

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CAPACIDAD DE AMORTIGUAMIENTO DE
LA SUB-CUENCA RÍO ARZOBISPO EN TRES PERIODOS DISTINTOS FRENTE A
UN EVENTO DE ALTA PLUVIOSIDAD MEDIANTE EL SISTEMA DE
MODELAMIENTO “HEC-HMS”.**

AUTORES:

**SERGIO ANDRES GARCÍA DAZA
JUAN CAMILO DOVAL BERROCAL**

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD: INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C.
AÑO 2015**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CAPACIDAD DE AMORTIGUAMIENTO DE
LA SUB-CUENCA RÍO ARZOBISPO EN TRES PERIODOS DISTINTOS FRENTE A
UN EVENTO DE ALTA PLUVIOSIDAD MEDIANTE EL SISTEMA DE
MODELAMIENTO “HEC-HMS”.**

AUTORES:

**SERGIO ANDRES GARCÍA DAZA
JUAN CAMILO DOVAL BERROCAL**

Trabajo de grado para optar al título de:

INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR DE PROYECTO DE GRADO

RAÚL ERNESTO CELIS OSSA

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD: INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C.
AÑO 2015**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado
Bogotá, Noviembre 2015

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a nuestras familias, en especial a nuestros padres, por su apoyo incondicional a lo largo de nuestras vidas y por su confianza.

A todas las personas que de alguna manera nos apoyaron y aportaron durante nuestra formación académica y en la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento

A nuestras familias por su apoyo a lo largo de nuestro ciclo de formación académica, por su comprensión y afecto, sin el cual no hubiese sido posible concluir esta etapa de nuestras vidas.

Al ingeniero Raúl Ernesto Celis Ossa, por su acompañamiento temático y orientación, que con su empeño, exigencia y asesoría ayudó al desarrollo de la investigación y la conclusión de esta.

Al Ingeniero Alejandro Enrique Moreno Andrade por su apoyo y seguimiento al trabajo de investigación.

A la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá por suministrarnos datos relevantes para el desarrollo de la investigación.

En general a todas las personas que de alguna manera hicieron parte de este trabajo.

Y a todos nuestros maestros que durante el proceso educativo nos dejaron un legado de sabiduría que será base para nuestro desarrollo profesional.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Título de la Investigación	2
<i>Descripción del problema</i>	2
<i>Formulación del Problema</i>	2
Justificación	63
<i>Delimitción del problema</i>	63
Objetivo General	4
<i>Objetivos Específicos</i>	4
Marco de Referencia	5
<i>Marco Teórico</i>	5
<i>Marco Conceptual</i>	9
<i>Marco Legal</i>	11
<i>Marco Geográfico</i>	12
<i>Red hidrográfica dentro de la Cuenca Río Salitre</i>	13
<i>Patrones de Drenaje a Nivel Cuenca, Cuenca Río Salitre</i>	15
<i>Caudal de Diseño y Período de Retorno Río Arzobispo</i>	16
<i>Marco Histórico</i>	17
Metodología de la Investigación	28
<i>Fase de Trabajo de Campo y Laboratorio</i>	29
<i>Flujograma Metodológico del Proyecto de Grado</i>	33
<i>Panorama Puntos Seleccionados de Muestreo</i>	34
<i>Valores Morfométricos calculados de la Sub- Cuenca Río Arzobispo</i>	34
Análisis Modelamiento Hidrológico	35
<i>Modelación Río Arzobispo 1948</i>	37
<i>Modelación Río Arzobispo 1993</i>	38
<i>Modelación Río Arzobispo 2015</i>	39
<i>Número de Curva Escorrentía Representativa de la Sub-cuenca</i>	40
<i>Cambios en el Uso del Suelo (1938 - 2015)</i>	42
Resultados Análisis de Laboratorio	47

<i>Análisis de Resultados</i> _____	48
<i>Análisis Comparativo Normatividad Agua Potable y de Consumo Humano</i> _____	56
<i>Comparativo de las condiciones físicas y químicas de la sub-cuenca del Río Arzobispo estado rural-urbano</i> _____	59
<i>Conclusiones</i> _____	61
<i>Recomendaciones</i> _____	62
<i>Referencias Bibliográficas</i> _____	63
<i>Anexos</i> _____	67

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Localización General Cuenca del Río Salitre.	12
Ilustración 2 Plano Sub-Cuenca del Río Arzobispo - Formación de zona urbana y verde sobre la cuenca.	13
Ilustración 3 Unidades Hidrográficas adyacentes a la Microcuenca Río Arzobispo.	14
Ilustración 4 Jerarquización de Cauces - Cuenca Río Bogotá.	15
Ilustración 5 Esquema del Patrón de Drenaje de la Cuenca Río Salitre.	16
Ilustración 6 Mapa de la cuenca del Río Salitre en 1850 en Bogotá.....	18
Ilustración 7 Mapa del crecimiento de la ciudad en la cuenca del Río Salitre en 1894 en Bogotá.....	19
Ilustración 8 Mapa del crecimiento de la ciudad en la cuenca del Río Salitre en 1911 en Bogotá.....	20
Ilustración 9 Mapa del crecimiento de la ciudad en la cuenca del Río Salitre en 1940 en Bogotá.....	21
Ilustración 10 Mapa del crecimiento de la ciudad en la cuenca del Río Salitre en 1950 en Bogotá.....	22
Ilustración 11 Mapa del crecimiento de la ciudad en la cuenca del Río Salitre en 1970 en Bogotá.....	23
Ilustración 12 Mapa Básico Cuenca Río Salitre 2012.	26
Ilustración 16 Representación de Puntos de muestreo en la Cuenca.	32
Ilustración 17 Fotografía aérea zona alta de la cuenca del Rio Arzobispo (1938).....	40
Ilustración 18 Fotografía aérea zona baja de la cuenca del Rio Arzobispo (1938).....	41
Ilustración 19 Fotografía aérea de la cuenca del Rio Salitre (1938)	41
Ilustración 20 Fotografía aérea de la cuenca del Rio Salitre (1938).....	42
Ilustración 21 Fotografía aérea de la zona baja de la cuenca del Rio Salitre (1938)	42
Ilustración 22 Fotografía aérea de la zona Entre Ríos (1938).....	43
Ilustración 23 Cuenca Río Salitre (2015).....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Flujograma metodológico.....	31
Figura 2 Hidrograma e Hietograma modelo hidrológico 1948.....	46
Figura 3 Hidrograma e Hietograma modelo hidrológico 1993.....	48
Figura 4 Hidrograma e Hietograma modelo hidrológico 2015.....	49
Figura 5 Precipitación Efectiva.....	41
Figura 6 Resultados de parámetros de análisis de Temperatura, Oxígeno Disuelto, Sólidos Suspendidos Totales y Conductividad	48
Figura 7 Resultados de parámetros de análisis de Nitritos, Nitratos, Fosfatos y pH.....	50
Figura 8 Resultados de parámetros de análisis Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sulfatos día 2.....	51
Figura 9 Análisis comparativo entre Temperatura, Oxígeno Disuelto, Nitritos y Nitratos de los dos días de muestreo.....	53
Figura 10 Análisis comparativo entre pH, Sólidos Suspendidos Totales, Fosfatos y Conductividad de los dos días de muestreo	54
Figura 11 Análisis comparativo de Demanda Bioquímica de Oxígeno de los dos días de muestreo	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Red Hidrográfica Microcuenca Río Arzobispo.	14
Tabla 2 Caudales Máximos de Diseño Río Arzobispo.	16
Tabla 3 Caudales Máximos para Períodos de Retorno Sub-cuenca Río Arzobispo.	17
Tabla 4 Valores morfométricos de la Sub-cuenca Río Arzobispo.....	32
Tabla 5 Metodología Numero de la Curva	34
Tabla 6 Parámetros simulación 1948	36
Tabla 7 Parámetros simulación 1993	37
Tabla 8 Parámetros simulación 2015	38
Tabla 9 Número de Curva simulado por método aleatorio.....	38
Tabla 10 Porcentaje de Áreas 1938	40
Tabla 11 Porcentaje Áreas 2015	43
Tabla 12 Resultados de muestreo N° 1 Río Salitre.....	45
Tabla 13 Resultados de muestreo N° 2 Río Salitre.....	45
Tabla 14 Normatividad Agua Potable y de Consumo humano.....	54

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Fotografías Muestreo Día 1.....	65
Anexo B. Fotografías Laboratorio día 1.....	69
Anexo C. Fotografías Muestreo día 2.....	70
Anexo D. Fotografías Laboratorio día 2.....	74
Anexo E. Datos de Precipitación Meses de Junio y Julio (Meses del muestreo).....	75
Anexo F. Fotografías Método de Conteo de Cuadrícula.....	76
Anexo G. Mapa geológico Santafé de Bogotá.....	77

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los sistemas de drenaje de cuencas han sufrido cambios significativos en su capacidad hidrológica, debido a la urbanización y el asentamiento de comunidades en zonas cercanas a las riberas de los ríos. Estos cambios modifican la estructura de los cauces, el tiempo de retención de la escorrentía, variaciones en el caudal representativo y alteraciones en los parámetros físicos y químicos del agua.

En las cuencas urbanas se presentan cambios morfométricos principalmente por el uso del suelo y el desarrollo urbanístico (pavimentación, edificación en las riberas de los ríos). A causa de esto la meandrificación de los cauces del río ha sido alterada, por su canalización con el fin de prevenir inundaciones y evacuar aguas residuales y lluvias del perímetro urbano.

La cuenca del Río Salitre, una de las cuencas urbanas de la ciudad de Bogotá cuenta con una extensa área canalizada desde el punto de ingreso en el área urbana (Localidad de Santafé) hasta su desembocadura en el Río Bogotá (PTAR- Salitre). El Río Arzobispo es un cauce de menor orden en la cuenca del Río Salitre, pero es de gran importancia puesto que el nacimiento del río empieza en este punto.

En este contexto se plantea un análisis comparativo entre los escenarios posibles de la respuesta de la cuenca antes de la canalización y en el tiempo presente o a través de la capacidad de amortiguamiento hídrico de la sub-cuenca del Río Arzobispo frente a un evento de alta pluviosidad. Esta investigación se realizó mediante un modelamiento hidrológico con variables de precipitación y caudales históricos y actuales; además, se identificó las condiciones físicas y químicas del agua. Conforme a lo anterior también se evaluaron las condiciones morfométricas actuales de la cuenca, utilizando métodos digitales para sus cálculos y material topográfico de la cuenca.

De esta manera se compiló información de características físicas, químicas e hidrológicas que permitieron formular alternativas en la evaluación de los cambios en los cauces urbanos a través de los años.

TÍTULO

Estudio comparativo de la capacidad de amortiguamiento de la sub-cuenca río arzobispo en tres periodos distintos frente a un evento de alta pluviosidad mediante el sistema de modelamiento “HEC-HMS”.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

El crecimiento poblacional trae consigo la construcción y expansión de las zonas metropolitanas, las cuales modifican considerablemente el uso del suelo; por ejemplo, el desarrollo de cabeceras municipales en las riberas de los ríos en las cuencas urbanas. Los cambios en el uso y por ende en las características del suelo afectan los flujos hidrológicos y la capacidad de absorción y adsorción del suelo. La canalización de los cauces eleva los niveles de escorrentía mientras que en las cuencas rurales el flujo hidrológico permanece estable, de acuerdo a esto el tiempo de concentración de las aguas es más alto permitiendo que se infiltre debido a las características del suelo.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

La capacidad de amortiguamiento de una cuenca hidrográfica puede variar por las condiciones del terreno, lo cual se evidencia en la respuesta hidrológica que puede tener una cuenca urbana o rural frente a un suceso de gran precipitación. En el caso de este trabajo de investigación se tomó como referencia una sub-cuenca que presenta una transición gradual de un estado rural a un estado urbano en el curso de su cauce principal.

A mediados del siglo XX se da inicio a las obras de canalización de Río Arzobispo y en los primeros tramos canalizados se presentaron cambios en ronda, afectando el ciclo hidrológico de la sub-cuenca. En este contexto se plantea resolver la siguiente pregunta de investigación: *¿Cómo se afecta la capacidad de amortiguamiento de la Sub-cuenca Río Arzobispo, en las condiciones urbanas actuales, a mediados y a finales del siglo XX frente a un evento de alta pluviosidad?*

JUSTIFICACIÓN

Dentro de los principales ámbitos del desarrollo urbanístico el manejo de las fuentes de agua tiene una gran relevancia en las áreas de sanidad y abastecimiento. La canalización de cuerpos de agua se implementó con el fin de evitar inundaciones y evacuar las aguas negras de los cauces abiertos, pero modifica los sistemas de drenaje en las cuencas urbanas (cambios en el nivel del río, variaciones de caudales, emigración de especies endémicas de fauna, cambios de vegetación en la ronda del río).

La cuenca del Río Salitre es uno de los principales afluentes hídricos de la ciudad de Bogotá, pero debido al crecimiento urbano que tuvo la ciudad durante el siglo pasado se canalizó el cauce del río y sus afluentes principales dentro de ellos el Río Arzobispo, puesto que las zonas aledañas a la sub-cuenca son vulnerables al crecimiento del caudal en épocas de alta precipitación. Los cambios en la estructura de la ribera, derivados de factores externos de la mecánica del río tales como: I) Asentamientos de comunidades ilegales, II) Ampliación de la malla vial, III) Desarrollo industrial, IV) Fragmentación de recarga y V) Pérdida de corredores ecológicos que modifican el manejo y la calidad de las fuentes hídricas.

Se hace necesario que se lleve a cabo una modelación donde se compare el estado actual del Río Arzobispo en respuesta de esta sub-cuenca frente a grandes eventos de pluviosidad con respecto a su estado natural, para determinar cómo es la dinámica de la cuenca en estos dos escenarios planteados y así evaluar su comportamiento ante eventos de precipitación de gran magnitud.

Delimitación

El alcance de esta investigación abarca la sub-cuenca principal del Río salitre, en este caso la del Río Arzobispo, ya que en esta se encuentra el nacimiento del río. Se encuentra localizada en el altiplano de la sabana de Bogotá, que está ubicada a una altura entre 2500-2700 msnm. Se ubica hacia el noreste de Bogotá entre los cerros orientales y sub-cuenca del Canal Río Nuevo, limita al norte con la sub-cuenca del río molinos y al sur con la sub-cuenca del río Fucha. Para la investigación de la Sub-cuenca Río Arzobispo se determinó que las líneas de acción más factibles para su estudio comprenden la modelación hidrología de la cuenca, los análisis de componentes físicos y químicos y la caracterización de los parámetros morfométricos de la cuenca; ya que los aspectos anteriormente mencionados son los más significativos dentro de la perspectiva de esta investigación.

OBJETIVO GENERAL

Comparar la capacidad de amortiguamiento entre el estado actual, y los estados estimados a mediados y a finales del siglo XX en el Río Arzobispo frente a un evento de alta pluviosidad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar cuantitativamente el cambio en la capacidad de amortiguamiento hidráulico del Río Arzobispo mediante el programa de modelación HEC-HMS, donde se simuló un evento de gran precipitación en tres escenarios posibles.
- Identificar los cambios del uso del suelo dentro de la cuenca del Río Arzobispo, mediante el análisis de fotografías aéreas.
- Estimar la producción de escorrentía de la cuenca para los tres escenarios planteados utilizando la metodología de número de curva.
- Determinar algunos parámetros físicos y químicos relevantes actuales del Río Arzobispo, mediante la implementación del método de muestreo compuesto y análisis de laboratorio.
- Comparar los parámetros físicos y químicos del agua en el Río Arzobispo, con una cuenca rural de la Sabana de Bogotá.

MARCO DE REFERENCIA

MARCO TEÓRICO

El análisis morfométrico de una cuenca de drenaje es de gran relevancia para entender y deducir su comportamiento morfodinámico e hidrológico así como para argumentar indirecta y cualitativamente la estructura, características y formas de los gráficos hidrológicos resultantes de sucesos de crecidas (respuesta hidrológica). A su vez permite indagar y comprender las variables geométricas básicas de la estructura, que en respuesta a eventos esporádicos (por ejemplo: precipitaciones extremas), que interactúan para formar procesos geomorfológicos de vertientes y aludes torrenciales (Alonso *et al.*, 1981; Vélez y Vélez, s/f.a; Méndez y Marcucci, 2005).

Los estudios y las investigaciones relacionadas con las características morfométricas e hidrológicas de cuencas empezaron de la mano del Profesor Robert Ermer Horton (Padre de la hidrología moderna), mediante sus dos artículos más destacados de sus publicaciones: “Drainage basin characteristics” (Características de drenaje de cuencas – 1932) y “Erosional development of streams and their drainage basins hydrophysical approach to quantitative morphology” (Desarrollo erosional de las corrientes y su enfoque hidrofísico a la morfología cuantitativa en las cuencas de drenaje – 1945). Las investigaciones morfométricas evolucionaron de métodos, análisis cualitativos y empíricos, a estudios científicos, integrales y con resultados en datos numéricos capaces de arrojar variables hidrológicas de fácil interpretación (Strahler, 1964; Delgadillo, Moreno. s.f.).

A inicios de la década de 1950 por parte de Arthur Ermer Strahler se adecuó y se optimizó el sistema para el análisis de sistemas de red de drenaje iniciado originalmente por Horton (1945) en el cual los órdenes de los cauces se jerarquizaron de acuerdo a la potencia de sus afluentes; posicionándose desde entonces en el método de clasificación más usado a nivel global. Este sistema utilizan los siguientes parámetros:

- Cálculo de la longitud de los cauces y de las respectivas relaciones de bifurcación que experimenta la red de drenaje.
- Análisis referente a las áreas parciales de las sub-cuencas jerarquizadas que conforman la cuenca estudiada.
- Relación del área total de la cuenca con el caudal, para lo cual se estima el caudal medio de la cuenca.
- Cálculo de las pendientes medias de los cauces, tanto longitudinales como transversales.
- Cálculo de la densidad de drenaje, en cuanto se considera que es uno de los factores principales de la degradación de la cuenca.
- Cálculo del índice de frecuencia y coeficiente de torrencialidad.

Los cuales son aplicables en cuencas hidrográficas, para ordenar redes de drenaje. Se han instruido dentro de los conceptos de hidrología básica, geomorfología fluvial y morfometría de cuencas (Delgadillo, Moreno, s.f.).

Dentro de los estudios relacionados con el método de jerarquización de cauces José Senciales y Emilio Ferre desarrollaron el trabajo de “La morfometría fluvial en el estudio de los estados

erosivos del territorio. Aplicación a la cuenca del río Almachar”¹, en el cual se aplican investigaciones de morfometría fluvial para medir la erosión de los cursos de agua donde se interpretan las características geométricas de los elementos de las redes de drenaje en la cuenca. En esta investigación además de utilizar el método de STRAHLER, se abordó el modelo planteado por FOURNIER (1960)²; el cual está diseñado para determinar la degradación específica de la cuenca fluvial utilizando: precipitación, temperatura, y relieve. (Senciales, Ferre, 1993:125,158)

El método de Strahler se creó con la presunta omisión de las corrientes tributarias de bajo orden, de modo que después se agregaron en otro esquema de redes propuesto por Shreve (1966^a, 1967). La magnitud de Shreve considera las corrientes como conexiones dentro de la red, con la magnitud en cada una de las conexiones del río se va representando la sumatoria de los tributarios, que van alimentando la corriente de primer orden, que son, redes en las cuales los segmentos en el río bajo tienen la misma magnitud dentro de la cuenca. De esta forma las designaciones de Shreve muestran el número de corrientes de primer orden río arriba en un punto dado.

Los estudios geomorfológicos relacionados con índices de pluviosidad y escorrentía encontraron una gran utilidad en el sistema de la magnitud de Shreve, ya que las corrientes de primer orden son empleadas como colectores primarios de precipitaciones dentro de una cuenca, puesto que son mejores prediciendo el caudal de las inundaciones que el sistema de jerarquizado propuesto por Strahler (Patton and Baker, 1976; Ritter *et al*, 1995).

La aplicación de los principios geomorfológicos a los riesgos ambientales, como lo son las inundaciones potenciales, ha permitido realizar investigaciones con el fin de identificar las relaciones entre la morfometría de cuencas y las corrientes inundables (ver reseña de Patton 1988). Claramente, la forma y el estado de la hidrografía en las corrientes inundables se afectan por el modo en que una cuenca recolecta y transporta agua a través de las redes. La Hidrología de las corrientes, es definida por la hidrografía en las inundaciones y por elementos en el tiempo tales como: frecuencia y retraso de inundación (Período de Retorno), esto relaciona varios componentes de la cuenca y de las redes morfométría. La relación entre la morfometría y la hidrología es estadísticamente real pero no necesariamente indica una causa y efectos relacionados; arrojando dos factores posiblemente relacionados, un factor no es estrictamente la causa de variaciones en el otro. Esta relación probablemente existe porque ambos factores varían de manera consistente con los mismos fundamentos climáticos y los controles geológicos. En general los factores de área y relieve están estrechamente relacionados con la magnitud en el flujo, y elementos de duración al tiempo que suceden los eventos hidrológicos. Todos los tipos de morfometría, aunque están intrínsecamente relacionados entre ellos de manera que ningún solo factor podrá ser aislado como una variable completamente independiente (Murphey *et al*, 1977).

¹ Senciales, J., Ferre, E., 1993. de “La morfometría fluvial en el estudio de los estados erosivos del territorio. Aplicación a la cuenca del río Almachar”. Universidad de Málaga. Estudio de Arte, Geografía e Historia, 15. 119-164.

² Fournier, F., 1960, en UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, Análisis de los modelos matemáticos para la determinación de la erosión Hídrica: Metodología para la utilización en áreas con esa problemática en España. pp 37-38.

Puesto que el área y la descarga más alta están estrechamente relacionadas, se puede esperar que muchos de los parámetros relacionados con el área estén relacionados con la descarga. Todos los factores que involucran el área difieren del éxito como pronosticador de la descarga, sin embargo un parámetro, densidad de drenaje, al parecer tiene un valor considerable como calibrador de los flujos pico. En un estudio de 15 microcuencas en el sur y el centro de los Apalaches y el interior de las regiones de altiplanos, Carlston (1963) demostró una cercana relación entre densidad de drenaje e inundaciones anuales significativas. En la relación de las los relieve, zonas de valle y pendientes de canal, y características de precipitación; no intervienen amplias variaciones de magnitud- densidad drenaje-desbordamiento. Carlston sugiere que la capacidad general de un terreno para infiltrar agua precipitada y transportarla al sistema freático es el principal factor de control de la relación densidad-desbordamiento anual significativa en cuencas que tienen una área mayor a 260 km². En cuencas de mayor tamaño, el tiempo de tránsito en el canal tiene mayor relevancia en el carácter de flujo. La proporción del flujo base, tiende a ser inversamente proporcional a la densidad de drenaje, y depende de la transmisibilidad del terreno. Por tanto, como Horton supuso, la alta transmisibilidad (afecta a la capacidad de infiltración) disminuye la densidad de drenaje, el flujo base más alto y baja magnitud resultante de la inundación más alta. En contraste, una superficie impermeable generará alta densidad de drenaje y escorrentía; por lo tanto el flujo base bajará y el caudal pico subirá.

En los recientes años muchas investigaciones se han enfocado en el desarrollo de modelos de escorrentía más sofisticados que estén vinculados a atributos geomorfológicos de la cuenca y su impacto a la generación de desbordamientos. Uno de los modelos predominantes es la Unidad Geomorfológica Hidrográfica (Rodríguez-Iturbe-Valdez, 1979). El éxito de los resultados de la modelación se han combinado (Patton, 1988) en parte por el conocimiento de las complejas interrelaciones entre los eventos de pluviosidad- escorrentía y las contribuciones de las redes en la cuenca. Trabajos más exhaustivos utilizan las divisorias de aguas instrumentadas como una aproximación numérica analítica que explora las relaciones entre la unidad geomorfológica hidrográfica y los parámetros de la cuenca (Chutha and Dooge, 1990), esto ayuda a la comprensión y quizás conlleve a modelos más confiables para predecir inundaciones utilizando parámetros de cuenca (Ritter *et al*, 1995).

Los análisis morfométricos requieren medidas de característica lineal, gradiente del canal de redes y la contribución de la pendiente del suelo de la cuenca de drenaje (Nautiyal, 1994). El análisis morfométrico para sub-cuencas individuales han sido alcanzados a través de mediciones de aspecto lineal, aéreo y de relieve de la cuenca y la contribución de la pendiente (Nag and Chakraborty, 2003).

En la literatura se encuentran varios trabajos de investigación en geología, geomorfología, hidrología, hidráulica y eventos naturales, que abordan aspectos de la morfometría de las cuencas de drenaje. Por nombrar algunos trabajos destacados encontramos: Díaz *et al.* (1999); Silva (1999); Hurtrez *et al.* (1999); Scally *et al.* (2001); Carbone y Pícolo (2002); Jamieson *et al.* (2003) y González de Matauco (2004).

A mediados de la década del 2000 las investigaciones en morfometría de drenaje de cuencas se han trabajado con ARC-GIS (plataforma que agrupa varias aplicaciones para la captura,

edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica) y HEC-HMS (Programa para modelación hidrográfica). En América Latina encontramos el trabajo de Méndez Williams y Marcucci Ettore (2005) titulado : “*Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela*”, el cual se fundamenta en mediciones y cálculos de variables y parámetros morfométricos de la microcuenca de la quebrada de Curucutí utilizando como fuente principal planos topográficos físicos, digitales y sistemas de información geográfica. Con todas estas herramientas se obtuvieron los parámetros morfométricos básicos de la cuenca, y se determinó las condiciones hidrogeomorfológicas y las características hidrológicas de la microcuenca.

A nivel nacional se encuentra el trabajo: “*Caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia-Colombia*” elaborado por (Montoya, B; Montoya, Y. 2009). Esta investigación se centra en las características de un sistema lotico relacionados con las condiciones de uso del suelo y la ecología del sistema, para determinar las condiciones morfométricas básicas en la quebrada de Los Andes, utilizando cartografía de la región, tanto física como digital. Además en el trabajo de campo se utilizó el sistema de posicionamiento global, con el fin realizar un comparativo entre los datos de los planos cartográficos y los recolectados en campo. Uno de los trabajos más recientes relacionado con la morfometría de cuencas es “*Caracterización morfométrica de la cuenca de la Quebrada Tatamaco, del municipio Villavieja del departamento del Huila, mediante el uso de la herramienta HEC-GEOHMS*” elaborado por Vásquez, C; Herrera, D; Gutiérrez, Y. 2014. El programa HEC-GEOHMS permite establecer el comportamiento de la red de drenaje, topografía e hipsometría asociada a la morfo dinámica de la cuenca, relacionando parámetros hidrometeorológicos, morfométricos, climáticos, de relieve y disponibilidad del agua.

MARCO CONCEPTUAL

Las variables morfométricas e hidrológicas de la cuenca se relacionan con la forma, el relieve, el uso del suelo, el comportamiento de los cuerpos de agua, los cuales permiten desarrollar un análisis puntual con respecto a los cambios que presentan.

- Cuenca Hidrográfica: Se representa por un área de topografía y de geología definida y variable, con determinada cobertura vegetal, que recibe y distribuye tanto las aguas de lluvia como fluviales; concentrando todo el efluente superficial a través de una salida simple.

Características físicas de Cuencas:

- * Longitud del flujo superficial
- * Longitud de las corrientes
- * Pendiente del Cauce Principal

- Morfometría Cuenca Hidrográfica: Corresponden a los estudios cuantitativos de las características físicas de la misma, con el fin de evaluar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos, correspondiente a la estimación de los principales parámetros físicos que definen la morfometría de una cuenca, tales como, densidad de drenajes, área, perímetro, pendiente, factor de forma, coeficiente de compacidad, tiempo de concentración.

- Longitud de la Corriente: La longitud promedio de un segmento de cauce de orden n es una propiedad dimensional reveladora del tamaño característico de los componentes de una red de drenaje y de las superficies de sus cuencas contribuyentes. (Solórzano, 2010).

- Pendiente media de la Cuenca:

$$S_c = \left(\frac{D}{A} \right) L$$

D= equidistancia de curvas de nivel (m)

A= Área de la cuenca (m²)

L= Longitud total de las curvas de nivel equidistante D (m)

- Pendiente del cauce: La velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua depende de la pendiente de sus canales fluviales. A mayor pendiente mayor velocidad. Los perfiles típicos de los cauces naturales son cóncavos hacia arriba; además, todas las cuencas, exceptuando las más pequeñas, tienen varios canales cada uno con un perfil diferente. (Solórzano, 2010).

$$S = \frac{H}{L}$$

H= Desnivel en el cauce principal (m)

L= Longitud total del cauce principal (m)

S_c= Pendiente del cauce (m)

- Forma de la cuenca: El factor de forma es un índice que permite establecer la tendencia morfológica general en función de la longitud axial de la cuenca, y de su ancho promedio. Una cuenca tiende a ser alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor forma tiende a uno. Este factor es un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una cuenca, teniendo en cuenta que aquellas cuencas con formas alargadas, tienden a presentar un flujo de agua más veloz, a comparación de las cuencas redondeadas, logrando una evacuación de la cuenca más rápida, mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el nivel de base, principalmente.

Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad, K_c :

$$K_c = \frac{P}{2\pi r} = 0.28 \frac{P}{A^{1/2}}$$

Donde P (m), es el perímetro de la cuenca y A (m²), el área de la Cuenca.

- Factor de Forma: Indica que tan circular es una cuenca. Permite inferir lo súbitas que pueden ser las crecientes. Cuencas muy alargadas tienen menos posibilidad de presentar súbitas. Se calcula como se señala a continuación:

$$F_f = \frac{A}{La^2} \quad \text{Donde, A(m}^2\text{) es el área de la cuenca, L(m) a es la longitud}$$

- Longitud Axial: Distancia entre el punto de la desembocadura y el punto situado a mayor distancia del mismo siguiendo la dirección del drenaje.

Sinuosidad: Forma de drenajes y sus características físicas

$$S = \frac{L}{L_t}$$

Donde L (m), es la longitud del río principal y L_t (m) es longitud del valle del río principal.

- Red de Drenaje: Se refiere a la cantidad de drenajes expresada en términos de longitud, en la superficie de una cuenca expresada en unidades de área. Principalmente se utiliza para determinar la disponibilidad hídrica de la cuenca en cada uno de sus sectores, asumiendo directa proporcionalidad entre la densidad y la disponibilidad de agua en un área determinada.

Densidad de drenaje: Es la relación entre la longitud total de las corrientes de agua de la cuenca y su área total.

$$D_d = \frac{L}{A} = \frac{km}{km^2}$$

Índice de Alargamiento: Este índice determina que tan rápida es la reacción de la corriente principal ante precipitaciones en la cuenca.

$$I_a = \frac{L}{I}$$

Donde L (m) es longitud máxima de la cuenca y I (m), es ancho máximo (perpendicular a L).

MARCO LEGAL

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se realizó una revisión integrada de la normatividad colombiana referente calidad de agua potable y residual, para poder comparar el estado actual de los parámetros físicos y químicos obtenidos en los dos muestreos realizados frente a las condiciones ideales establecidas en la norma, esta comparación se realiza con el objeto de concretar una idea general de las condiciones de cada punto de muestreo teniendo en cuenta su ubicación dentro del perímetro urbano, los afluentes y vertimientos que puedan afectar sus propiedades iniciales y las condiciones climatológicas presentadas. A continuación se presenta el marco normativo que involucra esta investigación:

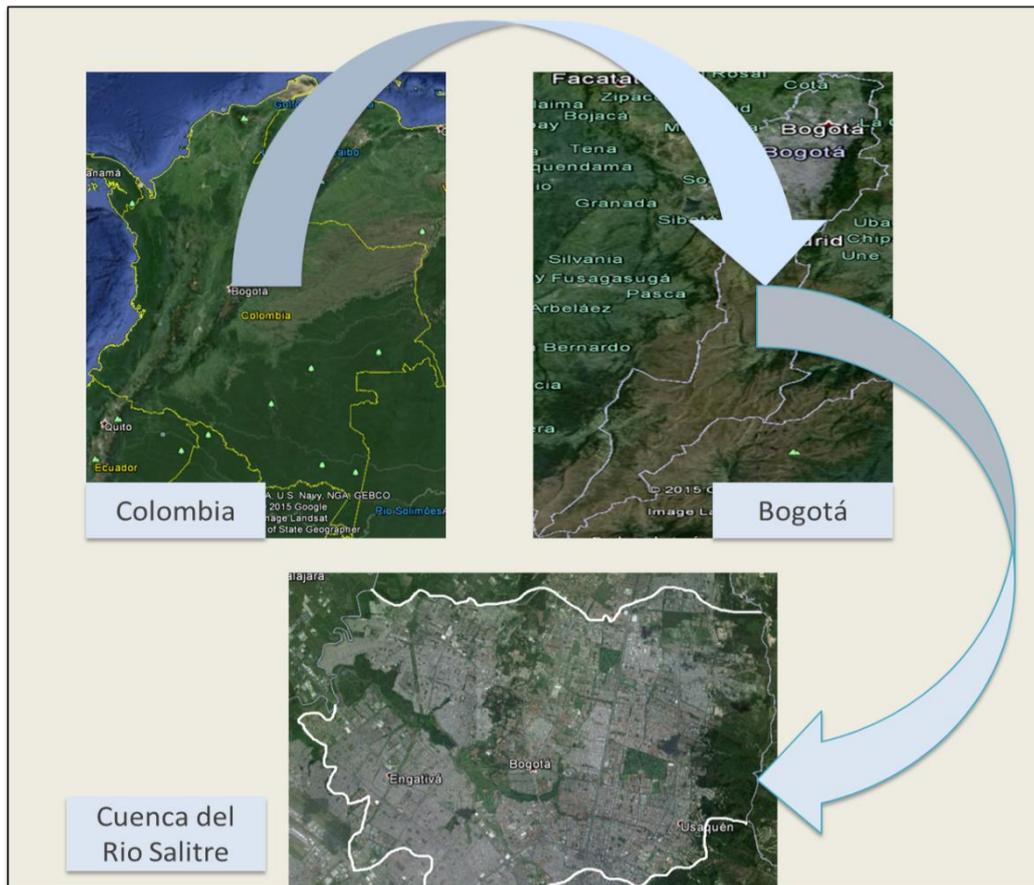
- DECRETO 475 DE 1998: Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.
- RESOLUCIÓN 1096 DE 2000: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS”. Sección II, Título C: Sistemas de Potabilización.
- RESOLUCION 2115 DE 2007: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

MARCO GEOGRÁFICO:

A continuación se muestra una explicación detallada de la zona de estudio y sus características principales:

Ubicación de la zona de estudio:

Ilustración 1 Localización General Cuenca del Río Salitre.



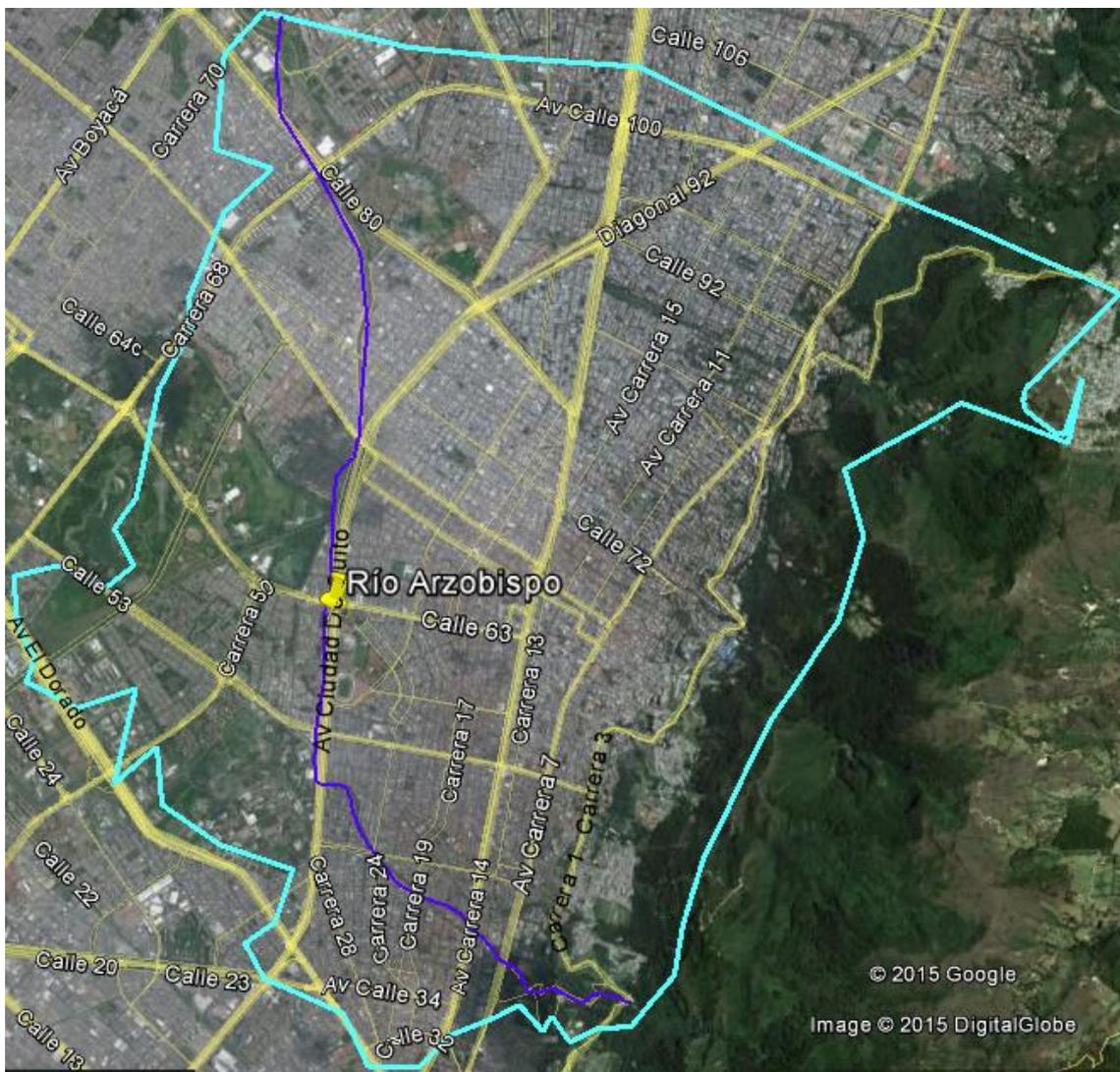
Fuente: Autores 2015.

La cuenca del Río Salitre se encuentra ubicada la Ciudad de Bogotá, limita dentro del área urbana al este con los Cerros Orientales, al oeste con el Río Bogotá, al norte con el municipio de Cota y la calle 170 y al sur con la cuenca del Río Fucha y el Río San Francisco. Está conformada por siete localidades: Santafé, Usaquén, Chapinero, Suba, Barrios Unidos, Engativá y Teusaquillo. Las quebradas y canales que conforman la cuenca del Río Salitre son: Quebrada Las Delicias, Quebrada La Vieja, Quebrada Choachí, Quebrada Rosales, Quebrada El Retiro, Quebrada El Refugio, Quebrada Chico, Canal Córdoba, Canal Callejas, Canal Molinos, Quebrada Sagrado Corazón, Quebrada Santa Bárbara, Quebrada Santa Ana, Canal Contador, Quebrada Trujillo, Canal Cortijo y Canal Bolivia.

El área de la cuenca del Río Arzobispo es aproximadamente de 45113,82 Km², su perímetro es aproximadamente 31,7 Km, La mayor parte del uso del suelo de la cuenca es urbano y la altitud varía entre 2.500 y 3.000 msnm. Su divisoria de aguas está conformada por la cuchilla

del cerro de Monserrate. El cauce principal del Río Salitre nace en los Cordillera Oriental en el paramo de Cruz Verde a 3200 msnm en la Quebrada “El Granizo” y recorre los cerros orientales hasta bordear el Pico del Águila al costado norte del Parque Nacional; bajo la denominación del Río Arzobispo ingresa al área urbana y es canalizado desde el Parque Nacional Enrique Olaya Herrera en la Carrera 7ª (donde recibe las aguas de la quebrada Pardo Rubio), hasta la Carrera 97 conformado el límite de las localidades de Chapinero y Santafé (Universidad Militar –SDA, 2010), al llegar a la avenida NQS cambia su nombre a Río Salitre, en el punto de confluencia con los Ríos Negro y Canal de Río Nuevo toma el nombre de Juan Amarillo en honor a humedal que atraviesa esta zona, de esta manera arriba a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre y desemboca en el Río Bogotá.

Ilustración 2 Plano Sub-Cuenca del Río Arzobispo - Formación de zona urbana y verde sobre la cuenca.



Fuente: Google Earth Sub-cuenca Río Arzobispo sector metropolitano, (2015).

Red hidrográfica dentro de la Cuenca del Río Salitre

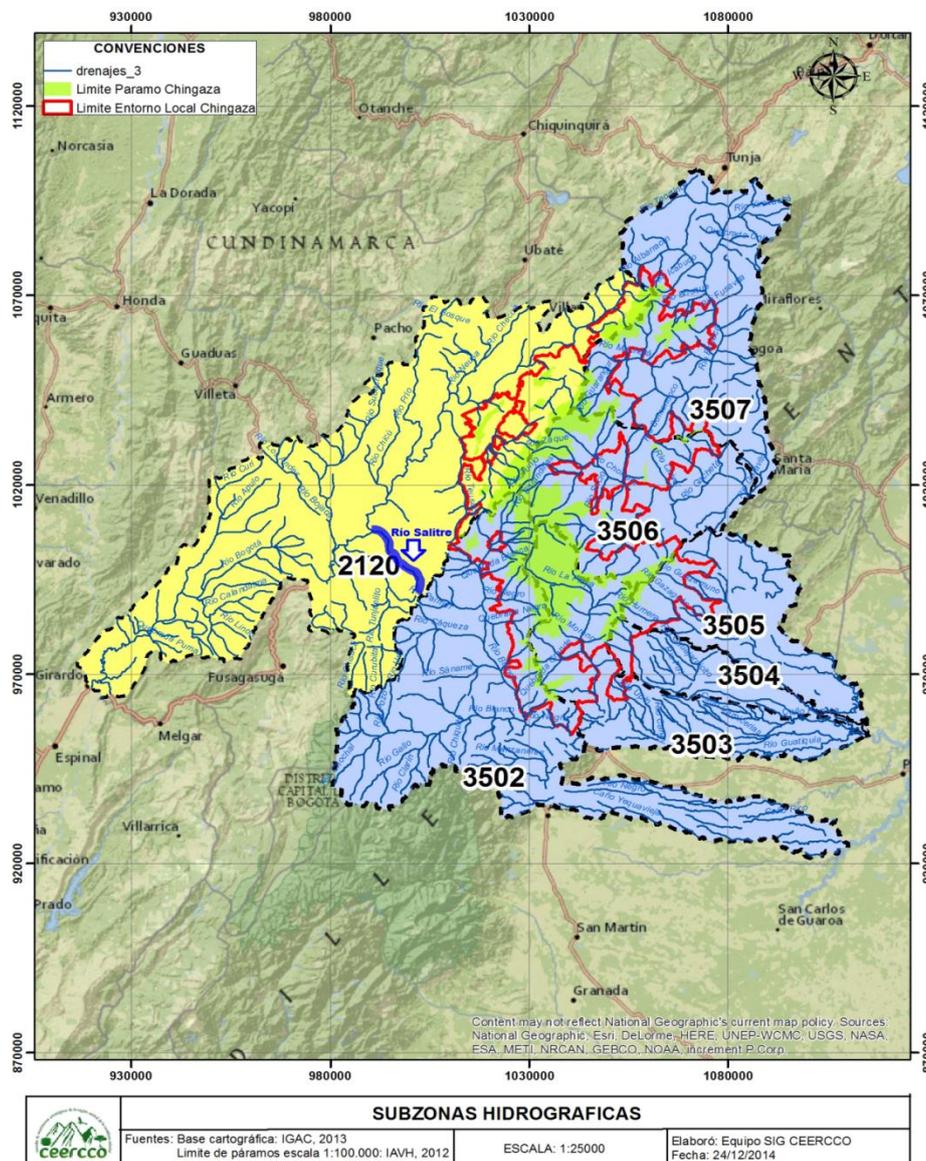
La jerarquización de cuencas permite la identificación de zonas hidrográficas, para ello se aplica un sistema de códigos para localizar las sub-zonas hidrográficas dentro de la red hidrográfica nacional.

Tabla 1 Red Hidrográfica Microcuenca Río Arzobispo.

Área Hidrográfica	Código zona Hidrográfica	Zona Hidrográfica	Código Nivel II Unidades Hidrográficas	Nivel II Unidades Hidrográficas	Código Nivel III Unidades Hidrográficas	Nivel III Unidades Hidrográficas	Código Nivel IV Unidades Hidrográficas	Nivel IV Unidades Hidrográficas
Magdalena-Cauca	21	Alto Magdalena	2120	Río Bogotá	2120	Río Salitre	2120	Río Arzobispo

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR, 2015

Ilustración 3 Unidades Hidrográficas adyacentes a la Microcuenca Río Arzobispo.



Fuente: CEERCO, (IGAC, 2013).

Ilustración 4 Jerarquización de Cauces - Cuenca Río Bogotá.



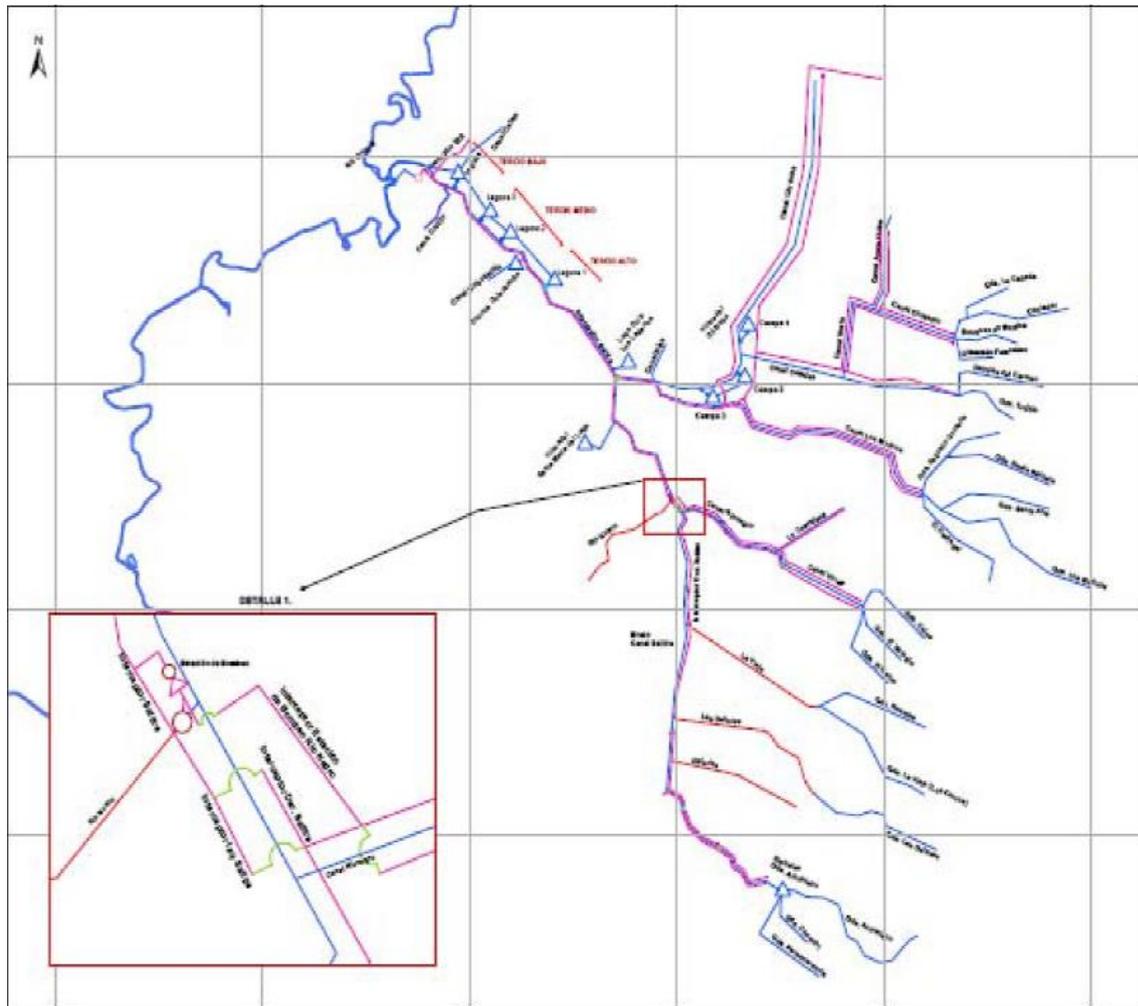
Fuente: Autores 2015.

Patrones de Drenaje a Nivel Cuenca, Cuenca Río Salitre:

Analizando el esquema de red hídrica de la cuenca del Río Salitre se determinó que el patrón de drenaje de la cuenca, teniendo en cuenta la forma de los cauces, la distribución de los *talweg*³ y del perfil de las vertientes es “paralelo”, principalmente por presentar pendientes uniformes y de baja rugosidad (sectores canalizados a lo largo de la cuenca).

³ Línea que une los puntos de más bajo nivel en un valle. En un valle drenado, el talweg es el lecho del curso de agua. Recuperado el 7 de septiembre de 2015 de: <http://www.definicion.org/talweg>

Ilustración 5 Esquema del Patrón de Drenaje de la Cuenca Río Salitre.



Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Capital. POT, EAAB y adaptado POMCA Salitre (convenio UMNG – SDA).

Caudal de Diseño y Período de Retorno Río Arzobispo:

De acuerdo con los registros de caudales máximos históricos del Plan de Ordenamiento de Cuencas y estudios realizados por la interventoría del diseño de la troncal de carrera Séptima, se recopilaron datos pertinentes para el estudio.

Tabla 2 Caudales Máximos de Diseño Río Arzobispo.

Cuenca	Área Km ² Cuenca	Caudal (m ³ /S)				
		5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
Río Arzobispo	45113,82	8,27	15,2	25,1	29,9	35,5

Fuente: Interventoría- Estudios y diseños troncal carrera Séptima, Análisis de Riegos y Planes de Contingencia (Marzo, 2009) recuperado el 7 de Septiembre de 2015 de : webidu.idu.gov.co:9090/jspui/bitstream/123456789/31595/7/60018621-03.pdf

Tabla 3 Caudales Máximos para Períodos de Retorno Sub-cuenca Río Arzobispo.

SUBCUENCA	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)				
	5	10	25	50	100
Arzobispo	3.42	5.28	8.07	10.44	12.92

Fuente: POMCA Salitre (Convenio UMNG – SDA).

MARCO HISTÓRICO

La Sabana de Bogotá, ubicada en la parte sur del altiplano Cundiboyacense ha sido desde épocas antiguas un territorio muy apetecido para el asentamiento humano. Sus tierras fértiles y la caracterización climática de sus vertientes, ha permitido su poblamiento, y compone un ambiente natural ideal donde se halla la zona andina precolombina en el actual territorio nacional. La población autóctona de esta zona pertenecía a los pueblos Chibchas, que se dividían en 5 grupos: Bogotá, Tunja, Sogamoso, Tundamá y Guanetá. Se estima que la población de estas comunidades indígenas se encontraba dentro de 12.000 a 15.000 habitantes. Respecto al manejo y transporte de agua en este periodo prehispánico, se sabe que se construyeron canales que cruzaban los cultivos, estos mantuvieron un caudal permanente que permitiera a los habitantes de la época obtener los suministros hídricos para realizar sus actividades. Los Chibchas de acuerdo a sus creencias culturales le rendían culto a los astros y todo lo que comprendía la madre tierra, entre ellos el agua. La llegada de los conquistadores condujo a cambios drásticos dentro de las comunidades indígenas, al llevarse a cabo la fundación de la villa de Santa Fé se creó un órgano administrativo conocido como Cabildo para civilizar y reordenar las congregaciones indígenas a lo largo de la sabana, a su vez, las inclusiones culturales europeas se fueron incluyendo en la vida de los nativos, incluyendo el manejo de recursos hídricos y minerales, los colonizadores implementan un nuevo sistema para mantener un constante flujo para las poblaciones crecientes, pero sin percatar los cambios ambientales que ellos realizaban al extraer los recursos de las zonas altas de los ríos, significando cambios en la dinámica y cambios de los caudales, esta actividad se ha mantenido por cuatrocientos años. El territorio de la antigua Sabana de Bogotá ofreció los materiales y recursos necesarios para el surgimiento y desarrollo de la población. Esta no superaba los 20,000 habitantes hasta finales del siglo XVIII (Mejía Pavony 2000). El caudal de los ríos era suficiente para diluir la contaminación.

Ilustración 6 Mapa de la cuenca del Río Salitre en 1850 en Bogotá.



Fuente: Bogotá CD, Museo de Desarrollo Urbano, Copyright 1998 – modificado POMCA Salitre (Convenio UMNG – SDA)

A finales del siglo XIX el Consejo Administrativo de Bogotá mediante el Acuerdo 11 de 1881, creó la Junta Administradora del Ramo de Aguas Negras, a la cual le correspondió el manejo del acueducto en Bogotá. A partir de 1886 este servicio quedó bajo la responsabilidad de la Compañía de Acueducto de Bogotá, dirigido por entes particulares, quienes iniciaron el suministro de agua a los pobladores, a través de cañerías o tuberías de hierro (Contraloría de Bogotá, 2001). A medida que crece la población se explotaban cada vez más los recursos, comenzaron a surgir problemáticas de abastecimiento de agua y enfermedades causadas por el manejo de las aguas residuales que eran arrojadas a las calles esperando que las lluvias las arrastraran hacia los ríos. Se decidió encauzar los ríos de la antigua Bogotá, los patrimoniales San Francisco y San Agustín, más adelante la misma suerte le tocará a las quebradas Las Delicias, La Vieja y otros cauces que antes fluían a cauce abierto por el territorio (Jaimes Niño, 2011).

Ilustración 7 Mapa del crecimiento de la ciudad en la cuenca del Río Salitre en 1894 en Bogotá.



Fuente: Bogotá CD, Museo de Desarrollo Urbano, Copyright 1998 – modificado POMCA Salitre (Convenio UMNG – SDA).

El proceso de urbanización de la Cuenca del Río Salitre comenzó a finales del siglo XIX en los sectores de Teusaquillo y Chapinero (Zambrano, 2008: 52) y continúa actualmente en zonas de Suba y Engativá cercanas a la desembocadura del río. De las tres cuencas en que está dividida la ciudad la Cuenca del Salitre es la que presenta menos problemáticas socio – ambientales debido al proceso de expansión en sectores como Chapinero, Teusaquillo, Ciudad Universitaria y algunos proyectos de urbanización hacia el noroccidente de la ciudad (Forero, 2008: 127; Universidad Militar –SDA, 2010), uno de las zonas que más cambios tuvieron por la expansión de la ciudad fueron los cerros orientales que sufrieron un gran impacto ya que proveían los recursos energéticos como leña y extracción de material de construcción para las edificaciones. A mediados del siglo XIX se extinguió el bosque nativo (Osorio, 2008) y se tomaron medidas para reforestar los cerros para así garantizar suministro de agua.

Debido al manejo inadecuado de los ríos y quebradas en esa época, se propagaron problemas de higiene y salubridad causados por la contaminación de los ríos municipales, a principios de la década de 1900. En 1910 la dirección de Higiene y salubridad, dependiente de la Administración Municipal, realizó un estudio de calidad de aguas que dio como resultado aguas no aptas para consumo, con alta cantidad de microorganismos y con olores ofensivos hacia la población. Fue a través de esta situación que se evidenció el desastre natural de los cerros orientales. Hasta ese momento los cerros eran de propiedad privada por lo que era un conflicto la gestión del agua. En un estudio Miguel Triana propuso la compra de una parte de los cerros y los páramos circundantes donde los nacimientos de los ríos e introdujo la idea de reforestar como método para recuperar las fuentes de agua y aumentar el abastecimiento a la ciudad. En 1924 se convierte en política municipal (Triana, 1914; Castañeda, 2004:176). En 1914, el Acueducto 15 ese año autorizó al Gobierno Municipal la adquisición de la entidad privada que suministraba el agua desde finales del siglo XIX, para que fuera administrada por

una junta integrada por tres miembros: el designado por el Concejo Municipal, otro por el Banco Central Hipotecario por ser el organismo prestamista y un tercero escogido por el presidente del Concejo y el Gerente de la entidad crediticia. Por el Acuerdo 57 de 1924, el Cabildo de Bogotá creó las Empresas Municipales, facultándolas para dirigir el servicio de acueducto, los que en 1929 pasaron a ser administrados por los bancos de Bogotá, Colombia y Central Hipotecario (Contraloría de Bogotá, 2001).

Ilustración 8 Mapa del crecimiento de la ciudad en la cuenca del Río Salitre en 1911 en Bogotá.



Fuente: Bogotá CD, Museo de Desarrollo Urbano, Copyright 1998 – modificado POMCA Salitre (Convenio UMNG – SDA)

A comienzos de la década de 1920 se inició la urbanización de zonas contiguas al Rio Arzobispo (calle 39) empezando de este modo un proceso inclinado a la unión de la ciudad antigua con la localidad de Chapinero. Pocos años después la quebrada de Chapinero ya marcaba un límite de crecimiento para la ciudad de Bogotá, y para la década de 1930 la quebrada La Vieja ya hacia parte del territorio urbanizado. A finales de los años 40 la expansión del territorio urbano abarcó las quebradas Cabrera y el Chico, y en los años 60 se urbanizaron los terrenos próximos a las quebradas Trujillo, Luce y los Cedros⁴.

⁴ Los contenidos de este numeral han sido condensados de los documentos —*Bogotá: Panorama Turístico de 12 localidades*” publicados por el Instituto Distrital de Cultura y Turismo (2004), y —*Diagnóstico Local con participación Social*” publicados por la Secretaría Distrital de Salud (2004).

Ilustración 9 Mapa del crecimiento de la ciudad en la cuenca del Río Salitre en 1940 en Bogotá.



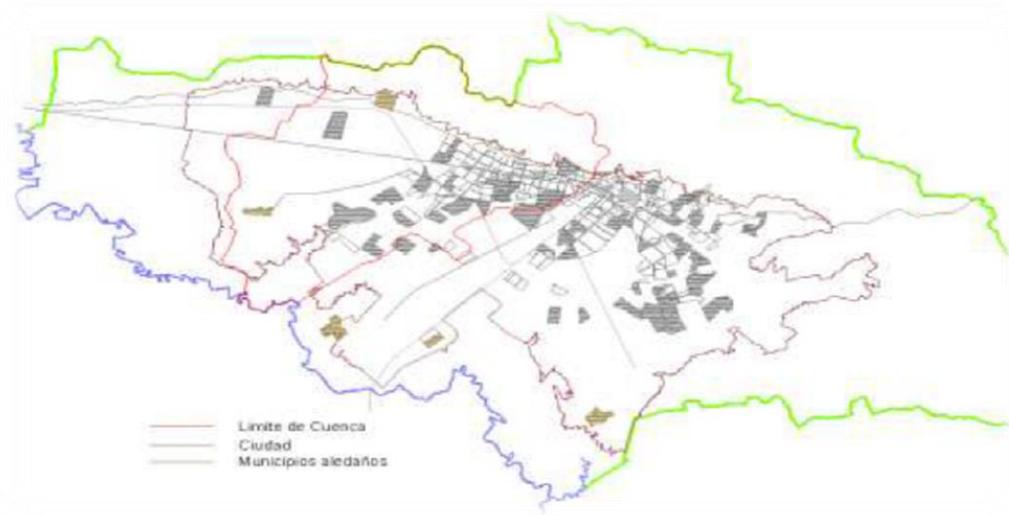
Fuente: Bogotá CD, Museo de Desarrollo Urbano, Copyright 1998 – modificado POMCA Salitre (Convenio UMNG – SDA)

Uno de los aspectos más importantes dentro de la historia del crecimiento y la urbanización del Río Salitre fue la expansión de la cuenca hacia el sector norte/ occidente de la ciudad, ya que el desarrollo urbano de la época se concentraba en el centro de la ciudad, sin embargo los acontecimientos relacionados con “El Bogotazo” y la llegada de familias de los campos por los actos de violencia promovieron migraciones hacia la zona de la localidad de Teusaquillo convirtiéndola un zona residencial en su mayoría y desplazamientos masivos hacia la zona sur de la ciudad donde surgieron barrios obreros y de estratos bajos(UMNG – SDA Mesa Inter-local, 2010: 9).

El acuerdo No. 105 de 1955 estableció que la Empresa del Acueducto pasó a ser de Alcantarillado. En la reorganización de la empresa se consideró, además de recopilar la información y diseño de estudios topográficos y geográficos, la elaboración de obras civiles de gran magnitud. Entre las cuales a fines del año 1958 se destacaba la obra del canal del río Salitre o Arzobispo con colectores interceptores desde la carrera 19 por avenida 39 hasta la calle 50 con la carrera 27, interceptor oriental hasta la calle 54 por avenida Ciudad de Quito y colector de la calle 54, por un valor de aproximadamente \$1.800.000 pesos (Zambrano, Carreira y Rivera, Historia Urbana de la Localidad de Teusaquillo s.f.). El primer plan maestro de alcantarillado se elaboró en 1960 por la Compañía de Ingeniería Sanitaria de Bogotá con la firma Camp. Dresser y Mckee de Boston.

“El planeamiento para el sistema de desagüe de la ciudad futura, comprendía la superficie de 18.500 hectáreas, y el sistema de tratamiento para las aguas residuales, para la cual se realizó la separación en colectores de aguas negras y canales para la conducción de aguas lluvias.” (Departamento Administrativo de Planeación Distrital Bogotá, 1964: 119).

Ilustración 10 Mapa del crecimiento de la ciudad en la cuenca del Río Salitre en 1950 en Bogotá.



Fuente: Bogotá CD, Museo de Desarrollo Urbano, Copyright 1998 – modificado POMCA Salitre (Convenio UMNG – SDA).

El Plan Maestro de Alcantarillado se dedicó a estudiar y plantear las soluciones para el manejo de las aguas residuales y aguas lluvias en la ciudad. Se consideraron las estrategias del Estudio de Desarrollo Urbano Fase II. Por estos años, la ciudad se desarrolló hacia la zona norte con el fin de garantizar zonas de drenaje para estos nuevos sectores. El Plan tenía una proyección a largo plazo y se diseñó para una densidad poblacional de 300 personas por hectárea y una población de 6 millones de habitantes. Se optó por canales a cielo abierto debido a que entubarlos representaba un mayor costo.

...”para la conducción de aguas lluvias se propuso la utilización de canales cubiertos pero, debido al costo, se optó por descubiertos.” (EEAB, 1970: 14)

El plan incluyó la canalización de ríos y quebradas naturales de la cuenca como el canal El Contador, canal Molinos, canal Córdoba, canal Río Negro, canal Salitre y canal Río Nuevo. El plan se dividió en tres etapas para su realización. Para mitigar las inundaciones se propuso rectificar, ampliar y profundizar el río Bogotá. Adicionalmente la construcción de lagunas de amortiguación para los principales afluentes. El plan propuso que la zona de ronda del río Tunjuelo debería ser utilizada como zona de inundación y no permitir los desarrollos dentro de estos terrenos (Acueducto de Bogotá 1997).

Ya para el año de 1974 con la creación del Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, en cuanto a los tópicos en el manejo de las fuentes hídricas se encuentra dispuesto que se deben dar prioridad a la población a tener acceso a al líquido vital, también como se deben realizar el manejo para los nacederos de aguas a lo largo del país; a su vez tenemos reglamentado como se pueden hacer la disposición de los vertimientos a los cuerpos de agua y a su vez reglamenta como el desarrollo urbano debe estar suscrito junto a una licencia de construcción alrededor de las rondas de los ríos y quebradas en las ciudades, teniendo como mayor deficiencia en el decreto, que para los

cauces de los ríos el ecosistema circundante no es protegido por la legislación y por tanto el crecimiento desmesurado no permitió prosperar a estos sectores ambientales estratégicos encontrándonos con la problemática ambiental de hoy en día en las rondas de los ríos y a lo largo de la cuenca de los mismo por el desarrollo urbano. En la revolución verde de la época, la Conferencia de Estocolmo donde se advierte por primera vez la problemática que se está generando por el sobre uso de los recursos naturales, y que se determina que estos no van a tener una duración prolongada como se tenía pensado en un primer momento por el hombre de los siglos pasados; dando prioridad al manejo de los agentes químicos para cultivos que influyen en la alimentación del hombre así como la contaminación de los cuerpos de agua debido a la proliferación de residuos sólidos en el último tiempo, así como los agentes químicos por escorrentía está llegando a estos cuerpos de agua; además la deforestación en las zonas de recarga y de nacimientos de agua ayuda a la disminución de la cantidad de la misma para poder ser aprovechada por la población, por esto se determina que se debe dar un desarrollo territorial a partir de organizar la cuenca esto se ve expresado en Colombia mediante el Decreto 2857 de 1981 (posteriormente derogado por el Decreto Nacional 1729 de 2002) donde se reglamenta estos aspectos entre otros como las definiciones de una cuenca hidrográfica y sus limitaciones igualmente como se debe administrar la cuenca y quienes son los actores principales para estas actividades.

Ilustración 11 Mapa del crecimiento de la ciudad en la cuenca del Río Salitre en 1970 en Bogotá.



Fuente: IGAC. (Mejía Pavony y Cuellar Sánchez 2007)

La creación de la Constitución de 1991 establece los fundamentos para la Ley 99 del año 1993 que conformó el Sistema Nacional Ambiental (S.I.N.A) y creó el Ministerio del Medio Ambiente como su ente rector (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), donde

también reglamenta la defensa, protección y manejo de las cuencas hidrográficas a lo largo del territorio nacional así como sus correspondientes jurisdicciones y entes para su adecuado manejo; a su vez encontramos legislado que se deben promover y ejecutar obras de avenamiento, y restauración a lo largo de las cuencas para proteger de las inundaciones a las poblaciones. Por otra parte en el avance de la canalización en los ríos se reglamentó que se deben realizar obras para el saneamiento y manejo ambiental, por tanto se ejecutarán las correspondientes mejoras en el acueducto, alcantarillado así como sistemas de manejo de aguas residuales.

Los planes de gobierno ya para los 90's se orientaron a los posibles votantes con las temáticas ambientales que estaba en auge desde la Cumbre de Río en 1992, uno de los posibles factores fue darse cuenta como en Colombia empezó la disminución de los recursos naturales esenciales, especialmente el hídrico que es el primordial para la generación de las actividades económicas en la región, por otra parte se planteó la mejora de las condiciones del recurso hídrico en la capital y dar así un gran crecimiento urbano para la ciudad, en esa época se determinó que la canalización de las principales quebradas y ríos así como la reestructuración de los antiguos sectores encauzados que atravesaban la ciudad, surgió como una alternativa para evitar inundaciones en las épocas de lluvia en las áreas urbanas circundantes, este proyecto se llevó a cabo bajo la regencia del alcalde Enrique Peñalosa en el año de 1997, en donde su plan de gobierno consistía en el mejoramiento de la malla vial, la recuperación y el aprovechamiento del espacio público⁵, (donde Peñalosa propuso canalizar algunos ríos que atraviesan la ciudad para desarrollar espacios recreativos a sus alrededores).

Por medio del Decreto Distrital 569 del 19 de septiembre de 1994, se concretó su situación jurídica, considerándola como Empresa Industrial y Comercial del Servicios Públicos Distritales y se identificará en adelante como Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, ESP.

La finalidad de la ESP es la prestación completa del servicio de acueducto y alcantarillado, a través de captación, almacenamiento, tratamiento y distribución de agua apta para su consumo y procesos industriales, así como también la disposición de aguas residuales y drenaje de aguas lluvias (Contraloría de Bogotá, 2001).

A principios del siglo XXI se determinó la Estructura Ecológica Principal (EEP) y sus componentes mediante el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), en el cual la planeación del territorio abarca lo referenciado a los sistemas urbanos y rurales (Jaimes Niño, 2011), a su vez su mutua interacción con el componente natural de la ciudad; El POT designa al sistema río Salitre como Parque de Recreación Pasiva. En el año 2004 finaliza la ejecución del proyecto paisajístico para la rehabilitación de las zonas de ronda y zonas de manejo y preservación ambiental del sistema Córdoba- Juan Amarillo- Jaboque. Este proyecto hizo parte de la ejecución de un proyecto más grande que incluyó la adquisición de predios, la construcción de un interceptor para las aguas residuales, la canalización del tramo bajo del canal Salitre y la adecuación hidráulica del Humedal Juan Amarillo (Jaimes Niño, 2011). Posteriormente se decretó el plan maestro de acueducto y alcantarillado de Bogotá (Decreto 314 de 2006) en el cual se plantea ampliar la cobertura de las redes de acueducto y

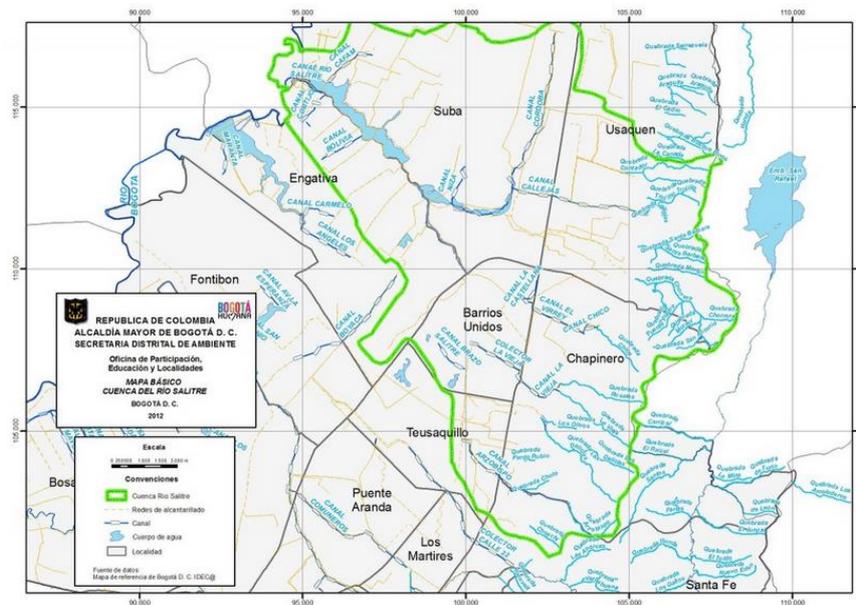
⁵ NULLVALLUE (2 de Enero de 1998). Peñalosa: Ahora si del discurso a la ejecución. *Casa Editorial El Tiempo*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2014. De www.eltiempo.com/

alcantarillado del área urbana en su totalidad, así como el planteamiento de sistemas individuales de alcantarillado pluvial y residual, para evitar que se aúnen los flujos que se tiene previsto un tiempo de ejecución hasta el 2015 para su funcionamiento.

Recientemente las fuentes hídricas que atraviesan la ciudad han cambiado sus propiedades físico-químicas, mediante monitoreos continuos que se han realizado por el acueducto de Bogotá, esto llega a ser retomado por la administración, acerca del manejo de las cuencas en los ríos, entre los que sobresale el “Salitre”, uno de los que tienen más sectores canalizados a través de la ciudad, que se ha deteriorado por las problemáticas ambientales y de desarrollo urbano, generadas por la falta de concertación para su manejo adecuado. Se procedió a realizar un Convenio entre la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG) y la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) conocido como “Convenio interadministrativo no 080 del 28 de diciembre de 2007” en el cuál se unificaron esfuerzos entre estas dos organizaciones para formular el POMCA de la Cuenca del Río Salitre (Plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Salitre en el perímetro urbano del Distrito Capital), con el fin de aunar esfuerzos, que dieron como resultado un documento de diagnóstico de la cuenca que permitiría la discusión entre los actores principales que intervienen en la misma para generar las alternativas de ordenamiento y ser controlado todos estos aspectos por la SDA.

Los Entes institucionales, administrativos también han llevado medidas de mejora para los recursos hídricos de la ciudad mediante el programa de seguimiento y monitoreo para determinar la calidad de los efluentes industriales y afluentes al recurso Hídrico de Bogotá, ejecutado por el acto Interadministrativo 020 de 2008 suscrito entre la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá-ESP (EAAB-ESP), cuyo objeto es la “Cooperación en la ejecución de las actividades establecidas en la Novena Fase del Programa de Seguimiento y Monitoreo de Efluentes Industriales y Afluentes al Recurso Hídrico de Bogotá, las cuales van orientadas a la evaluación de los vertimientos a las corrientes y a la red de alcantarillado público y al mejoramiento de la calidad del recurso hídrico superficial y a las condiciones de pozos subterráneos”, desde la firma del acta de inicio en noviembre de 2008 hasta la finalización de actividades de toma de muestra en abril de 2010 (SDA, EAAB, 2011) . Los muestreos periódicos y su seguimiento en los cuerpos hídricos de la capital han permitido realizar informes sobre su estado actual así como ha cambiado recientemente las propiedades físico-químicas, entre otros factores de gran relevancia; esto ha permitido identificar los sectores con mayores problemáticas ambientales, para esto se realizan variados estudios de seguimiento en formulación de alternativas de mejora como la investigación que se viene realizando en este trabajo con el fin de aportar ideas para mejorar el manejo de la cuenca a estudiar y dar pie para nuevas investigaciones en esta área, además de investigaciones en otras ramas que permitan complementar estos estudios, planteando alternativas para el mejoramiento del recurso hídrico en la capital.

Ilustración 12 Mapa Básico Cuenca Río Salitre 2012.



Fuente: Mapa de Referencia de Bogotá D.C. IDEC. Recuperado el 4 de septiembre de 2015 de www.riosalitre.org/la-cuenca.html Mapa de Referencia

Un ejemplo de lo anterior lo tenemos plasmado en una investigación de maestría en arquitectura en la Universidad de los Andes donde mediante la mejora paisajística en los sectores canalizados del Río Salitre se dan “*soluciones verdes a problemáticas grises*” esta investigación conocida por el nombre de: “*Conflictos del desarrollo urbano de Bogotá en la cuenca del río Salitre: Reflexiones y propuestas para un diseño urbano de integración y conectividad ecológica*” en la cual, se llega a identificar que la urbanización en los sectores de ronda del río son un gran factor que influye para los cambios en la Estructura Ecológica Principal. La solución a la canalización que se planteó fue reestructurar las secciones canalizadas que estaban protegidas por concreto por estructuras donde se colocaban humedales de bolsillo a los costados y posterior a ese sector se colocaran las alamedas y zonas de recreación que sean idóneas para las condiciones de manejo del río, junto a este objetivo se pretende cambiar paulatinamente el concreto por materiales amigables para la zona como lo son geo-membranas, arborizar después la zona con especies endémicas que toleren grandes cantidades de agua para que puedan beneficiar a la población con las problemáticas que se puedan derivar por las inundaciones, de tal forma que en las épocas de mayor precipitación minimizar estas problemáticas; y finalmente poder lograr una integración entre las zonas urbanas y la Estructura Ecológica Principal a lo largo de la ronda del río (Jaimes Niño, 2011).

Un estudio realizado en Bio-ciencia y Derecho Ambiental, mirando la perspectiva de las demandas sociales, el manejo antropológico y cultural, donde el autor específicamente se guió en la instancia de estudio como lo es La Mesa Inter-local del 2010 para el desarrollo del POMCA que realiza un proyecto de seguimiento y desarrollo en la cuenca para que los actores principales como lo son los pobladores, puedan dar también las sugerencias e ideas para facilitar un proceso de integración y manejo de los recursos presentes en la misma (Este

proceso ya lleva alrededor de 7 años), desde que se inició con la idea de formular un POMCA para el manejo y desarrollo del Río Salitre, en los cuales se han integrado a los pobladores a mejorar el manejo paisajístico y ambiental de la ronda del río así como establecer foros donde la educación ambiental cobra gran importancia para implementar las ideas de preservación y mejoramiento a las generaciones venideras, para (Vargas Lamprea 2012) “Estas experiencias de organización local que reivindican la preservación de la estructura hídrica se caracterizan por el interés de las comunidades por establecer relaciones con el entorno ambiental que mejoren el equilibrio ecológico, la estética del paisaje, la salud humana y las condiciones de vida impactadas por las prácticas que degradan los ecosistemas urbanos marcados por los patrones de consumo de las sociedades industriales y de servicios y el manejo inadecuado de los residuos sociales. Dichas iniciativas han surgido en las comunidades a partir de la construcción de imaginarios culturales alternativos a los paradigmas basados en los “servicios ambientales” y se han organizado en torno a procesos participativos que rescatan el enfoque público y colectivo de la gestión ambiental, la participación de los vecinos y los lazos de confianza y solidaridad entre los participantes.” Para él, la sociedad puede inferir mucho en los comportamientos alrededor de la cuenca, así como los pobladores son los que deben tener mayor participación en los foros, reuniones y consejos que se realizan a lo largo del tiempo de mejora de la cuenca, de todos modos ellos son los que deben convivir con los efectos que se generan por las problemáticas ambientales de la cuenca.

El Río Salitre está canalizado desde la sección del Parque Nacional donde comienza su zona urbana recibiendo diversos nombres durante el recorrido; se conoce como Arzobispo hasta su llegada a la carrera 30 en el sector de la Ciudad Universitaria, cambiando el nombre en este sector por el de Río Salitre hasta el sector de Suba. En la zona de Entre Ríos sobre la calle 80 con carrera 68 recibe las aguas del Río Negro que fluyen desde el Parque el Virrey. Algunos habitantes del norte del territorio de la Cuenca lo conocen como quebrada Molinos, Río Callejas o La Sirena – Canal Córdoba. Al llegar a la localidad de Suba hacia su desembocadura se conoce como Tibabuyes o Juan Amarillo (Mesa Inter-local, 2010: 9), finalmente aportando sus aguas al Río Bogotá.

METODOLOGÍA

ESTRATEGIA DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de este proyecto se orienta a una investigación donde se relaciona el manejo de dos o más variables (físicas, químicas, hidrológicas, meteorológicas, geológicas) en un contexto particular modificando los resultados del proyecto, las características de una variable inciden en los componentes de otra y entre más variables se utilicen mayor será la certeza en los resultados finales, en esta investigación las variables a implementar son los cambios de las condiciones hidromorfométricas, la capacidad de infiltración del suelo, los parámetros físico y químicos evaluados, y su incidencia en el Río Arzobispo, de esta forma determinando la capacidad de amortiguamiento hidrológico.

FASE DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Averiguar la información relacionada con la zona de estudio: Sub-cuenca Río Arzobispo. En esta etapa del proyecto se revisó la información relacionada con esta sub-cuenca, al igual que los parámetros físico-químicos, las condiciones hidromorfométricas y los temas acordes con el proyecto de investigación (Precipitación, geología, cartografía, cobertura).

FASE DE OBSERVACIÓN

- Realizar recorridos integrados a lo largo del río, con el objetivo de determinar las características de la cuenca, puntos de toma de muestras, zonas con cambios significativos ambientales y secciones de variantes hidromorfométricas que permitan elaborar el análisis de estos parámetros para poder desarrollo los objetivos propuestos en el trabajo de investigación.
- Comparar datos recolectados: Al realizar la toma de muestras a diferentes horas, a diferentes días, se elaboró el análisis de algunos parámetros físicos y químicos relevantes estos se relacionan con los cambios en el suelo que ha sufrido la sub-cuenca en el último siglo para la identificación de las variaciones que se presentan en los puntos de muestreo indicados.
- Registró fotográfico de la zona de estudio.
- Recopilación del registro fotográfico histórico de 1938 en la sub-cuenca Río Arzobispo.

FASE DE TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO

- Cálculos para determinar las condiciones morfométricas actuales de la Sub-cuenca Río Arzobispo.
- Medición de área: Para determinar el área de la cuenca Salitre se utilizó herramientas tecnológicas de información geográfica (ARCGIS), y de acuerdo con la escala del mapa se realizaron los ajustes pertinentes; para hallar la medición del área de la Sub-cuenca Arzobispo se ajustó la imagen de Google Maps a ARCGIS 10.2 para obtener un dato preciso de la zona.
- Realización del modelamiento hidrológico del Río Arzobispo mediante el programa HEC-HMS, aplicando el protocolo elaborado por el HEC (Hydrologic Engineering Center)⁶; utilizando datos de morfometría, pluviosidad y caudales históricos.
- Toma de muestras: En esta etapa del proyecto se eligieron los parámetros físicos y químicos más importantes para determinar el estado actual del río, procediendo con la toma de muestras en los tramos seleccionados.
- Medición de parámetros *in situ*.
- Procedimientos de laboratorio: con los muestreos realizados en las secciones determinadas se elaboró el correspondiente análisis de laboratorio de las variables seleccionadas:
 - ✓ **Temperatura**
 - ✓ **Oxígeno disuelto**
 - ✓ **Sulfatos**
 - ✓ **Nitritos**
 - ✓ **Nitratos**
 - ✓ **Fosfatos**
 - ✓ **Conductividad**
 - ✓ **pH**
 - ✓ **Sólidos suspendidos totales**
 - ✓ **DBO**

⁶ Hydrologic Engineering Center, (2013). *Manual Elemental HEC-HMS versión 4.0 "Protocolo esquematizado para la elaboración de modelamiento hidrológico"*. Pág. 3-24. Ver : http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.0.pdf

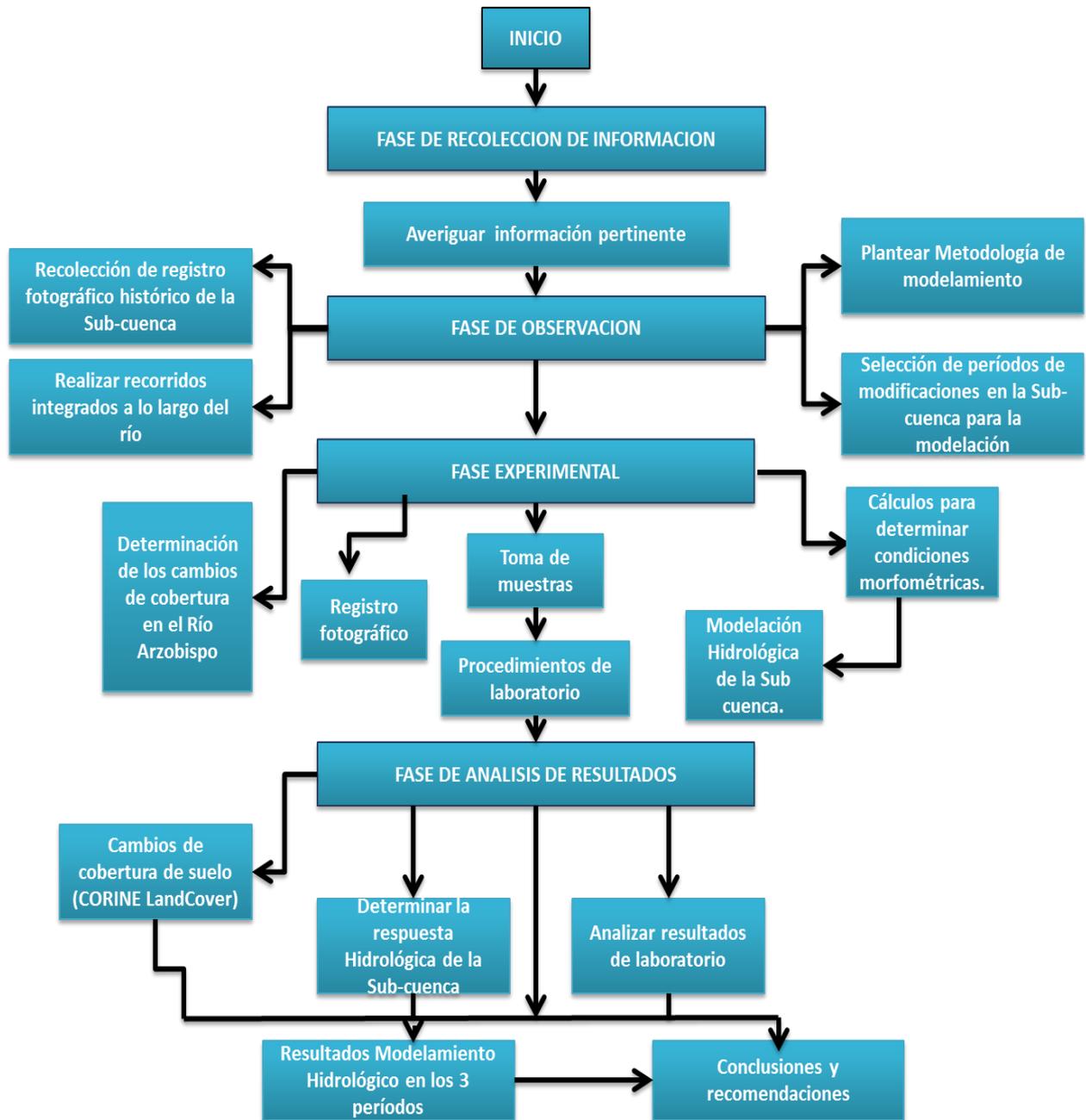
FASE DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Implementación de un modelo hidrológico que permita comparar los cambios relacionados con la precipitación versus la capacidad de infiltración.
- Identificación de algunos parámetros físicos y químicos relevantes actuales del río.
- Utilizando el registro fotográfico aéreo de 1938, el programa ARCGIS 10.2, registró digital de Google Earth y Google Maps, se clasificaron las zonas por uso y ocupación de territorio mediante la terminología aplicada de la metodología CORINE LandCover.
- Determinación de la respuesta hidrológica de la sub-cuenca en los tres períodos estipulados en la fase de modelamiento.
- Analizar los resultados obtenidos de los parámetros evaluados en el laboratorio.
- Comparación de los cambios estructurales que ha tenido la cuenca con respecto a áreas boscosas, áreas construidas y áreas sin construcciones.
- Para realizar la aproximación de la Curva Numero en el modelamiento de la sub-cuenca Arzobispo se utilizó el método de Monte Carlo⁷.
- Conclusiones y recomendaciones.

⁷ Simulación de Monte Carlo: Técnica que determina expresiones estadísticas con datos aleatorios para arrojar un dato aproximado y automatizar los cálculos. Recuperado el 16 de septiembre de 2015 de: www.uoc.edu/in3/emath/docs/Simulacion_MC.pdf

FLUJOGRAMA METODOLÓGICO DEL PROYECTO DE GRADO

Figura 1 Flujoograma metodológico.



Fuente: Autores (2015).

PANORAMA PUNTOS SELECCIONADOS DE MUESTREO:

Ilustración 13 Representación de Puntos de muestreo en la Cuenca.



Fuente: Autores (2015).

Valores Morfométricos calculados de la Sub- Cuenca Río Arzobispo:

En la presente tabla se muestran los datos morfométricos obtenidos para el período actual del área de estudio, en el Marco Conceptual se indican las fórmulas para hallar estos valores:

Tabla 4 Valores morfométricos de la Sub-cuenca Río Arzobispo.

Río Arzobispo	Valores
Área (m ²)	45113820,6
Perímetro (m)	31706,591
Pendiente media Sub-cuenca (%)	3,32
Longitud Cauce Principal (m)	8790
Longitud del Valle Río Principal (m)	9511,9
Longitud Axial(m)	7156,5
Sinuosidad (%)	0,924105594
Longitud Corrientes Sub-cuenca (m)	16890,75
Densidad de Drenaje (Kg/ m ³)	0,000374403
Longitud Máxima de la Cuenca (m)	9850,01
Ancho Máximo de la Cuenca (m)	3365,42
Índice de Alargamiento	2,926829341
Factor de Forma	0,880862774
Índice de Gravelius	1,321760526
Pendiente media Cauce (%)	5,233219568
Cota Máxima (m)	3000
Cota Mínima (m)	2540
Longitud cauces secundarios (m)	8100,75

Fuente: Autores (2015).

ANÁLISIS MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

A partir de datos históricos de alta pluviosidad obtenidos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá se realiza un modelamiento de la sub-cuenca del Río Arzobispo teniendo como referencia tres periodos distintos (1948, 1993 y 2015) debido a los cambios de infraestructura en el río y en sus riberas.

Método de Tablas Curva de Número:

Para hallar el valor del número de la curva relacionado con las condiciones del suelo en los periodos de simulación se toma como referencia el método de tablas de curva número, en el cual se contemplan los siguientes factores: uso de la tierra, medidas de conservación empleadas en los cultivos, estado de compactación del terreno en relación a su uso, capacidad de infiltración del suelo en atención a su textura y las condiciones previas de humedad del suelo.

Para determinar la permeabilidad del suelo este método plantea números de curva que corresponden a los grupos hidrológicos del suelo, es decir, con la naturaleza del suelo, la cual se relaciona directamente con el coeficiente de permeabilidad. Para definir estos valores se establecen cuatro grupos de permeabilidad en los que cuenta la profundidad y la textura del suelo, siendo el Grupo A el más elevado y el Grupo D prácticamente nulo (Ibáñez et ál., s.f.) Estos grupos son:

Grupo A: Es el que ofrece menor escorrentía. Incluye suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprenden los terrenos profundos sueltos con predominio de arena y grava y con muy poco limo o arcilla.

Grupo B: Incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos que los del grupo A, otros de textura franco-arenosa de mediana profundidad y los franco-profundos.

Grupo C: Incluye los suelos, que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, por presentar un estrato impermeable que dificulta la infiltración o por que en conjunto, su textura es franco-arcillosa o arcillosa.

Grupo D: Es el que ofrece mayor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran permeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos profundos con alto grado de tumefacción, los terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable y aquellos otros con sub-suelo muy impermeable próximo a la superficie.

Tabla 5 Metodología Numero de la Curva

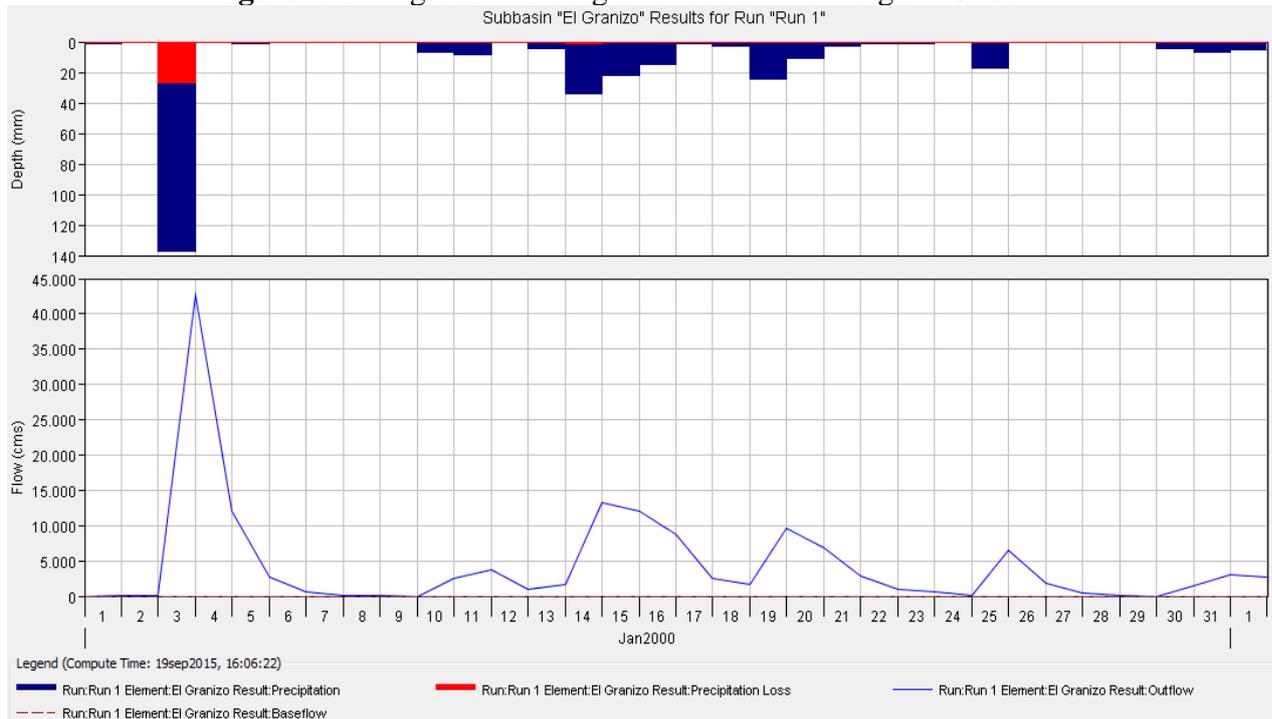
Cubierta del suelo			Números de curva correspondientes a los grupos hidrológicos del suelo			
Clase	Laboreo	Condiciones hidrológicas para la infiltración	A	B	C	D
Barbecho	-	-	77	86	91	94
Cultivos alineados	R	Pobres	72	81	88	91
	R	Buenas	67	78	85	89
	C	Pobres	70	79	84	88
	C	Buenas	65	75	82	86
	C-T	Pobres	66	74	80	82
	C-T	Buenas	62	71	78	81
Cultivos no alineados o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobres	65	76	84	88
	R	Buenas	63	75	83	87
	C	Pobres	63	74	82	85
	C	Buenas	61	73	81	84
	C-T	Pobres	61	72	79	82
	C-T	Buenas	59	70	78	81
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternativa	R	Pobres	66	77	84	88
	R	Buenas	58	72	81	85
	C	Pobres	64	75	83	85
Pastizales (pastos naturales)	C	Buenas	55	69	78	83
	C-T	Pobres	63	73	80	83
	C-T	Buenas	51	67	76	80
	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
	C	Pobres	47	67	81	88
C	Regulares	25	59	75	83	
C	Buenas	6	35	70	79	
Prados permanentes, Montes con pastos (ganadero-forestal)	-	-	30	58	71	78
	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques (forestales)	-	Muy pobres	56	75	86	91
	-	Pobres	46	68	78	84
	-	Regulares	36	60	70	76
	-	Buenas	26	52	63	69
	-	Muy buenas	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Camino de tierra	-	-	72	82	87	89
Camino en firme	-	-	74	84	90	92

Fuente: Ingeniería de Conservación de suelos y agua (s.f.)

A continuación se muestran los resultados de los hidrogramas arrojados por el programa HEC-HMS:

Modelación Río Arzobispo 1948:

Figura 2 Hidrograma e Hietograma modelo hidrológico 1948.



Fuente: Autores (2015).

El hietograma muestra la relación de precipitación efectiva y la escorrentía infiltrada, en el día de mayor pluviosidad se observa que el nivel de permeabilidad respecto a la precipitación es mayor, ya que, la constitución de las primeras capas de suelo en el piedemonte tiende a ser areniscas duras y en la ladera arcillas blandas (ver **Anexo G**), por lo tanto el porcentaje de desarrollo urbano en ese sector era bajo y el cauce del río aún no había sido intervenido⁸, lo que conlleva a una mayor capacidad de infiltración en los suelos ya que la mayoría de las zonas en la ronda del río conservaban sus características naturales relativamente intactas.

El hidrograma muestra la respuesta de la sub-cuenca frente a los diversos eventos de pluviosidad, en el primer pico de precipitación el tiempo de estabilización hídrica es aproximadamente de dos días ya que es un dato atípico que alcanza un punto de aproximadamente 42.000 cm comparado con las de más precipitaciones del mes; los valores arrojados en los siguientes eventos de pluviosidad se mantienen constantes con flujos no mayores a 15.000 cm y presentan tiempo de estabilización hídrica que no sobrepasan un día.

⁸ Pérez, A. (2000). "La Estructura Ecológica Principal de la Sabana de Bogotá". Sociedad Geográfica de Colombia, 9-11. Bogotá, Colombia. Recuperado el 19 de septiembre de 2015 de: www.sogecol.edu.co/documentos/est_eco.pdf

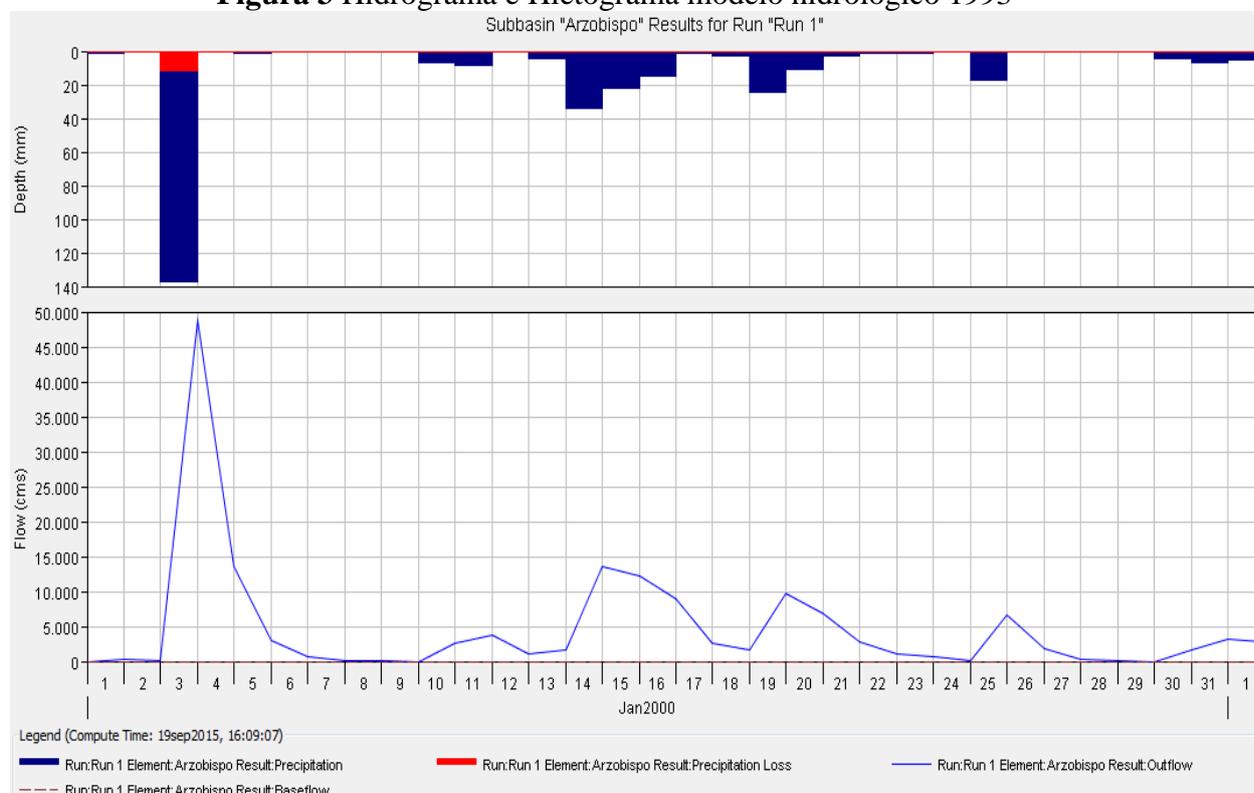
Tabla 6 Parámetros simulación 1948

Parámetros de simulación	Resultados
Número de la Curva	83
Impermeabilidad (%)	42
Descarga pico (m3/día)	42723,2
Volumen de precipitación (mm)	306
Volumen de pérdida (mm)	31,69
Volumen de exceso (mm)	274,31
Volumen de escorrentía directa (mm)	270,04
Volumen de descarga (mm)	270,04

Fuente: Autores (2015).

Modelación Río Arzobispo 1993:

Figura 3 Hidrograma e Hietograma modelo hidrológico 1993



Fuente: Autores (2015).

El hietograma muestra la relación de precipitación efectiva y la escorrentía infiltrada, en el día de mayor pluviosidad se observa que el nivel de permeabilidad respecto a la precipitación disminuye de acuerdo a la simulación anterior puesto que incrementaron los procesos de desarrollo urbano esta conlleva a la disminución del tiempo de retención del agua en secciones de baja pendiente, se encausó el Río Arzobispo de manera gradual para la evacuación de aguas lluvias y residuales; esto conllevó a la pavimentación de gran parte de las zonas aledañas del río, conservando su estado natural en algunos sectores como el Parque Nacional y en la Quebrada El Granizo, a causa de esto los suelos naturales de la sub-cuenca fueron cubiertos de asfalto disminuyendo su capacidad de permeabilidad y generando mayores niveles de escorrentía.

El hidrograma muestra que el pico más alto alcanza un valor aproximado de 49.000 cm y un tiempo de estabilización de aproximadamente dos días, las precipitaciones restantes del mes se mantienen uniformes y no presentan datos que sobrepasen los 14.000 cm. Comprando las variables arrojadas con el primer hidrograma se determinaron valores más altas en año 1993, ya que, en la modelación hidrológica los cambios relacionados con el coeficiente de permeabilidad (FAO, s.f.) y el número de la curva de escorrentía están relacionados con los cambios del uso del suelo, de acuerdo a esto el número de la curva correspondiente al grupo hidrológico del suelo es 87 según *Ibáñez et ál., s.f., 3*: “Se indica para clases de suelo denominados Caminos de tierra de condiciones regulares se le asigna este valor”

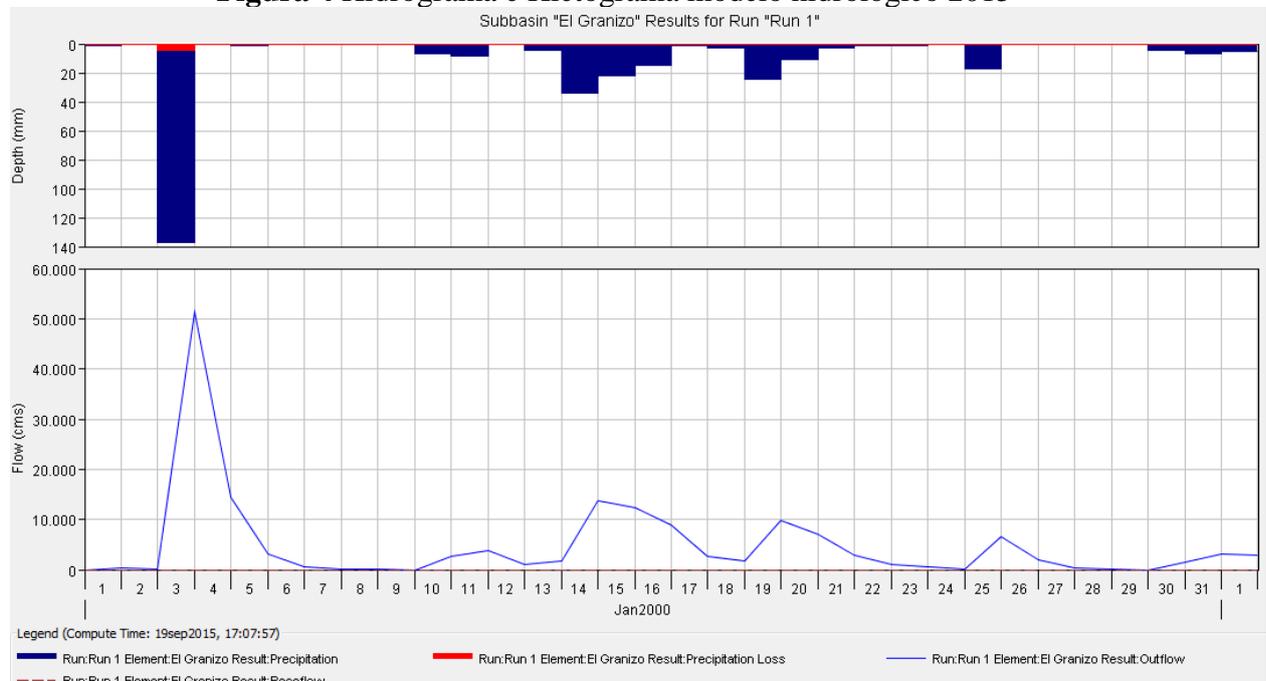
Tabla 7 Parámetros simulación 1993

Parámetros de simulación	Resultados
Número de la Curva	87
Impermeabilidad (%)	68
Descarga pico (m3/día)	48692,2
Volumen de precipitación (mm)	306
Volumen de pérdida (mm)	13,20
Volumen de exceso (mm)	292,80
Volumen de escorrentía directa (mm)	288,49
Volumen de descarga (mm)	288,49

Fuente: Autores (2015).

Modelación Río Arzobispo 2015:

Figura 4 Hidrograma e Hietograma modelo hidrológico 2015



Fuente: Autores (2015).

El hietograma muestra la relación de precipitación que se convierte en caudal y la escorrentía infiltrada, en el día de mayor pluviosidad se observa que el nivel de permeabilidad respecto a la precipitación disminuyó considerablemente respecto a los hietogramas anteriores ya que el

nivel de infiltración para la época actual es muy bajo debido a la canalización del río desde el Parque Nacional hasta su desembocadura, por lo tanto las construcciones urbanas en la ribera permiten un mayor escurrimiento y evacuación del agua.

El hidrograma muestra que en el día de pluviosidad más alta de las variables arrojadas es aproximadamente de 51.000 cm con un tiempo de estabilización aproximado de dos días, los datos de precipitación restantes no superan los 13.000 cm y no presentan variaciones abruptas. Respecto a los resultados de la simulación anterior el año 2015 presenta un aumento relacionado con el coeficiente de permeabilidad y el número de curva de escorrentía puesto que la ribera del río se encuentra urbanizada en su mayoría, encontrando un valor CN de 92 según Ibáñez et ál., s.f., 3: “Se indica para clases de suelo denominados Caminos firmes o pavimentados”.

Tabla 8 Parámetros simulación 2015

Parámetros de simulación	Resultados
Número de la Curva	92
Impermeabilidad (%)	80
Descarga pico (m3/día)	51426,6
Volumen de precipitación (mm)	306
Volumen de pérdida (mm)	5
Volumen de exceso (mm)	301
Volumen de escorrentía directa (mm)	296,68
Volumen de descarga (mm)	296,68

Fuente: Autores (2015).

NÚMERO DE CURVA ESCORRENTÍA REPRESENTATIVA DE LA SUB-CUENCA:

Tabla 9 Número de Curva simulado por método aleatorio

S Optimo	0,84
CN	92,25092251
Precipitación Efectiva Total	0,00031786268

Fuente: Autores (2015).

Para hallar el número de la curva (CN) de escorrentía de la sub-cuenca se aplicó el método de simulación de Monte Carlo, teniendo en cuenta parámetros específicos relacionados con el escurrimiento como la precipitación efectiva, es aquella cantidad de lluvia que produce la escorrentía superficial, el caudal medio y la precipitación total (Cueva, 2010).

Para determinarlo, se realizó una simulación con datos aleatorios, 5000 repeticiones específicamente, para hallarla, la variable más aproximada al número de la curva se identificó el S_{Optimo} (diferencia entre la lluvia caída y la escorrentía generada). Una vez hallada se calcula la CN mediante siguiente fórmula:

$$CN = 1000 / (10 + S_{\text{optimo}})$$

Cambios en el uso del suelo (1938 – 2015)

Terminología CORINE LandCover: Se aplicó la terminología de cobertura de área desarrollada por la Agencia de Europea de Medio Ambiente, CORINE LandCover adaptada para Colombia⁹.

El manejo del uso del suelo dentro de la cuenca del Rio Salitre ha sufrido cambios trascendentales debido al crecimiento urbano dentro del área de la ciudad de Bogotá. Al paso de los años se ha evidenciado un aumento considerable en el área construida y una disminución paulatina del área libre que predominaba a inicios del siglo XX. A continuación se muestra un comparativo entre el año 1938 y 2015 para observar los cambios en el terreno y de uso del suelo dentro del área de la cuenca:

Tabla 10 Porcentaje de Áreas 1938

Tipos de Área	Porcentaje (%)
Zona Urbanizada	22
Áreas con vegetación arbustiva y/o Bosques	31
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	47

Fuente: Autores (2015).

Ilustración 14 Fotografía aérea zona alta de la cuenca del Rio Arzobispo (1938)



Fuente: IGAC, 1938.

⁹ Metodología CORINE LandCover adaptado para Colombia escala 1:100000 del 2008. Recuperado el 7 de Septiembre de 2015:

www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Suelo/140510_Ideam_Igac_Metod_CORINELC.pdf

Ilustración 15 Fotografía aérea zona baja de la cuenca del Rio Arzobispo (1938)



Fuente: IGAC, 1938.

Ilustración 16 Fotografía aérea de la cuenca del Rio Salitre (1938)



Fuente: IGAC, 1938.

Ilustración 17 Fotografía aérea de la cuenca del Rio Salitre (1938)



Fuente: IGAC, 1938.

Ilustración 18 Fotografía aérea de la zona baja de la cuenca del Rio Salitre (1938)



Fuente: IGAC, 1938.

Ilustración 19 Fotografía aérea de la zona Entre Ríos (1938)



Fuente: IGAC, 1938.

Tabla 11 Porcentaje Áreas 2015

Tipos de Área	Porcentaje (%)
Zona Urbanizada	87,34
Áreas con vegetación arbustiva y/o Bosques	11,14
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	1,52

Fuente: Autores (2015).

Ilustración 20 Cuenca Río Salitre (2015)



Fuente: Google Earth, extraído el 25 de septiembre de 2015

RESULTADOS ANÁLISIS LABORATORIO

Al realizar los análisis de laboratorio de los parámetros físico-químicos, los resultados obtenidos de la DBO proporcionados por el laboratorio ANALQUIM LTDA y las variables tomadas *in situ*. Se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 12 Resultados de muestreo N° 1 Río Salitre

Muestreo N° 1 Río Salitre - 25 de junio de 2015				
Hora de muestreo	10:40 a.m.	09:20 a.m.	02:05 p.m.	01:10 p.m.
Punto de muestreo	12 de Octubre	Entre Ríos (Carrera 68 con calle 80)	La Soledad	Parque Nacional
Temperatura (°C) 1	10,2	8	9,8	10,7
Oxígeno Disuelto (mg/L) 1	5,7	2,8	6,1	10,6
Nitritos (mg/L) 1	0,656	0,656	0,656	0,164
Nitratos (mg/L) 1	44,3	88,6	44,3	2,215
Fosfatos (mg/L) 1	1	4	3	4
Conductividad (µs/cm) 1	565	661	64	96,5
pH 1	8,5	7,8	8,2	7,1
Solidos Suspendidos Totales (mg/L) 1	0,1	4	1,3	0,3
DBO (mg/L O ₂) 1	186	223	7	6

Fuente: Autores (2015).

Tabla 13 Resultados de muestreo N° 2 Río Salitre

Muestreo N° 2 Río Salitre - 7 de julio de 2015				
Hora de muestreo	10:30 a.m.	11:35 a.m.	08:40 a.m.	07:53 a.m.
Punto de muestreo	12 de Octubre	Entre Ríos (Carrera 68 con calle 80)	La Soledad	Parque Nacional
Temperatura (°C) 2	11,9	12,5	10,5	10,8
Oxígeno Disuelto (mg/L) 2	6,2	2,3	7,2	11,1
Sulfatos (mg/L) 2	3000	2500	1900	250
Nitritos (mg/L) 2	0,85	0,6	0,53	0,005
Nitratos (mg/L) 2	50	10	0,02	0
Fosfatos (mg/L) 2	7,5	2,5	0,3	0,2
Conductividad (µs/cm) 2	515	435	68,1	67
pH 2	7,7	7,02	7,35	6,92
Solidos Suspendidos Totales (mg/L) 2	1,9	0,3	0,2	0,01
DBO (mg/L O ₂) 2	219	197	4	5

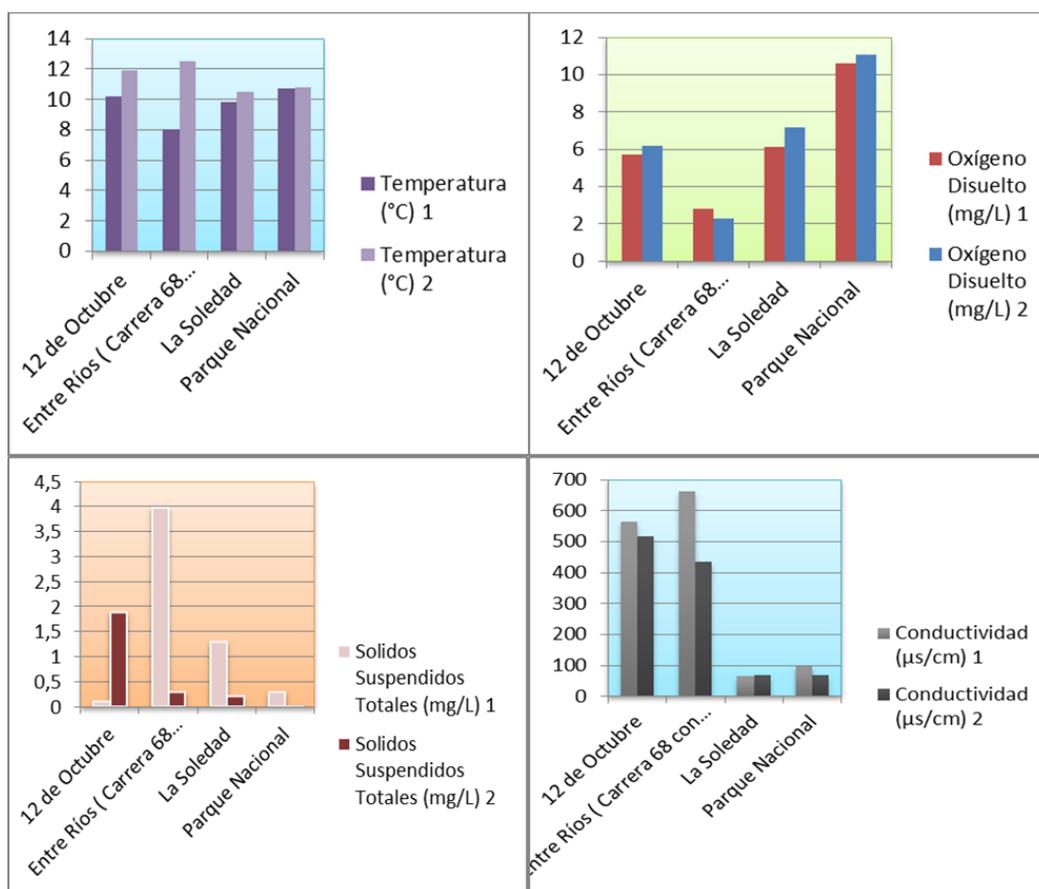
Fuente: Autores (2015).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizaron los muestreos en días y horas diferentes para comparar los cambios de los componentes físicos y químicos y otras variables que incidan en el comportamiento del río, a continuación se presentan las gráficas comparativas de estos parámetros:

- MUESTREO DÍA 1 (25 de junio 2015)

Figura 6 Resultados de parámetros de análisis de Temperatura, Oxígeno Disuelto, Sólidos Suspendidos Totales y Conductividad.



Fuente: Autores (2015).

Temperatura: La temperatura en los puntos de muestreo presentó variaciones mínimas no mayores 1.5°C. En el tramo Entre Ríos presentó la temperatura más baja debido a la hora de toma de muestra que se realizó entre las 9:00 y 9:30, a causa de la baja incidencia de la luz solar para el aumento de la temperatura del agua que fluyó al momento del muestreo.

El tramo 12 de Octubre se encontró una diferencia aproximada de 2°C respecto al punto anterior.

El tramo del Parque Nacional se encontró el pico más alto de temperatura ya que se realizó el muestreo en una hora entre la 13:00 y 14:00 donde se presentó una mayor intensidad de luz solar.

En el tramo de la soledad la temperatura descendió debido a la precipitación que se presentó a la hora del muestro.

Oxígeno disuelto: En el tramo del Parque Nacional la concentración de OD es la más alta de los puntos de muestreo debido a la morfometría de la zona (pendiente, sinuosidad, caudal) y la baja concentración de residuos sólidos en el cuerpo de agua.

En el tramo de La Soledad disminuyó la concentración de OD debido a los cambios de pendiente y sinuosidad de la zona, Presentando menor rugosidad y mayor presencia de residuos sólidos por el desarrollo urbano en la ribera del río.

En el tramo del 12 de Octubre descendió la concentración de OD con respecto a los dos puntos anteriores debido al arrastre de sólidos disueltos en el agua, mayor presencia de residuos sólidos, ocasionando cambios en la tonalidad y generando olores ofensivos en el cuerpo de agua.

El tramo de Entre Ríos presentó la concentración más baja de OD debido al aporte de la carga contaminante que arrastran los Río Negro y el canal Río Nuevo, aumentando la cantidad de sólidos suspendidos totales (aumento de sedimentación), disminución de la velocidad del flujo de agua, aumento de olores ofensivos en el sector (especialmente en las horas de la tarde).

Conductividad: En los tramos del Parque Nacional y La soledad se evidenció los valores más bajos de este parámetro debido a la no presencia de sectores industriales en estas zonas del muestreo.

En los tramos del 12 de Octubre y Entre Ríos aumentaron los valores de este parámetro, por la presencia de sectores industriales y aporte de otros cuerpos de agua que contribuyen al incremento de la variante de la condición,

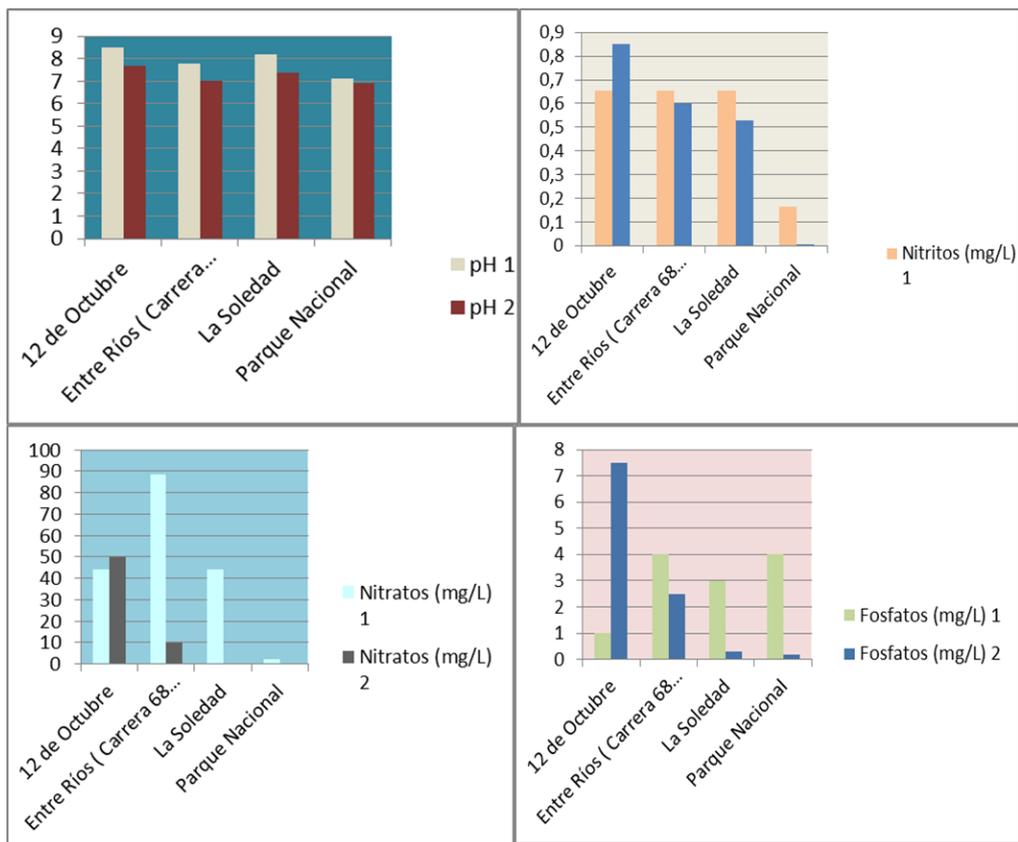
Sólidos Suspendidos Totales: El tramo de Entre Ríos evidenció la más alta concentración de este parámetro debido al aporte de residuos sólidos provenientes del Río Negro y el canal Río Nuevo.

El tramo del Parque Nacional presentó una baja concentración de SST debido al poco aporte de carga contaminante en el sector.

El tramo de la Soledad presentó la segunda concentración alta de los puntos de muestreo ya que se evidencia mayor presencia de sectores residenciales adyacentes a la ribera del río, que aportan carga residual.

El tramo del 12 de Octubre se evidenció la concentración más baja de SST ya que se presentó menor arrastre de sedimentos en el sector y se observó mayor velocidad del flujo de agua.

Figura 7 Resultados de parámetros de análisis de Nitritos, Nitratos, Fosfatos y pH.



Fuente: Autores (2015).

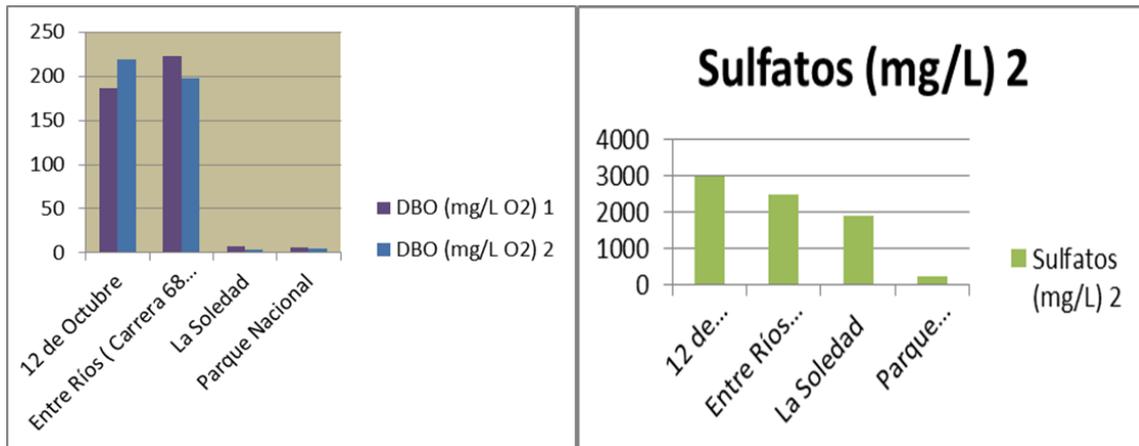
pH: En los tramos de muestreo se evidencian valores de pH Alcalino-Básico con pocos cambio de un tramo a otro teniendo el 12 de Octubre como el valor más alto de 8,5 y de menos de 2 unidades con respecto al más bajo que es el Parque Nacional con 7,1 unidades.

Fosfatos: En los puntos de muestreo Entre Ríos, Parque Nacional y La Soledad se evidencia presencia de fosfatos entre 3 y 4 mg/L debido al aporte de aguas grises de zonas residenciales y presencia de habitantes de calle en la ronda del rio. En el punto de muestreo del 12 de Octubre la presencia de fosfatos es la menor debido al bajo transporte de detritos y SST que se encuentran en los otros puntos de muestreo.

Nitritos: En los tramos de Entre Ríos, La Soledad y 12 de Octubre presentaron valores similares de alta concentración de nitritos debido al aporte de aguas negras de zonas industriales y residenciales, y presencia de habitantes de calle encontrados en estos sectores. En el tramo del Parque Nacional la concentración de nitritos es baja en relación con los puntos anteriores puesto que no hay zonas residenciales o industriales que aporten aguas negras a esta sección.

Nitratos: Entre los tramos del 12 de Octubre y entre Ríos se identificó un incremento relevante en la concentración debido a mayor presencia de residuos orgánicos y aguas negras, en los tramos de El Parque Nacional y La Soledad se disminuyó la concentración a causa de mayor volumen de agua en el segundo tramo.

Figura 8 Resultados de parámetros de análisis Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sulfatos Día 2.



Fuente: Autores (2015).

Demanda Bioquímica de Oxígeno: En los tramos de La Soledad y el Parque Nacional se evidenció la más baja concentración de DBO porque la carga orgánica que contienen las aguas negras, que es aportada por zonas residenciales es menor en estos sectores. En el tramo del 12 de Octubre la carga contaminante es mayor a los tramos anteriores con respecto al crecimiento de las zonas residenciales y el aporte del sector industrial en este sector. En el tramo de Entre Ríos se identificó el pico más alto en los valores de la DBO de los puntos de muestreo, ya que se presenta un aporte de carga orgánica por parte de los otros afluentes que convergen en este punto de muestreo.

○ MUESTREO DÍA 2 (7 de julio 2015)

Oxígeno Disuelto: Se observó una tendencia decreciente del OD entre los 4 puntos de muestreo donde el mayor pico se encuentra en el Parque Nacional y la lectura más baja en el último lugar de muestreo Entre Ríos (donde convergen más cuerpos de agua) en este sector se identificó mayor carga contaminante y presencia de residuos sólidos.

Temperatura: Se presentó una tendencia creciente en los puntos de muestreo Entre Ríos y 12 de Octubre ya que las muestras fueron tomadas entre las 12:00 y las 14:00 horas donde la luz solar alcanza una mayor intensidad a diferencia de los otros puntos de muestreo donde se tomaron las muestras entre las 6:00 y las 8:00 horas.

Sólidos Suspendidos Totales: Se identificó un aumento considerable en la concentración de SST en el punto de muestreo 12 de Octubre respecto a los 3 puntos restantes, a causa del incremento del volumen de agua que fluyó en este tramo del canal al momento del muestreo ocasionando un mayor arrastre de sedimentos. En los 3 puntos de muestreo el incremento fue muy mínimo con respecto al 12 de Octubre donde el cambio es de un valor aproximado a 2 mg/L con respecto al Parque Nacional donde se presentó la concentración más baja.

Conductividad: Se observó un aumento representativo entre los puntos de muestreo Parque Nacional y La Soledad a causa de mayor presencia de residuos sólidos en estos puntos. El

cambio más relevante se presentó en los puntos de muestreo Entre Ríos y 12 de Octubre, el primero por aporte de aguas negras de los canales Rio Nuevo y Rio Negro; el segundo por mayor presencia de detritos en los SST.

Sulfatos: Se observaron valores bajos en el Parque Nacional con respecto a los otros 3 puntos de muestreo, ya que es el punto con menores zonas industriales. Se identificaron valores crecientes en sulfatos en los puntos de muestreo restantes, debido al paso del cuerpo de agua por zonas industriales y residenciales.

Nitratos: Se observó que la barra más alta se encuentra en el punto de muestreo del 12 de Octubre debido a la mayor presencia de residuos sólidos de procedencia orgánica, el punto de menor concentración de nitratos fue Parque Nacional por la baja presencia de residuos sólidos.

Fosfatos: Se identificó mayor presencia de tensoactivos y aguas grises en el punto de muestreo del 12 de Octubre, en más baja concentración en el Punto de Entre Ríos donde el aporte de los otros cuerpos de agua cambian las condiciones de los fosfatos en este tramo, y en los otros dos puntos de muestreo las concentraciones no sobrepasan el valor de 0,3 mg/L a causa de la baja presencia de zonas industriales en el sector.

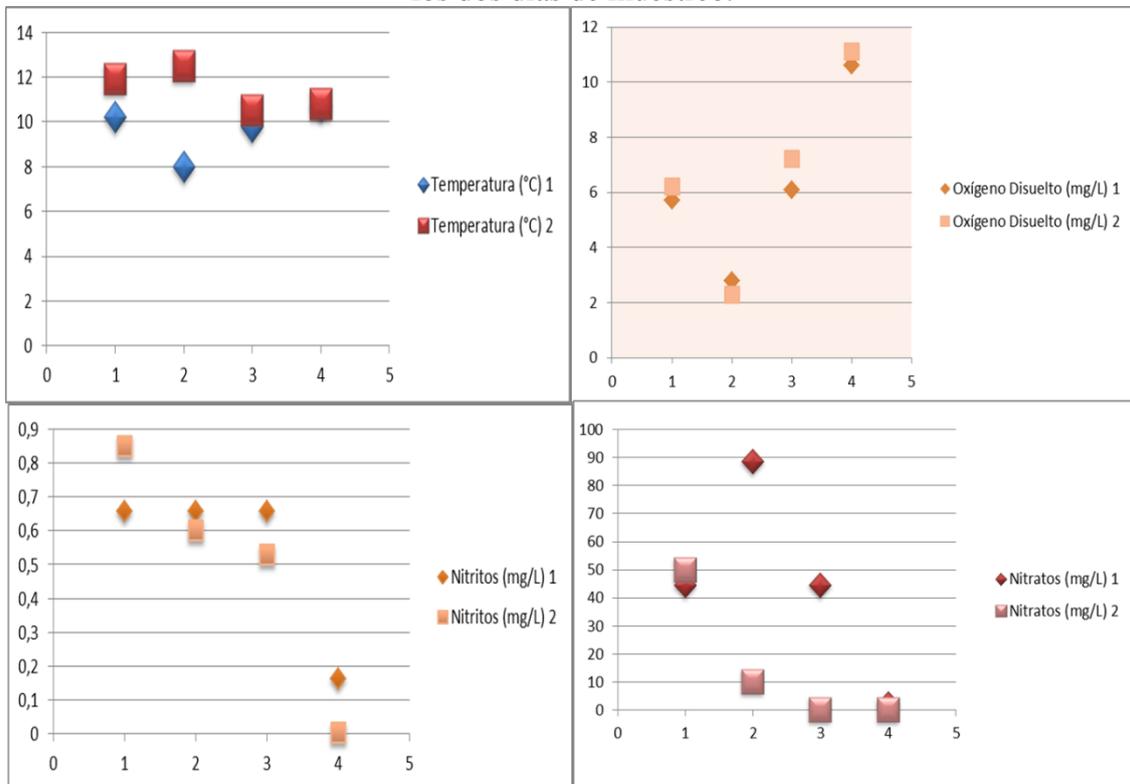
Nitritos: Las concentraciones más altas se presentaron en los puntos del 12 de Octubre y Entre Ríos debido al aporte de aguas negras residenciales e industriales en estos sectores, en el punto de La Soledad es una de las concentraciones más bajas por la presencia de aguas grises residenciales y en el Parque Nacional las concentraciones son las más bajas por el nulo aporte de aguas negras.

pH: Se identificó valores de tendencia alcalina en los puntos de muestreo La Soledad, 12 de Octubre y Entre Ríos, y el valor más aproximado a un punto neutro es el del Parque Nacional.

Demanda Bioquímica de Oxígeno: En los puntos de muestreo del 12 de Octubre y Entre Ríos se encontró la concentración más alta debido a la presencia de aguas negras con gran contenido de materia orgánica. En los puntos restantes se evidencio baja concentración debido a que la carga orgánica aportada por las zonas residenciales de estos sectores es muy baja.

- Comparativo entre primer día de muestreo y el segundo día.

Figura 9 Análisis comparativo entre Temperatura, Oxígeno Disuelto, Nitritos y Nitratos de los dos días de muestreo.



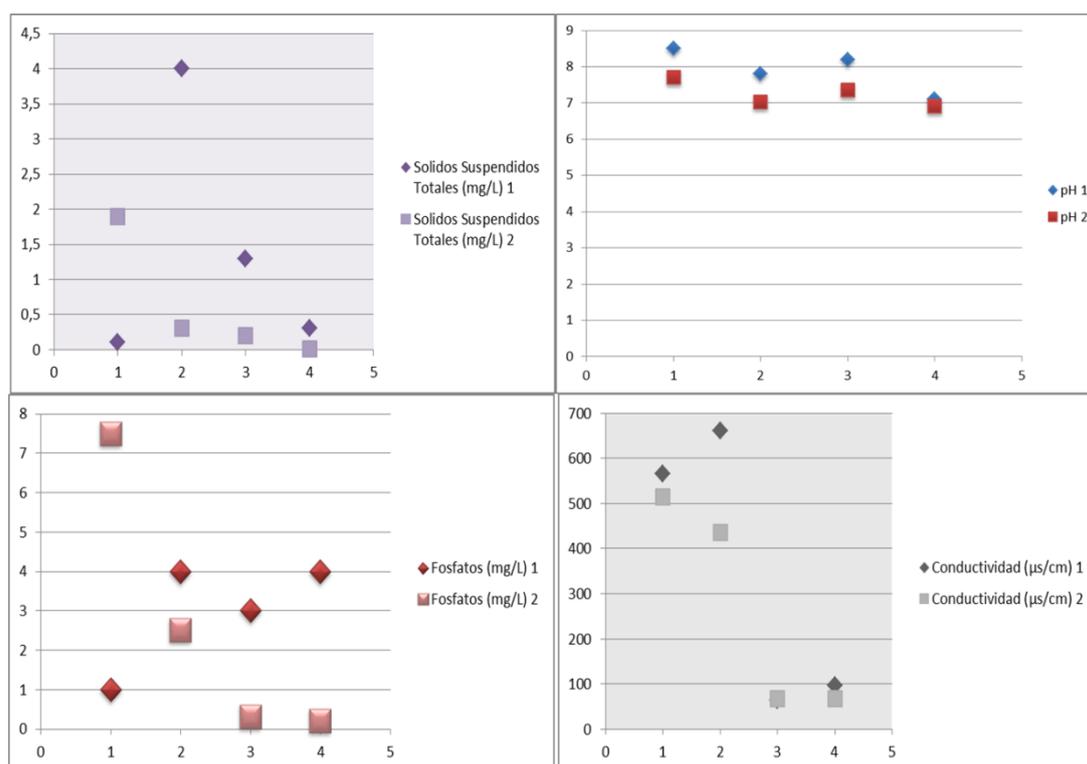
Fuente: Autores (2015).

- Temperatura día 1 vs día 2: En la gráfica se observa que en el punto de muestreo de Entre Ríos hubo un cambio debido a la diferencia de horas de muestreo ya que el muestreo n° 1 se hizo entre las 9:00 y 9:30; el muestreo del día n° 2 se realizó entre las 11:30 y 12:00, debido a esto las horas de incidencia de los rayos solares sobre la superficie del agua incrementaron la temperatura. Los puntos de Parque Nacional, la Soledad y el 12 de Octubre presentaron variaciones mínimas en los días de muestreo.
- Oxígeno Disuelto día 1 vs día 2: La tendencia de los puntos de muestreo entre los dos días de muestreo fue uniforme presentando variaciones mínimas en los cuatro puntos de muestreo. En el Parque Nacional presenta los niveles más aceptables de OD debido a que este punto tiene menor afectación de vertimientos de aguas residuales; en los puntos de muestreo de La Soledad y 12 de Octubre la disponibilidad de Oxígeno Disuelto disminuye de acuerdo a su ubicación del perímetro urbano, ya que durante el recorrido del río en zonas urbanizadas la carga de agua residual que le aportan aumenta; para el punto de Entre Ríos se presenta el valor más bajo de OD, debido a la confluencia de Río Negro y el canal de Río Nuevo que aportan mayor carga de agua residual al cauce principal (Río Salitre).
- Nitritos día 1 vs día 2: El punto del 12 de Octubre presentó la variación más alta con un estimado de 0,2 mg/L de concentración entre el primer día de muestreo y el segundo debido al posible aporte de vertimientos en este sector. Los puntos de muestreo del Parque Nacional y La Soledad presentaron decrecimientos semejantes de

concentración en sus respectivos días de muestreo, teniendo los valores más altos en su primer día. En el sector de Entre Ríos se presentó una decreción en la concentración de materia orgánica, debido a esto los valores más altos se evidenciaron en el primer día de muestreo,

- Nitratos día 1 vs día 2: Se presentaron cambios abruptos de aproximadamente 40 mg/L en el punto de muestreo de La Soledad debido a que en el primer día de muestreo la materia orgánica presente en aguas residuales aumento y se evidencio una alta presencia de materia orgánica en el lecho del canal. En los puntos de Parque Nacional y 12 de Octubre los datos recolectados permanecieron constantes durante los dos días de muestreo. En el punto de Entre Ríos se presentó el cambio más representativo ya que los valores arrojados del análisis de laboratorio la diferencia entre el primer y segundo día arrojó un valor aproximado de 70 mg/L, a causa de mayor aporte de materia orgánica (ver resultados DBO) por los afluentes de río Negro y río Nuevo.

Figura 10 Análisis comparativo entre pH, Sólidos Suspendidos Totales, Fosfatos y Conductividad de los dos días de muestreo.



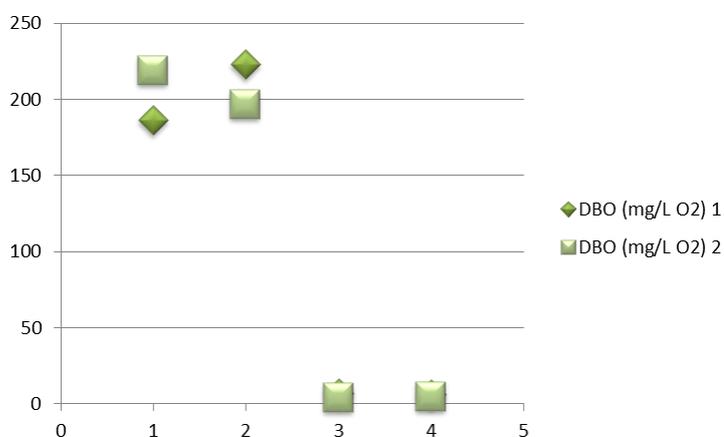
Fuente: Autores (2015).

- pH día 1 vs día 2: Se muestran en la gráfica una tendencia alcalina a lo largo del cauce del río de manera paralela, un aumento de alcalinidad desde el punto del Parque Nacional hasta el 12 de Octubre y disminuye en el sector de Entre Ríos debido a un posible aporte de sustancias acidas que reduce su alcalinidad por parte de conexiones erradas. La diferencia entre los dos días de muestreo no es mayor a 1 unidad de pH, donde los valores más altos se encuentran en el primer día; excepto en el Parque

Nacional donde la diferencia entre los dos puntos es aproximadamente 0,2 unidades de pH.

- **Sólidos Suspendedos Totales día 1 vs día 2:** En el punto de 12 de Octubre el cambio entre los dos días es de alrededor de 2mg/L debido al arrastre de sedimentos ya que para el segundo día el volumen del flujo de agua fue mayor, por lo tanto la turbiedad es alta y color aparente marrón claro. En Entre Ríos se presentó la mayor diferencia, aproximadamente de 4 mg/L a causa del bajo arrastre de sedimentos por parte de las corrientes de agua que llegan a ese tramo, evidenciando un color aparente de verde grisáceo oscuro. En los tramos de La Soledad y el Parque Nacional los cambios no fueron significativos por la baja presencia de sedimentos en estos sectores donde la turbidez en el agua es baja y su color aparente es transparente (ver **Anexo A**).
- **Conductividad día 1 vs día 2:** En los tramos de Parque Nacional, La Soledad y 12 de Octubre no se presentaron grandes cambios por tener características físicas similares entre los dos muestreos; ya para el punto de Entre Ríos se identificó la variación significativa de los dos muestreos de aproximadamente de 230 $\mu\text{s/cm}$, debido al posible arrastre y aportes de sales disueltas en el agua, en el segundo día la concentración decreció debido a que la conductividad tiende a disminuir cuando se tiene mayor volumen de agua (ver **Anexo C** y **Anexo E**).
- **Fosfatos día 1 vs día 2:** Se observó que los datos obtenidos en los dos días de muestreo la diferencia aproximada fue de 4 mg/L en el Parque Nacional y La Soledad de 3 mg/L, debido a las distintas horas en que se realizó el muestreo (Día 1 entre las 13:00 y 14:30, día 2 entre las 7:00 y 9:00) debido a esto se encontró mayor presencia de SAAM (Sustancias Activas al Azul de Metileno) el primer día en estos tramos. En el punto de Entre Ríos la variación de los datos fue mínima encontrando concentraciones similares en los dos días de muestreo. El cambio más significativo se presentó en el 12 de Octubre con una diferencia aproximada de 6,5 mg/L de fosfato, posiblemente por presencia de SAAM y similares en aguas residuales.

Figura 11 Análisis comparativo de Demanda Bioquímica de Oxígeno de los dos días de muestreo.



Fuente: Autores (2015).

- DBO día 1 vs día 2: Se identificó cantidad similar de carga contaminante entre los dos días de muestreo para los puntos del Parque Nacional y La Soledad arrojando datos similares en los dos. En los puntos de muestreo del 12 de Octubre y Entre Ríos se presentaron los mayores cambios de DBO a causa que en el primer día de muestreo se encontró mayor arrastre de materia orgánica (evidenciado en el incremento que presentó los parámetros de Nitritos y Nitratos en este punto de muestreo) en el sector de Entre Ríos; para el segundo día de muestreo se registró mayor nivel de materia orgánica en el sector del 12 de Octubre con mayor nivel de agua (En este día se presentaron precipitaciones en las horas de la madrugada que aumentaron el volumen de agua) ver **Anexo E**.

Análisis Comparativo Normatividad de Agua Potable y de Consumo Humano

Tabla 14 Normatividad Agua Potable y de Consumo humano

Puntos de muestreo Parámetros	12 de Octubre		Entre Ríos		La Soledad		Parque Nacional		Valores admisibles RES 2115/07	Valores admisibles DTO 475/98	Valores admisibles Res 1096/00
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2			
Nitritos (mg/L)	0,656	0,85	0,656	0,6	0,656	0,53	0,164	0,005	0,1	0,1	
Nitratos (mg/L)	44,3	50	88,6	10	44,3	0,02	2,215	0	10	10	
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	0,1	1,9	4	0,3	1,3	0,2	0,3	0,001		500	
Conductividad (µs/cm)	565	515	661	435	64	68,1	96,5	67	1000	50 - 1000	
Sulfatos (mg/L)		3000		2500		1900		250	250	250	
Fosfatos (mg/L)	1	7,5	5	2,5	3	0,3	4	0,2	0,5	0,2	
pH	8,5	7,7	7,8	7,02	8,2	7,35	7,1	6,92	6,5 - 9,0	6,5 - 9,0	
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5,7	6,2	2,8	2,3	6,1	7,2	10,6	11,1			> 4
DBO (mg/L)	186	219	223	197	7	4	6	5			3 - 5

Fuente: Autores (2015).

Nitritos: De acuerdo a la normatividad colombiana establecida referente a agua potable y para consumo humano la concentración de nitritos en los puntos de muestreo 12 de Octubre, Entre Ríos y La Soledad sobrepasa el valor admisible establecido en el DTO 475/98 y en la RES 2115/07 (0,1 mg/L) por cerca de 0,5 mg/L de diferencia puesto que los niveles de materia orgánica incrementan debido a los vertimientos de zonas residenciales. En la zona del parque nacional la diferencia de concentración es apenas de 0,064 mg/L debido a su cercanía con el nacimiento del río y su poca afectación con los vertimientos urbanos en ese punto.

En el segundo día de muestreo la concentración de nitritos con respecto al valor permisible establecido por la norma en el 12 de Octubre es de aproximadamente 0,7 mg/L, en el punto Entre Ríos es de 0,5 mg/L y en La Soledad de 0,4mg/L, la diferencia de estos tres tramos es mínima entre sí y con respecto al día anterior y puede que aumente o disminuya

mínimamente en los diferentes tramos con respecto al muestreo anterior debido a las horas de toma de muestra que pueden influir en los cambios de materia orgánica en el agua.

Nitratos : De acuerdo a la normatividad colombiana establecida referente a agua potable y para consumo humano la concentración de nitratos sobrepasa los valores establecidos por las normas regentes (10 mg/L) en gran medida en los puntos 12 de octubre (arrojando 44,3 mg/L), Entre Ríos (arrojando 88,6 mg/L) y La Soledad (arrojando 44,3 mg/L), en el primer día de muestreo, puesto que los nitritos también se relacionan con la presencia de materia orgánica y de nitritos se puede relacionar a estos la alta concentración de nitratos.

En el segundo día de muestreo el nivel de concentración de nitratos aumenta aproximadamente en 6 mg/L en el 12 de Octubre con respecto al día anterior, dicho incremento se presentó debido al incremento del volumen de agua que favorece al arrastre de materia orgánica y fecal en ese punto. En los tres puntos de muestreo restantes las variaciones son abruptas disminuyendo considerablemente la carga de materia orgánica y arrojando valores iguales o menores al valor permisivo establecido en las normatividad.

Solidos suspendidos totales : De acuerdo a la normatividad colombiana establecida referente a agua potable y para consumo humano la cantidad máxima de solidos suspendidos totales permisibles es de 500 mg/L, los cuatro puntos de muestreo muestran concentraciones de solidos suspendidos que no sobrepasan los 5 mg/L en los dos días de muestreo, muy bajas comparadas con el límite establecido debido a que el cauce del río está totalmente canalizado, esto disminuye la cantidad de partículas sólidas que pueden presentarse en el lecho del río de manera natural.

Conductividad : De acuerdo a la normatividad colombiana establecida referente a agua potable y para consumo humano los niveles de conductividad permisibles dentro de la normatividad se encuentran en el rango de 50 – 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, en los puntos de Entre Ríos y 12 de Octubre los niveles de conductividad oscilan entre 400 y 600 $\mu\text{s}/\text{cm}$, presentando un punto medio por debajo del límite establecidos, mientras que los puntos de La Soledad y Parque Nacional no sobrepasan los 100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en los dos días de muestro debido a su proximidad al nacimiento del río.

Sulfatos: De acuerdo a la normatividad colombiana establecida referente a agua potable y para consumo humano los valores admisibles de sulfatos no deben superar el límite de 250 mg/L, este parámetro presenta valores considerablemente elevados frente a los establecidos por la norma en tres de los puntos de muestreo, arrojando en el 12 de Octubre 3000 mg/L, Entre Ríos 2500 mg/L y en La Soledad 1900 mg/L, las altas concentraciones de este parámetro se deben a vertimientos urbanos y residenciales, en el punto del parque nacional la concentración de sulfatos es igual al límite establecido en la norma, 250 mg/L, pues apenas está ingresando en el perímetro urbano y no recibe un alto impacto a causa de vertimientos.

Fosfatos : De acuerdo a la normatividad colombiana establecida referente a agua potable y para consumo humano los valores admisibles de fosfatos son de 0.5 mg/L en la RES 2115/07 y 0.2 mg/L, este parámetro está sujeto a la presencia de SAAM (sustancias activas al azul de metileno) y tensoactivos, por lo tanto la presencia de fosfatos en el primer día de muestreo sobrepasa los límites establecidos en la norma en los cuatro puntos de muestreo por diferencias mayores a 1 mg/L debido a las vertientes, en su mayoría domésticas, en el río dentro del perímetro urbano, en cuanto al tramo del Parque Nacional, la presencia de fosfatos puede deberse a vertimientos domésticos en el nacimiento del río.

En el segundo día de muestreo las concentraciones de fosfatos de La Soledad y Parque Nacional disminuyen y se adaptan a las normas respectivamente, mientras que en el 12 de Octubre y Entre Ríos aumenta con respecto al día anterior, estos cambios se relacionan con la variación horaria de la toma de muestras y los hábitos de disposición de vertimientos en las riberas del río.

pH : De acuerdo a la normatividad colombiana establecida referente a agua potable y para consumo humano los valores admisibles de pH según la DTO 475/98 y la RES 2115/07 es de 6,5 a 9,0 unidades de pH, los resultados obtenidos en los cuatro puntos de muestreo se encuentran en los rangos establecidos por la ley, presentando mayores niveles de alcalinidad en el primer día de muestreo del 12 de Octubre, arrojando el valor más cercano al neutro el segundo día de muestreo en Entre Ríos y el dato más bajo se presentó en el Parque Nacional el segundo día de muestreo.

Oxígeno Disuelto: De acuerdo a la normatividad colombiana establecida referente a agua potable y para consumo humano el valor admisibles según la RES 1096/00 es sobre 4.0 mg/L, el único tramo donde no se cumplió esta norma fue en Entre Ríos donde se encontraron valores inferiores de 2.3 y 2.8 mg/L, en los puntos restantes se cumple a cabalidad el parámetro establecido, siendo el Parque Nacional la sección con el valor más alto, arrojando 11,1 mg/L en el segundo día de muestreo.

DBO: De acuerdo a la normatividad colombiana establecida referente a agua potable y para consumo humano los niveles admisibles DBO según la RES 1096/00 se encuentran entre 3 y 5 mg/L, en los tramos de 12 de Octubre y Entre Ríos los valores sobrepasan de considerablemente los parámetros establecidos en la norma, arrojando valores entre 180 y 250 mg/L; los valores de El Parque Nacional y La Soledad en el segundo día de muestreo arrojan valores que se encuentran dentro del rango establecido, en el primer día los datos obtenidos sobrepasan levemente la norma.

Comparativo de las condiciones físicas y químicas de la sub-cuenca del Río Arzobispo estado rural-urbano

De acuerdo a los resultados obtenidos en los muestreos de los parámetros físicos y químicos realizados para el presente trabajo se determinó que los cambios en las características del agua han variado según las condiciones de una cuenca, utilizando como punto referencia el tramo con menos incidencia de factores antrópicos, en este caso el Parque Nacional, frente a los tramos restantes que se encuentran dentro del perímetro urbano, estos cambios se ven reflejados en:

- Nitritos y Nitratos: La concentración de nitritos y nitratos en el tramo del Parque Nacional presenta valores bajos respecto a los puntos comparativos restantes, puesto que en esta zona no se evidencian vertimientos domésticos o industriales constantes la carga orgánica es leve.
- Fosfatos: La presencia de fosfatos indica que las sustancias activas al azul de metileno (SAAM) que están relacionadas con jabones, detergentes y afines, tienen valores distintos respecto a los dos días de muestreo en el Parque Nacional, ya que para el primer día el dato obtenido está sobre 3 mg/L, este dato atípico se presenta posiblemente por un vertimiento irregular que pudo suceder el día de muestreo, ya que el dato arrojado el segundo día de muestreo presenta un valor muy bajo; en los tramos restantes los datos varían debido a vertimientos puntuales irregulares, observando un decrecimiento desde el 12 de Octubre hasta La Soledad debido a un aumento del aporte de aguas negras a lo largo del recorrido del Río Arzobispo.
- Sulfatos: Los niveles de sulfatos son considerablemente bajos en el punto del Parque Nacional respecto a los tres puntos comparativos debido a la ausencia de zonas industriales y residenciales en el parque, ya que estos sectores son posibles generadores de estas sustancias.
- Sólidos Suspendidos Totales: Los niveles de concentración de sólidos suspendidos totales en el Parque Nacional en el primer día de muestreo es similar a los tres puntos comparativos restantes, ya que a pesar de ser la zona menos urbanizada está parcialmente canalizada no permitiendo el transporte de sedimentos naturales del lecho del río, los tramos restantes están completamente canalizados y al encontrarse en el perímetro urbano disminuyen el arrastre de los sólidos por una menor concentración de sedimentos naturales en el lecho del río que presente en estos sectores.
- pH: Los cambios relacionados con los valores de pH en el Parque Nacional donde se asemeja a una cuenca rural, donde se presentan datos prácticamente neutros, a una cuenca urbana representada por los puntos comparativos restantes presentan valores de baja alcalinidad, esto está ligado con el desarrollo en las riberas del río, es decir, la cantidad y características de vertimientos.
- Conductividad: La conductividad en un cauce natural tiene valores constantes a lo largo de río, los resultados obtenidos arrojan variaciones en los diferentes tramos de

muestreo seleccionados para el proyecto, posiblemente a causa de vertimientos que alteran la concentración de sales en el agua.

- Oxígeno Disuelto: El Parque Nacional las niveles de OD son altos debido a la baja presencia de cargas contaminantes puesto que el agua no ha tenido contacto con puntos de vertientes que puedan alterar sus condiciones iniciales, en los tres sectores comparativos la cantidad de oxígeno disuelto va disminuyendo de acuerdo a los aportes de afluentes con alta carga contaminante que modifican la concentración de este.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno: La DBO presenta valores bajos en los puntos de Parque Nacional y La Soledad, y valores altos en Entre Ríos y 12 de Octubre por aportes de vertimientos industriales y residenciales en estos sectores con mayor desarrollo urbano.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De este trabajo de investigación, se concluye:

- ✓ Se identificó que mediante este estudio comparativo se puede determinar la capacidad de amortiguamiento hidrológico de una sub-cuenca urbana frente a eventos de intensa pluviosidad.
- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos en el Modelamiento hidrológico de la Sub-cuenca del Río Arzobispo respecto a lo estipulado en los estudios realizados por la Interventoría para la ampliación de la malla vial en la Carrera Séptima, relacionados con el caudal de diseño y período de retorno se determinó que las condiciones del río no son idóneas para responder hidrológicamente frente al evento simulado.
- ✓ El presente estudio es aplicable a cuencas y sub-cuencas urbanas de características y propiedades morfométricas similares.
- ✓ Las propiedades físicas y químicas presentes en el agua tienden a modificarse con respecto a los cambios urbanísticos que pueden presentarse en un río y su ribera: en el presente trabajo de investigación los parámetros más relevantes presentaron cambios debido a la zonificación urbana a lo largo de la sub-cuenca.
- ✓ La modelación de la capacidad de amortiguamiento hidrológico de una sub-cuenca urbana se simuló mediante el programa HEC-HMS 4.0, permitiendo hallar los valores de volumen de escurrimiento e infiltración de la precipitación y así poder estimar los valores de salida de las redes de drenaje.
- ✓ Se observaron cambios graduales en la estructura de formación urbanística en las áreas cercanas del Río Arzobispo que influyen directamente con los niveles de escorrentía, los cambios de permeabilidad en el suelo y la capacidad de amortiguamiento de una cuenca urbana.
- ✓ Con los cálculos del número de la curva y la precipitación efectiva se pudieron estimar las condiciones de infiltración en el suelo en los periodos estipulados para la simulación de los hidrogramas e hietogramas resultantes de la modelación.
- ✓ El análisis morfométrico y de los hidrogramas permite establecer conceptos relacionados con el diseño hidrológico de los cauces para el control de eventos de crecientes e inundaciones, soportado por los picos más altos obtenidos en los hidrogramas y las condiciones morfométricas del río.

RECOMENDACIONES

Mediante análisis comparativos, y los datos resultantes de esta investigación, se recomienda:

- ✓ Realizar una modelación hidrológica de las quebradas que comprenden la cuenca del Río Salitre, para poder obtener una perspectiva general de las condiciones hidrológicas actuales de la cuenca.
- ✓ Se recomienda realizar nuevamente los estudios de Caudal de Diseño y Período de Retorno para ajustarlos a las condiciones actuales del río.
- ✓ Realizar una simulación hidrológica de la sección de “Entre ríos” hasta la desembocadura del río Salitre, para determinar las condiciones hidrológicas de salida al momento de confluencia con el Río Bogotá.
- ✓ Para futuros trabajos de investigación similares se recomienda comprobar la herramienta de modelación y si es necesario actualizar el programa.
- ✓ Se aconseja realizar estudio de mayor profundidad sobre las propiedades físicas y químicas en el río Arzobispo para los periodos estipulados en la simulación, y así poder comparar con los datos obtenidos en este trabajo.
- ✓ Se recomienda realizar estudios multi-temporales sobre los cambios de cobertura de suelo en la Cuenca del Río Salitre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARBONE, M. y PÍCCOLO, M. 2002. *Morfometría de la cuenca del arroyo Claromecó, Provincia de Buenos Aires, Argentina*. Revista Geofísica. 56: 51-66.
- CARLSTON, C. W. 1963: *Drainage Density and Streamflow*. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 422-C
- Chuta P. and Dooge J.C.I., 1990. *The Shape parameters of the geomorphologic unit hydrograph*. Journal of Hydrology, 117:81-97.
- CONTRALORÍA DE BOGOTÁ. (2001). Informe Presupuestal EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. Recuperado el 31 de Marzo de 2015, de:
pqr.contraloriabogota.gov.co/intranet/contenido/Informes/obligatorios/PRESUPUESTO/2001/Finanzas/informe-presupuesto/5empresas/2eaab.htm
- CREACIÓN DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO ACUERDO 105. (Diciembre 9 de 1955). *Por el cual se aprueba en todas sus partes un contrato con el Banco Central Hipotecario y la Empresa de Acueducto manejara el alcantarillado*. Bogotá.
- Cueva, C. Fredy. (2010). Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Civil. Loja
- Delgadillo, Moreno. s.f. Hidrología: Morfometría de Cuencas. Recuperado el 30 de Agosto de 2015 de
<http://webdelprofesor.ula.ve/.../MORFOMETRÍA%20DE%20CUENCAS.pdf>.
- DÍAZ, C.; MAMADO, K.; ITURBE, A.; ESTELLER, M. y REYNA, F. 1999. *Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: Caso el curso alto del río Lerma, estado de México*. **Ciencia Ergo Sum**. 6 (2):124-134. [Online] <http://148.215.4.212/rev/104/10401504>. Pdf
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANIFICACION DISTRITAL BOGOTA. (1964). Bogotá. Pp. 119
- EEAB. (1970). *Alcantarillado de Bogotá. Trabajo presentado al Duodécimo Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria*. Caracas. Pp14 en Acueducto de Bogotá. *El agua en la historia de una ciudad*. Bogotá: Plazas e Impresores Ltda. Tomo 2. Pp. 93
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2003). *El Agua en la Historia de Bogotá*. Bogotá: Villegas Editores.
- . *El agua en la historia de una ciudad*. Bogotá: Plazas e Impresores Ltda., 1997.
- FAO, s.f. *Permeabilidad de Suelos, Cuadro 17A*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2015 de:
ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s09.htm

- GONZÁLEZ DE M., A. 2004. *Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas*. Boletín de la AGE. 38: 311-329. [On line] <http://www.ieg.CSIC.es/age/boletín/38/17%20IBISATE%20311-329.pdf>
- Horton, R.E., 1932. *Drainage basins characteristics*. Trans American Geophysical Union. 13. 350-361.
- Horton, R.E., 1945. *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. Am. Bull., 56: 275-370. En Strahler, A. N., 1968, o. cit. infra.
- Jaimes Niño, A. M. (2011). Conflictos del desarrollo urbano de Bogotá en la cuenca del río Salitre: Reflexiones y propuestas para un diseño urbano de integración y conectividad ecológica (Tesis de Maestría). Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.
- Ibáñez et ál., s.f. “Valores del Número de Curva (Calculo de la Escorrentía)”. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural: 3-5.
- JAMIESON, S.; SINCLAIR, H.; KIRSTEIN, L. and PURVES, R. 2003. *Tectonic forcing of longitudinal valleys in the Himalaya: Morphological analysis of the Ladakh Batholith, North India*. **Geomorphology**. Artículo en prensa. [On line] [http://www.geos.ed.ac.uk/contacts/homes/s0095818/Jamieson et al. Pdf](http://www.geos.ed.ac.uk/contacts/homes/s0095818/Jamieson%20et%20al.Pdf)
- Mejía Pavony, G. R. (2000). Los años del cambio: historia urbana de Bogotá 1820-1910. Bogotá: Centro Editorial Javeriano, vol. 2, 72-171.
- Méndez, W; Marcucci, E. (2005). : “Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela”. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 47(1) 2006, 29-55.
- Mesa Inter-local de la Cuenca del Río Salitre “Realizada entre los habitantes de la Cuenca y la Secretaria Distrital de Ambiente conjunto con la Universidad Militar Nueva Granada”, (2010) Bogotá.
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS”. Sección II, Título C: Sistemas de Potabilización. Bogotá: Ministerio de Desarrollo. 2000. (Resolución 1096 de 2000). P. C19 - C20.
- MINISTERIOS DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 22 de Junio de 2007. (Resolución 2115 de 2007).
- MINISTERIO DE SALUD. Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. 10 de Marzo de 1998. (Decreto 475 de 1998).

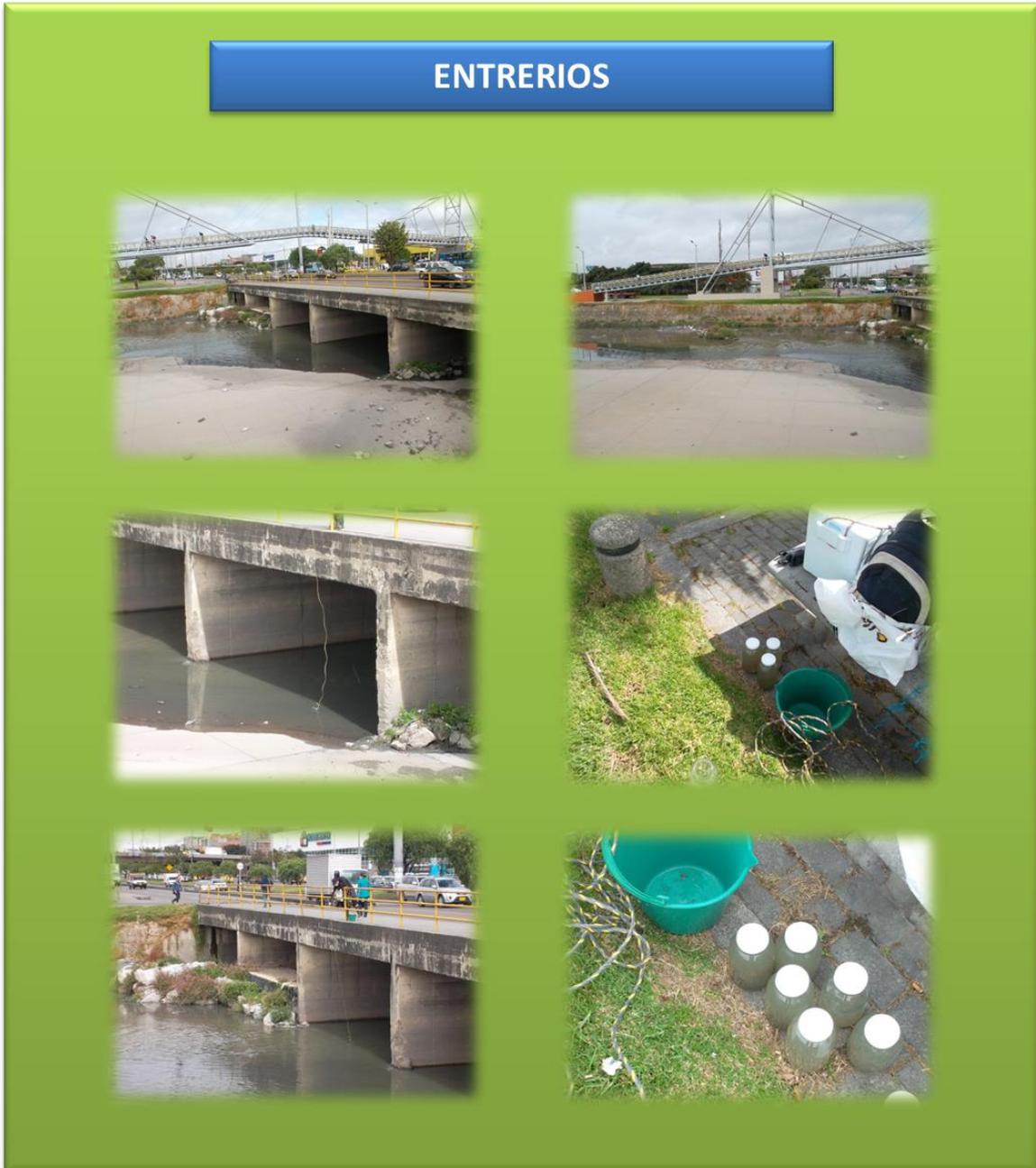
- Montoya, B; Montoya, Y. (2009) “*Caracterización morfométrica De la microcuenca de la quebrada los andes, El Carmen de Viboral, Antioquia-Colombia*”. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, volumen 8, No. 15, pp. 11-29 - ISSN 1692-3324 - julio-diciembre de 2009/146 p. Medellín, Colombia.
- Murphy *et al*, 1977. *Effects of Cutting Management on Eight Subtropical Pasture Mixtures*. Agron. J., 69 (4): 662-666.
- Nag, S.K. and Chakraborty. S. (2003), “*Influence of rock types and structures in the development of Drainage Network in Hard Rock Area*”. Journal of Indian Society of Remote Sensing, 31(1), pp 2535.
- NULLVALLUE (2 de Enero de 1998). Peñalosa: Ahora si del discurso a la ejecución. Casa Editorial El Tiempo. Recuperado el 10 de Diciembre de 2014. De www.eltiempo.com/
- Osorio, J. A. (2008). “Los cerros y la ciudad: crisis ambiental y colapso de los ríos en Bogotá al final del siglo XIX”. En *Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005*, de Germán Palacio Castañeda, 171-193. Leticia: Universidad Nacional de Colombia.
- Patton and Baker, 1976. *Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls*. American Geophysical Union. Department of Geological Sciences, University of Texas at Austin, Austin, Texas.
- PLAN MAESTRO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO PARA BOGOTÁ DECRETO 314. (Agosto 15 de 2006). *Por el cual se adopta el Plan Maestro del Sistema de Acueducto y Alcantarillado para Bogotá Distrito Capital, complementado por el Decreto Distrital 573 de 2010*. Bogotá.
- Ríos, H. F., Córdoba, C.M., Castañeda, R.A., García, J., Espinoza, H., García, J.,...Ramírez, H. A. (2008). “El Jardín Botánico contribuye a la restauración de quebradas y de la identidad de nuestros pueblos” En: *Flora Capital* vol. 7, 10 - 11.
- Ritter *et al*. 1995. *A Brief Review Drainage Basin Morphometry*: Chapter 5 Drainage basins, 137.
- Secretaria Distrital de Ambiente y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2011). *Novena Fase del programa de seguimiento y monitoreo de efluentes industriales y afluentes al recurso hídrico de Bogotá*.
- SHREVE, R.L. “*Infinite Topologically Random Channel Networks*.” Journal of Geology, 75 (1967), 178-86.
- SILVA, G. 1999. *Análisis hidrográfico e hipsométrico de la cuenca alta y media del río Chama, estado Mérida, Venezuela*. Revista Geográfica Venezolana. 40 (1): 9-42.

- Strahler, A. 1964. *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. En: Chow, V (ed.). *Handbook of Applied Hydrology*. Mc Graw-Hill .New York – USA. Mc Graw-Hill.
- Triana, M. (1914). La arborización y las aguas.19 citado en Palacio Castañeda, Germán et. Al. *Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2008. Pp.176
- Universidad Militar Nueva Granada. (2010). “Diagnóstico. Formulación del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Salitre en el perímetro urbano del Distrito Capital”. Recuperado el 27 de Octubre de 2014, de <http://riosalitre.files.wordpress.com/2010/07/package1.pdf>.
- Vargas Lamprea, A. E. (2012). *Representaciones del agua en la cuenca del Río Salitre: Derechos ambientales y demandas sociales (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Vásquez, C; Herrera, D; Gutiérrez, Y. (2014). “*Caracterización morfométrica de la cuenca de la Quebrada Tatamaco, del municipio Villavieja del departamento del Huila, mediante el uso de la herramienta HEC-GEOHMS*”. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. BOGOTÁ.
- Zambrano, F., Carreira, A. M. y Rivera, M. (s.f.). “*HISTORIA URBANA DE LA LOCALIDAD DE TEUSAQUILLO*”. Recuperado el 20 de Mayo de 2015, de http://www.bibliotecavirtual.estasenteusaquillo.com/info/historia/historia_urbana_localidad_de_teusaquillo.pdf.

ANEXOS

Anexo A. Fotografías Muestreo Día 1.

TRAMO NÚMERO UNO



TRAMO NÚMERO DOS

12 DE OCTUBRE



TRAMO NÚMERO TRES

PARQUE NACIONAL



TRAMO NÚMERO CUATRO

LA SOLEDAD



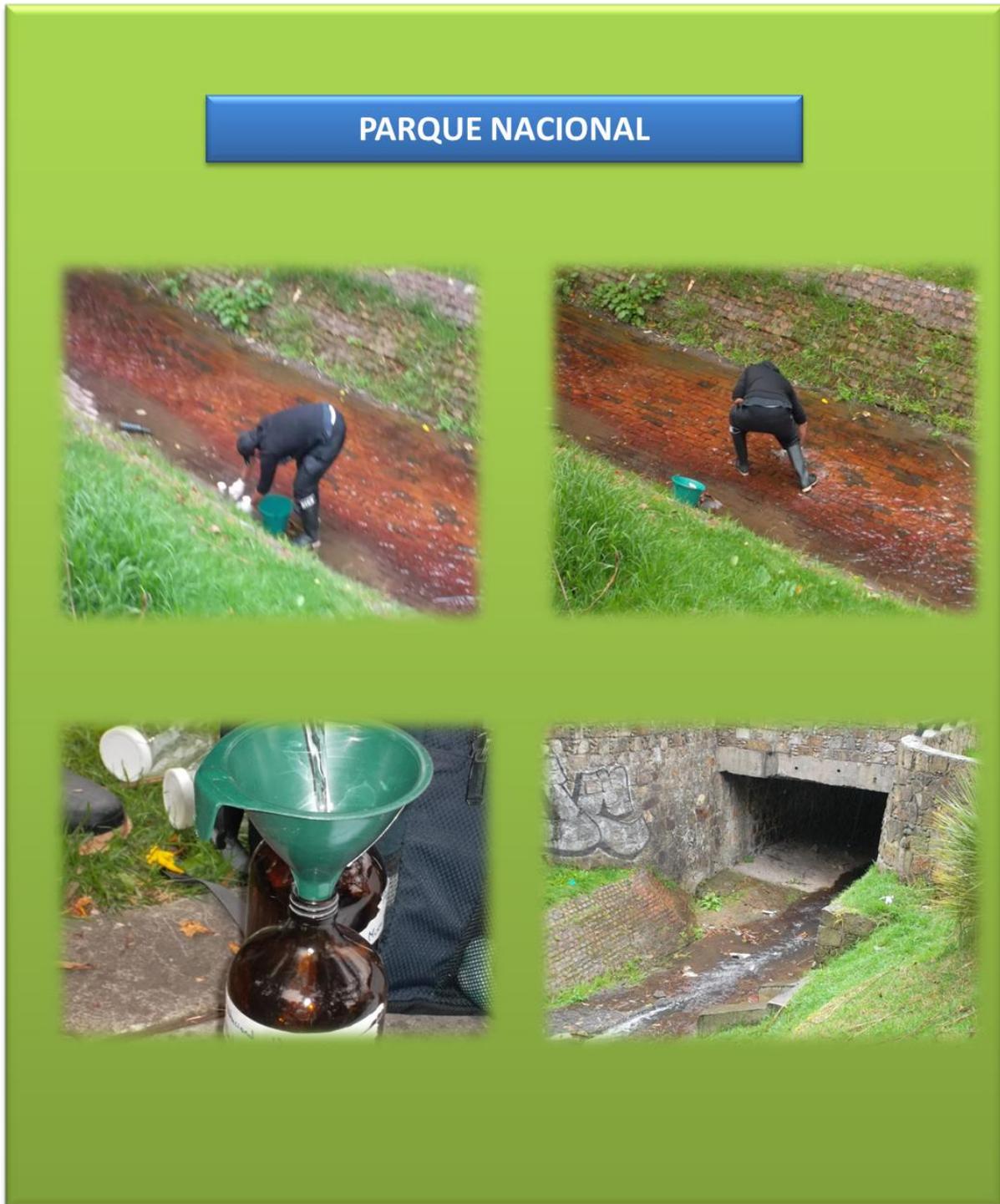
Anexo B. Fotografías Laboratorio día 1.

LABORATORIO #1



Anexo C. Fotografías Muestreo día 2.

TRAMO NÚMERO UNO



TRAMO NÚMERO DOS

LA SOLEDAD



TRAMO NÚMERO TRES

12 DE OCTUBRE



TRAMO NÚMERO CUATRO

ENTRE RIOS



Anexo D. Fotografías Laboratorio día 2.



Anexo E. Datos de Precipitación Meses de Junio y Julio (Meses del muestreo).

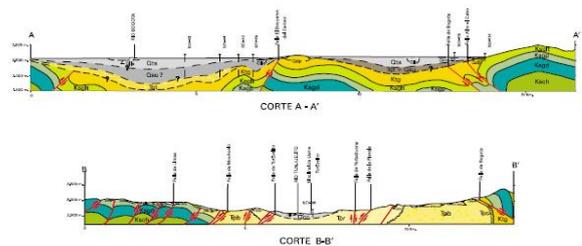
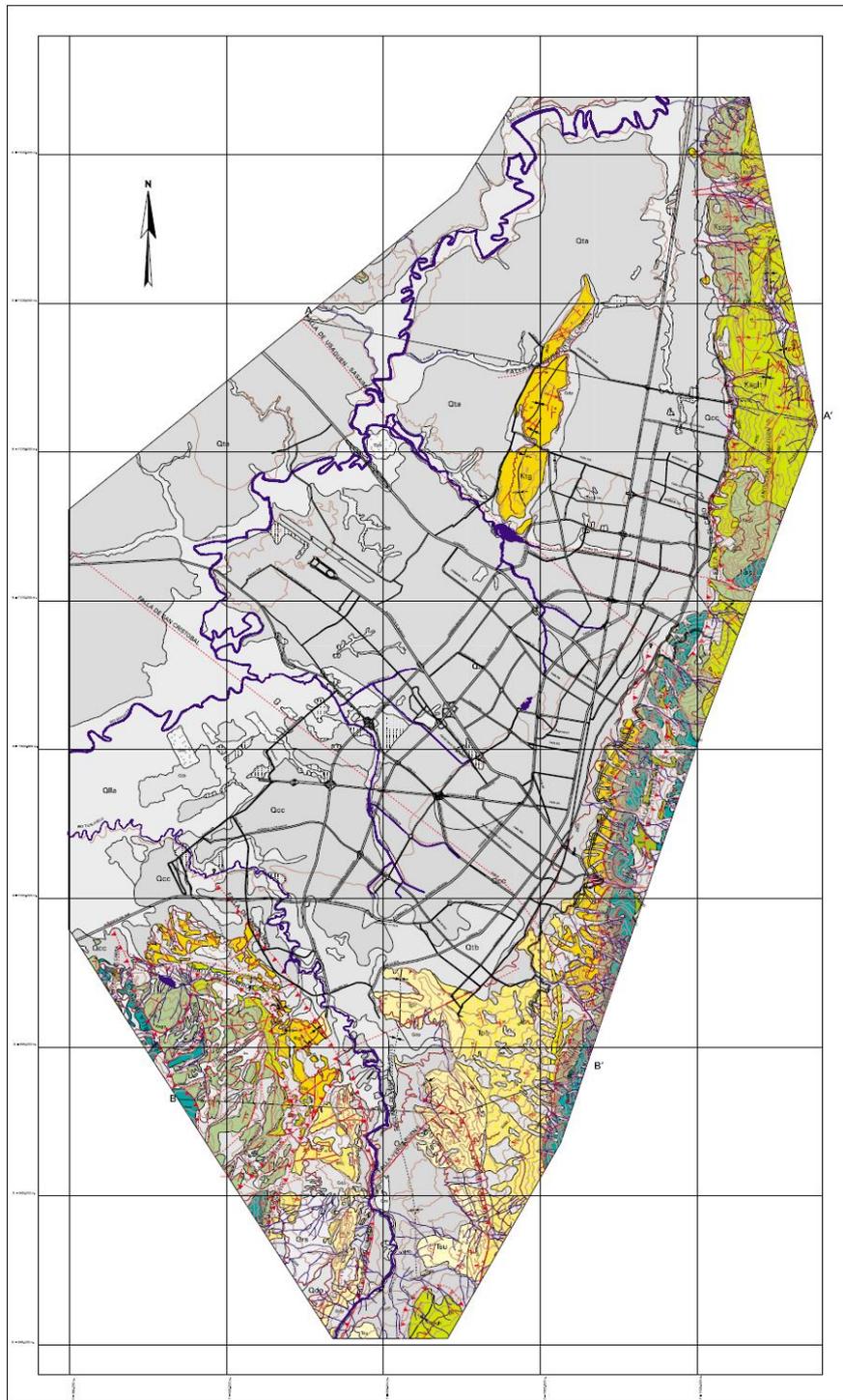
01/06/2015	0,9
02/06/2015	0
03/06/2015	1,8
04/06/2015	1,9
05/06/2015	0
06/06/2015	0
07/06/2015	0
08/06/2015	0
09/06/2015	0
10/06/2015	8,2
11/06/2015	2
12/06/2015	6,9
13/06/2015	1,1
14/06/2015	3,8
15/06/2015	0
16/06/2015	0
17/06/2015	4,2
18/06/2015	3,6
19/06/2015	2,8
20/06/2015	5,6
21/06/2015	8,2
22/06/2015	13,6
23/06/2015	11,4
24/06/2015	6,8
25/06/2015	5,8
26/06/2015	14,8
27/06/2015	17,8
28/06/2015	9,6
29/06/2015	6,4
30/06/2015	6,8
01/07/2015	0
02/07/2015	0
03/07/2015	0,4
04/07/2015	1,8
05/07/2015	1,2
06/07/2015	1
07/07/2015	3,5
08/07/2015	0,2
09/07/2015	1,9
10/07/2015	0,8
11/07/2015	1,2
12/07/2015	5,2
13/07/2015	0
14/07/2015	5,3
15/07/2015	2,9
16/07/2015	5,4
17/07/2015	2,2
18/07/2015	4,5
19/07/2015	2,7
20/07/2015	1,8
21/07/2015	7,7
22/07/2015	1,4
23/07/2015	2
24/07/2015	3,7
25/07/2015	0,1
26/07/2015	3,1
27/07/2015	4
28/07/2015	7,2
29/07/2015	5
30/07/2015	0
31/07/2015	0,4

Anexo F. Fotografías Método de Conteo de Cuadrícula.

METODO CONTEO



Anexo G. Mapa geológico Santafé de Bogotá.



MAPA GEOLOGICO DE SANTA FE DE BOGOTA

LEYENDA

	RELLENOS DE BASURAS Desechos sólidos que producen lodo.
	RELLENOS DE EXCAVACION Materiales producto de excavaciones para urbanizaciones.
	SUELO RESIDUAL Productos de la weatherización de las rocas, que no ha tenido transporte.
	LLANURA DE INUNDACION Depositos de arenas y limos, con arenas y limos, con arenas y limos, con arenas y limos.
	COLLUVION Materiales producto del fracturamiento de las rocas y segregación de los sistemas de contacto litológicos.
	DEPOSITOS FLUVIO-LACUSTRES (TERRAZA B a C) Depositos de los dos Bogotá, Tercera y afines, con arenas y limos y fragmentos de rocas, de conos de decaimiento.
	DEPOSITOS FLUVIO-LACUSTRES (TERRAZA A a D) Depositos de arenas, con intercalaciones limosas de arenas y grava, con intercalaciones de arenas y grava, con intercalaciones de arenas y grava.
	COMPLEJO DE CONOS Depositos de flujos de lodo en el sector Oriental y Conos de decaimiento de Tercera.
	FORMACION SUBACHOQUE Conos de decaimiento de arenas con intercalaciones de arenas y grava.
	FILATA Y ESURACHOQUE (Si diferenciado) Conos de decaimiento de arenas y grava.
	FORMACION TILATA Arenas y grava, limos intercalados de arenas y limos.
	FORMACION USME Arenas y limos, con intercalaciones de arenas y grava de gran a media.
	FORMACION REGADERA Arenas y grava fina a conglomerada, con intercalaciones de arenas y grava.
	FORMACION BOGOTA Para aguas con intercalaciones de arenas y grava de gran a media.
	FORMACION CACHIO Arenas de gran a gruesa y conglomeradas, limos, con intercalaciones de arenas y grava.
	FORMACION GUADUAS En la parte superior predominan las arenas y limos, con intercalaciones de arenas y grava, con intercalaciones de arenas y grava, con intercalaciones de arenas y grava.
	FORMACION LABOR-TERCERA Arenas de color gris claro a oscuro, grava fina a gruesa, con intercalaciones de arenas y grava.
	FORMACION FLAENERS En la parte superior predominan las arenas y limos, con intercalaciones de arenas y grava, con intercalaciones de arenas y grava, con intercalaciones de arenas y grava.
	FORMACION ARENISCA DURA Arenas de color gris claro a oscuro, grava fina a gruesa, con intercalaciones de arenas y grava.
	FORMACION CHIPAQUE Limas, arenas, carbonosas, altamente frías, con intercalaciones de arenas y grava.

CONVENCIONES

	Contacto litológico definido
	Falla definida
	Falla con desplazamiento lateral
	Falla de cabalgamiento
	Falla cubierta
	Anticinal
	Sinclinal
	Sinclinal cubierto
	Rumbo y buzamiento
	Buzamiento invertido
	Curva de nivel
	Sondeo eléctrico vertical
	Corte geológico
	Discordancia

CONVENIO 01-93
UPES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE BOGOTÁ

PROYECTO MICROZONIFICACION SISMICA DE SANTA FE DE BOGOTA

EJECUTOR
INGEOMINAS

INGEOMINAS

ESCALA 1: 50,000

FECHA: 06/07/97
AUTOR: M. VILLALBA
DISEÑO: M. VILLALBA

MAPA No. 1

Fuente: Ingeominas, Subdirección de Ingeniería GeoAmbiental. (Junio de 1997).