

**EL ESTUDIO
DEL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL AGUA SUBTERRÁNEA
EN LA SABANA DE BOGOTÁ,
EN LA REPÚBLICA DE COLOMBIA**

**INFORME FINAL
INFORME SOPORTE**

PARTE 13

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL
DE AGUAS SUBTERRANEAS**

**Informe Final
(Informe Soporte)**

Parte 13 Evaluación Preliminar del Potencial de Aguas Subterráneas

Tabla de Contenido

	Pag
Tabla de Contenido	i
Lista de Tablas y Figuras	ii
	Pag
CAPITULO - 1 ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO	13-1
1.1 Clasificación y características de los acuíferos	13-1
1.2 Parámetros de los acuíferos.....	13-3
1.3 Mapa hidrogeológico.....	13-4
CAPITULO - 2 BALANCE DE AGUA Y RECARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA	13-7
2.1 Balance del Agua	13-7
2.2 Recarga de Agua Subterránea	13-20
CAPITULO - 3 SIMULACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA	13-38
3.1 Resultado de la simulación del agua subterránea existente.....	13-38
3.2 Simulación del agua subterránea de un área mayor	13-39
3.3 Simulación del agua subterránea en el área del estudio	13-49
CAPITULO - 4 EVALUACION DEL AGUA SUBTERRANEA POTENCIAL ...	13-56

Lista de Tablas y Figuras

	(Pag)
Tabla-1.1 Clasificación de los acuíferos del área de estudio	13-1
Tabla-2.1 Clasificación de las Cuencas	13-8
Tabla 2.2 Flujo de Salida de Aguas Negras	13-13
Tabla-2.3 Coeficientes de Escorrentía Calculados del los Datos de Flujo	13-14
Tabla 2.4 Coeficiente de Escorrentía del Grupo 1	13-16
Tabla 2.5 Coeficiente de Escorrentía de la Cuencas en el Grupo 2 y 3	13-17
Tabla 2.6 Escorrentía del Área de Estudio	13-18
Tabla-2.7 Métodos de utilizados en el área del estudio para evaluar evapo-transpiración potencial y datos meteorológicos necesarios para los cálculos	13-22
Tabla 2.8 Estación de Observación de la CAR	13-25
Tabla 2.9 Total de Humedad Disponible en el Suelo	13-25
Tabla 2.10 Proporción de evapo transpiración promedio de 8 años (Total de Humedad Disponible del Suelo = 50mm)	13-26
Tabla 2.11 Proporción de evapo transpiración promedio de 8 años (Total de Humedad Disponible del Suelo = 70mm)	13-27
Tabla 2.12 Proporción de evapo transpiración promedio de 8 años (Total de Humedad Disponible del Suelo = 90mm)	13-27
Table-2.13 Guía del Mapa de Humedad Total Disponible	13-30
Tabla 2.14 Resultado del Análisis de Recarga de Agua Subterránea	13-34
Tabla 2.15 Recarga total de agua subterránea del área del estudio	13-34
Tabla 2.16 Balance de Agua del Área de Estudio	13-35
Tabla 3.3 Clasificación y parámetros de los acuíferos para la simulación del agua subterránea	13-52
Tabla 3.4 Balance de Agua Subterránea Calculado por la Simulación de Agua Subterránea	13-56
Tabla 3.5 Agua Subterránea Salida del Area de Estudio	13-56
Tabla 4.1 Produccion actual por pozo y recarga de agua subterranea por cuenca	13-57
Tabla-4.2 Producción Segura por Cuenca	13-58

Figura-1.1	Parámetros hidráulicos del acuífero Cuaternario	13-5
Figure-2.1	Calculation Process of Hydrological Analysis	13-7
Figure-2.2	Basin Characteristics	13-9
Figure-2.3	Precipitation Map	13-10
Figure-2.4	Precipitation	13-11
Figura 2.5	Precipitación Total	13-11
Figure-2.6	Correlation among River Flow Data	13-12
Figure-2.7	Flow Curve of Bogota River	13-13
Figure-2.8	Removal of Sewage Discharge	13-14
Figure-2.9	Runoff Coefficient in Group-1	13-15
Figure-2.10	Approximate Curve of Runoff Coefficient in Group-1	13-16
Figura 2.11	Estimacion del Coeficiente de Escorrentía en las cuencas de Bojica, Subachoque y Bogota (3)	13-19
Figura 2.12	ETP Anual	13-24
Figure-2.13	Analyzed Result of 14 Stations (by Soil Types) and Approximation by Function	13-29
Figure-2.14	Clasificación de Humedad Total Disponible en el Suelo	13-31
Figure-2.15	ETR Anual	13-32
Figure-2.16	Recarga de Agua Subterranea Anual	13-33
Figure-2.17	Resultado de Calibración	13-36
Figura-3.1	Área para la simulación de agua subterránea	13-41
Figura-3.2	Condiciones de Limites del Modelo	13-42
Figura-3.3	Ejemplo de la estructura del acuífero en el modelo	13-43
Figura-3.4	Distribución de los pozos	13-45
Figura-3.5	Resultados de la simulación del área grande (Bombeo=0% de Recarga)	13-46
Figura-3.8	Cambio de las divisorias de las aguas subterráneas debido al bombeo en el área de estudio	13-48
Figura-3.10	Ejemplo de la estructura del acuífero en el modelo	13-52
Figura-3.11	Recarga de agua subterránea en el modelo de simulación	13-53
Figura-3.13	Nivel de aguas Subterráneas de la formación cuaternaria calculado por la simulación	13-55

PARTE - 13 EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

CAPITULO - 1 Análisis Hidrogeológico

1.1 Clasificación y características de los acuíferos

(1) Clasificación de los acuíferos

En el estudio, se hizo una clasificación de los acuíferos siguiendo la clasificación geológica. Este estudio sigue la clasificación existente de los acuíferos. La clasificación de los acuíferos y las características de los acuíferos se resumen en la Tabla-1.1

Tabla-1.1 Clasificación de los acuíferos del área de estudio

Edad		Estratigrafía	Faces de la roca	Permeabilidad General
Cuaternario	Holoceno	Aluvión	Arcilla, cieno, arena, grava	Alta-Baja
	Pleistoceno	Formación Terraza	Arcilla, arcilla arenosa, arena	Media-Baja
		Formación Sabana Formación Tilatá	Arcilla, arcilla arenosa, arena Arena y grava, cieno, arcilla(consolidada)	Media-Baja Alta
Terciario	Oligoceno	Formación Usme	Arcilita	Baja
	Eoceno	Formación Regadera	Arenisca, conglomerado, arcilita	Baja
		Formación Bogotá	Arcilita, limolita, arenisca	Media-Baja
	Paleoceno	Formación Cacho	Arenisca, conglomerado	Alta
		Formación Guaduas	Arcilita, esquisto arcilloso	Media-Baja
Cretáceo		Grupo Guadalupe	Arenisca, limolita, esquisto arcilloso (lutita)	Alta-Baja
		Formación Chipaque	Esquisto arcilloso, arenisca	Baja

(2) Características del acuífero

Los acuíferos en el área del estudio están clasificados en 3 tipos, como se muestra a continuación:

- i) Acuífero Cuaternario
- ii) Acuífero Terciario
- iii) Acuífero Cretáceo

Los anteriores acuíferos están constituidos por la alternación de formaciones permeables e impermeables. Por lo tanto, los acuíferos están limitados a las formaciones permeables de los mismos. Cada acuífero tiene su parte de afloramiento por donde se recarga el agua subterránea, por lo tanto cada acuífero tiene características de las dos condiciones, confinado y no confinado.

Acuífero cuaternario

El agua subterránea que actualmente se bombea por los pozos en el área del estudio es almacenada en capas de arena y grava de la formación Sabana. El acuífero cuaternario esta compuesto de capas de arena y grava, las cuales se distribuyen irregularmente en diferentes profundidades con una pobre continuidad. Cada capa de arena y grava tiene diferente nivel de agua subterránea. Por lo tanto, el nivel observado en los pozos es un nivel combinado de agua subterránea de cada capa de arena y grava.

Acuífero terciario

En el área del estudio, el Terciario se compone principalmente de sedimentos arcillosos. Solamente pequeños estratos de arena y grava incluidos localmente en estratos arcillosos forman el acuífero. El terciario es difícil para el desarrollo de agua subterránea porque la escala del acuífero es demasiado pequeña.

Acuífero cretáceo

El sistema cretáceo en el área del estudio, se compone del grupo Guadalupe y del grupo Chipaque. El grupo Guadalupe forma excelentes acuíferos incluida la formación con arena. Por otro lado, la formación Chipaque se compone de un esquisto arcilloso (lutita). Por lo tanto, la formación Chipaque se convierte en el basamento impermeable del acuífero Guadalupe desde el punto de vista hidrogeológico. El grupo Guadalupe se compone de tres formaciones como se muestran abajo:

- a) formación Labor Tierna
- b) Formación Plaeners
- c) Formación Arenisca Dura

La formación Labor Tierna, la formación más alta del grupo Guadalupe, es un excelente acuífero compuesto de una arenisca permeable. La formación Plaeners, la intermedia del grupo Guadalupe, es una formación de baja permeabilidad compuesta de esquistos arcillosos. La formación Arenisca Dura, la formación más baja del grupo Guadalupe, esta compuesta de alternaciones de arena y esquistos arcillosos con baja permeabilidad, y el agua subterránea se almacena solo en las fracturas. Por lo tanto, solamente la formación Labor Tierna, la más alta del grupo Guadalupe, es prometedora para el desarrollo del agua subterránea.

(3) Estructura hidrogeológica

La estructura hidrogeológica del área del estudio está dominada fuertemente por una estructura geológica complicada, y la distribución y continuidad de los acuíferos está influenciada por fallas y plegamientos. Parece que los acuíferos cuaternarios, terciarios y cretáceos forman acuíferos confinados. El acuífero superficial del cuaternario parece formar un acuífero pequeño no confinado. El agua subterránea está confinada en la formación Sabana y en la formación Tilatá que forman el acuífero principal del cuaternario, porque estos estratos están superpuestos por estratos impermeables. El agua subterránea también está confinada en los acuíferos del terciario y del cretáceo por gruesas formaciones impermeables superpuestas. El nivel estático del agua subterránea del cuaternario, terciario y el cretáceo está entre los 20 y los 50 m de profundidad (GL -20/50 m). A pesar de que la profundidad de la distribución de estos acuíferos es diferente, los niveles estáticos del agua subterránea de estos acuíferos son similares. Esto sugiere que hay conexión hidrogeológica entre los acuíferos.

Mecanismo de recarga del agua subterránea del Cuaternario

Existe una gran posibilidad de que el acuífero del cuaternario sea recargado desde cauces de río y depósitos al pie de las montañas. Hay muchos puntos desconocidos en el mecanismo por medio del cual las lluvias que alcanzan la superficie del terreno se infiltran dentro de los acuíferos profundos a pesar de los suelos y estratos impermeables. Sin embargo, en la situación actual, parece mejor estimar la recarga de agua subterránea con base en el mecanismo explicado anteriormente. Por lo tanto, en este estudio, se estimó la recarga de agua subterránea con base en el mecanismo anteriormente (véase 3.5.3). La estimación existente de la recarga de agua subterránea por INGEOMINAS y el análisis que en el momento realiza la

CAR usan el mismo mecanismo de recarga. El mecanismo de recarga de agua subterránea del Terciario es considerado igual al del Cuaternario.

Mecanismo de recarga de agua subterránea del Cretáceo

El Grupo Cretáceo forma las montañas que rodean la Sabana de Bogotá. El grupo Cretáceo se distribuye en la parte profunda del suelo en el centro de la Sabana de Bogotá por plegamientos y movimientos de las fallas. Por lo tanto, se asume que el acuífero del Cretáceo se recarga en las montañas que rodean la Sabana de Bogotá. El agua infiltrada recargada en las montañas puede estar fluyendo hacia las partes más profundas del acuífero. La formación cretácea está dividida por muchas fallas. Sin embargo, el papel de las fallas en el flujo de agua subterránea es desconocido hasta ahora. El agua subterránea del acuífero del Cretáceo está fuertemente confinada, lo cual algunas veces resulta que el agua subterránea fluya hacia el Terciario y el Cuaternario sobrepuestos al Cretáceo. Sin embargo, no hay datos que prueben esta situación. Es más natural pensar que el agua subterránea se recarga en la superficie del terreno y que se infiltra dentro del Cretáceo profundo a través del Cuaternario y el Terciario. Existe la posibilidad excepcional de que el agua subterránea fluya hacia arriba cerca de los pozos en bombeo.

1.2 Parámetros de los acuíferos

La permeabilidad y el almacenamiento dominan las características de los acuíferos, las cuales son expresadas por los coeficientes de permeabilidad y almacenamiento. Estos valores son obtenidos mediante pruebas de bombeo. Se analizaron los parámetros de los acuíferos a partir de los resultados de las pruebas de bombeo que fueron realizados en el área del estudio. Para este análisis, solamente se usaron los resultados confiables de las pruebas de bombeo. El resultado de este análisis se muestra en la Figura-3.70 y en la Figura-3.71.

Parámetros del acuífero del Cuaternario

Tal como se muestra en la Figura-1.1, producción o producto, capacidad específica, transmisividad, coeficiente de permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento tienen unos valores de amplio rango, y aproximado por la distribución normal logarítmica. La capacidad específica tiene una fuerte relación con la transmisividad y es posible estimar de un modo general la transmisividad a partir de esta relación. Los resultados de las pruebas de bombeo son resumidos en la Tabla-3.46. Los valores representativos en esta tabla significan valores cercanos al centro de la distribución normal logarítmica.

Tabla-1.2 Parámetros hidráulicos del acuífero cuaternario

Parámetros	Rango	Valores Representativos
Producción (m ³ /día)	30-1.500	150 - 250
Capacidad específica (m ³ /día/m)	1-500	4 -30
Transmisividad (m ² /día)	1.5-250	4 -15
Coeficiente de permeabilidad (m/día)	0,01-10.0	0,15 - 1.0
Coeficiente de almacenamiento (-)	10 ⁻⁷ -10 ⁻¹	10 ⁻⁵ - 10 ⁻³

Parámetros hidráulicos de Guadalupe

Tal como se muestra en la Figura-1.2, producción o producto, capacidad específica, transmisividad, coeficiente de permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento tienen valores en un rango amplio, y estas distribuciones son aproximadas por la distribución normal logarítmica. La relación entre transmisividad y la capacidad específica no es fuerte. Los

resultados de las pruebas de bombeo se resumen en la Tabla-1.3 Los valores representativos Tabla-1.3 significan valores de cerca del centro de una distribución normal logarítmica.

Tabla-1.3 Parámetros hidráulicos del acuífero Guadalupe

Parámetro	Rango	Valores Representativos
Producción (m ³ /día)	50-7000	150-1000
Capacidad Especifica (m ³ /día/m)	1-1000	10-120
Transmisividad (m ² /día)	1-1000	15-150
coeficiente permeabilidad (m/día)	0,05-10,0	0,5-1,0
coeficiente de almacenamiento (-)	10 ⁻⁹ -10 ⁻¹	10 ⁻⁷ -10 ⁻³

1.3 Mapa hidrogeológico

El Equipo del estudio compiló un mapa hidrogeológico con el uso de SIG poniendo juntos todos los resultados del estudio de la Fase-I y la Fase-II. Varias clases de información sobre hidrogeología y desarrollo de agua subterránea están compilados y visualizados en este mapa hidrogeológico, el cual está finalmente almacenado y operado por SIG. Los temas que son distribución de acuíferos, nivel del agua subterránea, recarga del agua subterránea por el acuífero, distribución de los pozos, distribución de los parámetros acuíferos, (coeficiente de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento), distribución de la calidad del agua subterránea, potencial de desarrollo del agua subterránea por acuífero y demás.

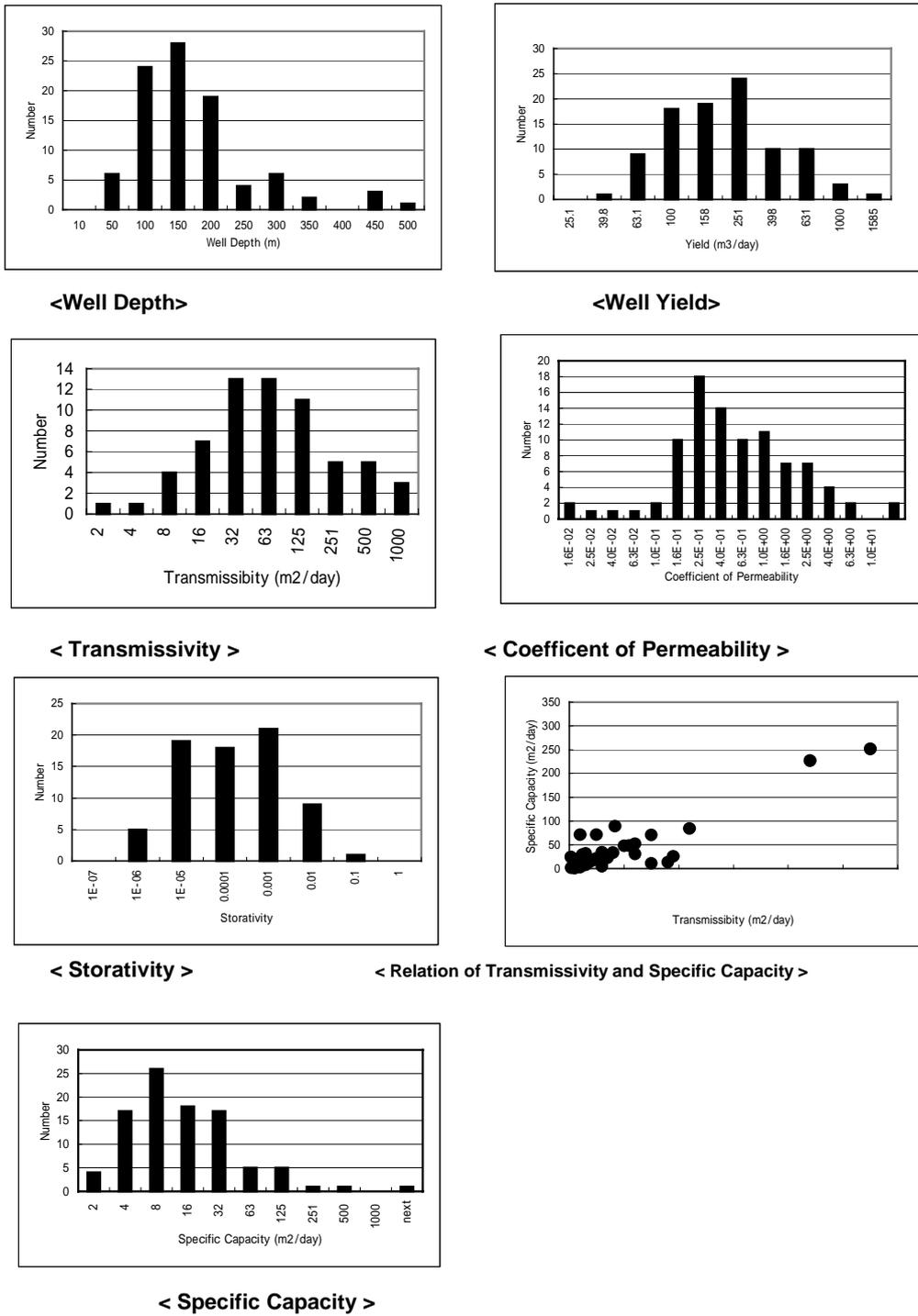


Figura-1.1 Parámetros hidráulicos del acuífero Cuaternario

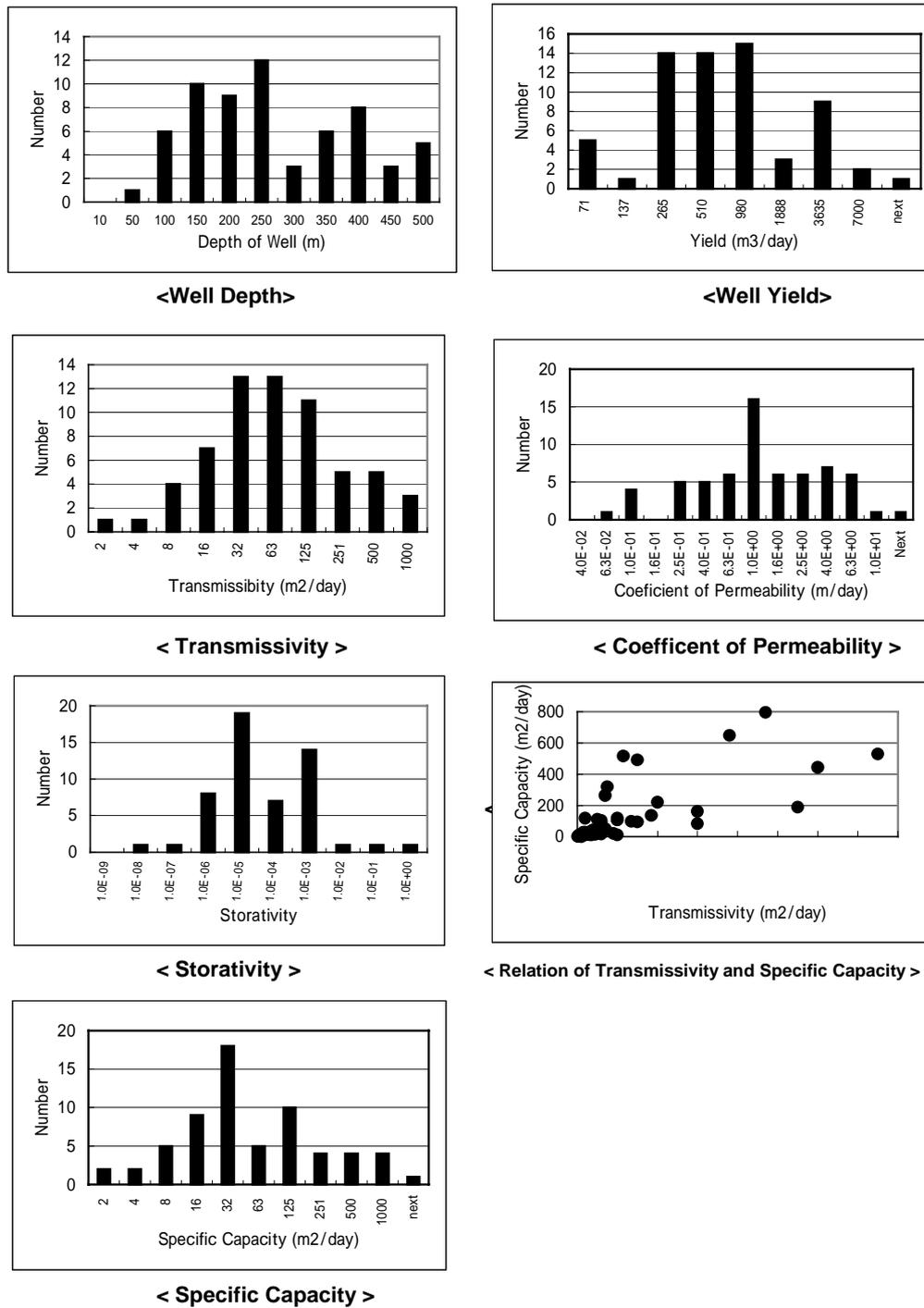


Figura-1.2 Parámetros hidráulicos del acuífero Cretácico

CAPITULO - 2 Balance de agua y recarga de agua subterránea

El propósito del análisis del balance de agua es estimar la recarga de agua subterránea del área del estudio. Antes del análisis del balance de agua hecho por el equipo del estudio, se examinaron los resultados existentes de los análisis del balance de agua. Datos hidrológicos y meteorológicos de la CAR y de la EAAB fueron usados para el análisis de balance de agua. La recarga de agua subterránea es el resultado (output) del análisis del balance de agua y se usa como parámetro de entrada (input) para la simulación del agua subterránea.

2.1 Balance del Agua

(1) Metodo de Analisis

El proceso de cálculo de escorrentía y precipitación de la cuenca es mostrado en la. El análisis del balance del agua es explicado a continuación.

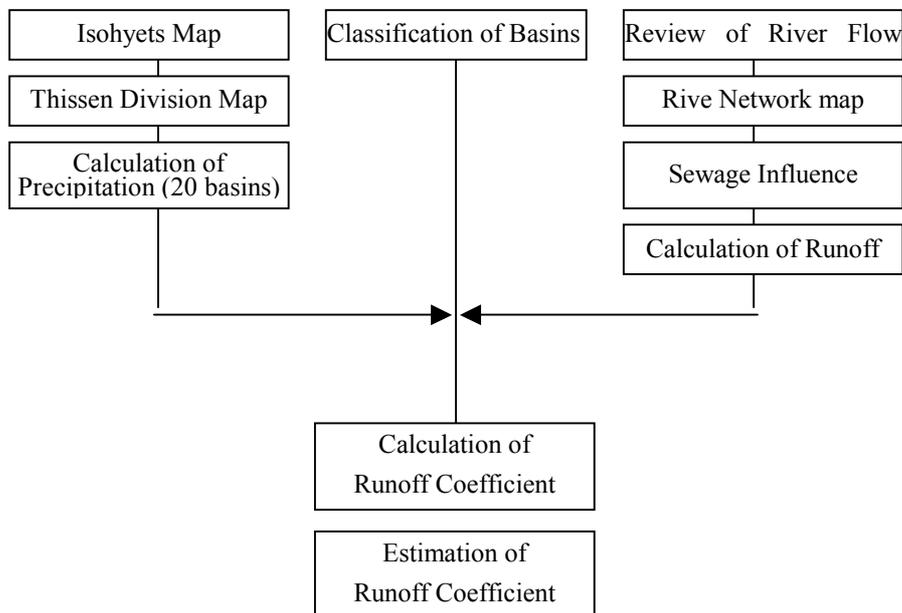


Figure-2.1 Calculation Process of Hdrolological Analysis

(2) Clasificacion de las Cuencas

Basándose en la suposición de que la escorrentía dentro del río ocurre básicamente en montañas, se estimo que las características topográficas (radio del área entre montañas y planicie) y el coeficiente de escorrentía de la cuenca deben guardar un relación estrecha. Sobre las bases de esta estimación, todas las 20 cuencas fueron divididas dentro de tres grupos de acuerdo a los radios de sus áreas. Para las cuencas sin ningún dato de flujo de río disponible para el cálculo del coeficiente de escorrentía, se les es aplicado el coeficiente de escorrentía de otras cuencas que pertenezcan al mismo grupo.

Tabla-2.1 Clasificación de las Cuencas

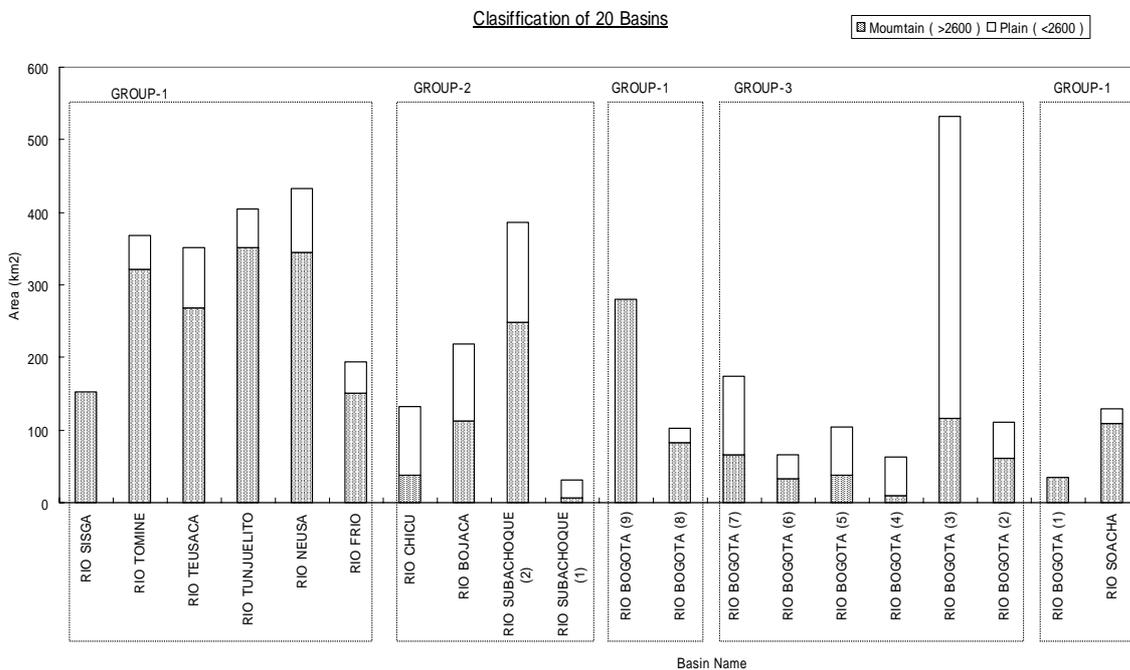
Grupo 1	Alta proporción de área de montañas. Principalmente cuencas de ríos subafuentes. Datos de una pequeña influencia de actividad humana sobre el flujo del río.
Grupo2	Radio de área de cerca del 50%. Cuencas de ríos subafuentes en el area de agricultura. Datos de una influencia significativa de agua de insumo sobre el flujo del río.
Grupo3	Porcion de area baja de sabana. Flujo principal el Rio Bogotá. Datos de influencias significativas sobre el flujo del rio, por ejemplo: Salidas de aguas negras e tomas para insumo de agua para uso domestico e irrigacion.

(3) Cálculo de la Precipitación

Basándose en datos de precipitación a largo plazo, el mapa de precipitación anual fue hecho como se muestra en la Figura-2.3. La precipitación anual por cuenca fue calculada de este mapa. La figura muestra que la intensidad de lluvias es alta en las arias subafuentes del Grupo 1 y baja en el suroeste de la sabana; el promedio de precipitación anual es de 941 mm en la cuenca del Río Tunjuelito al máximo y de 600 mm en la cuenca de Subachoque como mínimo.

Con el fin de demostrar el error de la precipitación por área de todo el estudio el cual es causado por la distribución de punto de lluvia en cada estación de observación, fue llevada a cabo una comparación. El promedio simple de precipitaciones de punto y la precipitación por area calculada por cuenca es mostrada en la Figura-2.5.

De acuerdo con esta figura, se estima que la diferencia regional de precipacion de punto da un error del 10% al máximo en la precipitación por área del área de estudio.



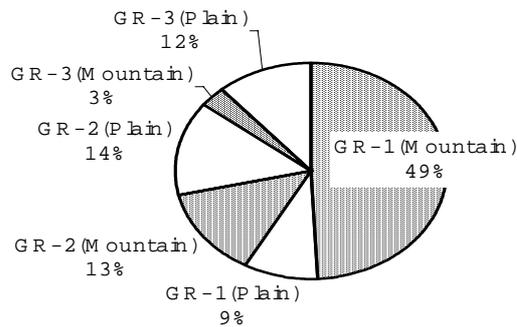


Figure-2.2 Basin Characteristics

(4) Cálculo de la Escorrentía

Repaso de los Datos de Flujo de Río

Los datos de flujo del río para cálculos de la escorrentía parecen ser no muy precisos debido al error de medida y la suerte en la calibración del dispositivo así como la influencia de las actividades humanas. Por criterio de precisión de los datos de flujo de río, la correlación entre los datos de las estaciones de observación continua localizados en el mismo río fueron analizados. La Figura-2.6 muestra los ejemplos.

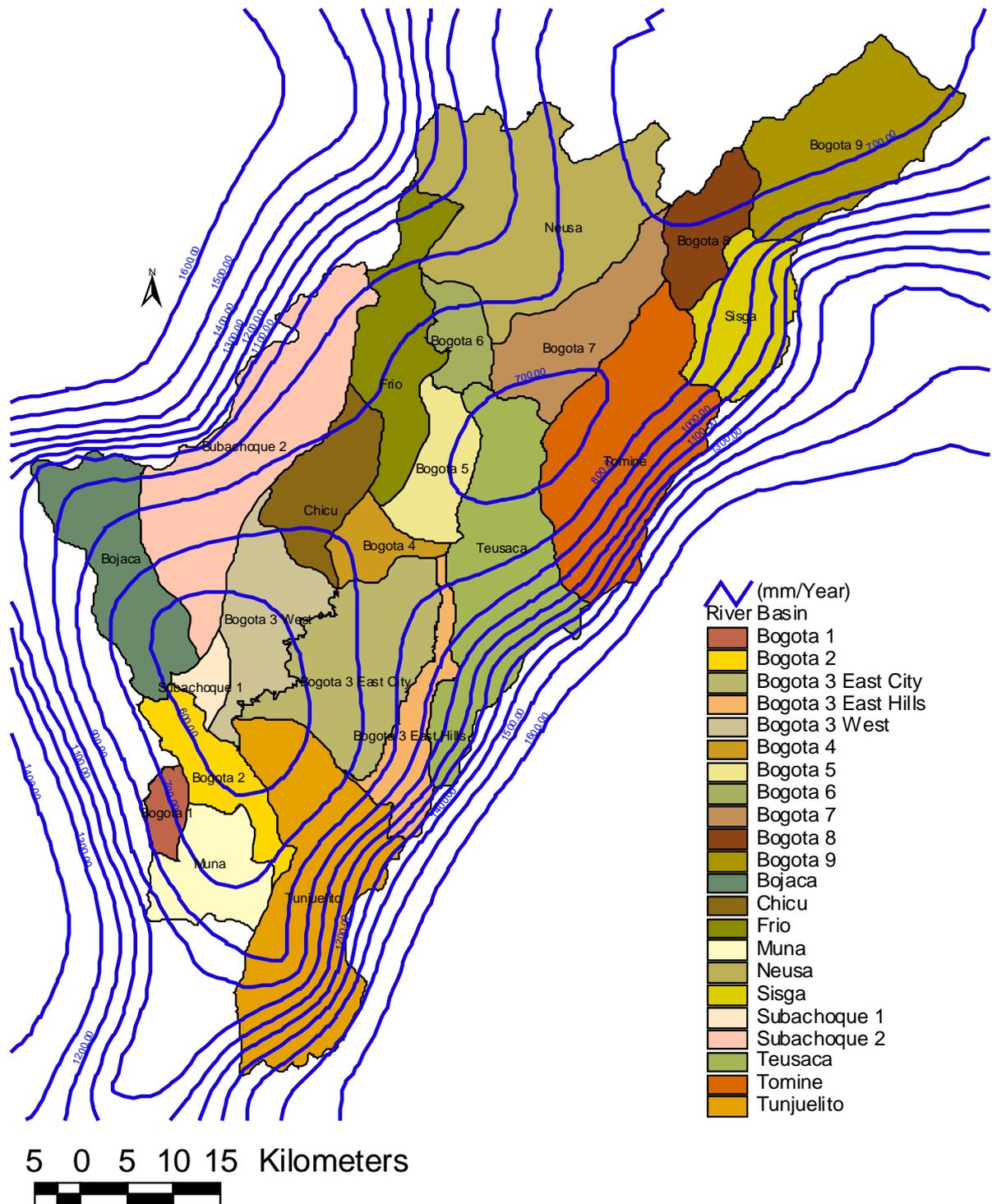


Figure-2.3 Precipitation Map

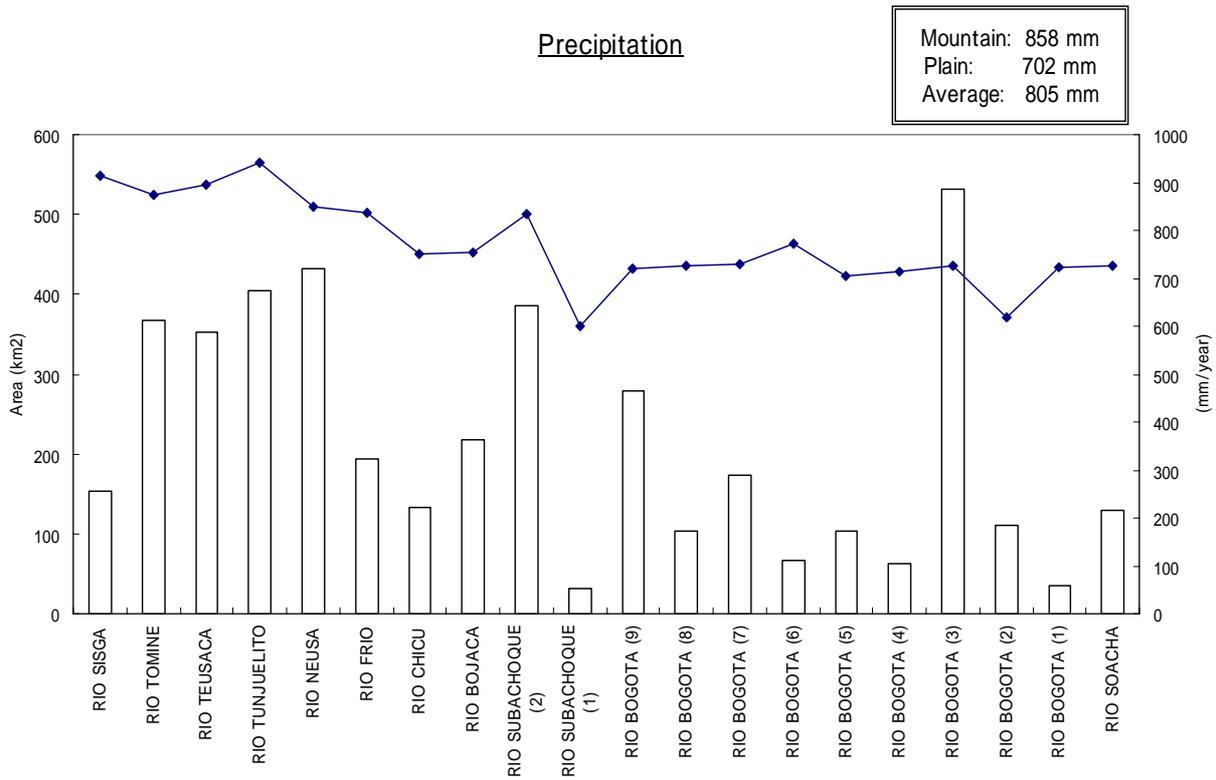


Figure-2.4 Precipitation

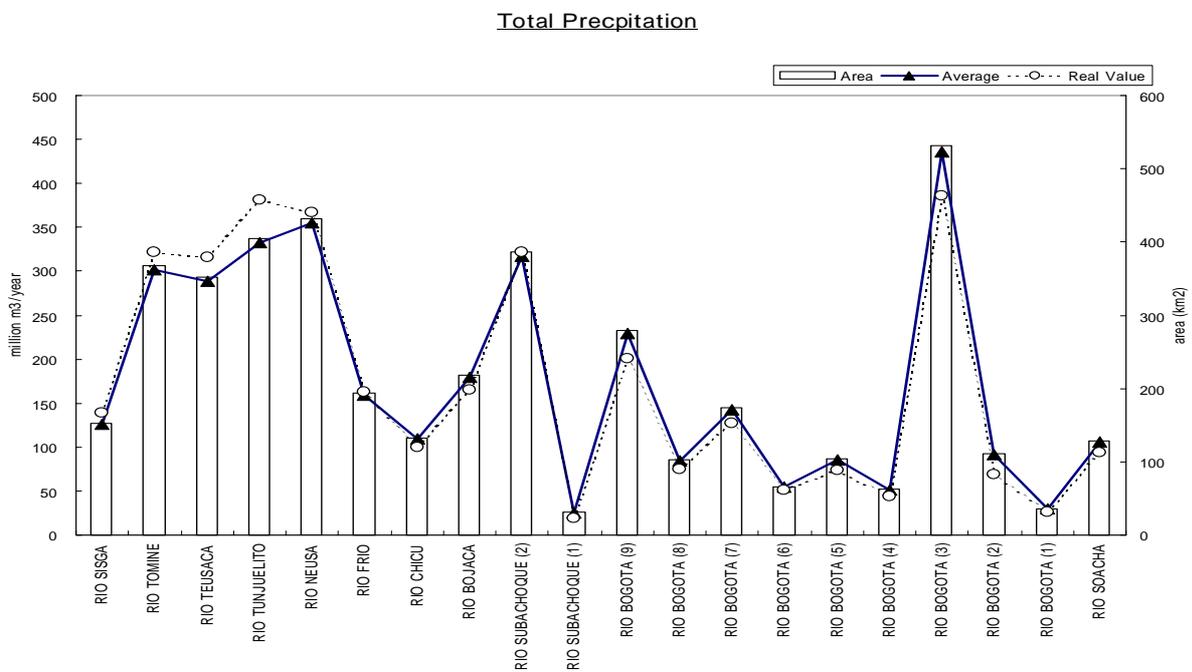


Figura 2.5 Precipitación Total

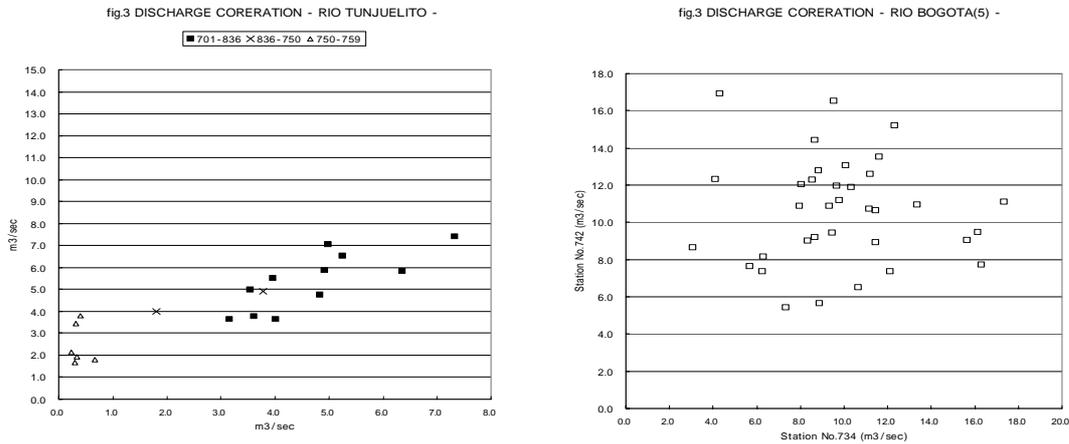


Figure-2.6 Correlation among River Flow Data

En las figuras de arriba, la de la izquierda muestra la correlación entre los datos del flujo del río de las estaciones de observación en la cuenca de Tunjuelito y la de la derecha muestra lo mismo de la cuenca de Bogotá (5). En el primer caso, puede ser reconocida una Buena correlación. Sin embargo, en el otro caso parece existir poca correlación en la figura.

Trazado de la Red Fluvial

Un mapa de la red fluvial fue trazado diagramando los datos de flujo. Consecuentemente, fue hecho un diagrama de flujo del Río Bogotá (Figura-2.7) diagramando las observaciones de flujo del área río arriba a la estación de Alicachin localizada río abajo. Este diagrama muestra claramente que el agua utilizada como insumo de la planta de purificación de Tibitoc y la salida de aguas negras del centro de la ciudad de Bogotá afectan la descarga del Río Bogotá en alto grado.

Influencia del Flujo de Salida de Aguas Negras

Ya que el flujo de salida de aguas negras tiene un impacto significativo sobre la descarga del Río Bogotá, por ejemplo: las cuencas de Bogotá (3) y Bogotá (4) y Río Tunjuelito. Para estos ríos, el flujo de salidas de aguas negras debe ser substraído de la descarga obtenida del dato de flujo. Se asumió un 80 % de aguas negras del volumen de suministro de agua, de la cual las aguas negras de la cuenca de Bogotá (3) hacen más del 79%, de la cuenca de Bogotá (4) el 9% y de la cuenca de Tunjuelito el 12% en proporción a sus áreas. En esta asunción, el suministro de agua por unidad de área de la cuenca de Tunjuelito fue estimado como la mitad del de las otras cuencas. A medida que la cantidad de suministro de agua aumenta año por año, un método de promedio simple no esta disponible para la estimación del flujo de salida de aguas negras. Para la cuenca de Bogotá (3) la cual hace mucho del flujo de salida de aguas negras, una escorrentía neta es mostrada en la Figura-2.8, ha sido estimada teniendo en cuenta los datos de flujo en la ensenada y la desembocadura así como de la cantidad de suministro de agua. Los datos de flujo del río desde 1973 hasta 1999 fueron aplicados para el cálculo. Los siguientes valores han sido obtenidos de dicho cálculo.

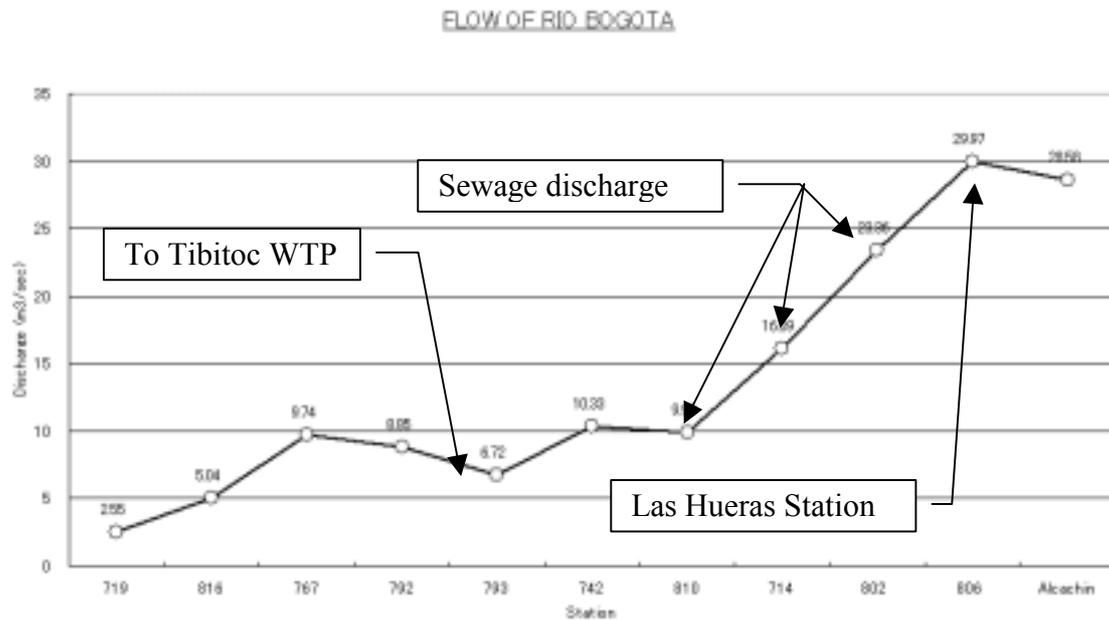


Figure-2.7 Flow Curve of Bogota River

Tabla 2.2 Flujo de Salida de Aguas Negras

Periodo de datos de flujo del río aplicados > 1973 – 1999		
Promedio de suministro de agua: 12.8 m ³ / sec		
Total de Flujo de Salida de Aguas Negras	Total	10.24 m ³ /sec
	Bogotá (3)	8.09 m ³ /sec
	Tunjuelito	1.23 m ³ /sec
	Bogotá (4)	0.93 m ³ /sec
Escorrentía bruta	Bogotá (3)	13,15 m ³ /.sec
	Tunjuelito	4.94 m ³ /sec
Escorrentía neta	Bogotá (3)	5.06 m ³ /sec
	Tunjuelito	3.71 m ³ /sec

Real Runoff in RIO BOGOTA (3) Basin

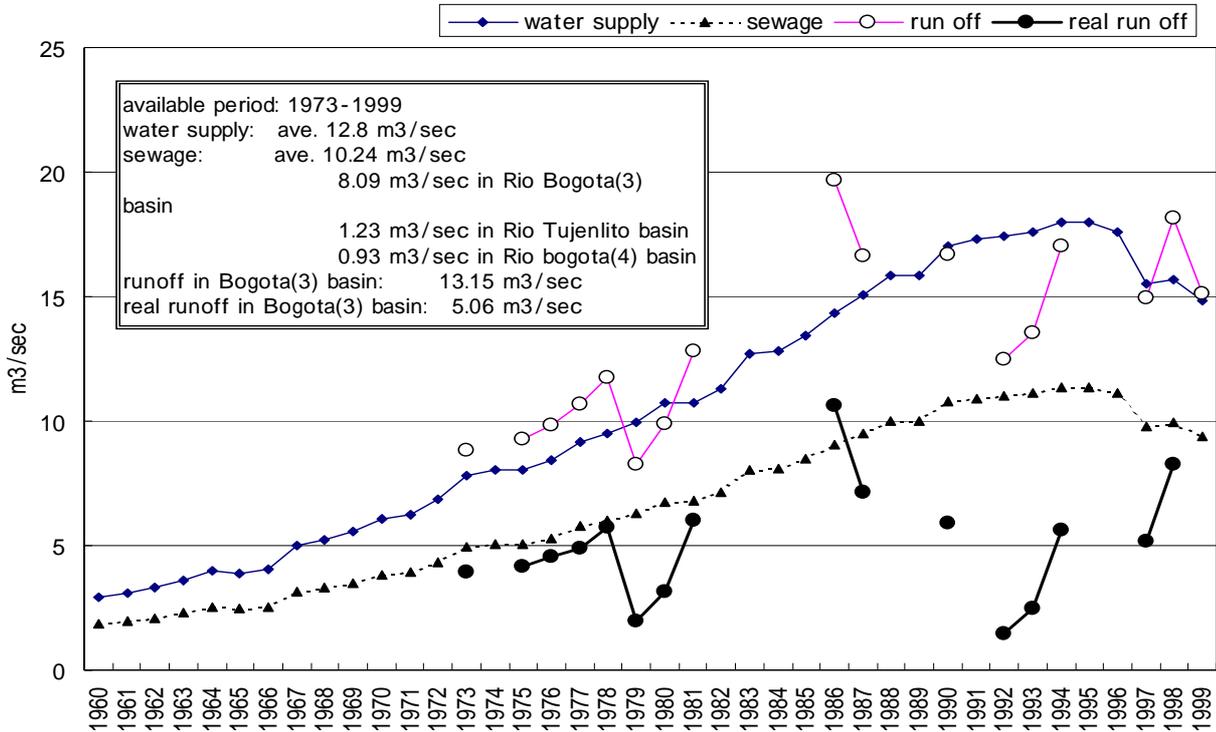


Figure-2.8 Removal of Sewage Discharge

Los coeficientes de escorrentía han sido calculados de sus escorrentías calculadas. Tanto para el Grupo 2 como para el Grupo 3, solamente fueron calculados los coeficientes de escorrentía para unas pocas cuencas debido a la carencia de datos aplicables del flujo del río. En los casos de las cuencas del río Tunjuelito y el río Bogotá (3), los coeficientes de escorrentía netos son puestos debajo con los coeficientes brutos, en donde están incluidos los flujos de salida de aguas negras.

Tabla-2.3 Coeficientes de Escorrentía Calculados del los Datos de Flujo

	Nombre de la Cuenca	Coefficiente de Escorrentía
Grupo 1	RIO SIGSA	40.0%
	RIO TOMINE	34.0%
	RIO TUNJUELITO	30.7% (40.9%)
	RIO NEUSA	21.5%
	RIO BOGOTA (9)	39.9%
Grupo 3	RIO BOGOTA (5)	20.0%
	RIO BOGOTA (3)	41.0% (107.6%)

Nota: lo que aparece en parentesis muestra el coeficiente neto de escorrentía.

(4) Estimación del Coeficiente de Escorrentía

Un coeficiente de escorrentía fue aplicado para estimar los de otras cuencas. Para este propósito, es muy importante aplicar la mayor cantidad de datos que sea posible. Por consiguiente los datos disponibles de estaciones localizadas en una cuenca fueron aplicados para las estimaciones.

Grupo 1

Los coeficientes de escorrentía de las estaciones en el Grupo 1 están diagramados en la Figura 2.9. Los coeficientes de escorrentía varían ampliamente en donde el área de la cuenca es pequeña pero estos comienzan a converger a medida que el área de la cuenca se vuelve más grande. El coeficiente de escorrentía de la cuenca Tunjuelito luce alto debido a que se usa un valor bruto. Por el contrario, el de la desembocadura de la cuenca del Neusa en la parte derecha de la figura luce bajo comparado con otros puntos.

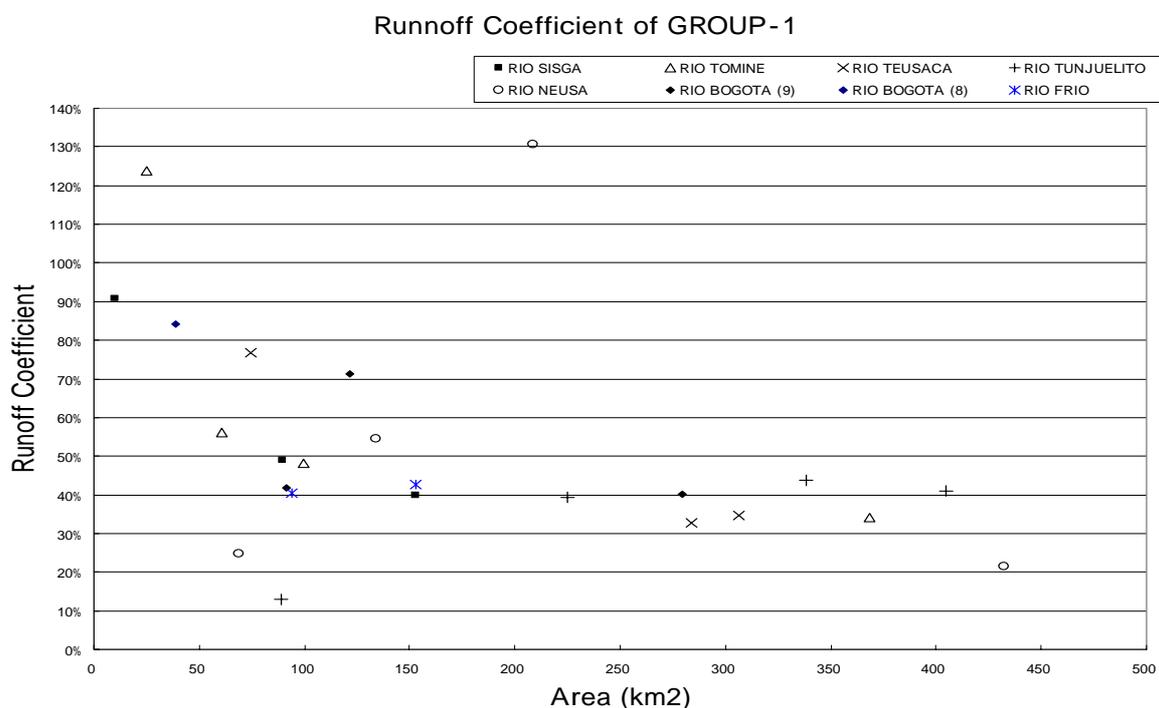


Figure-2.9 Runoff Coefficient in Group-1

El cuadro anterior tiene que ver con una fórmula aproximada, usando esta fórmula el coeficiente de escorrentía puede ser calculado un área de la cuenca. La fórmula aproximada es usualmente expresada por medio de una curva exponencial. Sin embargo, el coeficiente de escorrentía tiende a ser alto y no a corresponder a la realidad en caso de que el área de la cuenca sea pequeña debido a sus características matemáticas. Ya que tanto la curva exponencial como la recta lineal muestran casi los mismos aspectos sobre alguna extensión del área de la cuenca, la linealización es aplicada para la fórmula aproximada.

La Figura-2.10 es la curva de linealización aproximada obtenida del cuadro anterior al diagramar los puntos disponibles.

Los coeficientes de escorrentía en el Grupo 1 fueron identificados como se muestra en la Tabla 2.4 aplicando la curva aproximada a las cuencas donde los coeficientes de escorrentía son desconocidos. Por otro lado, el valor de la cuenca Bogotá (9) fue aplicado a el de la

cuenca Bogotá (8) asumiendo que el valor de Bogotá (8) es supuestamente casi el mismo que el de Bogotá (9) debido a que ambas cuencas contiguas. Fundamentalmente, los coeficientes de escorrentía obtenidos de los datos de flujo fueron aplicados. Sin embargo, ya que el valor de la cuenca Neusa es menor que el de las otras cuencas, el valor obtenido de la curva aproximada fue aplicado sobre la suposición de que este resultó del agua usada como insumo, especialmente de agua para suministro.

Tabla 2.4 Coeficiente de Escorrentía del Grupo 1

Cuenca	Coeficiente de Escorrentia		
	Dato de la Estacion	Formula Aproximada $5x+0.5183$	Valor Aplicado
Sisga	39.8%	44.2%	39.8%
Tomine	34.2%	33.4%	34.2%
Teusaca	-	34.2%	34.2%
Tunjelito	30.7%(40.9%)	31.6%	30.7%
Neusa	21.5%	30.2%	30.2%
Frio	-	42.1%	42.1%
Bogota(9)	40.0%	37.9%	40.0%
Bogota(8)	-	46.7%	40.0%
Bogota(1)	-	50.1%	50.1%
Muna	-	45.4%	45.4%

Approximate Curve of Runoff Coefficient in GROUP-1

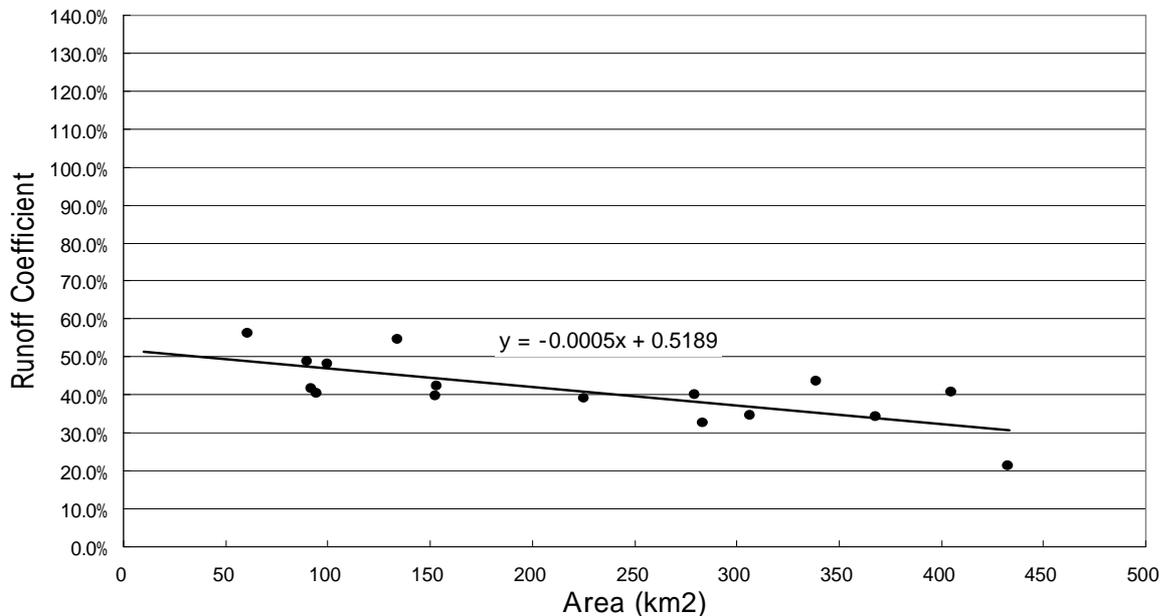


Figure-2.10 Approximate Curve of Runoff Coefficient in Group-1

Grupo 2 y 3

En el Grupo 2 y 3, la proporción de área de sabana es alta. Los coeficientes de escorrentía que pertenecen a estos grupos fueron calculados sobre el supuesto de que el coeficiente de escorrentía de la sabana no varía relativamente al área de la cuenca y que es casi constante ya que la escorrentía se da principalmente en las montañas. Las cuencas con coeficientes de escorrentía calculados de los datos de observación son las cuencas de Bogotá (3) y Bogotá (4). Entre ellas, la cuenca de Bogotá (3) es una región urbanizada en el núcleo de la ciudad de Bogotá y su coeficiente de escorrentía no puede ser usado para otras áreas en donde la agricultura es dominante. Por consiguiente, solamente el valor de la cuenca de Bogotá (5) puede ser aplicado para estimar los valores de otras cuencas. Dentro de las cuencas en el grupo 2 y en el 3, el coeficiente de escorrentía del 20% de Bogotá (5) ha sido aplicado directamente a las cuencas de Chicú y Subachoque (2). Solamente para la cuenca de Bogotá (4) localizada en el norte de la Ciudad de Bogotá, el valor de Bogotá (3) fue aplicado porque el uso del suelo en esta área es el mismo que en la cuenca de Bogotá (3). También, la cuenca de Bogotá (3) ha sido dividida en dos sub cuencas por el Río Bogotá, Bogotá (3)-E como el lado este y Bogotá (3)-W como lado oeste, porque la cuenca de Bogotá (3) tiene un área extensa y tiene aspectos completamente diferentes en ambos lados. Por lo tanto, los coeficientes de escorrentía han sido estimados para ambas sub cuencas. También, las cuencas de Bojica y Subachoque han sido divididas en dos áreas, sabana y montaña. Por lo tanto, los respectivos coeficientes de escorrentía fueron estimados aplicando la curva aproximada a la montaña y el coeficiente de escorrentía del 20% de la cuenca Bogotá (5) a la sabana. Los coeficientes de escorrentía en los Grupos 2 y 3 son resumidos en la Tabla 2.5. Adicionalmente, el cálculo de los coeficientes de escorrentía de las cuencas Bogotá (3)-E, Bogotá (3)-W, Bojica y Subachoque son mostrados en la Figura 2.11.

Tabla 2.5 Coeficiente de Escorrentía de la Cuencas en el Grupo 2 y 3

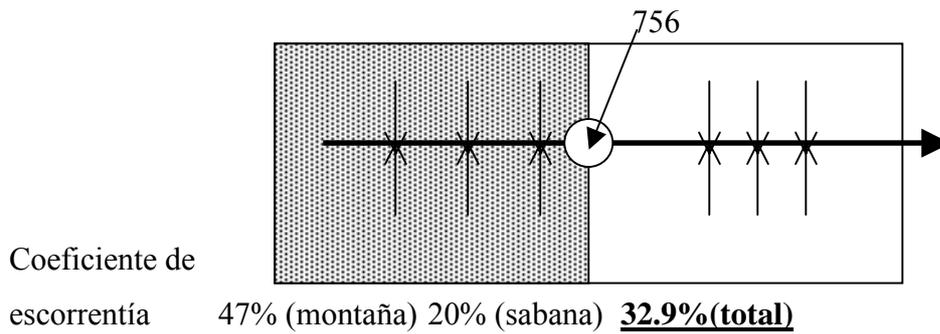
	Nombre de la Cuenca	Coefficiente de Escorrentía	Cuencas
Grupo 2	RIO CHICU	20.0%	Valor de Bogotá (5)
	RIO BOJACA	32.9%	Ver el cálculo de la siguiente página
	RIO SUBACHOQUE (2)	32.2%	Ver el cálculo de la siguiente página
	RIO SUBACHOQUE (1)	20.0%	Valor de Bogotá (5)
Grupo 3	RIO BOGOTA (7)	20.0%	Valor de Bogotá (5)
	RIO BOGOTA (6)	20.0%	Valor de Bogotá (5)
	RIO BOGOTA (5)	20.0%	Del dato de flujo de observación
	RIO BOGOTA (4)	41.0%	Valor de Bogotá (3)
	RIO BOGOTA (3)-E	48.5%	Ver el cálculo de la siguiente página
	RIO BOGOTA (3)-W	20.0%	Valor de Bogotá (5)
	RIO BOGOTA (2)	20.0%	Valor de Bogotá (5)

La escorrentía que fue obtenida finalmente para toda la cuenca es mostrada en la Tabla 2.6.

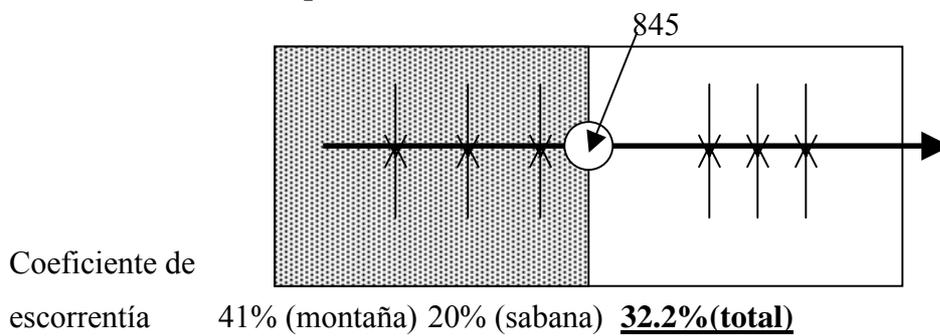
Tabla 2.6 Escorrentía del Área de Estudio

Cuenca	Precipitación Anual (mm)	Coefficiente de Escorrentía (%)	Escorrentía (m3/sec)	Cuenca	Precipitación Anual (mm)	Coefficiente de Escorrentía (%)	Escorrentía (m3/sec)
SISGA	913	40.0%	1.77	BOGOTÁ (8)	725	40.0%	0.95
TOMINE	873	34.0%	3.47	BOGOTÁ (7)	730	20.0%	0.80
TEUSACA	896	34.2%	3.42	BOGOTÁ (6)	772	20.0%	0.32
TUNJUELITO	941	30.7%	3.71	BOGOTÁ (5)	705	20.0%	0.47
NEUSA	850	30.2%	3.52	BOGOTÁ (4)	713	41.0%	0.58
FRIO	838	42.1%	2.18	BOGOTÁ (3)-E	770	48.5%	4.36
CHICU	752	20.0%	0.63	BOGOTÁ (3)-W	624	20.0%	0.65
BOJACA	755	32.9%	1.72	BOGOTÁ (2)	618	20.0%	0.44
SUBACHOQUE (2)	833	32.2%	3.28	BOGOTÁ (1)	722	50.1%	0.41
SUBACHOQUE (1)	600	20.0%	0.12	MUNA	727	45.4%	1.35
BOGOTÁ (9)	719	39.9%	2.54	-	-	-	-
Total	Precipitación Anual = 802mm, Coeficiente de Escorrentía = 33.7%, Escorrentía = 36.68(m3/sec)						

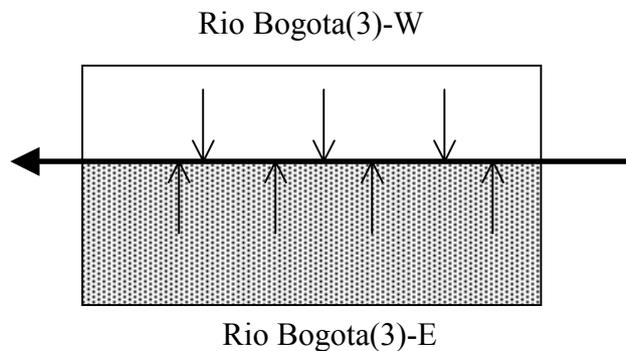
Cuenca Rio Bojaca:



Cuenca Rio Subachoque (2):



Cuenca Rio Bogotá (3):



Coefficiente de escorrentía	Rio Bogota(3)-W	20% (plain)
	Rio Bogota(3)-E	48.5%
	Rio Bogota(3) Total	41.4%

Figura 2.11 Estimacion del Coeficiente de Escorrentía en las cuencas de Bojica, Subachoque y Bogota (3)