

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL EN LA
GENERACIÓN DE CAUDALES DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA GRANADILLO
EN LOS AÑOS 1993 Y 2009 A PARTIR DE AEROFOTOGRAFÍAS Y CARTOGRAFÍA
DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI.**

**SANDRA MARCELA BERNAL NIETO
CAMILO AUGUSTO PRADO USCATEGUI**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS
BOGOTÁ D.C – 2015**

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL EN LA
GENERACIÓN DE CAUDALES DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA GRANADILLO
EN LOS AÑOS 1993 Y 2009 A PARTIR DE AEROFOTOGRAFÍAS Y CARTOGRAFÍA
DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI.**

**SANDRA MARCELA BERNAL NIETO
CAMILO AUGUSTO PRADO USCATEGUI**

Trabajo de grado para obtener el título de especialistas en Recursos Hídricos

**ASESOR: JORGE ALBERTO VALERO FANDIÑO
INGENIERO CIVIL, MSC**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS
BOGOTÁ D.C – 2015**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Agradecimientos y dedicatoria.

A Dios por darnos la salud, la sabiduría y la oportunidad de crecer como personas y profesionales, a nuestras familias por la paciencia, el sacrificio, el amor y la comprensión de querer lo mejor para nosotros y apoyarnos en una meta propuesta en nuestra vida profesional, a nuestros profesores que al igual que nosotros dieron lo mejor para enseñarnos y profundizar nuestros conocimientos.

A cada uno de nuestros compañeros de especialización por compartir un espacio en cada momento de aprendizaje.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO	9
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	9
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.2.1 <i>Problema a resolver</i>	9
1.2.2 <i>Antecedentes del problema a resolver</i>	9
1.2.3 <i>Pregunta de investigación</i>	10
1.3 JUSTIFICACIÓN	10
1.4 OBJETIVOS	10
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	10
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	10
2 MARCOS DE REFERENCIA	11
2.1 MARCO CONCEPTUAL	11
2.2 MARCO TEÓRICO.....	12
3 METODOLOGÍA	14
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	16
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	26
APÉNDICES	28
ANEXOS	29

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MARCOS DE REFERENCIA	13
FIGURA 2. METODOLOGÍA	15

LISTA DE GRAFICAS

GRÁFICA 1. PERFIL QUEBRADA GRANADILLO.....	16
GRÁFICA 2. CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA	17
GRÁFICA 3. CURVAS IDF ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA PANONIA.....	22
GRÁFICA 4. CURVAS IDF ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA PISCIS	22

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA.....	16
TABLA 2. TIPOS DE SUELOS Y SU DISTRIBUCIÓN EN LA CUENCA.	17
TABLA 3. COBERTURAS PRESENTES DE LA CUENCA EN LOS AÑOS 1993 Y 2009.....	18
TABLA 4. CURVAS NÚMEROS (CN) OBTENIDAS.	19
TABLA 5. TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN DE LA CUENCA AÑOS 1993 Y 2009.....	19
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETEREOLÓGICAS CON INFLUENCIA EN LA CUENCA	20
TABLA 7. PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL HISTÓRICA EN 24 HORAS ESTACIÓN PANONIA Y PISCIS	20
TABLA 8. TORMENTAS DE DISEÑO PARA PERIODOS DE RETORNO DE 5, 50 Y 100 AÑOS.....	23
TABLA 9. CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS ANUALES MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DEL SCS COBERTURA AÑOS 1993 Y 2009.	24

RESUMEN

El presente trabajo de grado consistió en analizar las coberturas vegetales en una cuenca hidrográfica, mediante interpretación de fotografías aéreas con el fin de verificar su influencia en la generación de caudales, se probó como responden diferentes coberturas en escenarios extremos, definidos por curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF).

Para lo cual se adquirió en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), los insumos entre los que se destacan las planchas cartográficas, fotografías aéreas, mapa de suelos, datos hidroclimatológicos y con la asesoría de un profesional en Agrología quien con su experiencia y orientación contribuyó al análisis y definición de las diferentes coberturas vegetales mediante fotointerpretación para información de los años 1993 y 2009.

Los resultados obtenidos indican que pequeñas variaciones de cobertura vegetal en una cuenca, por ejemplo procesos de reforestación tienen un impacto considerable en la generación de caudales, esto nos permitió corroborar que es un parámetro importante para generar procesos de conservación y prevención de eventos extremos en cuencas.

Palabras clave: Curvas Intensidad Duración Frecuencia, coberturas vegetales, fotografías aéreas, fotointerpretación, caudales.

ABSTRACT

This grade work is to analyze vegetation cover in a watershed, through interpretation of aerial photographs in order to verify its influence on streamflow generation, it was tested as respond different coverages in extreme scenarios, defined by curves Intensity Duration Frequency (IDF).

For which it was acquired in Institute Geography Agustín Codazzi (IGAC), the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM), inputs including stand cartographic plates, aerial photographs, soil map, hydroclimatological data and the advice of a professional in Agrology who with his expertise and guidance contributed to the analysis and definition of the different vegetation cover by photo-interpretation for information for the years 1993 and 2009.

The results indicate that small changes in land cover in a watershed, for example reforestation processes have a significant impact on the generation of funds, this allowed us to confirm that it is an important parameter to generate processes of conservation and prevention of extreme events in basins.

Keywords: Intensity Duration Frequency curves, vegetation cover, aerial photography, photo interpretation, flows.

INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos son esenciales en el desarrollo de las ciudades y poblaciones, puesto que es entorno a ellos que se busca bienestar y calidad de vida para los habitantes que las conforman, por lo que un buen manejo de los recursos a nivel de cuenca hidrográfica debe estar soportado por un estudio de los procesos hidrológicos que ocurren en ella (Beven, 1997). La falta de conocimiento de las comunidades ha llevado a modificar los ecosistemas, debido a las diferentes necesidades ya sea para emplearlos en la producción agropecuaria (Morocho, 2002) o forestal (Ponce, 2000). Debido a las variaciones y pensando en la reforestación con especies nativas se lograría mantener los caudales en época de estiaje, sin embargo los procesos de siembra de árboles de diferentes especies deben ser regulados, teniendo en cuenta que se producirían efectos negativos, tal vez reduciendo la producción hídrica (Hostede, 2000, 2001) al igual que ha ocurrido en otros países con ecosistemas similares. (Hewlett, 1982) (Putuhena & Ian Cordery, 2000).

Sin embargo, debido a la intervención inapropiada de dichas poblaciones con el medio ambiente y también por los fenómenos de expansión, hay situaciones en que las fuentes hídricas se convierten en una amenaza para la vida misma ya sea por inundaciones o por su escasez. Es por esto que la modelación hidrológica entra a jugar un papel muy importante, permitiendo prever con aproximación dichos fenómenos, Es por esto, que conocer la influencia y magnitud de los parámetros en la variación de caudales es objeto de este trabajo de grado, particularmente las coberturas vegetales. Una vez obtenida la información de precipitación y tipos de suelos y realizado el análisis multitemporal de coberturas para dos periodos de tiempo a través de aerofotografías y cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se tendrá como herramientas para la determinación de parámetros morfométricos de la cuenca un software de sistemas de información geográfica y AUTOCAD, teniendo como base la información secundaria obtenida en las diferentes entidades. Para modelar la predicción y estimación de caudales se empleó el módulo de análisis hidrológico HEC-HMS.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Dentro de las líneas de investigación aprobadas por la Universidad, la que se ajusta a los objetivos del presente trabajo de grado es Saneamiento de comunidades.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema a resolver

Las variaciones de caudal de una cuenca hidrográfica están relacionadas entre otros parámetros a su cobertura vegetal, las cuales están siendo afectadas de forma indiscriminada. Lo que ha desencadenado en procesos de erosión, crecientes súbitas y sequías. Esto ha sido estudiado por múltiples autores, sin embargo lo que se busca es la verificación para una cuenca en particular del territorio colombiano, y ver como a través del tiempo se dan estos procesos.

1.2.2 Antecedentes del problema a resolver

En los últimos años en varias zonas del mundo y del país, se ha observado como variaciones en los ecosistemas de las cuencas hidrográficas han influido en el desencadenamiento de fenómenos climáticos. Colombia entre el 2010 y 2011 en la parte alta de la cuenca del río Bogotá, donde predomina un régimen pluviométrico unimodal y cuya temporada lluviosa se presenta entre junio y agosto, se registró una situación extremadamente atípica, las precipitaciones superaron entre un 120% y 350% los valores medios, en lo que comprende los municipios de Chía y Villapinzón, lo que desencadenó en inundaciones en la zona, debido principalmente a deforestación de los bosques, prácticas de cultivos que erosionan el suelo y urbanización en rondas hidráulicas de los ríos. (CAR Áreas, 2011).

Diferentes autores reconocen la importancia que tiene las coberturas boscosas en la regulación de caudales en las cuencas hidrográficas (Best, Zhang, L, McMahon, T, Western, A., & Vertessy, R., 2003), de igual forma la escorrentía y la recarga subterránea como componentes del balance hídrico, están directa e indirectamente afectados por la vegetación arbórea (Wilcox, 2002): (1) por la alteración de las características de infiltración del suelo a través de la penetración de las raíces y por la adición de materia orgánica proveniente del desfronde; (2) por la preservación de humedad en el suelo a través de la capa de hojarasca o mantillo, y por la sombra proyectada por el dosel; (3) a través del traslado o retiro de humedad vía transpiración; y (4) mediante la alteración del flujo subsuperficial debido a la actividad y posterior descomposición de las raíces, las cuales propician el desarrollo de macroporos en el suelo.

Por tal razón para la estimación de caudales a través de modelos hidrológicos el presente trabajo pretende corroborar la influencia de las coberturas vegetales en los caudales de una cuenca específica, aplicando un método de estimación de caudales que contemple dicho parámetro y asumiendo que se cuenta únicamente con datos de precipitación, como aporte a generar conciencia en que la variación de cobertura vegetal puede afectar de forma permanente el equilibrio de ecosistema, para este caso el abastecimiento hídrico de la zona a estudiar y/o el aumento de crecientes súbitas.

1.2.3 Pregunta de investigación

¿Cuál es la influencia de la cobertura vegetal en la generación de caudales de una cuenca hidrográfica?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Entre los parámetros para la estimación de caudales a través de modelos hidrológicos se tiene la cobertura vegetal de la cuenca. Por lo que el presente trabajo pretende corroborar su influencia en escenarios extremos de caudales de una cuenca específica, aplicando el método de Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

Es importante generar conciencia en que la variación de una cobertura vegetal puede afectar de forma permanente el equilibrio del ecosistema, para este caso el abastecimiento hídrico de la zona a estudiar y/o el aumento de crecientes súbitas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Analizar la influencia de la cobertura vegetal en la generación de caudales en la cuenca hidrográfica de la quebrada Granadillo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización morfoformetrica de la cuenca escogida.
- Determinar la variación de la cobertura vegetal de la cuenca en para dos periodos de tiempo usando aerofotografías y cartografías del instituto Agustín Codazzi.
- Calcular los caudales a través de un modelo lluvia escorrentía.
- Analizar la variación de la cobertura vegetal y su influencia en la generación de caudales de una cuenca hidrográfica.

2 MARCOS DE REFERENCIA

2.1 Marco conceptual

El presente trabajo estuvo desarrollado en el marco conceptual planteado a continuación:

Cuenca hidrográfica: El área de aguas superficiales y subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente. (Decreto 1729 de 2009, Art. 1).

Recurso hídrico: El agua es el recurso natural del cual depende el desarrollo regional, por esta razón es considerado como elemento estructurante en la formulación de una política de estado relacionada con el manejo integral del agua, tal y como se plantea en el componente de Sostenibilidad del actual Plan Nacional de Desarrollo, y por ende del ordenamiento ambiental del territorio a nivel de las cuencas hidrográficas. (Ley 812 de 2003, numeral 8).

Agua superficial: Corresponde principalmente con los ríos y arroyos que escurren en superficie y configuran una de las fuentes principales de vida y desarrollo. La precipitación que se infiltra en el suelo se mueve a través de los poros, los cuales son pequeños espacios vacíos en el suelo. (Lenntech, 2006).

Agua subterránea: Parte del agua que cae resbala sobre el terreno hasta llegar a ríos y lagos (agua de escorrentía), pero otra parte se infiltra, bien directamente cuando llueve, o desde los ríos y lagos. Desde el suelo parte del agua sale por evapotranspiración, o por manantiales o alimenta ríos y lagos a través de su lecho (Prim).

Cobertura Vegetal: La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos. (Geoinstitutos).

Precipitación: Se llaman precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, Granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellos son provocados por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico. (Musy, 2001).

Escorrentía: La escorrentía se puede definir como la cantidad de agua de una tormenta que drena o escurre sobre la superficie del suelo. Cuando se produce, fluye a los cauces incrementando un caudal; a medida que llega agua de las partes más lejanas comienza suavemente a decrecer el caudal después de terminada la lluvia. (Gaspari, Sinisterra, & Morlats, 2007).

HEC – HMS: (Hydrologic Modeling System) desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los EE.UU, simula procesos de transformación lluvia- escorrentía.

2.2 Marco Teórico

En Colombia, son pocas las investigaciones de la influencia de la cobertura vegetal en la generación de caudales, entre ellas un balance hídrico bajo tres coberturas vegetales contrastantes en la cuenca del río San Cristóbal, se relacionó que la cobertura de bosque natural presenta un mayor porcentaje de almacenamiento de agua que las otras dos coberturas estudiadas (Holmos, 2000).

Por otro lado (León Peláez, Patiño, Montes, & Hernández, 2007) investigaron sobre el efecto en la regulación de caudales por coberturas en la quebrada La Murciélago, en Piedras Blancas, Antioquia, cubierta por plantaciones forestales predominantes y diferenciales de *Pinus pátula*, *Cupressus lusitánica* y Bosque natural, los resultados indican diferencias significativas entre la cobertura de pino y las coberturas de ciprés y bosque natural, siendo esta última la que mostró la menor pendiente de un ajuste lineal entre precipitación y caudal, y un mayor efecto de regulación sobre el rendimiento hídrico, seguida del ciprés.

(M. Robinson, 2003), señala los primeros estudios en Europa sobre el impacto de los bosques en los caudales de los ríos, entre los cuales están el análisis a dos cuencas de montaña, una re-forestada y otra con pastos. La cuenca forestada presentó caudales picos más bajos pero flujos base más altos, sugiriendo que los bosques fueron benéficos tanto en reducir los caudales de crecida como en mantener los flujos base. Sin embargo, reportan los autores en mención que la cuenca con bosques tenía suelos mucho más profundos y no fue muy claro entender si las diferencias se debían a los suelos o al efecto de la vegetación.

La cuenca de estudio del presente trabajo se encuentra ubicada en el municipio de Chocontá, Departamento de Cundinamarca, cuyo punto de cierre fue definido por la ubicación de la estación limnimétrica Santa Marta de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, con coordenadas proyectadas Magna Sirgas Ciudad Bogotá N 1049837.502 y E 1041638.674. La quebrada en el punto de cierre definido toma el nombre de quebrada Granadillo que desemboca en el embalse del Sisga, y resulta de la unión dentro de la cuenca de estudio de las quebradas La Tapia, El cristal y Granadillo. La localización general de la cuenca se presenta en el Apéndice 1.

En la Figura 1 se presenta la síntesis de los marcos de referencia que enmarcan este trabajo.



Figura 1. Marcos de referencia

3 METODOLOGÍA

Una vez definido el punto de cierre de la cuenca hidrográfica, se procedió a recopilar la información, la cual se ha obtenido del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, y de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR., entre otros, la cual se incluye en los anexos del presente documento.

La información cartográfica se obtuvo de las planchas 209-IV-A-4, 209-IV-C-2, 209-IV-C-3, 209-IV-C-4, las cuales se encuentran a escala 1:10.000 (ver Anexo 1).

Digitalizada la información topográfica de la cuenca de estudio con el software AutoCAD se generó el mosaico de las planchas y se georreferenciaron, se resaltó la quebrada Granadillo y sus afluentes, con esta información se delimitó la cuenca y se le ensamblaron las curvas de nivel con sus respectivas cotas, con esta delimitación de la cuenca y el comando consulta se obtuvo la información del área de la cuenca y el perímetro, datos validados con el software de sistemas de información geográfica ARCGis .

Con el apoyo de un experto en agrología y fotointerpretación (Montenegro, 2015) se identificaron en aerofotografías obtenidas (ver Anexo 2) de los años 1993 y 2009 los tipos de coberturas vegetales y su porcentaje en el área de la cuenca. Cabe resaltar que la información de cobertura vegetal encontrada para el año 2009 cubre el 32,46 % del área total de la cuenca, por lo que se acudió a consultar otras fuentes de información como la herramienta Google Earth, el servicio de imágenes de ESRI (Environmental Systems Research Institute) y la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en los cuales no fue posible encontrar información de la zona de estudio, tal como lo menciona la respuesta del Acueducto la cual hace parte del Anexo 5 de este documento. Por tal razón para la fotografía aérea del año 2009 que en el 67,54 % del área de la cuenca que no presenta información se tomó la que se encontró del año 1993.

A partir del Estudio Nacional de suelos y zonificación de tierras del año 2000 del departamento de Cundinamarca realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC se adquirió la plancha 209 (mapa de suelos) (Ver Anexo 3) la cual se encuentra a escala 1:100.000 y con base en esta se encontraron las unidades cartográficas que tienen presencia en la cuenca y la descripción de los suelos que las componen igual que los tipos de suelos.

A partir de la información hidrológica obtenida de valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas a nivel multianual (ver Anexo 4), la cual fue procesada y se le realizó verificación de datos dudosos por la metodología Water Resources Council 1981 (Chow, 1994) y teniendo en cuenta que la falta de datos históricos de lluvias para pluviómetros en el área de la cuenca se generaron las tormentas de diseño a partir de Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad - Duración - Frecuencia para Colombia. (Vargas R. M. & Díaz Granados, 1998).

Con el fin de evaluar cómo responden diferentes coberturas en escenarios extremos se encontraron los caudales máximos instantáneos anuales de las crecientes producidas por la cuenca en estudio para periodos de retorno de 5, 50 y 100 años, basados en el modelo lluvia-escorrentamiento del Hidrograma unitario (Monsalve G., 1995) y la aplicación del modelo hidrológico HEC-HMS (U.S. Army Corps of Engineers, 2008) que integra las características de la lluvia, las características fisiográficas de la cuenca como el tipo y el grupo hidrológico de suelos (Diez Hernández, 2012) y la cobertura vegetal a través del Número de Curva CN (United States Department of Agriculture , 2004), el área de drenaje y del tiempo de rezago (calculado del método del Hidrograma Unitario del SCS Mockus) el cual a su vez se basa en el tiempo de concentración (Instituto Nacional de Vías, INVIAS, Ministerio de Transporte, 2009) calculado con base en las fórmulas de Hathaway, Teméz, Giandotti, V.T. Chow, Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, Ecuación de retardo del Soil Conservation Service, método de la velocidad del SCS y Kirpich, las cuales se presentan con detalle en el Apéndice 2.

En la Figura 2, se expresa el procedimiento anteriormente descrito. En el Apéndice 2, se encuentra de forma detallada el procedimiento para el desarrollo de los objetivos propuestos.

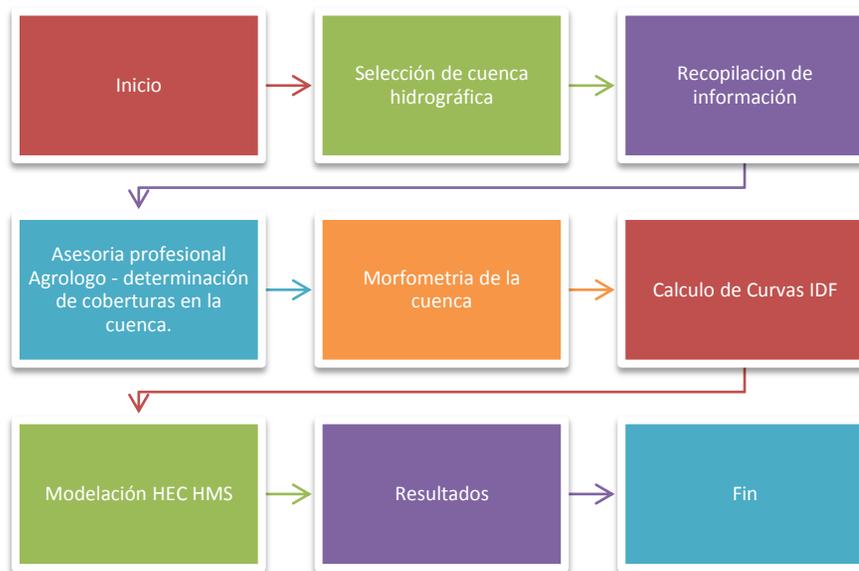


Figura 2. Metodología

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La cuenca analizada presenta un área de 10.75 Km², por lo que está por fuera del rango de aplicabilidad del método racional (Instituto Nacional de Vías, INVIAS, Ministerio de Transporte, 2009) para el cálculo de la escorrentía superficial.

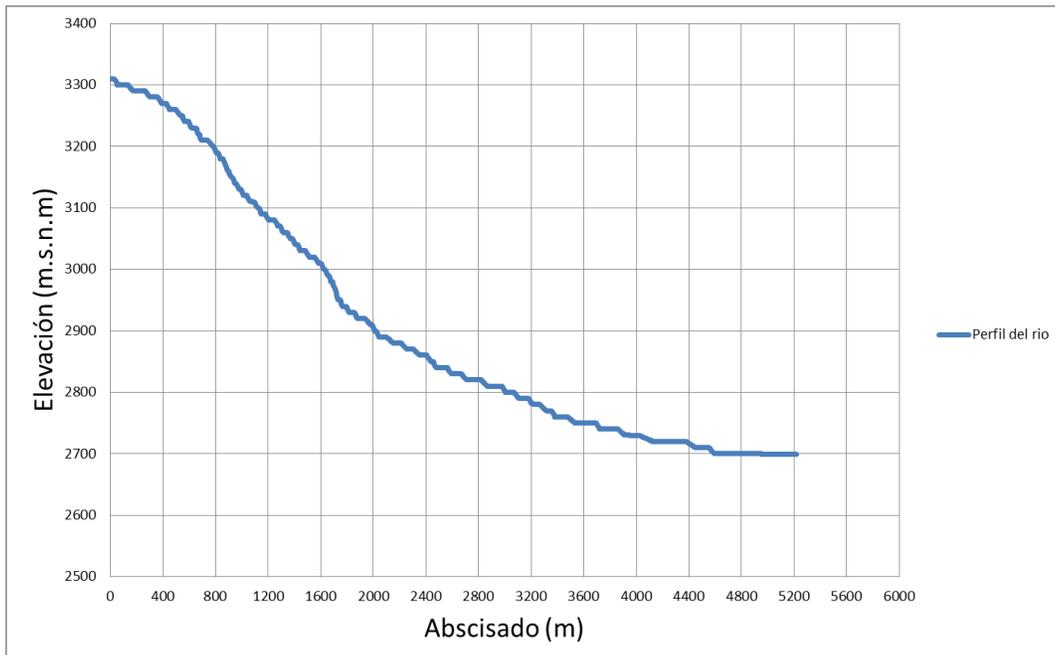
Los parámetros morfométricos de la cuenca se presentan en la Tabla 1. Con los cuales se puede determinar el coeficiente de compacidad que indica que la cuenca es redonda – oval redonda, por lo que tiene mayor tendencia las crecientes (Monsalve G., 1995).

Tabla 1. Características morfométricas de la cuenca

NOMBRE	ÁREA CUENCA (km ²)	PERÍMETRO (km)	LONGITUD DEL CAUCE (m)	LONGITUD DEL CAUCE (km)	PENDIENTE DEL CAUCE S (m/m)	ELEVACIÓN MEDIANA DE LA CUENCA
Quebrada Granadillo	10.75	13.76	5.22.	5220.00	0.3286	2934.88

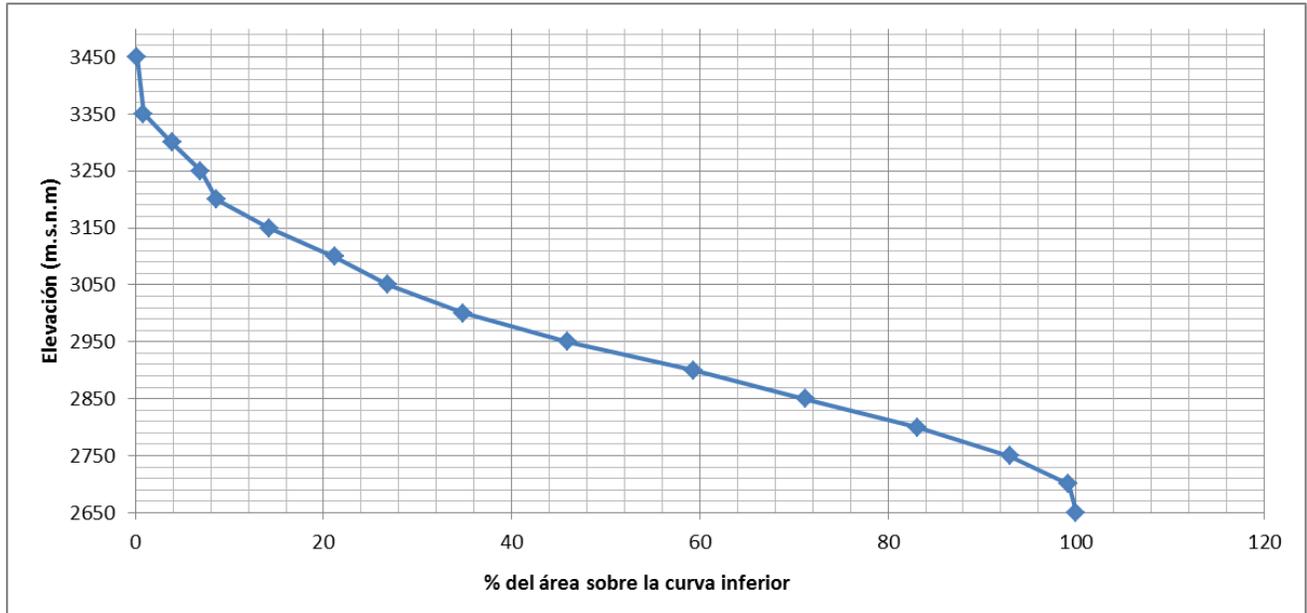
A continuación en la Gráfica 1 se presenta el perfil del cauce obtenido para la quebrada Granadillo.

Gráfica 1. Perfil Quebrada Granadillo



En la Gráfica 2 se presenta la curva hipsométrica de la cuenca, por la forma de la curva hipsométrica (Strahler, 1964), se puede concluir que la cuenca en equilibrio en otras palabras, la cuenca se encuentra en una etapa de madurez.

Gráfica 2. Curva hipsométrica de la cuenca



Del análisis de la información de suelos se tiene para la cuenca de estudio cuatro (4) unidades cartográficas cuyas características principales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipos de suelos y su distribución en la cuenca.

Unidad cartográfica	Características Principales	% de Área en la cuenca
MLCd	Unidad de suelos descrita en el paisaje de montaña; clima ambiental frío húmedo; tipo de relieve lomas y pendiente 12-25 % topografía fuertemente ondulada, fuertemente inclinada. Compuesta por los suelos Humic Dystrudepths, Typic Argiudolls, Typic Hapludands y Thaptic Hapludans, que se caracterizan por ser suelos profundos, bien drenados con texturas predominantes francas –arcillo – arenosa y franca.	20.09
MLCe	Unidad de suelos descrita en el paisaje de montaña; clima ambiental frío húmedo; tipo de relieve lomas y pendiente 25 -50 % topografía fuertemente quebrada. Compuesta por los suelos Humic Dystrudepths, Typic Argiudolls, Typic Hapludands y Thaptic Hapludans, que se caracterizan por ser suelos profundos, bien drenados con texturas predominantes francas –arcillo – arenosa y franca.	0.74
MLVf	Unidad de suelos descrita en el paisaje de montaña; clima ambiental frío húmedo; tipo de relieve crestones y pendiente 50 -75 % topografía escarpada. Compuesta por los suelos Humic Lithic Eurtrudepths, Typic Placudands y Dystric Eutrudepths, que se caracterizan por ser suelos profundos a superficiales, bien a moderadamente bien drenados con texturas predominantes francas –arcillo – arenosa y franca –arenosa.	67.91

MGff	Unidad de suelos descrita en el paisaje de montaña; clima ambiental muy frío, muy húmedo; tipo de relieve crestones y pendiente 50 -75 % topografía escarpada. Compuesta por los suelos Humic Dystrudepths, Andic Dystrudepths y Humic Lithic Dystrudepths, que se caracterizan por ser suelos profundos a superficiales, bien a excesivamente drenados con texturas franca – arenosa y franca.	11.26
-------------	---	-------

La distribución espacial de los suelos descritos anteriormente se presenta el Apéndice 4.

Al realizar el procesamiento de las coberturas presentes en la cuenca, se evidencio que para el año 2009 el 74.65 % del área de la cuenca son bosques contrastada con la del año 1993 que presenta para esta misma cobertura un 65.40% del área de la cuenca, por lo que se infiere ha sido reforestada, sin embargo también se encontró apara el año 2009 la presencia de otras coberturas como cultivos, zonas de barbecho y rastrojo.

En la Tabla 3 para los años 1993 y 2009, se muestran las diferentes coberturas presentes en la cuenca de estudio. La distribución espacial de cada una de las coberturas relacionadas se presenta en el Apéndice 4.

Tabla 3. Coberturas presentes de la cuenca en los años 1993 y 2009.

Cobertura	Descripción	% de área en la cuenca año 1993	% de área en la cuenca año 2009
Bn	Bosque Natural	0,56	9,06
Bs/m	Bosque secundario con matorral	49,95	49,60
Bs	Bosque secundario	14,89	14,05
Pn / m	pasto natural con matorral	17,86	4,84
M alto	Matorral alto	1,95	1,95
M	Matorral	1,67	0,56
Pn	Pasto natural	2,51	0,09
M/Pn	Matorral con pasto natural	7,82	7,35
Malto / pn	Matorral alto con pasto natural	2,79	2,79
Bn/Bs	bosque natural con bosque secundario	-	1,95
C	Cultivos	-	3,95
M/Bb	Matorral con barbecho	-	1,02
C/R	Cultivos con rastrojo	-	0,19
Bb	Barbecho	-	2,33
C/Bs	cultivos con bosque secundario	-	0,09
R	rastrojo	-	0,09
Bb/Pn	barbecho con pasto natural	-	0,09

Teniendo en cuenta la textura de los suelos encontrados en la cuenca, se determinó que el grupo textural de suelos para toda la cuenca es el grupo B (Diez Hernández, 2012) es decir con moderadamente bajo potencial de escurrimiento y, una vez obtenidos los números de curva (CN) de acuerdo al procedimiento descrito en el Apéndice 1 para cada tipo de cobertura vegetal de la cuenca, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4. Curvas Números (CN) obtenidas., de los cuales se valida el hecho de que la cuenca ha sido reforestada, ya que el valor obtenido de CN para el año 2009 es menor que para el año 1993, indicando que la precipitación para el 2009 se infiltra más de lo que escurre en comparación con el año 1993.

Tabla 4. Curvas Números (CN) obtenidas.

CURVA NUMERO PONDERADA	
AÑO 1993	AÑO 2009
60.56	53.28

Los tiempos de concentración obtenidos por diferentes métodos y aplicando el número de curva obtenido en el año 1993 y 2009 respectivamente se presentan en la Tabla 5 los cuales fueron ponderados en función del número de parámetros que emplea cada ecuación, para de esta manera obtener un único tiempo de concentración para el año 1993 y para el 2009.

Tabla 5. Tiempos de concentración de la cuenca años 1993 y 2009.

METODO EMPLEADO	Año 1993		Año 2009	
	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (minutos)	# DE PARAMETROS EMPLEADOS	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (minutos)	# DE PARAMETROS EMPLEADOS
KIRPICH	21.79	2	21.79	2
TEMEZ	32.55	2	32.55	2
GIANDOTTI	37.92	3	37.92	3
ECUACION DE RETARDO SCS	91.81	3	110.34	3
VT CHOW	67.34	2	67.34	2
HATHAWAY	85.83	3	86.98	3
METODO DE VEL. DE SCS	87.88	2	87.88	2
CUERPO DE INGENIEROS	72.87	2	72.87	2
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN PONDERADO (minutos)	63.77		66.87	

Del procesamiento de la información a través de la metodología de polígonos de Thiessen (ver Apéndice 3) se evidencio que existen dos estaciones con área de influencia en la cuenca cuya información se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Características de localización de las estaciones pluviometereológicas con influencia en la cuenca

CODIGO	TIPO	ESTACIÓN	CUENCA	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		ELEVACIÓN (msnm)	Area de Influencia (Km ²)
2120016	PLUVIOMÉTRICA	PANONIA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	CHOCONTA	05°04'N	73°44'W	2800	4.29
2120062	PLUVIOMÉTRICA	PISCIS	BOGOTA	CUNDINAMARCA	CHOCONTA	05°04'N	73°42'W	2820	6.45

La definición a nivel mensual y anual multianual del parámetro precipitación máxima en 24 horas, se ha basado en los datos presentados en el Anexo 4, del cual se obtuvo que la precipitación media máxima en 24 horas a nivel medio mensual multianual reportada en la estación pluviométrica Panonia, para el periodo histórico analizado corresponde a 38.54 mm y para la estación pluviométrica Piscis corresponde a 41.13 mm. Los datos históricos de precipitación máxima anual en 24 horas de las estaciones medidoras de precipitación se muestran en la Tabla 7 para la estación Panonia y la estación Piscis.

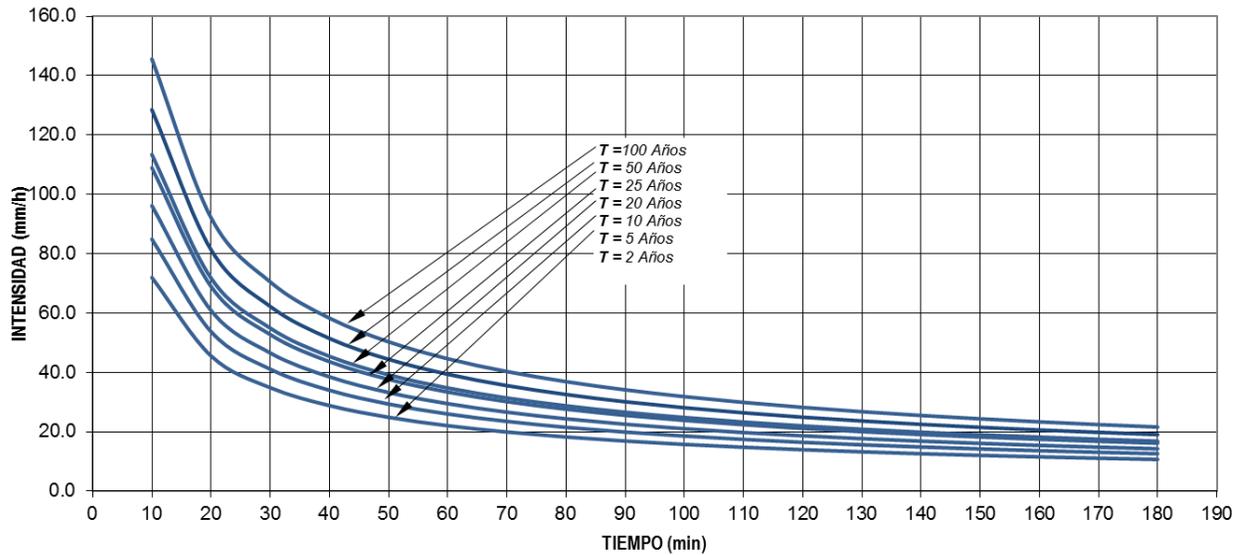
Tabla 7. Precipitación Máxima Anual Histórica En 24 Horas estación Panonia Y Piscis

AÑO	Estación Panonia	Estación Piscis
	Precipitación máx. anual en 24 hr (mm)	Precipitación máx. anual en 24 hr (mm)
1985	29	45
1986	50.9	42
1987	80	40
1988	26	40
1989	26	50
1990	28.5	35
1991	36.5	40
1992	25	45
1993	38	50
1994	32.4	44
1995	35.6	42
1996	51	32
1997	0	50
1998	0	40

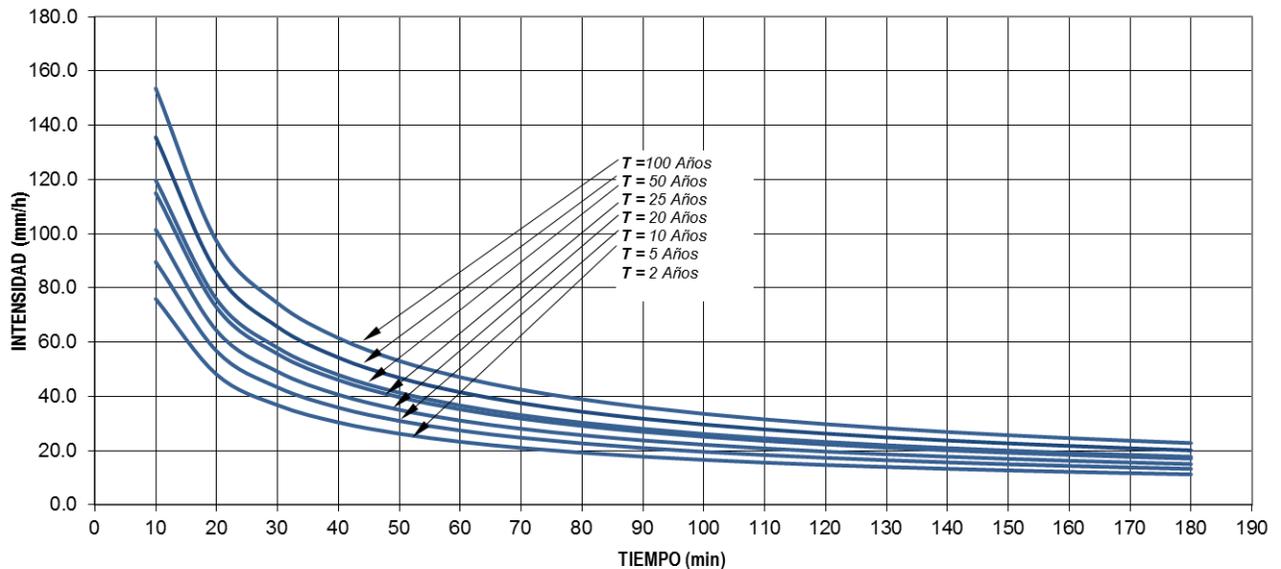
1999	31.2	30
2000	50.5	44
2001	42.2	35
2002	42.2	50
2003	35	30
2004	34.4	35
2005	34	33
2006	48.8	28
2007	28.8	30
2008	38.4	33
2009	27.6	30
2010	39.8	40
2011	42.4	91
2012	41.7	60
2013	42.9	40
2014	40.4	30
Número de Datos	28	30
Media	38.54	41.13
Desviación Típica	11.24	12.22
Coefficiente de Asimetría	1.87	2.47

A partir de la información anterior se generaron las Curvas Intensidad Frecuencia Duración para seis (6) periodos de retorno de las dos estaciones con influencia en la cuenca las cuales se muestran para la estación Panonia en la Gráfica 3 y para la estación Piscis en la Gráfica 4. Los respectivos cálculos para su obtención se presentan en el Apéndice 6.

Gráfica 3. Curvas IDF estación pluviométrica Panonia



Gráfica 4. Curvas IDF estación pluviométrica Piscis



Se calcularon las curvas de masas de los de las precipitaciones para duraciones entre 0 y 180 min y periodos de retorno de 5, 50 y 100 años para cada una de las estaciones; posteriormente, con base en estas curvas de masas se calcularon los hietogramas de los aguaceros puntuales respectivos, el procedimiento de cálculo se muestra en el Apéndice 6 para cada periodo de retorno en las dos estaciones. Para obtener la lluvia puntual de la totalidad de la

cuenca se pondero la lluvia neta de cada estación en función del área de influencia sobre la cuenca.

Las tormentas de diseño obtenidas para los periodos de retorno de 5, 50 y 100 años y distribuida por el método de bloque alterno se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Tormentas de diseño para periodos de retorno de 5, 50 y 100 años.

LLUVIA NETA DE LA CUENCA ORDENADA POR MÉTODO BLOQUE ALTERNO CON POSICIÓN AL 50 % (mm)			
TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS		
	5	50	100
10	0.814	1.233	1.397
20	0.892	1.351	1.530
30	0.992	1.501	1.701
40	1.125	1.703	1.930
50	1.316	1.992	2.256
60	1.616	2.446	2.771
70	2.183	3.303	3.742
80	3.885	5.881	6.662
90	14.620	22.128	25.068
100	2.735	4.140	4.690
110	1.846	2.794	3.166
120	1.447	2.190	2.481
130	1.211	1.833	2.077
140	1.053	1.594	1.806
150	0.939	1.421	1.610
160	0.851	1.288	1.459
170	0.782	1.183	1.340
180	0.752	1.138	1.289

Mediante la aplicación del modelo hidrológico HEC-HMS con el método del hidrógrama Unitario del Servicio de Conservación de suelos, se calcularon los caudales máximos instantáneos anuales de las crecientes producidas por la cuenca en estudio para periodos de retorno de 5, 50 y 100 años, con el número de curva CN ponderado del año 1993 y 2009, (Ver Apéndice 5 Apéndice 6). El tiempo de rezago (Tlag) fue calculado como tiempo de concentración multiplicado por un factor de 0.6. El modelo HEC-HMS y sus reportes se presenta en el Apéndice 7.

Tabla 9. Caudales máximos instantáneos anuales método del hidrograma unitario de escorrentía superficial del SCS cobertura años 1993 y 2009.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO ANUAL (m ³ /s)					
Año	CN	t _{lag} (min)	T = 5 Años	T = 50 Años	T = 100 Años
1993	60.56	38.26	0.50	5.82	9.56
2009	53.28	40.12	0.00	1.82	3.67

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La cuenca de estudio presenta un área de 10.75 Km², es redonda – oval redonda, por lo que tiene mayor tendencia las crecientes.

Se tiene para la cuenca de estudio cuatro (4) unidades cartográficas cuyas características cuyos suelos están caracterizados por un bajo potencial de escurrimiento.

Del proceso de fotointerpretación de las fotografías aéreas empleadas en este estudio se concluye que la cuenca para el año 2009 ha tenido procesos de reforestación respecto a lo encontrado en la misma área del año 1993 esto se debe posiblemente a su proximidad con el Embalse de Sisga. La cobertura vegetal predominante en la cuenca para ambos periodos de tiempo son bosques en diferentes condiciones hidrológicas.

Los caudales máximos instantáneos obtenidos para los diferentes periodos de retorno teniendo en cuenta la cobertura del año 1993 (a través del número de curva) son mayores a los generados al modelar con las características de la cobertura del año 2009, lo que indica que a pesar de que la cuenca tiene tendencia a las crecientes por su morfometría, para el año 2009 estos riesgos se han reducido debido a un incremento de la cobertura de bosques dentro de la cuenca.

De acuerdo con los resultados de la modelación en HEC – HMS se tiene que para el periodo de retorno de 5 años, el estado de cobertura vegetal de la cuenca encontrado para el año 2009 favorece una gran infiltración, es decir que el río se mantiene por el aporte del nivel freático y no por escurrimiento superficial.

Teniendo en cuenta la modelación realizada, se corrobora el hecho de que los suelos son bien drenados dado que los escurrimientos superficiales generados son bajos, también se evidencia que la cuenca para el año 2009 ha tenido procesos de reforestación reflejado en que no se genera escurrimiento superficial para un periodo de retorno de 5 años por el aumento de cobertura vegetal especialmente bosques.

Con el presente trabajo se demuestra que la variación de la cobertura vegetal influye en la generación de caudales de una cuenca hidrográfica, por lo que es uno de los factores que influyen e inciden sobre la magnitud y duración de algunos efectos ambientales y es de gran importancia conservarla.

BIBLIOGRAFÍA

- Best, A., Zhang, L., McMahon, T., Western, A., & Vertessy, R. (2003). *A critical review of paired catchments studies with reference to seasonal flows and climatic variability*. Canberra: Murray Darling Basin Commission and CSIRO.
- Beven, K. (07 de 1997). Top Model: a critique. *Proceso Hidrologico*, 1069-1086.
- CAR Áreas, S. d. (2011). *Monitoreo Hidrometeorológicos e Intensidad del Fenómeno de la Niña Durante 2011*.
- Chow, V. T. (1994). *Hidrología Aplicada* (Vol. (Primera ed.)). (V. J. Saldarriaga, Trad.) Bogotá: McGraw-Hill.
- Diez Hernández, J. M. (2012). Módulo Escorrentía - Infiltración. Valladolid, España.
- Gaspari, F. J., Sinisterra, G. E., & Morlats, R. M. (2007). Relación precipitación escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. *Facultad de Ciencias Agrarias*, 21-28.
- Geoinstitutos. (s.f.). La cobertura vegetal en la cuenca del canal de Panamá.
- Hewlett, B. y. (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal Hydrology*, 3-23.
- Holmos, G. d. (2000). Balance hídrico bajo tres coberturas vegetales contrastantes en la cuenca del río San Cristóbal, Bogotá. *Acad Colombia Cienc* 24, pp 205-218.
- Hostede, R. (2000). Aspectos técnicos ambientales de la forestación de páramos. *La forestación de páramos. Serie 6*.
- Hostede, R. (2001). El impacto de las actividades humanas sobre el páramo. Quito: Abya Yala.
- Instituto Nacional de Vías, INVIAS, Ministerio de Transporte. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*. Bogotá D.C.: Subdirección de Apoyo Técnico.
- Lenntech. (2006). *Purificación del agua y tratamiento del aire*. Obtenido de www.lenntech.es
- León Peláez, J. D., Patiño, J. F., Montes, L. A., & Hernández, L. C. (2007). Propuesta metodológica para comparar el efecto de diferentes coberturas vegetales en la regulación de caudales en cuencas hidrográficas. Aplicación en la microcuenca de la quebrada la Murcielaga, Antioquia. *Avance de recursos hidráulicos* 15, p 89-100.

- M. Robinson, A.-L. C.-P.-W. (2003). Studies of the impact of forests on peak flows and baseflows: a European perspective. *Forest Ecology and Management* 186, pp 85-97.
- Monsalve G. (1995). *Hidrología en la Ingeniería*. Santafé de Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Montenegro, R. M. (2015). Agrológico, especialista . Bogotá.
- Morocho, A. P. (2002). Cochabamba: Una propuesta para recuperar un paramo con vista al mar. *El manejo comunitario de Paramos. Serie Paramo 11.* .
- Musy, A. (2001). Hidrologie generale.
- Ponce, D. 2. (2000). La forestación en la sierra Ecuatoriana: El punto de vista industrial. *La forestación de páramos. Serir Páramo 6.*
- Prim, L. E. (s.f.). Ciencias de la tierra y del medio ambiente.
- Putuhena, W. M., & Ian Cordery. (2000). Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to *Pinus radiata*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 59-72.
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. En *Handbook of Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2008). *HEC-HMS, Hydrology Engineering Center - Hydrology Modeling System*. Estados Unidos: Copyright Haestad Methods, Inc. V. 3.5.
- United States Department of Agriculture . (2004). Hydrologic Soil-Cover Complexes. En N. R. Service, *Hydrology National Engineering Handbook*.
- Vargas R. M., ..., & Díaz Granados, M. O. (1998). *Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad - Duración - Frecuencia para Colombia*. Bogotá.
- Wilcox, B. P. (2002). Shrub control and streamflow on rangelands: A process based viewpoint. *Journal of Rangeland Management*, pp. 318-326.

APÉNDICES

Apéndice 1. Localización general de la cuenca de estudio.

Apéndice 2. Procedimiento detallado.

Apéndice 3. Caracterización morfométrica de la cuenca – área de influencia de cada estación.

Apéndice 4. Tipos de suelos y coberturas presentes en la cuenca.

Apéndice 5. Números de curva y tiempo de concentración.

Apéndice 6. Precipitaciones máximas en 24 horas – Curvas IDF – Tormentas de diseño.

Apéndice 7. Modelos HEC-HMS para las diferentes CN y sus reportes.

ANEXOS

Anexo 1. Planchas cartográficas IGAC.

Anexo 2. Aerofotografías IGAC.

Anexo 3. Mapa de suelos.

Anexo 4. Estaciones.

Anexo 5. Solicitud información EAAB.

Anexo 6. Curva Numero - SCS.