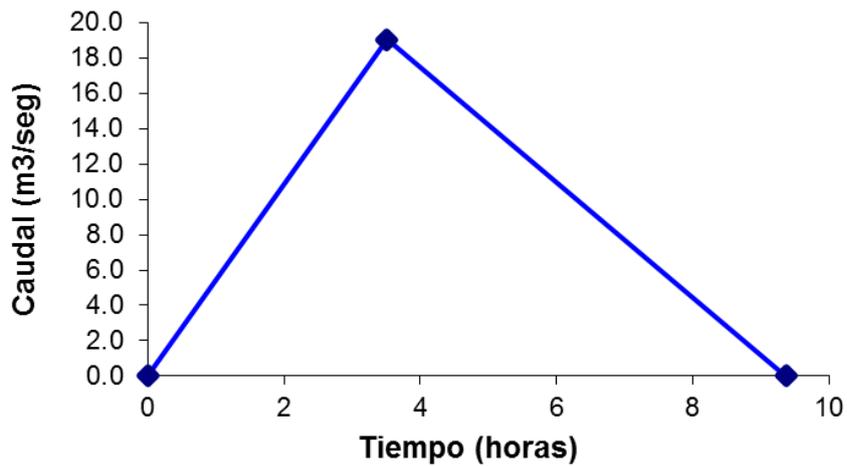


Figura 31: Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca C
Fuente: Elaboración propia

Para la Cuenca D:

$t_b = 8,18$ horas

$t_p = 3,06$ horas

$Q_p = 10,90$ m³/seg

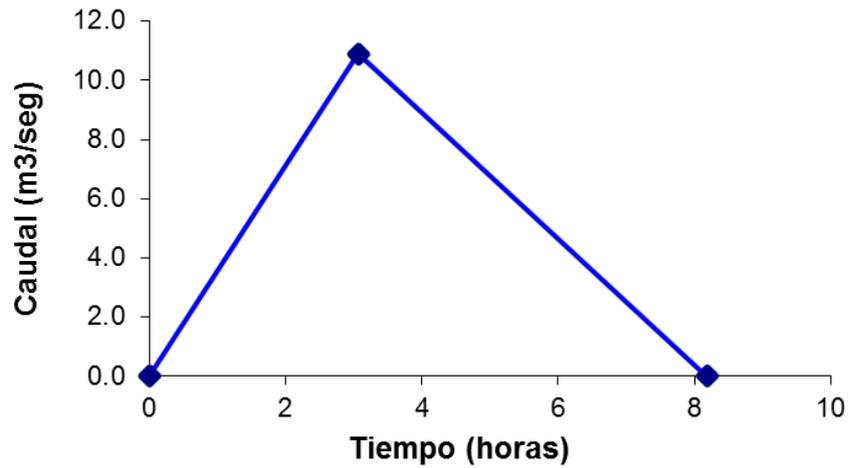


Figura 32: Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca D

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3. Cálculo del caudal máximo de escorrentía de las cuencas por el método de hidrograma adimensional.

Con los datos obtenidos se pudo graficar el diagrama del hidrograma adimensional para cada una de las cuencas.

Para la Cuenca A:

Tabla 11

Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca A

t/tp	Q/Qp	t	Q	t/tp	Q/Qp	t	Q
0	0	0,000	0,000	1,4	0,75	4,218	2,928
0,1	0,015	0,301	0,059	1,5	0,65	4,519	2,538
0,2	0,075	0,603	0,293	1,6	0,57	4,820	2,226
0,3	0,16	0,904	0,625	1,8	0,43	5,423	1,679
0,4	0,28	1,205	1,093	2	0,32	6,025	1,249
0,5	0,43	1,506	1,679	2,2	0,24	6,628	0,937
0,6	0,6	1,808	2,343	2,4	0,18	7,230	0,703
0,7	0,77	2,109	3,006	2,6	0,13	7,833	0,508
0,8	0,89	2,410	3,475	2,8	0,098	8,435	0,383
0,9	0,97	2,711	3,787	3	0,075	9,038	0,293
1	1	3,013	3,904	3,5	0,036	10,544	0,141
1,1	0,98	3,314	3,826	4	0,018	12,051	0,070
1,2	0,92	3,615	3,592	4,5	0,009	13,557	0,035
1,3	0,84	3,916	3,280	5	0,004	15,063	0,016

Fuente: Elaboración propia

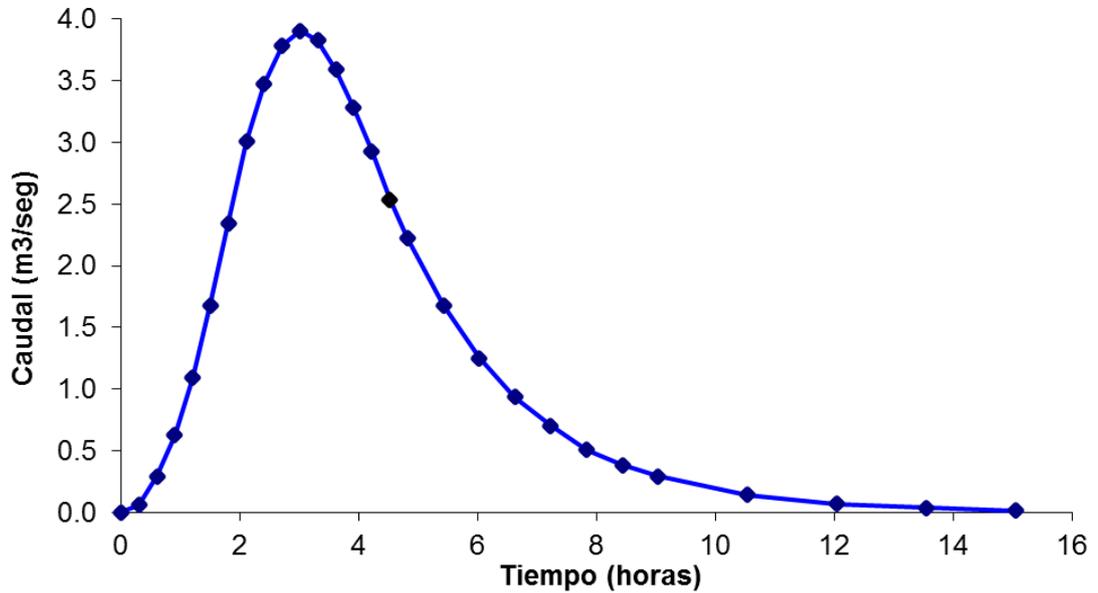


Figura 33: Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca A

Fuente: Elaboración propia.

Para la Cuenca B:

Tabla 12

Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca B

t/ tp	Q/Qp	t	Q	t/ tp	Q/Qp	t	Q
0	0	0,000	0,000	1,4	0,75	4,119	11,291
0,1	0,015	0,294	0,226	1,5	0,65	4,414	9,786
0,2	0,075	0,588	1,129	1,6	0,57	4,708	8,581
0,3	0,16	0,883	2,409	1,8	0,43	5,296	6,474
0,4	0,28	1,177	4,215	2	0,32	5,885	4,818
0,5	0,43	1,471	6,474	2,2	0,24	6,473	3,613
0,6	0,6	1,765	9,033	2,4	0,18	7,062	2,710
0,7	0,77	2,060	11,593	2,6	0,13	7,650	1,957
0,8	0,89	2,354	13,399	2,8	0,098	8,239	1,475
0,9	0,97	2,648	14,604	3	0,075	8,827	1,129
1	1	2,942	15,055	3,5	0,036	10,298	0,542
1,1	0,98	3,237	14,754	4	0,018	11,770	0,271
1,2	0,92	3,531	13,851	4,5	0,009	13,241	0,135
1,3	0,84	3,825	12,646	5	0,004	14,712	0,060

Fuente: Elaboración propia

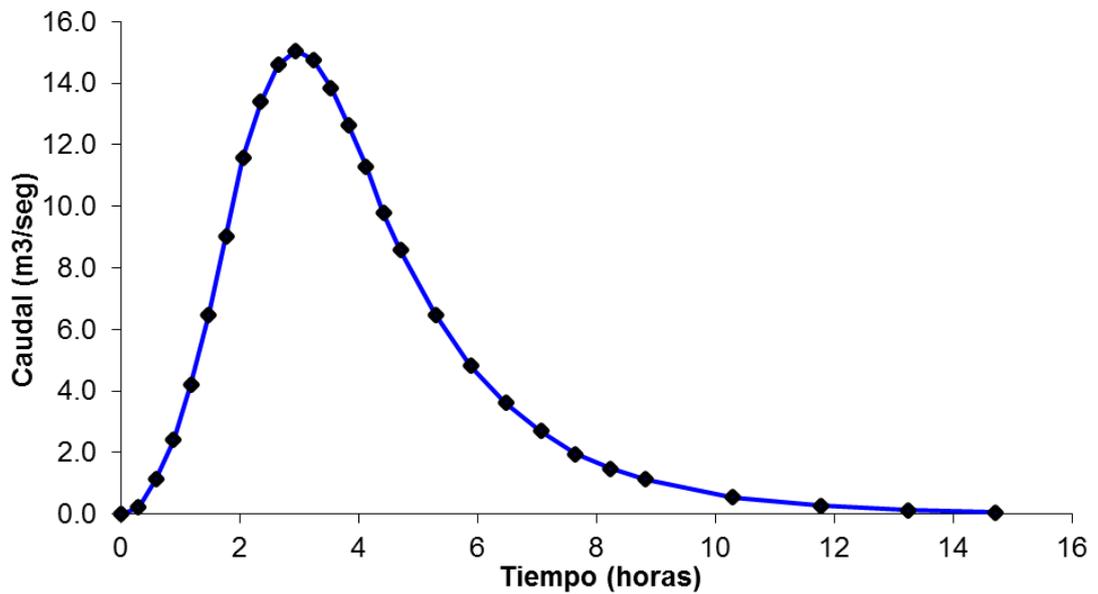


Figura 34: Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca B
Fuente: Elaboración propia

Para la Cuenca C:

Tabla 13

Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca C

t/ tp	Q/Qp	t	Q	t/ tp	Q/Qp	t	Q
0	0	0,000	0,000	1,4	0,75	4,911	14,280
0,1	0,015	0,351	0,286	1,5	0,65	5,262	12,376
0,2	0,075	0,702	1,428	1,6	0,57	5,613	10,853
0,3	0,16	1,052	3,046	1,8	0,43	6,314	8,187
0,4	0,28	1,403	5,331	2	0,32	7,016	6,093
0,5	0,43	1,754	8,187	2,2	0,24	7,718	4,570
0,6	0,6	2,105	11,424	2,4	0,18	8,419	3,427
0,7	0,77	2,456	14,661	2,6	0,13	9,121	2,475
0,8	0,89	2,806	16,945	2,8	0,098	9,822	1,866
0,9	0,97	3,157	18,468	3	0,075	10,524	1,428
1	1	3,508	19,040	3,5	0,036	12,278	0,685
1,1	0,98	3,859	18,659	4	0,018	14,032	0,343
1,2	0,92	4,210	17,516	4,5	0,009	15,786	0,171
1,3	0,84	4,560	15,993	5	0,004	17,540	0,076

Fuente: Elaboración propia

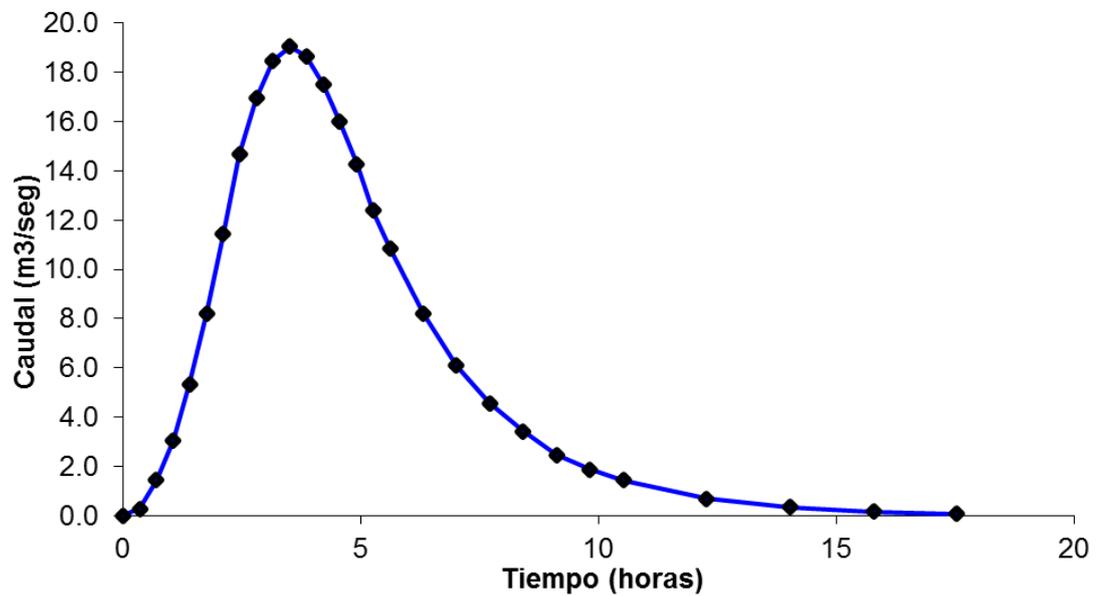


Figura 35: Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca C

Fuente: Elaboración propia

Para la Cuenca D:

Tabla 14

Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca D

t/ tp	Q/Qp	t	Q	t/ tp	Q/Qp	t	Q
0	0	0,000	0,000	1,4	0,75	4,288	8,174
0,1	0,015	0,306	0,163	1,5	0,65	4,595	7,084
0,2	0,075	0,613	0,817	1,6	0,57	4,901	6,212
0,3	0,16	0,919	1,744	1,8	0,43	5,514	4,686
0,4	0,28	1,225	3,052	2	0,32	6,126	3,488
0,5	0,43	1,532	4,686	2,2	0,24	6,739	2,616
0,6	0,6	1,838	6,539	2,4	0,18	7,351	1,962
0,7	0,77	2,144	8,392	2,6	0,13	7,964	1,417
0,8	0,89	2,450	9,700	2,8	0,098	8,577	1,068
0,9	0,97	2,757	10,572	3	0,075	9,189	0,817
1	1	3,063	10,899	3,5	0,036	10,721	0,392
1,1	0,98	3,369	10,681	4	0,018	12,252	0,196
1,2	0,92	3,676	10,027	4,5	0,009	13,784	0,098
1,3	0,84	3,982	9,155	5	0,004	15,316	0,044

Fuente: Elaboración propia

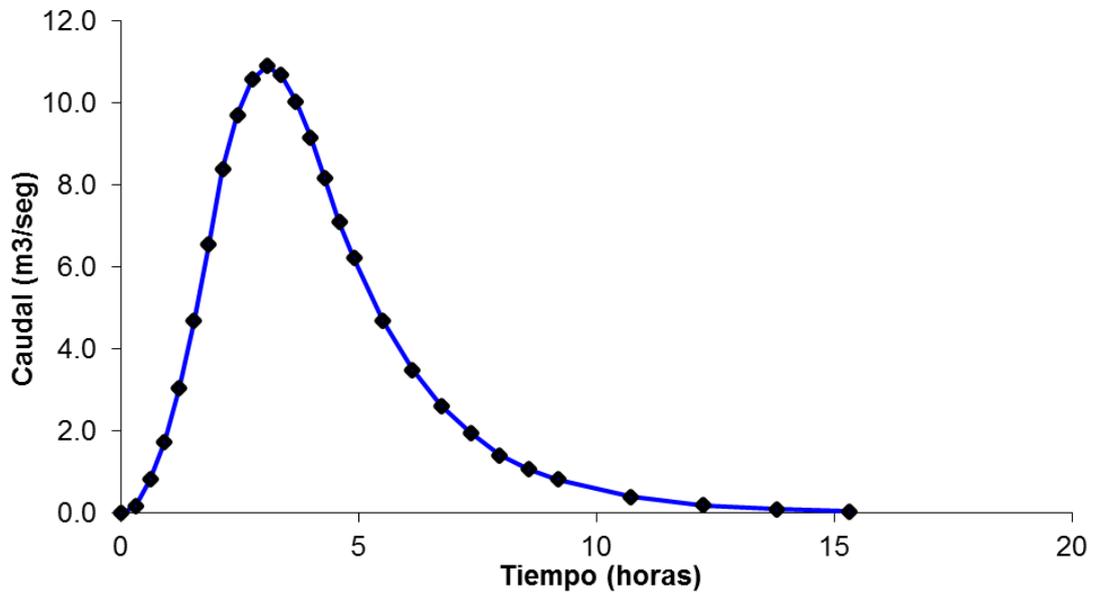


Figura 36: Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca D

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.4. Cálculo del caudal máximo de escorrentía de las cuencas por el método racional

a. Áreas y usos del suelo en las cuencas

Para el cálculo del caudal máximo se hizo el uso del software ArcGIS, del cual se obtendrán los datos mostrados en las siguientes figuras.

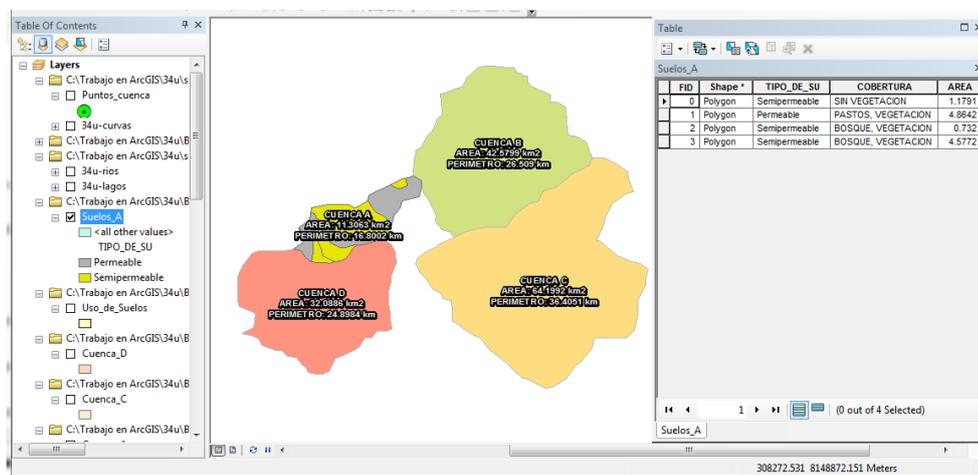


Figura 37: Usos y áreas del suelo en la cuenca A
Fuente: Elaboración propia

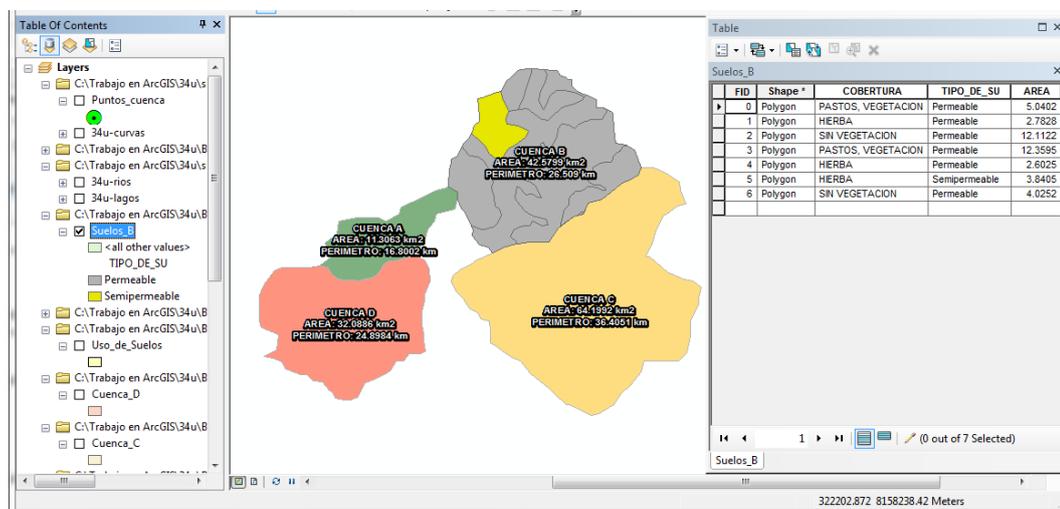


Figura 38: Usos y áreas del suelo en la cuenca B
Fuente: Elaboración propia

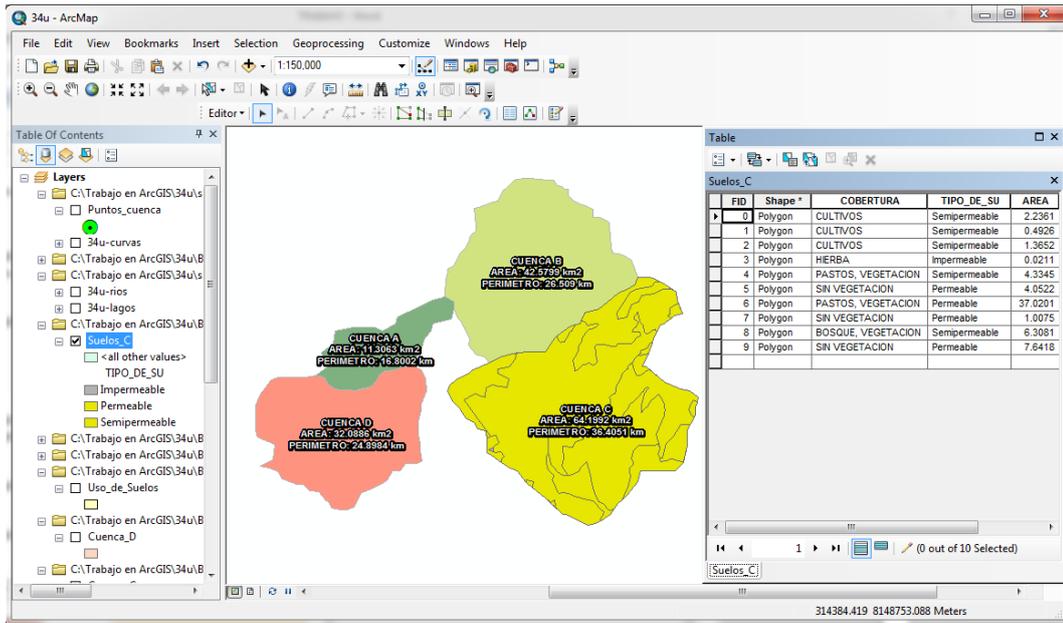


Figura 39: Usos y áreas del suelo en la cuenca C
Fuente: Elaboración propia

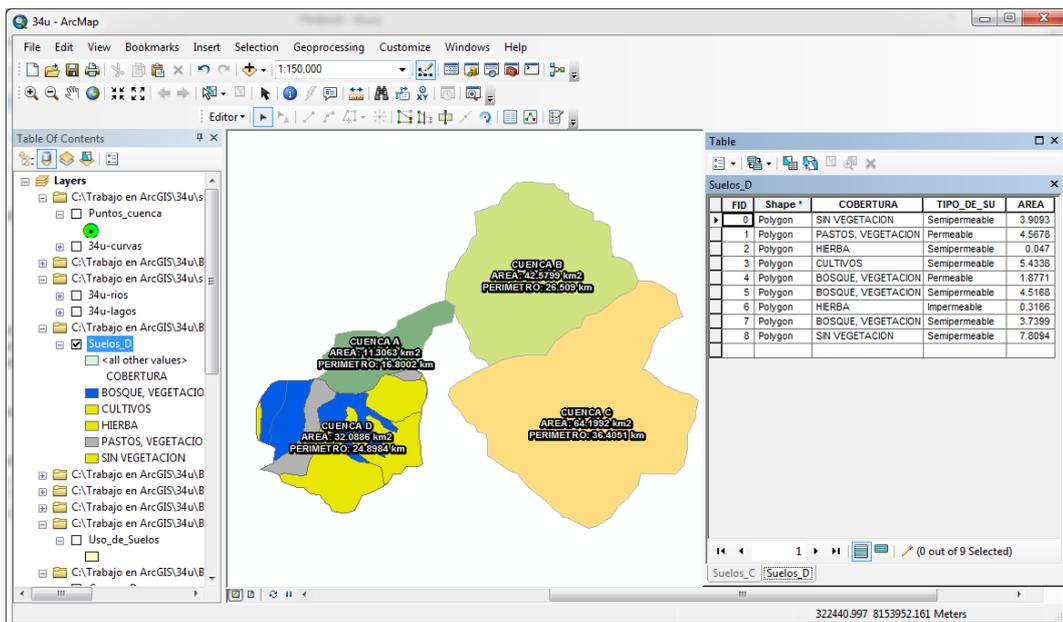


Figura 40: Usos y áreas del suelo en la cuenca D
Fuente: Elaboración propia

b. Caudal de la punta

De las figuras anteriores se obtuvieron los datos como la cobertura, el tipo de suelo y el área, por lo que ahora se deberá de asignar un coeficiente de la tabla 2 para una zona con pendiente de 20 % a 50 %. Cabe indicar que al contar con diferentes áreas se deberá obtener un coeficiente total de escorrentía.

Para la Cuenca A:

Tabla 15

Usos y áreas del suelo en la cuenca A

Nº	Cobertura	Tipo de suelos	Área	Coeficiente	Área*Coeficiente
1	Sin vegetación	Semipermeable	1,18	0,65	0,77
2	Pastos, vegetación ligera	Permeable	4,86	0,30	1,46
3	Bosque, vegetación densa	Semipermeable	0,73	0,40	0,29
4	Bosque, vegetación densa	Semipermeable	4,58	0,40	1,83

Fuente: Elaboración propia

$$Ct = 0,38$$

$$I = 5,00 \text{ mm/h}$$

$$Q = 6,04 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Para la Cuenca B:

Tabla 16

Usos y áreas del suelo en la cuenca B

Nº	Cobertura	Tipo de suelos	Área	Coeficiente	Área*Coeficiente
1	Pastos, vegetación ligera	Permeable	5,04	0,30	1,51
2	Hierba	Permeable	2,78	0,25	0,70
3	Sin vegetación	Permeable	12,11	0,45	5,45
4	Pastos, vegetación ligera	Permeable	12,36	0,30	3,71
5	Hierba	Permeable	2,60	0,25	0,65
6	Hierba	Semipermeable	3,84	0,45	1,73
7	Sin vegetación	Permeable	4,03	0,45	1,81

Fuente: Elaboración propia

$$Ct = 0,36$$

$$I = 5,00 \text{ mm/h}$$

$$Q = 21,61 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Para la Cuenca C:

Tabla 17
Usos y áreas del suelo en la cuenca C

Nº	Cobertura	Tipo de suelos	Área	Coefficiente	Área*Coefficiente
1	Cultivos	Semipermeable	2,24	0,55	1,23
2	Cultivos	Semipermeable	0,49	0,55	0,27
3	Cultivos	Semipermeable	1,37	0,55	0,75
4	Hierba	Impermeable	0,02	0,25	0,01
5	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	4,33	0,50	2,17
6	Sin vegetación	Permeable	4,05	0,45	1,82
7	Pastos, vegetación ligera	Permeable	37,02	0,30	11,11
8	Sin vegetación	Permeable	1,01	0,45	0,45
9	Bosque, vegetación densa	Semipermeable	6,31	0,40	2,52
10	Sin vegetación	Permeable	7,64	0,45	3,44

Fuente: Elaboración propia

$$Ct = 0,37$$

$$I = 5,00 \text{ mm/h}$$

$$Q = 33,01 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Para la Cuenca D:

Tabla 18
Usos y áreas del suelo en la cuenca D

Nº	Cobertura	Tipo de suelos	Área	Coefficiente	Área*Coefficiente
1	Sin vegetación	Semipermeable	3,91	0,65	2,54
2	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	4,57	0,50	2,28
3	Hierba	Semipermeable	0,05	0,45	0,02
4	Cultivos	Impermeable	5,43	0,65	3,53
5	Bosque, vegetación densa	Semipermeable	1,88	0,40	0,75
6	Bosque, vegetación densa	Permeable	4,52	0,20	0,90
7	Hierba	Permeable	0,32	0,25	0,08
8	Bosque, vegetación densa	Permeable	3,74	0,20	0,75
9	Sin vegetación	Semipermeable	7,81	0,65	5,08

Fuente: Elaboración propia

$$Ct = 0,49$$

$$I = 5,00 \text{ mm/h}$$

$$Q = 22,13 \text{ m}^3/\text{seg}$$

3.2.1.5. Cálculo del caudal máximo de escorrentía de las cuencas por el método de número de curva

a. Número de curva

Para el cálculo de estos valores se hizo uso del programa ArcGIS, en el cual tuvimos que incluir los datos tanto de la cobertura como de la capacidad de infiltración como se puede apreciar en las siguientes figuras. Cabe resaltar que los datos sobre el uso del suelo y la capacidad de infiltración fueron obtenidos de la página del Ministerio de Agricultura.

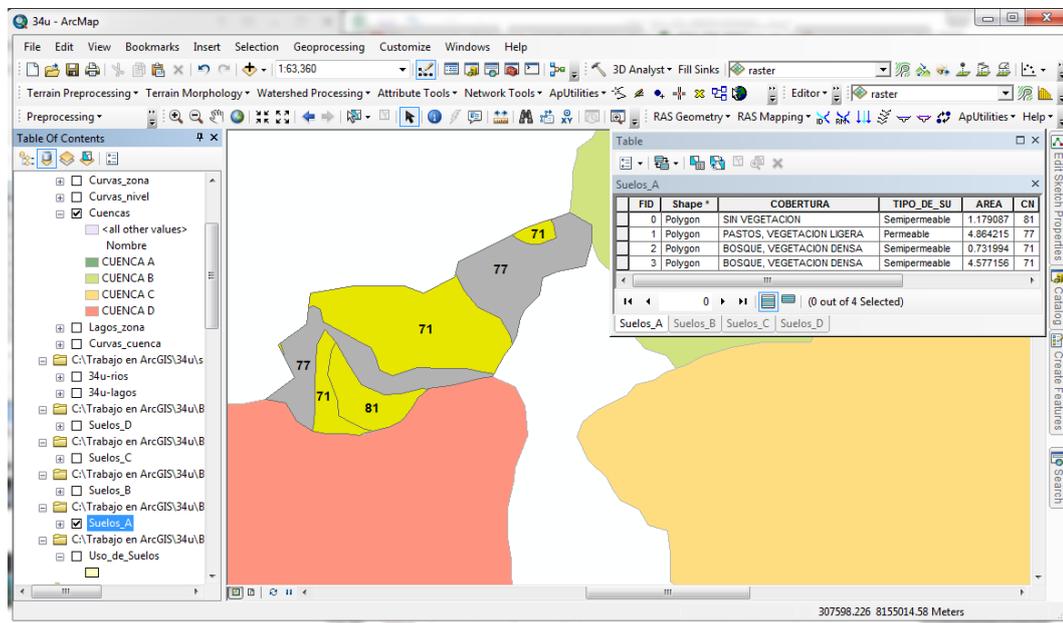


Figura 41: Número de curva para los suelos en la cuenca A
Fuente: Elaboración propia

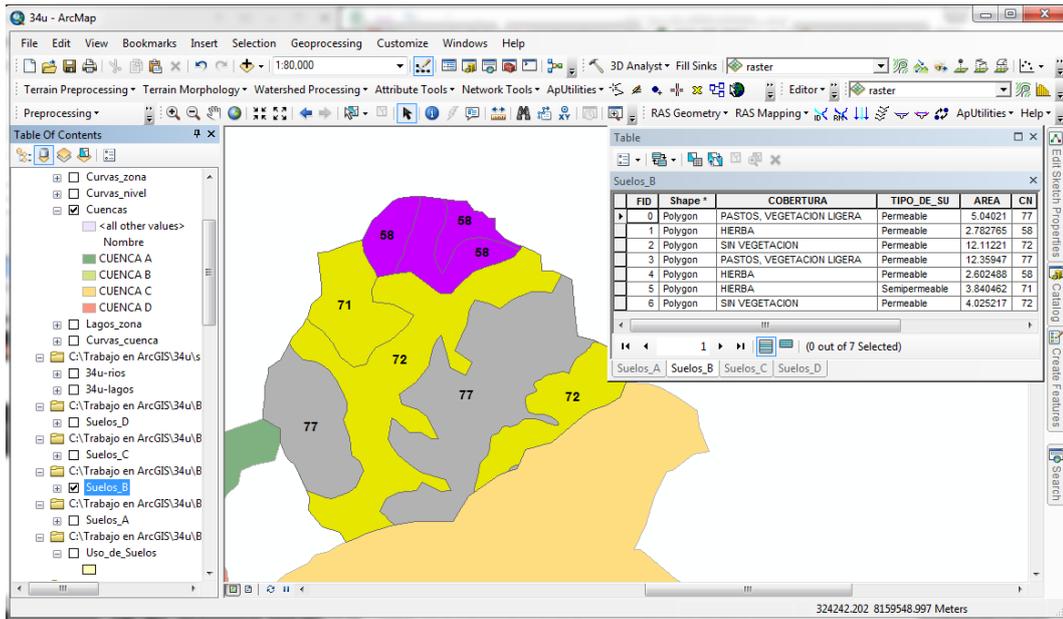


Figura 42: Número de curva para los suelos en la cuenca B
Fuente: Elaboración propia

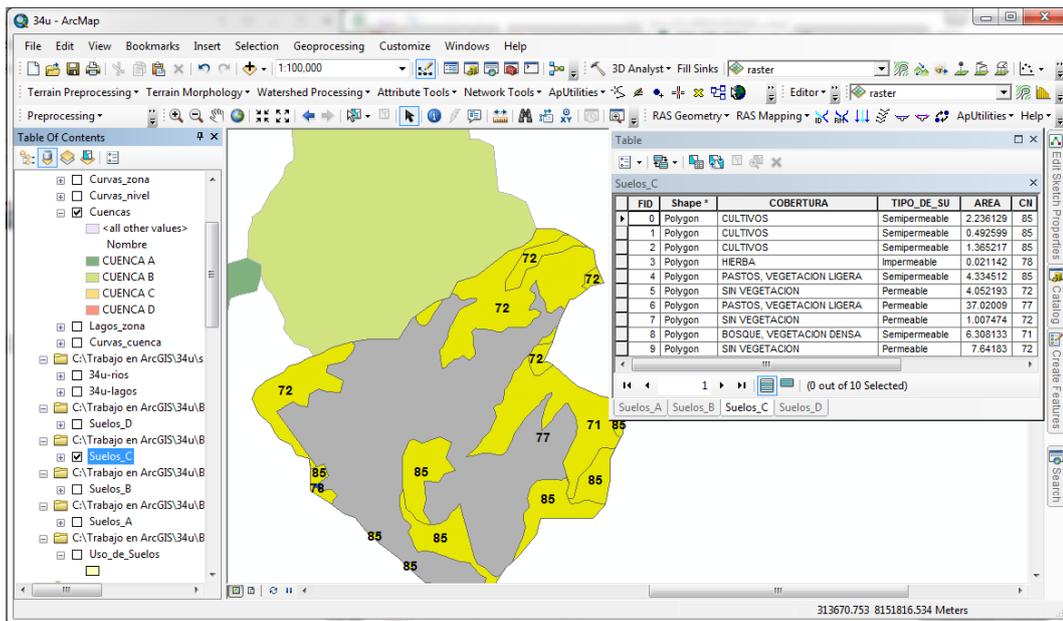


Figura 43: Número de curva para los suelos en la cuenca C
Fuente: Elaboración propia

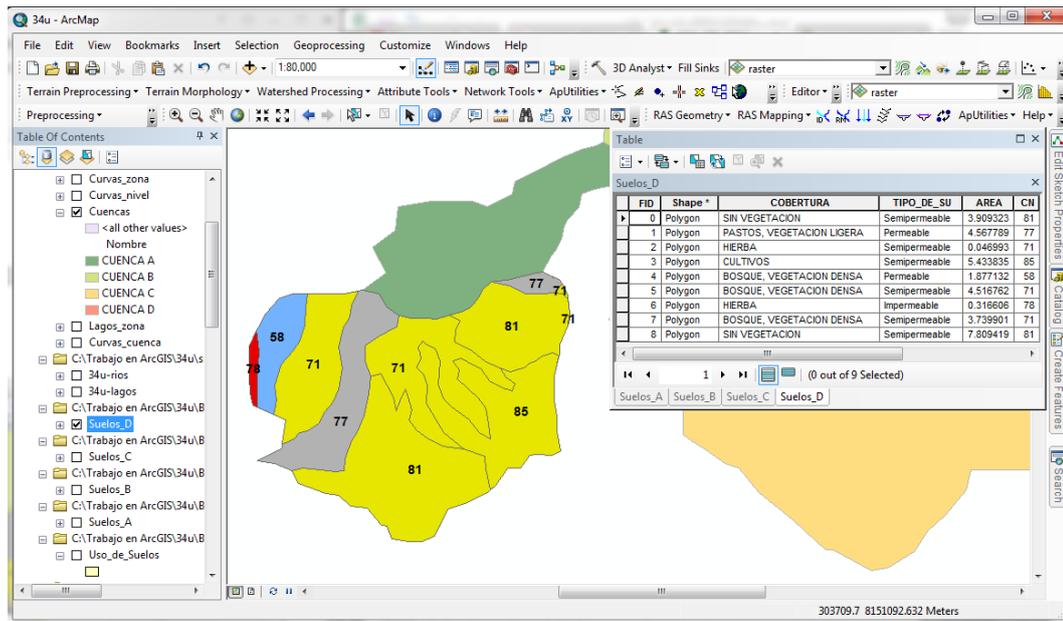


Figura 44: Número de curva para los suelos en la cuenca D
Fuente: Elaboración propia

b. Precipitación efectiva

Para hallar este valor se calcula la precipitación efectiva para cada zona, debido a que en las cuencas están compuestas por coberturas de suelo totalmente diferentes; para hallar la precipitación efectiva en toda la cuenca se deberá sumatoria de las precipitaciones efectivas de la superficie de acuerdo al área total que ocupa en la cuenca.

Para la cuenca A:

Tabla 19
Precipitación efectiva en la cuenca A

Nº	Cobertura	Tipo de suelos	Área	CN	CN * Área
1	Sin vegetación	Semipermeable	1,18	81,00	95,51
2	Pastos, vegetación ligera	Permeable	4,86	77,00	374,54
3	Bosque, vegetación densa	Semipermeable	0,73	71,00	51,97
4	Bosque, vegetación densa	Semipermeable	4,58	71,00	324,98

Fuente: Elaboración propia

Luego de obtener los valores de CN para cada zona, se procede a hallar el CN para la cuenca.

$$\sum (CN * \text{Área}) = 847,00 \text{ km}^2$$

$$\sum \text{Área} = 11,35 \text{ km}^2$$

$$CN = 74,61$$

$$S = 86,44 \text{ mm}$$

$$P = 5,00 \text{ mm}$$

$$Pe = 2,04 \text{ mm}$$

Para la cuenca B:

Tabla 20
Precipitación efectiva en la cuenca B

Nº	Cobertura	Tipo de suelos	Área	CN	CN * Área
1	Pastos, vegetación ligera	Permeable	5,04	77,00	388,10
2	Hierba	Permeable	2,78	58,00	161,40
3	Sin vegetación	Permeable	12,11	72,00	872,08
4	Pastos, vegetación ligera	Permeable	12,36	77,00	951,68
5	Hierba	Permeable	2,60	58,00	150,95
6	Hierba	Semipermeable	3,84	71,00	272,68
7	Sin vegetación	Permeable	4,03	72,00	289,81

Fuente: Elaboración propia

Luego de obtener los valores de CN para cada zona, se procede a hallar el CN para la cuenca.

$$\sum (CN * \text{Área}) = 3086,69 \text{ km}^2$$

$$\sum \text{Área} = 42,76 \text{ km}^2$$

$$CN = 72,18$$

$$S = 97,89 \text{ mm}$$

$$P = 5,00 \text{ mm}$$

$$Pe = 2,55 \text{ mm}$$

Para la cuenca C:

Tabla 21
Precipitación efectiva en la cuenca C

Nº	Cobertura	Tipo de suelos	Área	CN	CN * Área
1	Cultivos	Semipermeable	2,24	85,00	190,07
2	Cultivos	Semipermeable	0,49	85,00	41,87
3	Cultivos	Semipermeable	1,37	85,00	116,04
4	Hierba	Impermeable	0,02	78,00	1,65
5	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	4,33	85,00	368,43
6	Sin vegetación	Permeable	4,05	72,00	291,76
7	Pastos, vegetación ligera	Permeable	37,02	77,00	2850,55
8	Sin vegetación	Permeable	1,01	72,00	72,54
9	Bosque, vegetación densa	Semipermeable	6,31	71,00	447,88
10	Sin vegetación	Permeable	7,64	72,00	550,21

Fuente: Elaboración propia

Luego de obtener los valores de CN para cada zona, se procede a hallar el CN para la cuenca.

$$\sum (CN * \text{Área}) = 4930,99 \text{ km}^2$$

$$\sum \text{Área} = 64,48 \text{ km}^2$$

$$CN = 76,47$$

$$S = 78,14 \text{ mm}$$

$$P = 5,00 \text{ mm}$$

$$Pe = 1,67 \text{ mm}$$

Para la cuenca D:

Tabla 22
Precipitación efectiva en la cuenca D

Nº	Cobertura	Tipo de suelos	Área	CN	CN * Área
1	Sin vegetación	Semipermeable	3,91	81,00	316,65
2	Pastos, vegetación ligera	Semipermeable	4,57	77,00	351,72
3	Hierba	Semipermeable	0,05	71,00	3,34
4	Cultivos	Impermeable	5,43	85,00	461,87
5	Bosque, vegetación densa	Semipermeable	1,88	58,00	108,87
6	Bosque, vegetación densa	Permeable	4,52	71,00	320,69
7	Hierba	Permeable	0,32	78,00	24,69
8	Bosque, vegetación densa	Permeable	3,74	71,00	265,53
9	Sin vegetación	Semipermeable	7,81	81,00	632,56

Fuente: Elaboración propia

Luego de obtener los valores de CN para cada zona, se procede a hallar el CN para la cuenca.

$$\sum (\text{CN} * \text{Área}) = 2485,94 \text{ km}^2$$

$$\sum \text{Área} = 32,22 \text{ km}^2$$

$$\text{CN} = 77,16$$

$$S = 75,18 \text{ mm}$$

$$P = 5,00 \text{ mm}$$

$$P_e = 1,55 \text{ mm}$$

Luego de haber calculado la precipitación efectiva para cada cuenca, procedemos a hallar el caudal de la punta para cada una de las cuencas. Cabe indicar que para el cálculo del caudal se usara el tiempo de concentración(t_c), el tiempo de retraso (t_r), el tiempo de la punta (t_p) y el tiempo base (t_b) hallado al momento de calcular el caudal máximo de escorrentía de las cuencas por el Método de

hidrograma triangular de la página 51. En la siguiente tabla se mostrarán los datos a utilizar del método mencionado.

Tabla 23

Cálculos previos para el caudal máximo de escorrentía

Cuenca	Tiempo de concentración (horas)	Tiempo de retraso (horas)	Tiempo de la punta (horas)	Tiempo base (horas)
Cuenca A	1,69	1,01	3,01	8,04
Cuenca B	1,57	0,94	2,94	7,86
Cuenca C	2,51	1,51	3,51	9,37
Cuenca D	1,77	1,06	3,06	8,18

Fuente: Elaboración propia

c. Caudal de la punta

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 5, además para este cálculo se consideró la precipitación efectiva.

Para la Cuenca A:

$$Q_p = 1,59 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$t_b = 8,04 \text{ horas}$$

$$P_e = 2,04 \text{ mm}$$

$$A = 11,31 \text{ km}^2$$

Para la Cuenca B:

$$Q_p = 7,68 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$t_b = 7,86 \text{ horas}$$

$$P_e = 2,55 \text{ mm}$$

$$A = 42,58 \text{ km}^2$$

Para la Cuenca C:

$$Q_p = 6,37 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$t_b = 9,37 \text{ horas}$$

$$P_e = 1,67 \text{ mm}$$

$$A = 64,20 \text{ km}^2$$

Para la Cuenca D:

$$Q_p = 3,37 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$t_b = 8,18 \text{ horas}$$

$$P_e = 1,55 \text{ mm}$$

$$A = 32,09 \text{ km}^2$$

d. Diagrama del hidrograma triangular

Con los datos obtenidos se pudo graficar el diagrama hidrograma triangular para cada una de las cuencas.

Para la Cuenca A:

$$t_b = 8,04 \text{ horas}$$

$$t_p = 3,01 \text{ horas}$$

$$Q_p = 1,59 \text{ m}^3/\text{seg}$$

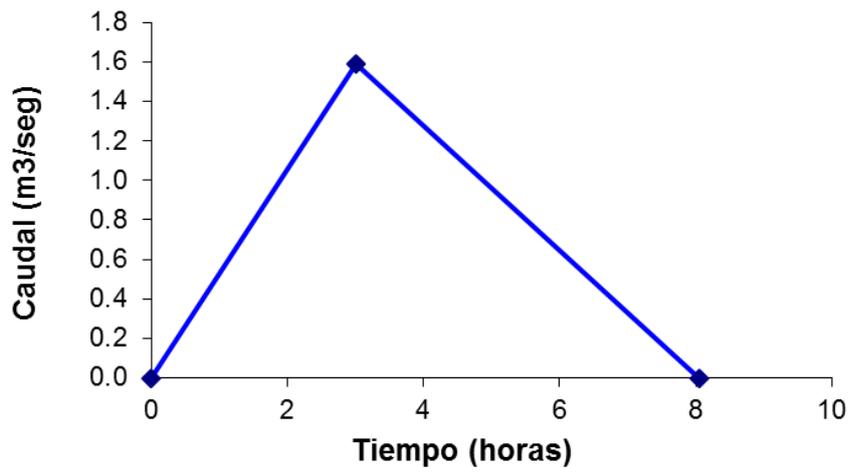


Figura 45: Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca A
Fuente: Elaboración propia

Para la Cuenca B:

$$t_b = 7,86 \text{ horas}$$

$$t_p = 2,94 \text{ horas}$$

$$Q_p = 7,68 \text{ m}^3/\text{seg}$$

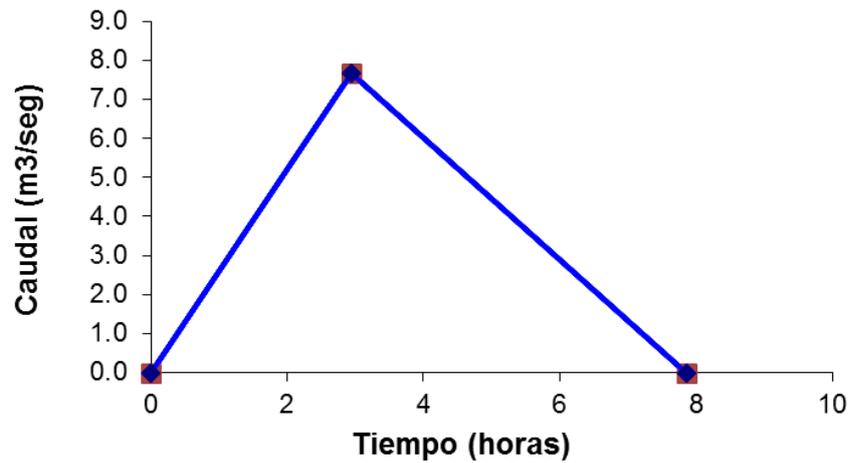


Figura 46: Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca B
Fuente: Elaboración propia

Para la Cuenca C:

$t_b = 9,37$ horas

$t_p = 3,51$ horas

$Q_p = 6,37$ m³/seg

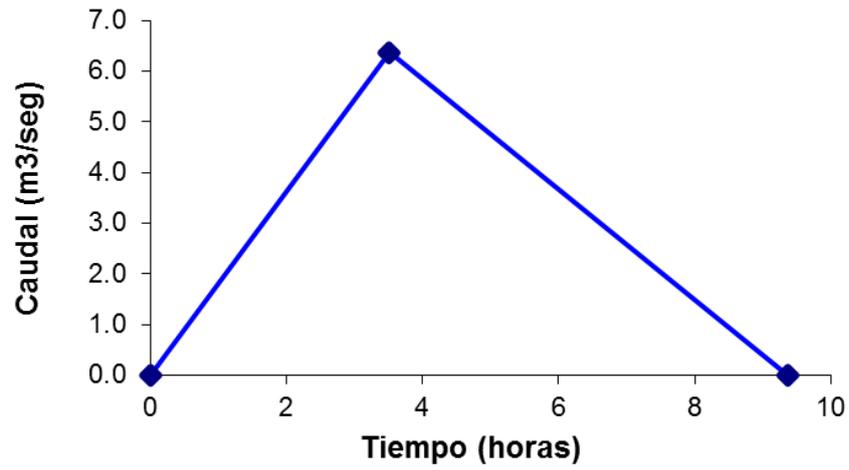


Figura 47: Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca C
Fuente: Elaboración propia

Para la Cuenca D:

$t_b = 8,18$ horas

$t_p = 3,06$ horas

$Q_p = 3,37$ m³/seg

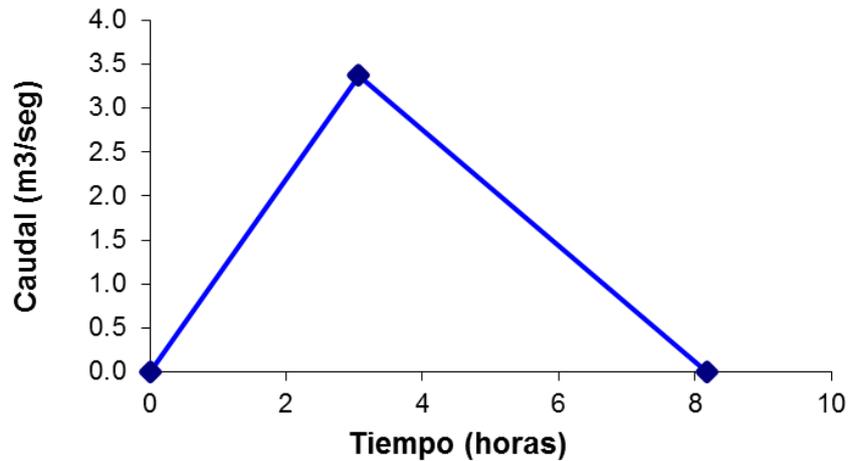


Figura 48: Diagrama del hidrograma triangular de la cuenca D
Fuente: Elaboración propia

e. Diagrama del hidrograma adimensional

Con los datos obtenidos se pudo graficar el diagrama del hidrograma adimensional para cada una de las cuencas.

Para la Cuenca A:

Tabla 24
Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca A

t/tp	Q/Qp	t	Q	t/tp	Q/Qp	t	Q
0	0	0,000	0,000	1,4	0,75	4,218	1,193
0,1	0,015	0,301	0,024	1,5	0,65	4,519	1,034
0,2	0,075	0,603	0,119	1,6	0,57	4,820	0,906
0,3	0,16	0,904	0,254	1,8	0,43	5,423	0,684
0,4	0,28	1,205	0,445	2	0,32	6,025	0,509
0,5	0,43	1,506	0,684	2,2	0,24	6,628	0,382
0,6	0,6	1,808	0,954	2,4	0,18	7,230	0,286
0,7	0,77	2,109	1,224	2,6	0,13	7,833	0,207
0,8	0,89	2,410	1,415	2,8	0,098	8,435	0,156
0,9	0,97	2,711	1,542	3	0,075	9,038	0,119
1	1	3,013	1,590	3,5	0,036	10,544	0,057
1,1	0,98	3,314	1,558	4	0,018	12,051	0,029
1,2	0,92	3,615	1,463	4,5	0,009	13,557	0,014
1,3	0,84	3,916	1,336	5	0,004	15,063	0,006

Fuente: Elaboración propia

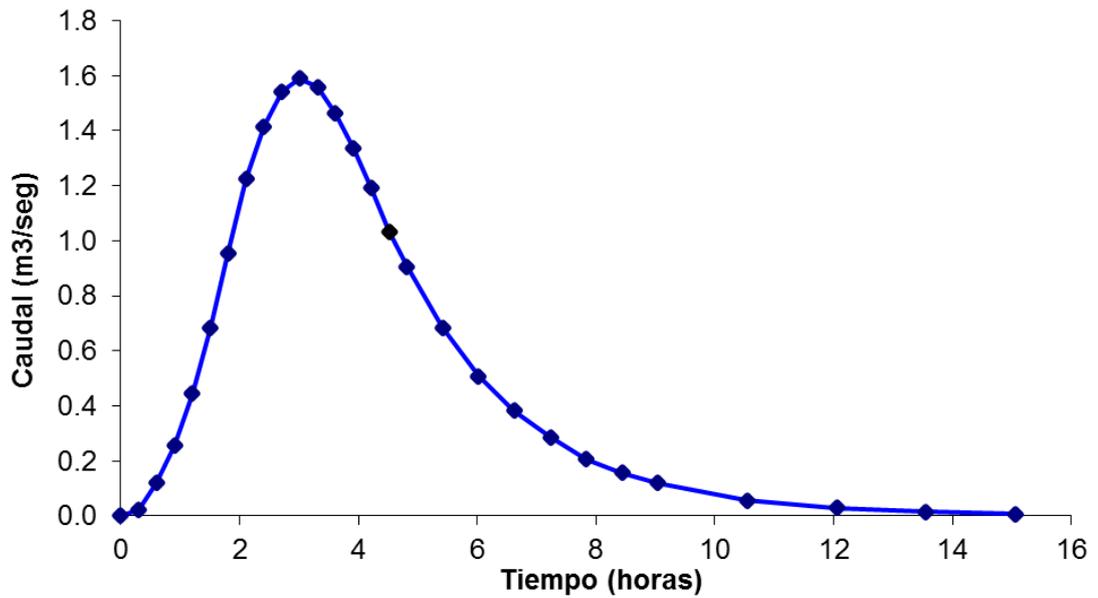


Figura 49: Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca A
Fuente: Elaboración propia

Para la Cuenca B:

Tabla 25
Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca B

t/tp	Q/Qp	t	Q	t/tp	Q/Qp	t	Q
0	0	0,000	0,000	1,4	0,75	4,119	5,761
0,1	0,015	0,294	0,115	1,5	0,65	4,414	4,993
0,2	0,075	0,588	0,576	1,6	0,57	4,708	4,378
0,3	0,16	0,883	1,229	1,8	0,43	5,296	3,303
0,4	0,28	1,177	2,151	2	0,32	5,885	2,458
0,5	0,43	1,471	3,303	2,2	0,24	6,473	1,843
0,6	0,6	1,765	4,609	2,4	0,18	7,062	1,383
0,7	0,77	2,060	5,914	2,6	0,13	7,650	0,999
0,8	0,89	2,354	6,836	2,8	0,098	8,239	0,753
0,9	0,97	2,648	7,450	3	0,075	8,827	0,576
1	1	2,942	7,681	3,5	0,036	10,298	0,277
1,1	0,98	3,237	7,527	4	0,018	11,770	0,138
1,2	0,92	3,531	7,066	4,5	0,009	13,241	0,069
1,3	0,84	3,825	6,452	5	0,004	14,712	0,031

Fuente: Elaboración propia

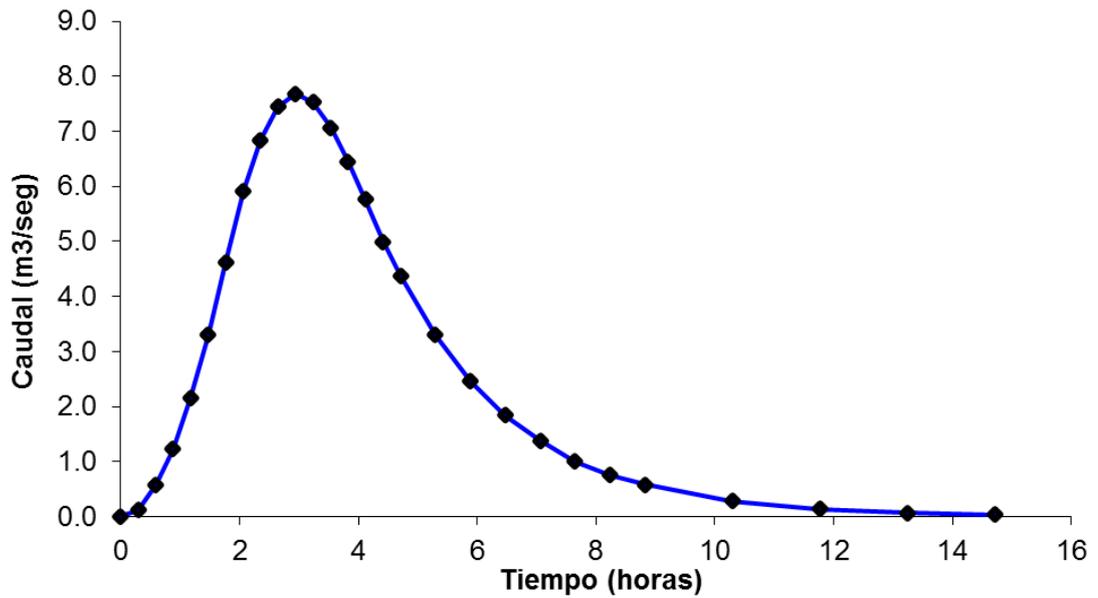


Figura 50: Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca B
Fuente: Elaboración propia

Para la Cuenca C:

Tabla 26
Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca C

t/tp	Q/Qp	t	Q	t/tp	Q/Qp	t	Q
0	0	0,000	0,000	1,4	0,75	4,911	4,778
0,1	0,015	0,351	0,096	1,5	0,65	5,262	4,141
0,2	0,075	0,702	0,478	1,6	0,57	5,613	3,631
0,3	0,16	1,052	1,019	1,8	0,43	6,314	2,739
0,4	0,28	1,403	1,784	2	0,32	7,016	2,039
0,5	0,43	1,754	2,739	2,2	0,24	7,718	1,529
0,6	0,6	2,105	3,822	2,4	0,18	8,419	1,147
0,7	0,77	2,456	4,906	2,6	0,13	9,121	0,828
0,8	0,89	2,806	5,670	2,8	0,098	9,822	0,624
0,9	0,97	3,157	6,180	3	0,075	10,524	0,478
1	1	3,508	6,371	3,5	0,036	12,278	0,229
1,1	0,98	3,859	6,243	4	0,018	14,032	0,115
1,2	0,92	4,210	5,861	4,5	0,009	15,786	0,057
1,3	0,84	4,560	5,351	5	0,004	17,540	0,025

Fuente: Elaboración propia

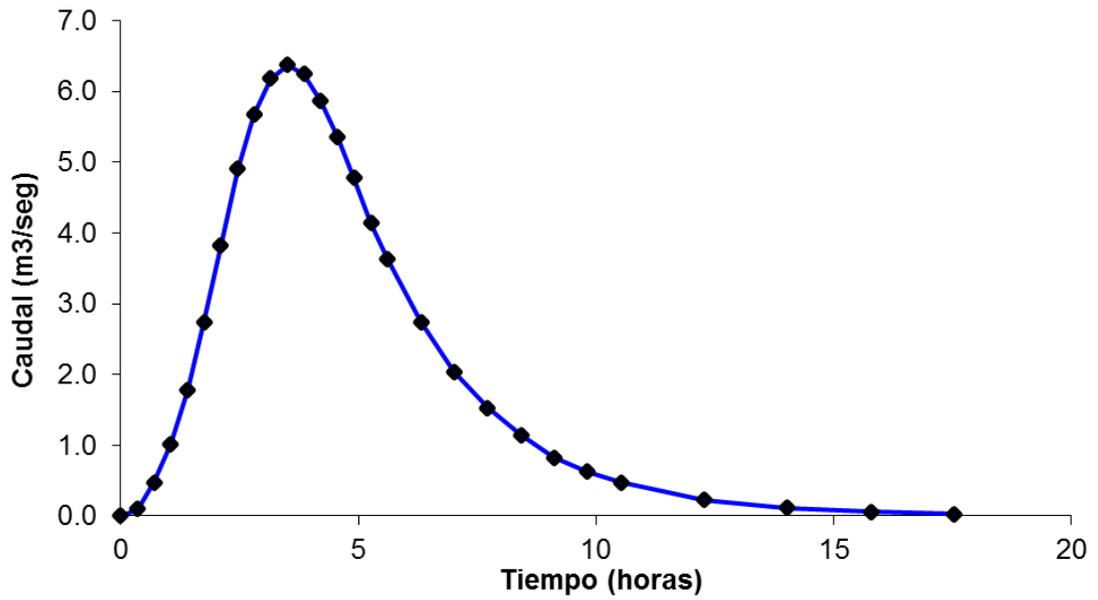


Figura 51: Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca C
Fuente: Elaboración propia

Para la Cuenca D:

Tabla 27
Datos para el hidrograma adimensional en la cuenca D

t/t_p	Q/Q_p	t	Q	t/t_p	Q/Q_p	t	Q
0	0	0,000	0,000	1,4	0,75	4,288	2,528
0,1	0,015	0,306	0,051	1,5	0,65	4,595	2,191
0,2	0,075	0,613	0,253	1,6	0,57	4,901	1,921
0,3	0,16	0,919	0,539	1,8	0,43	5,514	1,449
0,4	0,28	1,225	0,944	2	0,32	6,126	1,079
0,5	0,43	1,532	1,449	2,2	0,24	6,739	0,809
0,6	0,6	1,838	2,022	2,4	0,18	7,351	0,607
0,7	0,77	2,144	2,595	2,6	0,13	7,964	0,438
0,8	0,89	2,450	3,000	2,8	0,098	8,577	0,330
0,9	0,97	2,757	3,269	3	0,075	9,189	0,253
1	1	3,063	3,370	3,5	0,036	10,721	0,121
1,1	0,98	3,369	3,303	4	0,018	12,252	0,061
1,2	0,92	3,676	3,101	4,5	0,009	13,784	0,030
1,3	0,84	3,982	2,831	5	0,004	15,316	0,013

Fuente: Elaboración propia

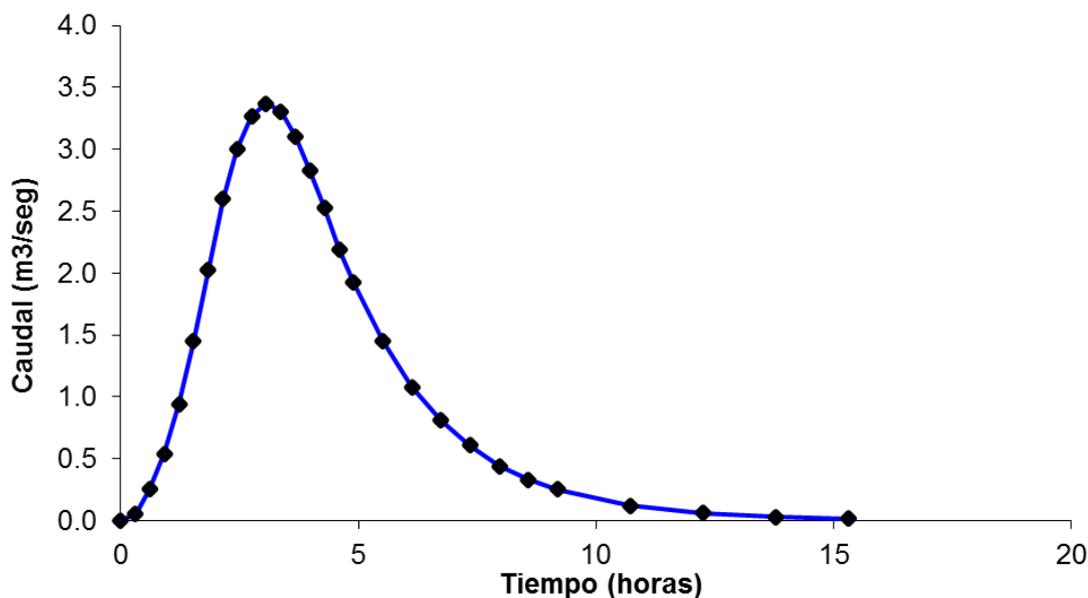


Figura 52: Diagrama del hidrograma adimensional de la cuenca D
Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Diseño del sistema de riego por aspersión

3.2.2.1. Diseño agronómico

a. Datos meteorológicos

Mes = Setiembre

Cantidad de días = 30 días

Latitud de la zona = 10° 15' 25,45"

Altura de la zona (E) = 3168 m.s.n.m

Temperatura Promedio (TMF) = 38,54 °F

Humedad Relativa Promedio (HR) = 42,58 %

Velocidad viento (v) = 3,16 m/s

Precipitación en el mes (P) = 28,14 mm/mes

b. Factor mensual de latitud

Para el cálculo de este valor se hizo uso del apéndice N°2, para el mes de Setiembre y latitud $10^{\circ} 15' 25,45''$ el valor será de 2,191 mm/mes.

c. Factor corrección para humedad mensual

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 9.

$$CH = 1,00$$

$$HR: 0,43$$

d. Factor de corrección para altura

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 10.

$$CE = 1,06$$

$$E = 3168,00 \text{ m.s.n.m.}$$

e. Evapotranspiración potencial

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 8.

$$ETP = 89,79 \text{ mm/mes}$$

$$MF = 2,19$$

$$TMF = 38,54 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$CH = 1,00$$

$$CE = 1,06$$

f. Factor de cultivo

En esta zona se cultivará cebada, avena y durazno, por lo que se hizo uso del apéndice N° 1 para hallar la velocidad del viento para cada uno de los cultivos

$$K_c (\text{Cebada}) = 1,15 \text{ m/seg}$$

$$K_c (\text{Avena}) = 1,15 \text{ m/seg}$$

$$K_c (\text{Durazno}) = 1,15 \text{ m/seg}$$

$$K_c (\text{max}) = 1,15$$

g. Factor de suelo

$$K_s = 1$$

h. Factor de humedad

$$K_h = 1$$

i. Evapotranspiración actual

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 11.

$$ETA = 103,26 \text{ mm/mes}$$

$$K = 1,15$$

j. Precipitación efectiva

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 14, debido a que esta precipitación es menos a los 75 mm/mes.

$$P = 28,14 \text{ mm/mes}$$

$$PE = 6,88 \text{ mm/mes}$$

k. Demanda de agua de los cultivos

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 15.

$$DA = 96,38 \text{ mm/mes} = 3,21 \text{ mm/día}$$

$$ETA = 103,26 \text{ mm/mes}$$

$$PE = 6,88 \text{ mm/mes}$$

l. Caudal necesario

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 16.

$$Q = 1,12 \text{ l/seg}$$

$$DA = 3,21 \text{ mm/día}$$

$$A = 1,5 \text{ hect}$$

m. Máximo caudal necesario

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 16.

$$Q_t = 1,86 \text{ l/seg} = 160,63 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q = 1,12 \text{ l/seg}$$

$$n = 0,6$$

Para poder abastecer todos los cultivos se hará el uso de un caudal de 160.63 m³ diarios, a diferencia del caudal inicial de 96 n3 diarios; este aumento su valor debido a que el riego por aspersión no es muy eficiente.

3.2.2.2. Diseño hidráulico

a. Datos del terreno

Limite Norte y Sur = 75 m

Limite Este y Oeste = 200 m

Superficie de riego = 1,5 ha

b. Datos del aspersor

Modelo del aspersor seleccionado = VYR36

Separación de aspersores = 15 m

Separación de laterales = 18 m

Presión Requerida = 4 bar

Radio de mojado = 15 m

Caudal = 0,8 l/seg

Velocidad de aplicación = 5 mm/h

Altura de operación = 2,4 m

c. Condiciones de diseño

Variación de presión en la tubería principal = 15,00 %

Variación de presión en la tubería lateral = 20,00 %

d. Número de laterales por riego

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 17.

$N = 9$ tuberías laterales

$S_r = 15000 \text{ m}^2$

$L = 100 \text{ m}$

$S = 18 \text{ m}$

e. Número de aspersores por lateral

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 18.

$$n = 8 \text{ aspersores por lateral}$$

$$L = 100 \text{ m}$$

$$S_a = 15 \text{ m}$$

f. Caudal requerido

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 19.

$$Q_l = 194,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_a = 54 \text{ l/seg}$$

$$N = 9 \text{ tuberías laterales}$$

$$n = 8 \text{ aspersores por tubería lateral}$$

g. Tipo de riego

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 20.

$$T_r = 0,41 \text{ horas}$$

$$Q_r = 80,31 \text{ m}^3$$

$$Q_{tl} = 194,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

h. Diámetro interno de la tubería

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 21.

$$h_f = 16 \text{ m.c.a.}$$

$$Q_{tl} = 194400 \text{ l/h}$$

$$L = 95 \text{ m}$$

$$C = 150$$

$$D_i = 115 \text{ mm}$$

Este diámetro no es comercial por lo que se usará uno más común, en este caso usaremos una tubería con un diámetro exterior de 125mm, el cual debe cumplir con la presión mínima requerida:

$$D_{\text{comercial}} = 125 \text{ mm}$$

$$\text{Presión requerida} = 4 \text{ bar}$$

$$\text{Presión usada} = 4 \text{ bar}$$

$$\text{Espesor de la pared} = 4,8 \text{ mm}$$

$$D_{\text{interno}} = 115,4 \text{ mm}$$

i. Pérdidas de carga por fricción

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 22.

$$h_f = 15,87 \text{ m.c.a.}$$

$$Q_{tl} = 194400 \text{ l/h}$$

$$L = 95 \text{ m}$$

$$C = 150$$

$$D_i = 115,4 \text{ mm}$$

j. Coeficiente de salidas múltiples

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 23.

$$F = 0,42$$

$$n = 8 \text{ aspersores por lateral}$$

k. Pérdida de carga efectiva

Primero se halló la variación de presión la cual debe estar dentro del rango máximo que es el 15 %:

Pérdidas de presión en la tubería principal = -15,87 m.c.a.

Diferencia de cotas entre puntos extremos = 16 m.c.a.

Variación de presión = 0,13 m.c.a

Luego se debe calcular la perdida de presión en la tubería lateral, cabe indicar que el rango máximo es del 20 %:

Presión inicial en tubería principal = 43,19 m.c.a.

Presión final en tubería principal = 43,32 m.c.a.

Perdida de presión en tubería lateral = 8,64 m.c.a.

Con los datos obtenidos ahora si se pudo hallar la pérdida de carga efectiva:

$h_f = 20,77$ m.c.a.

$h_{fe} = 8,64$ m.c.a.

$F = 0,42$

Se buscó un nuevo diámetro el cual pueda cumplir con la perdida de carga hallada, para eso se volvió a hallar el diámetro interno de la tubería.

l. Diámetro interno de la tubería

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 21.

$$h_f = 20,77 \text{ m.c.a.}$$

$$Q_{tl} = 21\ 600 \text{ l/h}$$

$$L = 100 \text{ m}$$

$$C = 150$$

$$D_i = 47,8 \text{ mm}$$

Este diámetro no es comercial por lo que se usó uno más común, en este caso usaremos una tubería con un diámetro exterior de 75mm, el cual debe cumplir con la presión mínima requerida:

$$D \text{ comercial} = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Presión requerida} = 4 \text{ bar}$$

$$\text{Presión usada} = 6 \text{ bar}$$

$$\text{Espesor de la pared} = 4.3 \text{ mm}$$

$$D \text{ interno} = 66,4 \text{ mm}$$

m. Pérdidas de carga por fricción

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 22.

$$h_f = 4,21 \text{ m.c.a.}$$

$$Q_{tl} = 21\ 600,00 \text{ m.c.a.}$$

$$L = 100 \text{ m}$$

$$C = 150$$

$$D_i = 66,4 \text{ mm}$$

n. Pérdida de carga efectiva

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 24.

$$h_{fe} = 1,75 \text{ m.c.a.}$$

$$h_f = 4,21 \text{ m.c.a.}$$

$$F = 0,42$$

o. Presión en el extremo lateral

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 25.

$$P_f = 41,44 \text{ m.c.a.}$$

$$P_i = 43,19 \text{ m.c.a.}$$

$$h_{fe} = 1,75 \text{ m.c.a.}$$

p. Presión total

Para hallar este valor se hizo el uso de la ecuación 26.

$$P_t = 48,29 \text{ m.c.a.}$$

$$P_a = 40,79 \text{ m.c.a.}$$

$$L = 75 \text{ m}$$

3.3.Representación de resultados

3.3.1. Cálculo de caudales

Para el cálculo de caudales se han realizado diferentes métodos los cuales varían debido a que cada método toma distintas consideraciones, siendo el más recomendable el método de número de curva; ya que este método hace el uso de los datos morfológicos a diferencia de los otros métodos que son más generalizados.

Este método en comparación a los otros hace el uso de la capacidad de la infiltración, ya que este es un factor importante a la hora de medir las escorrentías; como sabemos un porcentaje de las precipitaciones entran al suelo mientras el resto circula por sobre la superficie de manera superficial.

3.3.2. Diseño de sistema de riego

El valor hallado en la pérdida de carga efectiva para para la variación de presión en la tubería lateral es de 1,75 m.c.a, el cual representa el 4,23 % estando dentro del rango permitido el cual es del 20 %; al igual que la variación de presión producida en la tubería principal en el cual se obtuvo una variación de 0,29 % también estando dentro del rango el cual era del 15 %.

En ambos casos las variaciones están dentro de los parámetros permitidos, también se logra apreciar que nuestro sistema de riego funcione a la perfección es necesaria se pueda trabajar con una presión mayor a 43,19 m.c.a.

También se observa que de los resultados obtenidos son indica que este sistema de riego funcionara con 9 tuberías laterales, de las cuales cada una de estas tuberías tendrán 8 aspersores; haciendo un total de 72 aspersores en nuestro sistema de riego. Cada uno de estos aspersores trabajara con una presión de 4 bar, y se deberá contar con un tanque de almacenamiento de agua con una capacidad de 194,4 m³ el cual abastecerá el sistema en un día.

Al final de los cálculos se halla una presión final, la cual representa a la presión real que se dará en el sistema debido a que se producirán pérdidas del 10 % a lo largo de la longitud de la tubería. Luego de estos cálculos se procede a hallar las potencias requeridas para que funcione el sistema de riego.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Es importante hacer uso de los sistemas de información geográfica para poder determinar el valor de número de curva
- Para usar el Método de número de curva se es importante contar con datos actualizados.
- Cuando se diseña un sistema de riego es importante hacer una comparación de eficiencia y costos, ya que de esto depende mucho la viabilidad del proyecto.
- Para mejorar la eficiencia de los proyectos de sistemas de riegos, es importante darle un mantenimiento adecuado al sistema.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Auccacusi, D. (2014). *Análisis técnico y económico para la selección del equipo óptimo de bombeo en Muskarumi - Pucyura - Cusco usando fuentes renovables de energía*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Chow, V.T. (1988). *Hidrología Aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Linsley, K. y Paulus, L. (1982). *Hidrología para Ingenieros*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Lopez, J. (2010). *Irrigación y Drenaje: Unidad V Diseño de Riego por Aspersión*. Universidad Autónoma de Sinaloa. Sinaloa, México.
- Mendiondo, E.M. y Kirchheim, R.E. (1999). *La hidrogeología urbana y su relación con el balance hídrico de corto plazo*. Universidad Federal de Río Grande del Sur (Porto Alegre, Brasil).
- Ministerio de agricultura (2004). Información de recursos hídricos. Recuperado de <http://www.portalagrario.gob.pe/hidro.html>
- Pedraza, R. A. (2007). *Efectos de escala sobre la simulación del flujo de agua superficial en áreas urbanas usando modelos basados en la onda cinemática*. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Remenieras, G. (1974). *Tratado de Hidrología Aplicada*. Barcelona, España: Técnicos Asociados.

Ruiz, E. y Miren, R. (2005). *Hidrología Aplicada*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao. Bilbao, España.

Sánchez, F. J. (2001). *Hidrología Hidrogeología*. Universidad de Salamanca. Salamanca, España.

Valdés, O. (2007). *Hidrograma unitario sintético*. Universidad Nacional del Nordeste Corrientes, Argentina.