

**ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA  
LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO  
BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN,  
EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU  
DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS  
ARRIBA.**

**ESTUDIO HIDROLÓGICO**



**CONSULTOR**

**MOSQUERA  
CUNDINAMARCA  
NOVIEMBRE 2020**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

## INDICE DE CONTENIDO

|        |                                                                                 |    |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.     | ANÁLISIS HIDROLÓGICO RÍO BALSILLAS.....                                         | 4  |
| 1.1.   | INTRODUCCIÓN .....                                                              | 4  |
| 2.     | OBJETIVOS.....                                                                  | 5  |
| 2.1.   | OBJETIVO GENERAL .....                                                          | 5  |
| 2.2.   | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                     | 5  |
| 3.     | ALCANCE.....                                                                    | 6  |
| 4.     | GENERALIDADES .....                                                             | 7  |
| 4.1.   | LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO.....                                         | 7  |
| 4.2.   | REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS<br>DISPONIBLES DE LA CUENCA.....   | 8  |
| 4.2.1. | Recopilación y análisis de la información .....                                 | 8  |
| 4.3.   | ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN .....                                     | 10 |
| 4.3.1. | Inspección visual.....                                                          | 10 |
| 4.3.2. | Curva de masa simple .....                                                      | 11 |
| 4.3.3. | Selección del periodo de estudio .....                                          | 12 |
| 5.     | ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMETRICA.....                                    | 14 |
| 5.1.   | PRECIPITACIÓN .....                                                             | 14 |
| 5.1.1. | Precipitación Total .....                                                       | 14 |
| 5.1.2. | Precipitación Máxima en 24 horas .....                                          | 17 |
| 5.1.3. | Curvas De Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) .....                        | 17 |
| 5.1.4. | Determinación de la lluvia de diseño .....                                      | 19 |
| 5.2.   | CAUDAL MEDIO MENSUAL.....                                                       | 20 |
| 5.3.   | ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE CAUDALES MÁXIMOS .....                                | 21 |
| 6.     | ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS A LA ALTURA DEL PROYECTO.....                      | 23 |
| 6.1.   | ESTIMACIÓN DE CAUDALES – MÉTODO DEL HIDROGRAMA<br>UNITARIO SCS .....            | 24 |
| 6.1.1. | Hidrograma adimensional del SCS .....                                           | 24 |
| 6.1.2. | Precipitación efectiva .....                                                    | 26 |
| 6.1.3. | Modelo hidrológico implementado para la estimación de caudales<br>máximos ..... | 30 |
| 6.1.4. | Topología del modelo .....                                                      | 30 |
| 6.2.   | MORFOMETRÍA DE CUENCAS Y TIEMPO DE REZAGO .....                                 | 31 |
| 6.2.1. | Calibración del modelo con caudales reales .....                                | 32 |
| 6.2.2. | Resultados obtenidos en la estimación de Caudales máximos<br>instantáneos ..... | 32 |
| 7.     | CONCLUSIONES .....                                                              | 34 |
| 8.     | ANEXOS Y BIBLIOGRAFIA.....                                                      | 35 |
| 8.1.   | ANEXOS.....                                                                     | 35 |
| 8.2.   | BIBLIOGRAFIA.....                                                               | 35 |

## INDICE DE TABLAS

|          |                                                 |    |
|----------|-------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. | Estaciones con información disponible.....      | 9  |
| Tabla 2. | Periodo de estudio homogéneo seleccionado ..... | 13 |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 3. Precipitación Total mensual promedio multianual [1990-2016].....                                     | 14 |
| Tabla 4. Precipitación Máxima en 24 horas mensual promedio multianual [1990-2016]. .....                      | 17 |
| Tabla 5. Coeficientes del método de Vargas y Díaz-granados (1998).....                                        | 18 |
| Tabla 6. Intensidad de precipitación [mm/hora] según periodo de retorno y duración estación: base aérea. .... | 18 |
| Tabla 7. Caudal media mensual promedio multianual [1990-2016].....                                            | 20 |
| Tabla 8. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno.....                                            | 22 |
| Tabla 9. Valores Hidrograma adimensional del Soil Conservation Service (SCS) .....                            | 25 |
| Tabla 10. Número de Curva de Escorrentía para áreas urbanas. AMC II e la=0,2S.....                            | 27 |
| Tabla 11. Número de Curva Subcuencas analizadas.....                                                          | 28 |
| Tabla 12. MORFOMETRÍA USADA EN MODELO HMS. ....                                                               | 32 |
| Tabla 13. Caudales máximos estimados para diferentes periodos de retorno.....                                 | 33 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Localización de la cuenca del río Balsillas. ....                                                         | 7  |
| Figura 2. Localización Estaciones a utilizar en el análisis. ....                                                   | 9  |
| Figura 3. Ejemplo de series de tiempo original y series desestacionalizadas.....                                    | 11 |
| Figura 4. Curvas de masa simple.....                                                                                | 12 |
| Figura 5. Periodo de registro de precipitación y caudales diarios. ....                                             | 13 |
| Figura 6. Variación temporal de la Precipitación Total mensual promedio multianual [1990-2016]. ....                | 15 |
| Figura 7. Isoyetas del área de estudio. ....                                                                        | 16 |
| Figura 8. Variación temporal de la Precipitación Máxima en 24 horas mensual promedio multianual [1990-2016].....    | 17 |
| Figura 9. Curvas Intensidad Duración y Frecuencia para la estación Base Aérea Madrid. ....                          | 19 |
| Figura 10. Hietograma de diseño. ....                                                                               | 20 |
| Figura 11. Variación temporal de la Caudal media mensual promedio multianual [1990-2016] .....                      | 21 |
| Figura 12. Prueba de Bonda de Ajuste. ....                                                                          | 22 |
| Figura 13. Representación Hidrograma adimensional del Soil Conservation Service (SCS).....                          | 25 |
| Figura 14. Mapa de cn EN LA CUENCA del RÍO BALSILLAS.....                                                           | 28 |
| Figura 15. Representación gráfica del cálculo de abstracciones del SCS. Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1988)..... | 29 |
| Figura 16. Topología del modelo HMS implementado.....                                                               | 31 |
| Figura 17. Resultados de estimación de caudales. ....                                                               | 33 |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

## 1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO RÍO BALSILLAS

### 1.1. INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde a los Estudios de Hidrología Superficial del río Balsillas que se forma de la unión del río Subachoque y el Río Bojacá.

Los análisis aquí presentados se enfocaron a la estimación de los caudales máximos de del río Balsillas para diferentes periodos de retorno.

El documento está conformado por los siguientes capítulos:

- Capítulo 2, se presentan los objetivos del estudio.
- Capítulo 3, se presenta el alcance general del estudio.
- Capítulo 4, se presentan las generalidades de la zona de estudio incluyendo la recopilación y análisis de la información.
- Capítulo 5, se presenta el análisis de la información hidrométrica disponible.
- Capítulo 6. Se presenta la estimación de caudales máximos a la altura del inicio del río Balsillas
- Capítulo 7, se dan las principales conclusiones resultantes del estudio.
- Capítulo 8 y Anexos, se encuentran las principales referencias bibliográficas utilizadas.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis hidrológico de caudales del río Balsillas que se forma del a unión del rio Subachoque y río Bojacá.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar y analizar de la información hidrológica disponible en la zona de influencia del proyecto que busca DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA.
- Estimar los caudales máximos de río Balsillas a la altura del inicio del río Balsillas.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

### 3. ALCANCE

En el presente documento técnico se presentan los diferentes análisis necesarios para la determinación de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno en el río Balsillas en el sitio en donde se une el río Subachoque y río Bojacá. Dichos caudales servirán como insumo para determinar los niveles de agua mediante el modelo hidráulico seleccionado.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

## 4. GENERALIDADES

### 4.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO

Las características climáticas de Colombia están determinadas fundamentalmente por la situación geográfica del país y por sus cadenas montañosas, las cuales modifican en cierto grado las condiciones atmosféricas cerca de la superficie y originan situaciones meteorológicas de carácter local.

Para el estudio hidrológico, el análisis preliminar de la localización del área de estudio es importante para comprender los principales factores que a nivel regional determinan la hidrología. El área de la cuenca del río Balsillas se localiza en la zona hidrológica del Magdalena Cauca, en el Departamento de Cundinamarca aproximadamente en centro oriental del país, en la coordenada 74°15' de longitud oeste y 4°50' de latitud norte. En la Figura 1, se muestra la localización general del área de estudio.

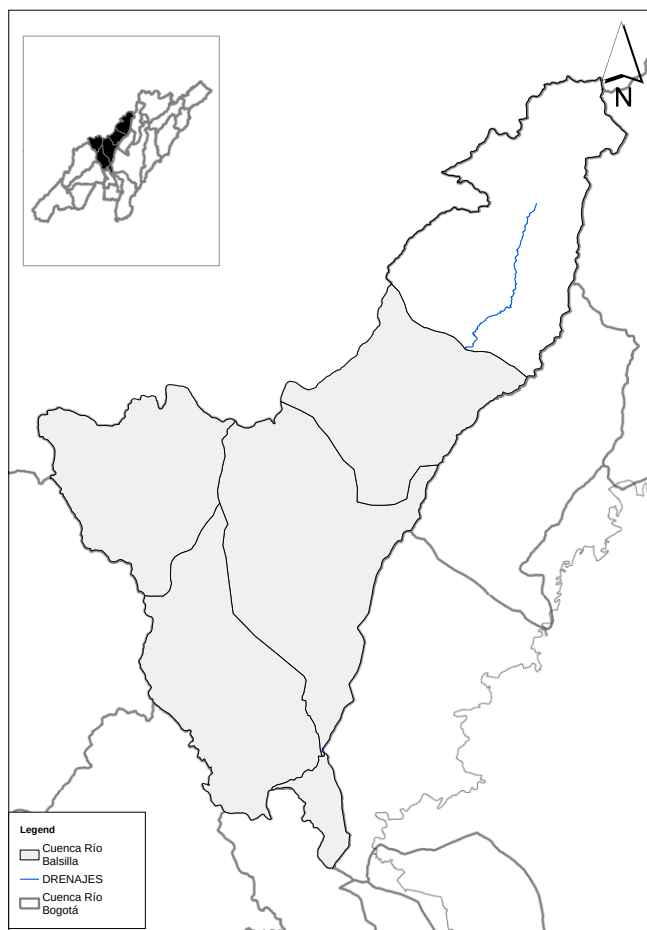


**Figura 1. Localización de la cuenca del río Balsillas.**

**Fuente: H&E**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

## 4.2. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS DISPONIBLES DE LA CUENCA

Dado el alto grado de intervención y las bajas pendientes de la topografía del cauce del río Balsillas no existe estación hidrométrica que permita medir los caudales de esta corriente dado que se observa muy bajas velocidades y/o flujos. Se revisó estudios hidrológicos disponibles de la cuenca del río Balsillas en cuanto a caudales máximos para diferentes periodos de retorno y dado lo anterior, existe una alta variación en la estimación de caudales máximos dependiendo del método que se aplique.

Dentro del contrato de consultoría 930-2012 cuyo objeto correspondió a “Consultoría para elaborar los estudios técnicos necesarios para adelantar las obras de adecuación hidráulica de la cuenca alta del río Bogotá en el cauce principal, el análisis geomorfológico y de dinámica fluvial de la cuenca baja del río Bogotá, el análisis de amenaza por inundación de algunas corrientes de tercer orden y elaborar la guía técnica para la adecuación hidráulica y restauración ambiental de corrientes hídricas superficiales”, se adelantó el análisis de amenaza por inundación de algunas corrientes de tercer orden, (ríos Neusa, Checua, Frio, Teusacá, Chicú, Balsillas y Soacha).

Este estudio establece caudales máximos del orden de 71.7 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 100 años y 69.9 m<sup>3</sup>/s para periodo de retorno de 50 años utilizando una metodología de transposición de caudales a partir de registros disponibles.

En el estudio Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, subcuenca del río Balsillas elaborado por Planeación Ecológica y Ecoforest para la CAR en el año utilizan una metodología similar de transposición de caudales definen caudales máximos para periodos de retorno de 100 y 50 años del orden de 109.9 m<sup>3</sup>/s y 97.3 m<sup>3</sup>/s.

El presente estudio busca aplicar el modelo HEC-HMS calibrándolo hasta donde sea posible con los registros de caudales máximos existentes en la parte alta del río Subachoque y Bojacá.

### 4.2.1. Recopilación y análisis de la información

La metodología general para seguir consistió en la implementación de los pasos seguidos frecuentemente por la mayoría de los estudios climáticos e hidrológicos. Según los cuales, el análisis de un elemento meteorológico o hídrico se basa en los resultados de un proceso que incluye el inventario, la depuración, la selección del período de estudio y la estimación de datos que falten en la serie estudiada. (Eslava, Parra y Villalba, 1985).

Se realizó una revisión de las estaciones climáticas disponibles en radio de 1 km del área aferente al punto de interés sobre el río Balsillas, haciendo un filtro por las estaciones operadas por el la CAR y el IDEAM, estaciones que estén activas y por la fecha de instalación de esta, buscando que la serie disponible sea lo más extensa y representativa

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

posible del área de estudio. En el Anexo 1 se presenta el listado de las estaciones que cumplen con el anterior criterio.

Una vez realizada la consulta respectiva a las entidades operadoras por el IDEAM y la CAR, en la Figura 2 presenta las estaciones que cuentan con información para el estudio, las cuales, dado su ubicación permite hacer una buena caracterización de la variación espacial y temporal de la precipitación.

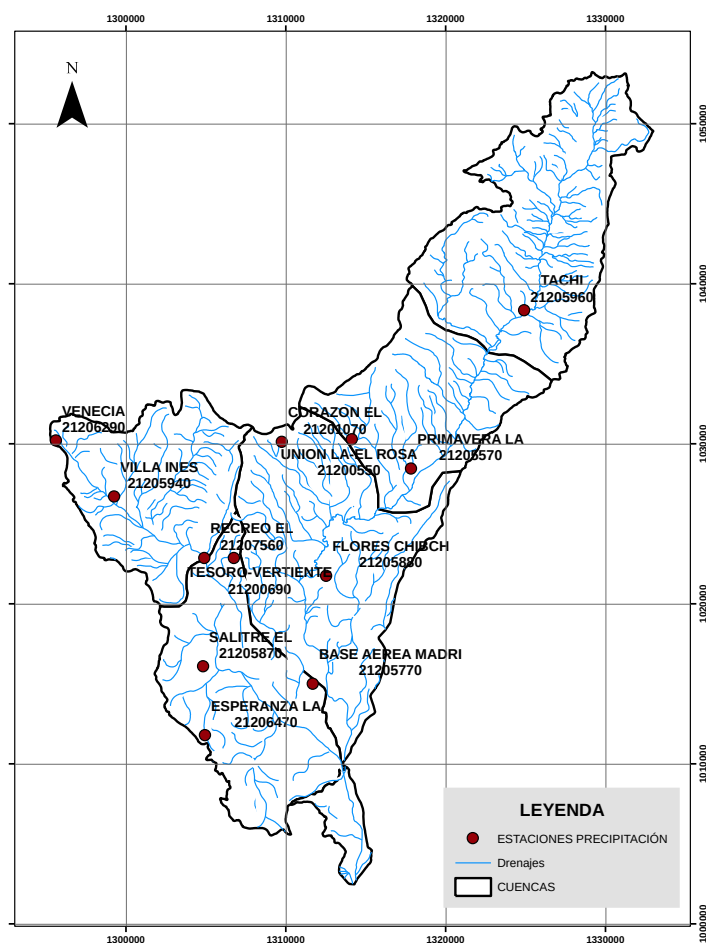


**Figura 2. Localización Estaciones a utilizar en el análisis.**  
Fuente: H&E

En la Tabla 1 se señalan las características de las estaciones, de las cuales se obtuvo información, unas veces realizadas la solicitud respectiva al IDEAM y a la CAR.

**Tabla 1. Estaciones con información disponible**

| CODIGO   | CAT | NOMBRE                | CORRIENTE  | DEPTO        | MPIO       | FECHA_INS<br>T | FGDA  | ALTITU<br>D | LATITU<br>D | LONGITU<br>D |
|----------|-----|-----------------------|------------|--------------|------------|----------------|-------|-------------|-------------|--------------|
| 21206290 | CP  | VENECIA               | SUBACHOQUE | CUNDINAMARCA | FACATATIVÓ | 12/15/1986     | CAR   | 2673        | 4.87        | -74.42       |
| 21205940 | CO  | VILLA INES [21205940] | CHECUA     | CUNDINAMARCA | FACATATIVÓ | 2/15/1977      | IDEAM | 2590        | 4.83        | -74.38       |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

|          |    |                            |                |                  |                |            |           |      |      |        |
|----------|----|----------------------------|----------------|------------------|----------------|------------|-----------|------|------|--------|
| 21206470 | CP | ESPERANZA LA<br>[21206470] | APULO          | CUNDINAMARC<br>A | LA MESA        | 12/15/1992 | CAR       | 1240 | 4.70 | -74.33 |
| 21200690 | PM | TESORO-VERTIENTES          | BALSILLAS      | CUNDINAMARC<br>A | FACATATIVÓ     | 8/15/1931  | CAR       | 2610 | 4.80 | -74.32 |
| 21201070 | PM | EL CORAZON                 | BALSILLAS      | CUNDINAMARC<br>A | FACATATIVÓ     | 7/15/1974  | IDEA<br>M | 2845 | 4.87 | -74.29 |
| 21205770 | CO | BASE AEREA MADRID          | BOGOTA         | CUNDINAMARC<br>A | MADRID         | 7/15/1974  | IDEA<br>M | 2550 | 4.73 | -74.27 |
| 21200550 | PM | UNION LA-EL ROSAL          | SUBACHOQU<br>E | CUNDINAMARC<br>A | SUBACHOQU<br>E | 1/15/1960  | CAR       | 2725 | 4.87 | -74.25 |
| 21205960 | ME | TACHI                      | SUBACHOQU<br>E | CUNDINAMARC<br>A | SUBACHOQU<br>E | 2/15/1977  | IDEA<br>M | 2650 | 4.94 | -74.15 |

**Fuente: H&E**

### 4.3. ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN

El Control de Calidad – generalmente referido como QC – supone un paso necesario e imprescindible para el correcto análisis de las series climáticas. Debe realizarse como tarea previa a los procesos de homogenización y permite eliminar errores no sistemáticos, entendiendo como tales aquellos que comprometen la validez de valores puntuales por causas diversas, aunque frecuentemente relacionadas con errores de anotación o digitalización, o manipulación de las bases de datos. El control de calidad, que consiste en someter a las series a tests estadísticos simples y a inspección visual mediante gráficos específicos, permite también avanzarse a problemas de continuidad u homogeneidad que las mismas puedan presentar.

#### 4.3.1. Inspección visual

La inspección visual de las series de tiempo de los datos representados gráficamente permite rápidamente la detección de datos sospechosos, además, la comparación de series de estaciones adyacentes puede brindar información acerca de la coherencia entre estaciones.

Para la inspección visual, además de la gráfica de los datos ordenados cronológicamente, se grafica la serie de tiempo desestacionalizada, la cual es obtenida al centralizar la serie de tiempo con respecto a las medias de largo plazo de esta. El Anexo 2 contiene las gráficas de las series de tiempo de todas las estaciones analizadas en el presente estudio y a modo de ejemplo en la Figura 3 se muestra las series de tiempo de precipitación total mensual para las estaciones La Unión Rosal y Base Aérea Madrid.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

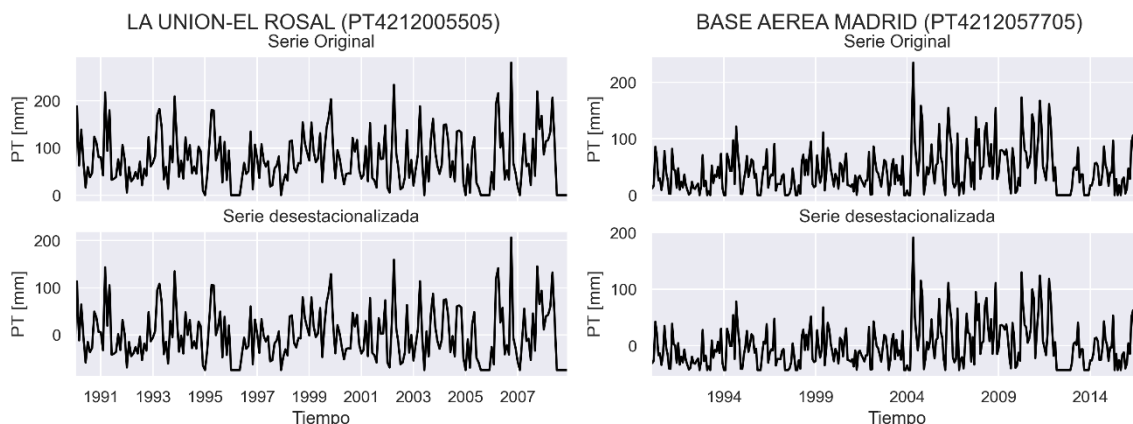


**Figura 3. Ejemplo de series de tiempo original y series desestacionalizadas.**  
Fuente: H&E

De acuerdo con la inspección visual preliminar realizada, se puede observar el periodo de registro de la variable específica y registros faltantes.

#### 4.3.2. Curva de masa simple

Un diagrama de masa es una gráfica de la variable acumulada (ej. Precipitación) versus el tiempo, el valor enésimo de la nueva serie corresponde a la suma de los primeros  $n$  valores de la serie original. De este modo, cualquier cambio prolongado en la pendiente de la curva de masa puede ser considerado como sospechoso, o como una fuente de error (Salas 1980).

En general se aprecian curvas de masas estables y sin cambios significativos en su estructura para las series, para la variable de precipitación. En la Figura 4 se presentan las curvas de masa realizadas para dos series en la cual se muestra el resultado de la curva de masa las para estaciones Villa Inés y La esperanza que dejan ver series relativamente homogéneas y con bajo número de valores faltantes. En el Anexo 2, se presentan las figuras con las curvas de masa para series disponibles, observándose para algunas series curvas incompletas, con cambios bruscos en la pendiente que no permiten, un adecuado ajuste o identificación de las causas, su utilización en el presente informe.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

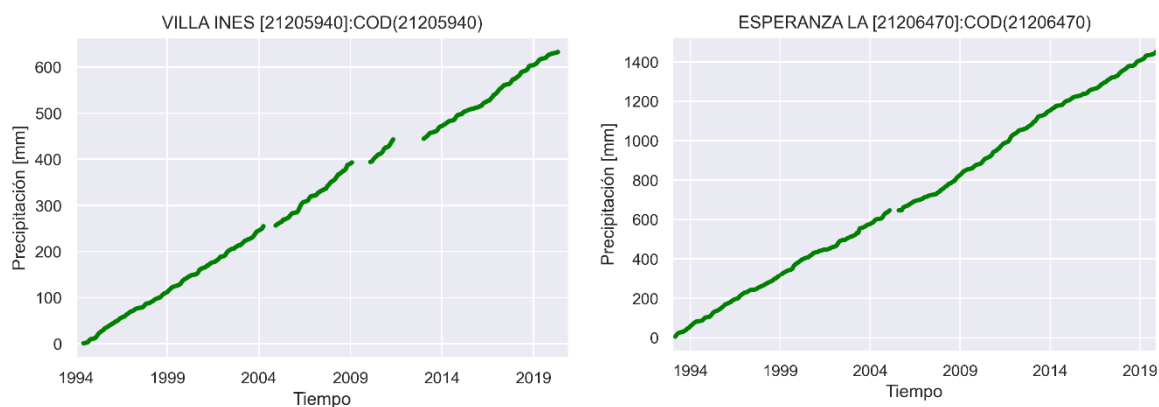
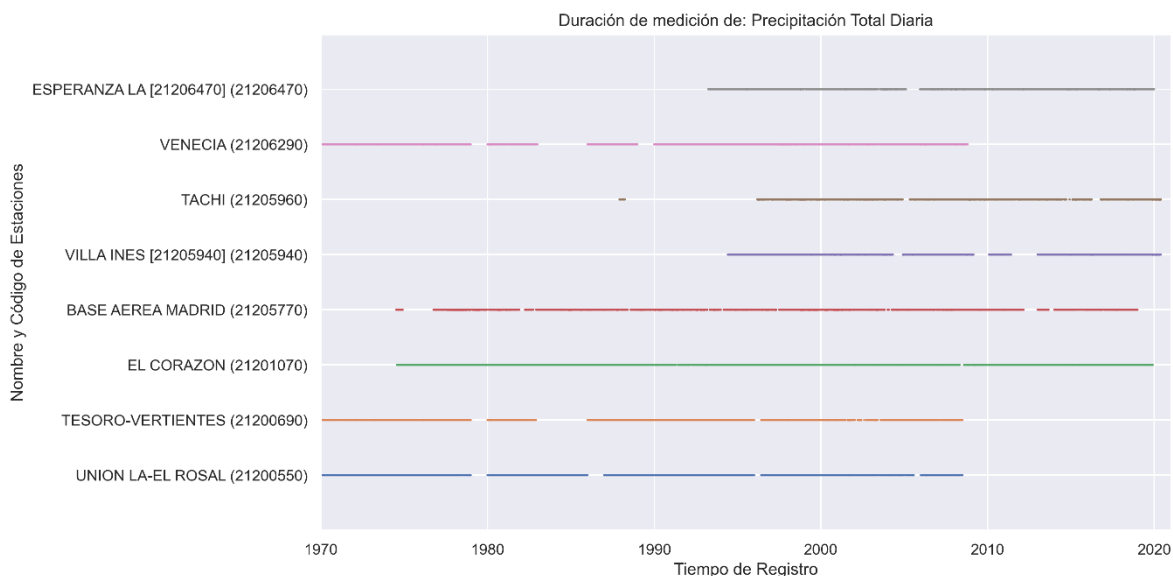


**Figura 4. Curvas de masa simple.**  
**Fuente: H&E**

### 4.3.3. Selección del periodo de estudio

Para cada variable climática disponible, se seleccionó un periodo de tiempo homogéneo en el cual las estaciones tuvieran la mayor cantidad de datos y en el cual, según el análisis anterior, la serie presentara consistencia en sus registros. A manera de ejemplo, en la Figura 5 se muestra el periodo de tiempo en el que las estaciones disponibles para el análisis de precipitación han operado y tienen datos de la variable.



|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

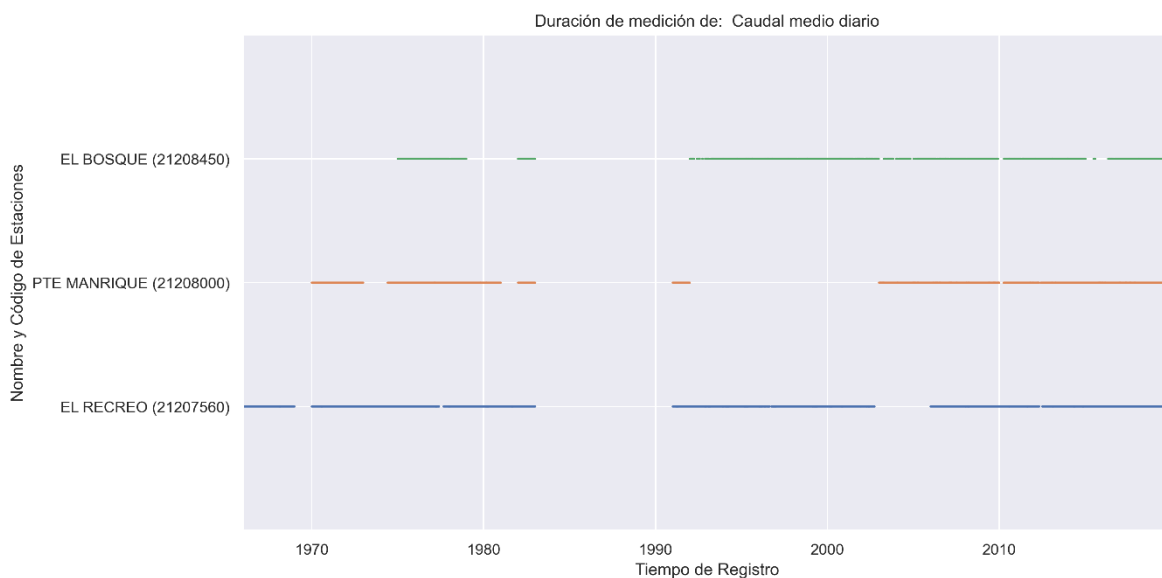


**Figura 5. Periodo de registro de precipitación y caudales diarios.**  
**Fuente: H&E**

A partir de la anterior figura elaborada para cada variable (Ver Anexo 2), se determinó el periodo de análisis para el presente estudio. En la Tabla 2 se presenta el periodo homogéneo seleccionado para cada variable.

**Tabla 2. Periodo de estudio homogéneo seleccionado**

| VARIABLE      | SIGLAS | TR    | AÑO INICIO | AÑO FINAL | TOTAL, AÑOS |
|---------------|--------|-------|------------|-----------|-------------|
| Precipitación | PT45   | TOTAL | 1990       | 2019      | 29          |
| Caudales      | QL15   | MEDIO | 1990       | 2017      | 29          |

**Fuente: H&E**

En el Anexo 2 se presenta un resumen del número de registros disponible y el porcentaje de datos faltantes en cada serie cruda para la serie disponible y para el periodo seleccionado.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |  |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA.</b><br><b>ESTUDIO HIDROLÓGICO</b><br><div> <div>MOSQUERA, CUNDINAMARCA</div> <div>Elaborado<br/>02/11/2020</div> <div>Versión:<br/>1</div> </div> |  |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------|

## 5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMETRICA

### 5.1. PRECIPITACIÓN

La precipitación se puede definir como el resultado sólido (en forma de granizo o nieve) o líquido (en forma de lluvia) de la condensación del vapor de agua que es liberado por el aire o por las nubes cuando llegan a un punto de saturación. Este producto se deposita en el suelo y produce diferentes fenómenos como la infiltración o la escorrentía. Posteriormente, el ciclo hidrológico continúa y el agua vuelve a la atmosfera por procesos de evaporación y transpiración. Este es uno de los parámetros de clima más definitivo, debido a que es el controlador principal del ciclo hidrológico, así como de la naturaleza del paisaje y del uso del suelo.

#### 5.1.1. Precipitación Total

Para el análisis de la Precipitación Total se contó con 8 estaciones con registros para el periodo 1990-2016. A nivel anual, el promedio de las 8 estaciones disponibles es de 844.7 mm, con un valor máximo de 1564.8 mm reportado en la estación de LA ESPERANZA (21206470) y un valor mínimo de 510.6 mm reportado en la estación de BASE AEREA MADRID (21205770). El promedio mensual más bajo es de 12.4mm y se presenta en el mes de enero para la estación de BASE AEREA MADRID (21205770), mientras que el promedio mensual más alto es de 207.3mm que se presenta en el mes de noviembre en la estación de LA ESPERANZA (21206470). Las mayores variaciones de la variable a lo largo del año se presentan en la estación LA ESPERANZA (21206470) con un valor de 1516.55 mm, mientras que las menores variaciones se presentan en la estación BASE AEREA MADRID (21205770) con un valor de 498.21mm. En la Tabla 3 se presenta la Precipitación Total mensual promedio multianual.

**Tabla 3. Precipitación Total mensual promedio multianual [1990-2016]**

| ESTACIÓN                     | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT   | NOV   | DIC   | YEAR   |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|
| LA UNION-EL ROSAL (21200550) | 38.3  | 57.2  | 82.0  | 109.0 | 101.5 | 60.3 | 46.8 | 48.3 | 73.8 | 121.8 | 95.0  | 61.2  | 895.2  |
| TESORO-VERTIENTES (21200690) | 30.2  | 52.4  | 81.9  | 88.7  | 91.8  | 74.9 | 54.7 | 59.0 | 79.4 | 103.1 | 84.0  | 50.3  | 850.4  |
| EL CORAZON (21201070)        | 41.1  | 63.4  | 92.9  | 100.0 | 89.6  | 53.7 | 42.5 | 49.6 | 55.5 | 110.5 | 106.9 | 52.4  | 858.1  |
| BASE AEREA MADRID (21205770) | 12.4  | 24.7  | 36.9  | 66.3  | 68.6  | 44.0 | 32.3 | 32.0 | 39.6 | 72.2  | 58.0  | 23.6  | 510.6  |
| VILLA INES (21205940)        | 34.6  | 47.1  | 70.9  | 90.4  | 79.5  | 41.4 | 33.1 | 32.6 | 40.1 | 92.3  | 90.7  | 48.1  | 700.9  |
| TACHI (21205960)             | 19.4  | 33.8  | 52.9  | 71.5  | 67.2  | 40.8 | 36.8 | 41.6 | 42.7 | 68.6  | 66.4  | 33.0  | 574.8  |
| VENECIA (21206290)           | 46.4  | 57.5  | 83.3  | 83.6  | 76.0  | 49.3 | 43.1 | 39.8 | 59.2 | 100.0 | 103.5 | 60.9  | 802.5  |
| LA ESPERANZA (21206470)      | 108.7 | 120.3 | 153.3 | 187.0 | 168.2 | 82.5 | 48.3 | 65.2 | 93.9 | 194.5 | 207.3 | 135.7 | 1564.8 |

**Fuente: H&E**

La variación temporal de la Precipitación Total se presenta en la Figura 6 mostrando un régimen bimodal típico de la zona andina con dos periodos de altas precipitaciones en el año.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

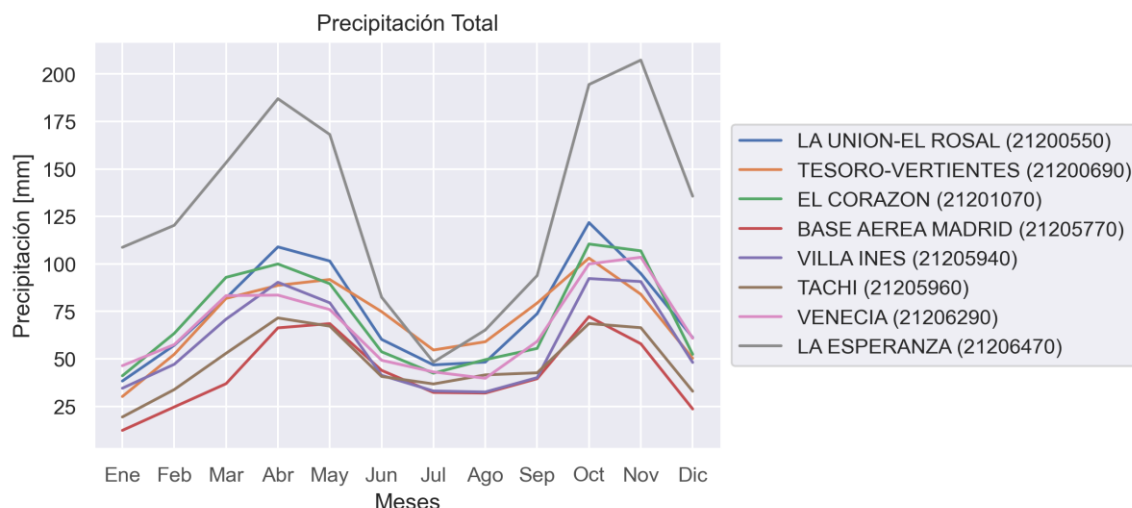


**Figura 6. Variación temporal de la Precipitación Total mensual promedio multianual [1990-2016].**

**Fuente: H&E**

#### **5.1.1.1. Variación Espacial de la precipitación total anual**

Con el fin de especializar la variación espacial de la precipitación, se interpoló la precipitación total anual sobre el área de estudio, se elaboró un mapa de Isoyetas de precipitación total anual usando registros disponibles.

La metodología de interpolación fue por el método Kriging el cual se basa en combinaciones lineales de los valores conocidos (en este caso, los valores de intensidad en las estaciones seleccionadas) para predecir valores desconocidos en el área de estudio (en este caso, los valores de cada nodo de la grilla). La siguiente expresión define esta combinación lineal en forma más clara, y constituye la ecuación básica del método.

$$V_o = \sum_{i=1}^n W_i * V_i$$

En donde:

- V<sub>o</sub>** = valor de la intensidad en un nodo de la grilla
- V<sub>i</sub>** = valor de la intensidad en la estación i
- W<sub>i</sub>** = peso (o porcentaje) asignado al valor de la estación i

Esta expresión es esencialmente igual a la empleada en cualquier otro método de interpolación (por ejemplo, el método “inverso de la distancia”); la diferencia que presenta el método Kriging como método de interpolación con relación a estos otros métodos, es básicamente la forma de asignar los pesos. En el método Kriging esta asignación se basa en la estructura de correlación espacial de los datos, y no se reduce a la implementación

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

de funciones arbitrarias de la distancia, como en el caso de otros métodos. Por esta razón, el método Kriging es considerado como el método de interpolación espacial más acertado. La Figura 7 muestra las isoyetas de precipitación total anual promedio multianual.

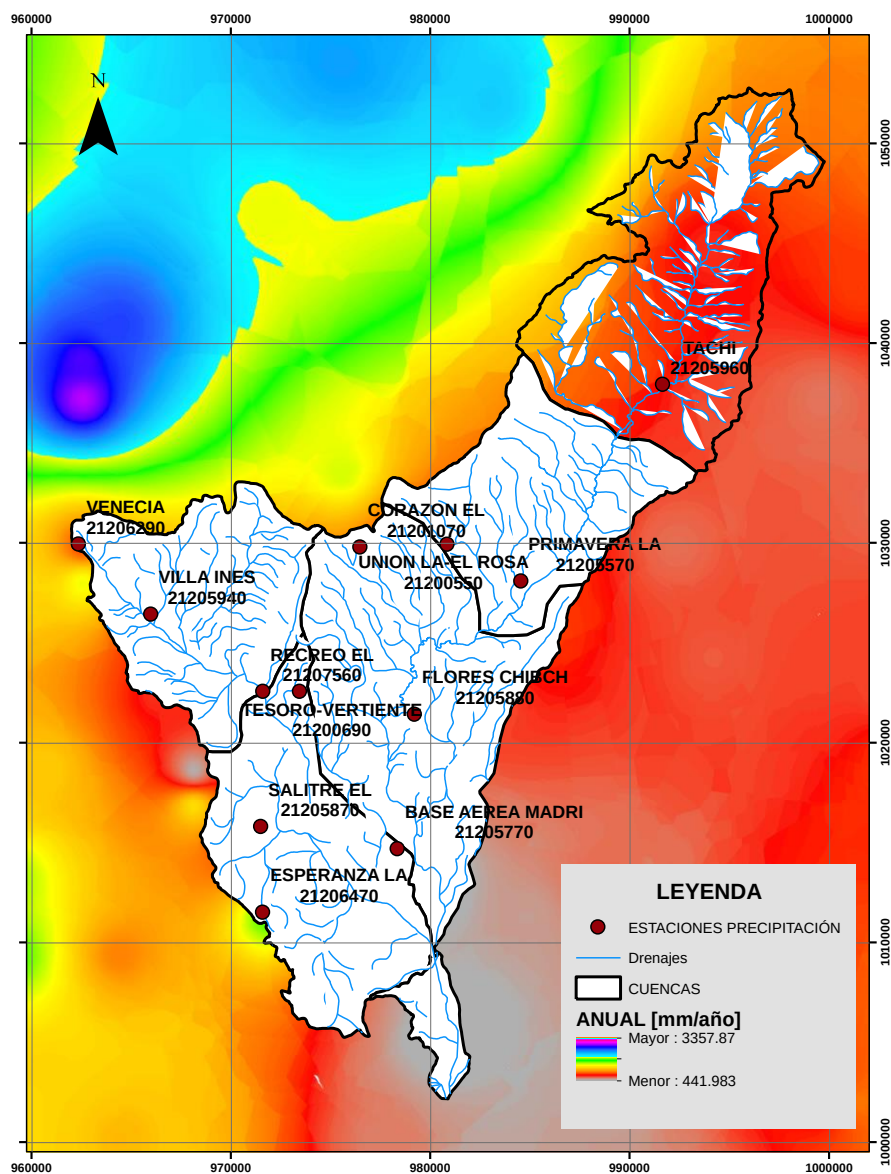


**Figura 7. Isoyetas del área de estudio.**  
**Fuente: H&E**

De acuerdo al mapa de Isoyetas elaborado, sobre la cuenca del río Balsillas, el promedio de lluvias anual tiene un valor medio de 846.3 mm/año y oscila entre 579.7 mm/año a 972.4 mm/año.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

### 5.1.2. Precipitación Máxima en 24 horas

Para el análisis de la Precipitación Máxima en 24 horas se contó con 8 estaciones con registros para el periodo 1990-2016. A nivel anual, el promedio de las 8 estaciones disponibles es de 28.4 mm/día, con un valor máximo de 47.9 mm/día reportado en la estación de LA ESPERANZA (21206470) y un valor mínimo de 20.2 mm/día reportado en la estación de BASE AEREA MADRID (21205770). El promedio mensual más bajo es de 6.0 mm/día y se presenta en el mes de enero para la estación de BASE AEREA MADRID (21205770), mientras que el promedio mensual más alto es de 47.9 mm/día que se presenta en el mes de mayo en la estación de LA ESPERANZA (21206470). En la Tabla 4 se presenta la Precipitación Máxima en 24 horas mensual promedio multianual.

**Tabla 4. Precipitación Máxima en 24 horas mensual promedio multianual [1990-2016].**

| ESTACIÓN                     | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  | YEAR |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| LA UNION-EL ROSAL (21200550) | 14.1 | 19.5 | 23.7 | 22.4 | 24.0 | 18.6 | 16.7 | 16.5 | 20.2 | 29.0 | 23.6 | 19.6 | 29.0 |
| TESORO-VERTIENTES (21200690) | 12.9 | 15.5 | 23.1 | 20.0 | 21.8 | 20.0 | 18.0 | 17.9 | 20.6 | 21.8 | 21.4 | 17.0 | 23.1 |
| EL CORAZON (21201070)        | 15.3 | 23.1 | 29.9 | 26.5 | 22.7 | 17.2 | 13.8 | 15.4 | 16.9 | 24.6 | 27.1 | 18.0 | 29.9 |
| BASE AEREA MADRID (21205770) | 6.0  | 10.5 | 12.8 | 20.2 | 17.2 | 12.8 | 10.8 | 10.8 | 13.3 | 18.0 | 16.4 | 10.3 | 20.2 |
| VILLA INES (21205940)        | 15.0 | 18.2 | 22.3 | 25.2 | 19.1 | 12.8 | 13.6 | 12.7 | 13.8 | 25.3 | 24.5 | 17.0 | 25.3 |
| TACHI (21205960)             | 10.3 | 17.0 | 20.2 | 23.9 | 23.2 | 15.3 | 12.9 | 16.3 | 18.1 | 24.9 | 22.3 | 17.4 | 24.9 |
| VENECIA (21206290)           | 16.7 | 20.1 | 23.5 | 21.6 | 21.6 | 14.0 | 15.8 | 13.3 | 20.1 | 25.7 | 26.9 | 20.7 | 26.9 |
| LA ESPERANZA (21206470)      | 35.2 | 35.0 | 40.1 | 43.9 | 47.9 | 30.1 | 19.7 | 26.4 | 33.1 | 42.0 | 44.2 | 36.4 | 47.9 |

Fuente: H&E

La variación temporal de la Precipitación Máxima en 24 horas se presenta en la Figura 8.

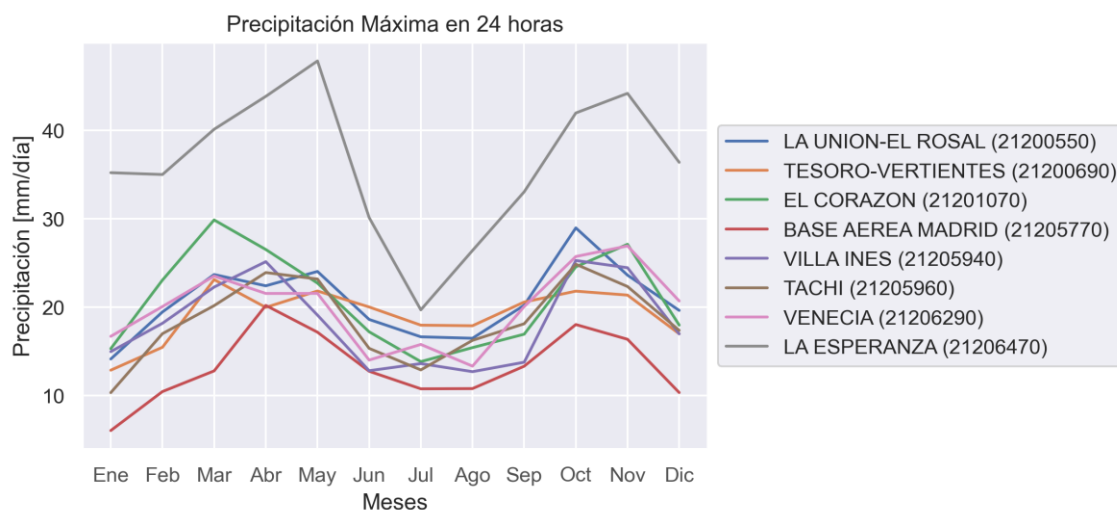


**Figura 8. Variación temporal de la Precipitación Máxima en 24 horas mensual promedio multianual [1990-2016]**

Fuente: H&E

### 5.1.3. Curvas De Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)

Se construyeron curvas de intensidad, frecuencia y duración IDF para cada una de las estaciones analizadas que cuentan con registros de precipitación. Estas curvas resultan de

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA.</b><br><b>ESTUDIO HIDROLÓGICO</b><br><b>MOSQUERA, CUNDINAMARCA</b><br><b>Elaborado 02/11/2020</b><br><b>Versión: 1</b> |  |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------|

unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno (Temez, 1978). Mediante la construcción de las curvas IDF es posible calcular la intensidad de las tormentas en diferentes duraciones y en varios periodos de retorno. Para su cálculo se utilizó la precipitación máxima en 24 horas anual promedio multianual. Para la obtención de las curvas IDF se utilizó el método propuesto para Colombia por (Vargas & Díaz Grandos, 1998) específicamente para la región Caribe Colombiano, los cuales estuvieron basados en los trabajos de Kothyari y Garde y Bell, estableciendo diferentes ecuaciones que se ajustan al comportamiento de las 5 regiones del país.

La ecuación utilizada corresponde a la ecuación (1) descrita a continuación:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d \quad (1)$$

Donde:

I = Intensidad

T= tiempo de retorno (años)

t= duración (horas)

M= valor máximo anual de precipitación diaria (mm)

a,b,c,d= coeficientes

Los coeficientes a, b, c y d son producto de las investigaciones del mismo estudio y están generalizados para las diferentes regiones de Colombia, para el caso de este estudio, se utilizan los coeficientes de la región andina.

**Tabla 5. Coeficientes del método de Vargas y Díaz-granados (1998).**

| Coeficientes Región Andina |      |
|----------------------------|------|
| a                          | 0,94 |
| b                          | 0,18 |
| c                          | 0,66 |
| d                          | 0,83 |

**Fuente: H&E**

A modo de ejemplo, en la Tabla 6 se presentan los resultados de los valores de intensidades de lluvia para varias duraciones de tormenta y periodo de retorno determinados para la estación Base Aérea Madrid y en la Figura 9 muestran dichas curvas. En el Anexo 3 se presentan los resultados para cada una de las estaciones que registran precipitación.

**Tabla 6. Intensidad de precipitación [mm/hora] según periodo de retorno y duración estación: base aérea.**

| DURACIÓN | PERIODO DE RETORNO [AÑOS] |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
|----------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|          | 2                         | 2.33 | 4    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 50    | 100   | 250   | 500   |
| 10       | 60.0                      | 61.6 | 67.9 | 70.7 | 80.1 | 86.2 | 90.7 | 94.5 | 97.6 | 107.0 | 121.2 | 143.0 | 162.0 |
| 20       | 37.9                      | 39.0 | 43.0 | 44.7 | 50.7 | 54.5 | 57.4 | 59.8 | 61.8 | 67.7  | 76.7  | 90.5  | 102.5 |
| 30       | 29.0                      | 29.8 | 32.9 | 34.2 | 38.8 | 41.7 | 43.9 | 45.7 | 47.3 | 51.8  | 58.7  | 69.2  | 78.4  |
| 40       | 24.0                      | 24.7 | 27.2 | 28.3 | 32.1 | 34.5 | 36.3 | 37.8 | 39.1 | 42.9  | 48.6  | 57.3  | 64.9  |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 50  | 20.7 | 21.3 | 23.5 | 24.4 | 27.7 | 29.8 | 31.4 | 32.7 | 33.7 | 37.0 | 41.9 | 49.4 | 56.0 |
| 60  | 18.4 | 18.9 | 20.8 | 21.7 | 24.6 | 26.4 | 27.8 | 29.0 | 29.9 | 32.8 | 37.2 | 43.8 | 49.6 |
| 70  | 16.6 | 17.1 | 18.8 | 19.6 | 22.2 | 23.9 | 25.1 | 26.2 | 27.0 | 29.6 | 33.6 | 39.6 | 44.8 |
| 80  | 15.2 | 15.6 | 17.2 | 17.9 | 20.3 | 21.8 | 23.0 | 23.9 | 24.7 | 27.1 | 30.7 | 36.2 | 41.1 |
| 90  | 14.1 | 14.5 | 15.9 | 16.6 | 18.8 | 20.2 | 21.3 | 22.2 | 22.9 | 25.1 | 28.4 | 33.5 | 38.0 |
| 100 | 13.1 | 13.5 | 14.9 | 15.5 | 17.5 | 18.9 | 19.9 | 20.7 | 21.4 | 23.4 | 26.5 | 31.3 | 35.4 |
| 110 | 12.3 | 12.7 | 14.0 | 14.5 | 16.5 | 17.7 | 18.6 | 19.4 | 20.1 | 22.0 | 24.9 | 29.4 | 33.3 |
| 120 | 11.6 | 12.0 | 13.2 | 13.7 | 15.5 | 16.7 | 17.6 | 18.3 | 18.9 | 20.8 | 23.5 | 27.7 | 31.4 |

Fuente: H&E

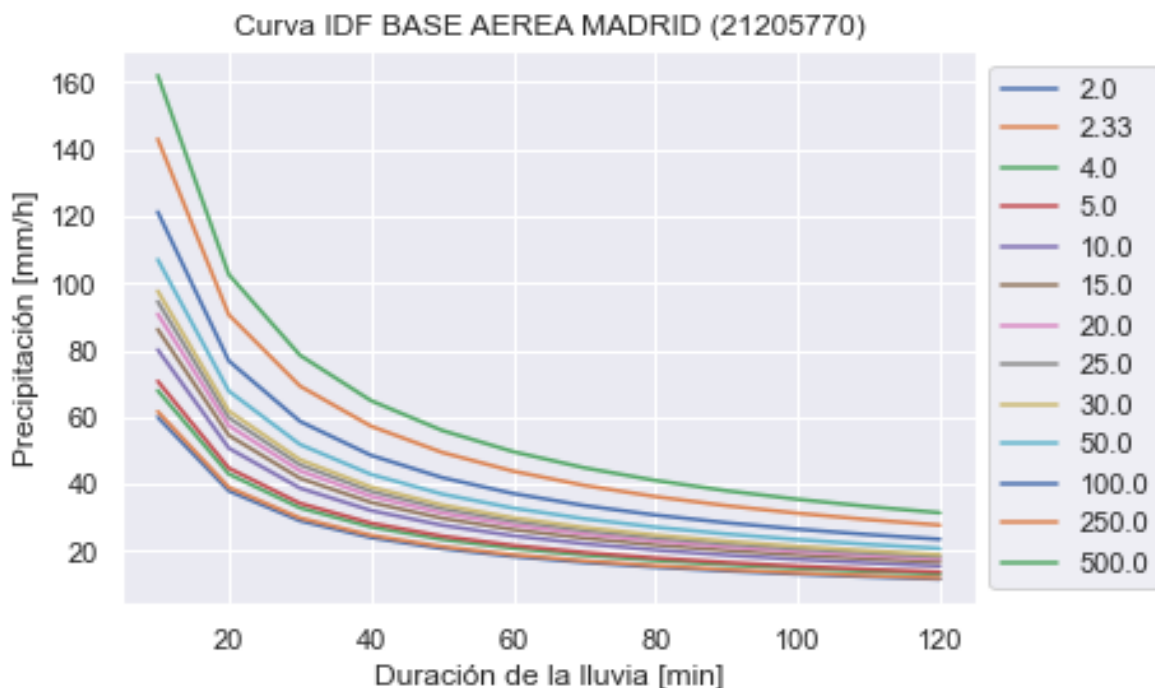


Figura 9. Curvas Intensidad Duración y Frecuencia para la estación Base Aérea Madrid.

Fuente: H&E

#### 5.1.4. Determinación de la lluvia de diseño

La tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de lámina de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta.

Una vez obtenidas las curvas IDF se elaboran hietogramas para los periodos de retorno propuesto en este 100 años, por medio del método del bloque alterno, el cual consiste en especificar la profundidad de precipitación que ocurre en  $n$  intervalos de tiempo sucesivos  $\Delta t$ , sobre una duración de  $T_d = n\Delta t$ , después de seleccionar el periodo de diseño, la intensidad es leída en una curva IDF para cada una de las ecuaciones  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ ,....., y

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencias entre valores de precipitación se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo  $\Delta t$ , estos momentos o bloques se ordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida  $T_d$ , y los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño.

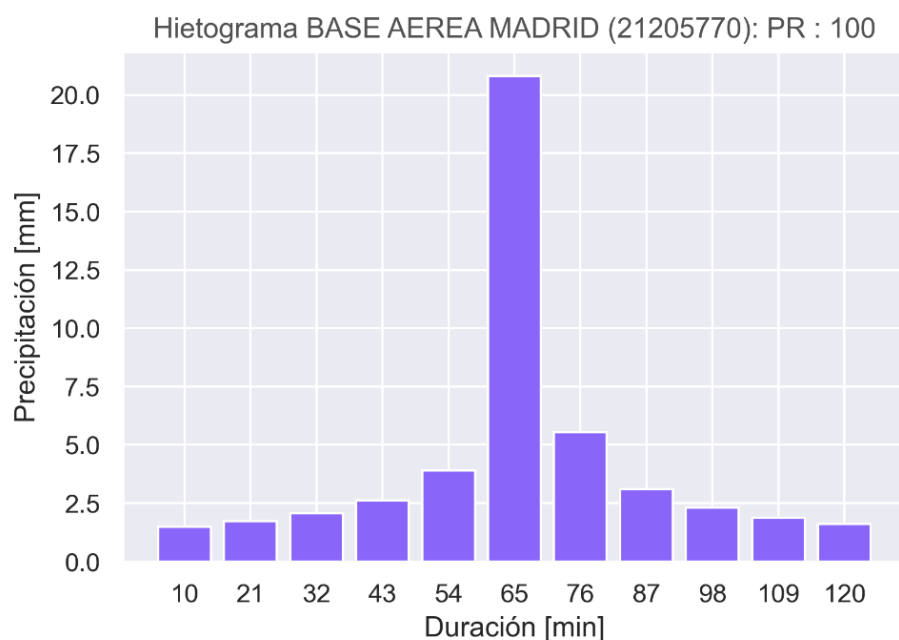


**Figura 10. Hietograma de diseño.**  
**Fuente: H&E**

## 5.2. CAUDAL MEDIO MENSUAL

Para el análisis del Caudal medio en la cuenca del río Balsillas se contó con 3 estaciones con registros para el periodo 1990-2016. A nivel anual, el promedio de las 3 estaciones disponibles es de  $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ , con un valor máximo de  $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$  reportado en la estación de PTE MANRIQUE (21208000) y un valor mínimo de  $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$  reportado en la estación de EL RECREO (21207560). El promedio mensual más bajo es de  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$  y se presenta en el mes de agosto para la estación de EL RECREO (21207560), mientras que el promedio mensual más alto es de  $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$  que se presenta en el mes de noviembre en la estación de PTE MANRIQUE (21208000). En la Tabla 7 se presenta la Caudal media mensual promedio multianual.

**Tabla 7. Caudal media mensual promedio multianual [1990-2016]**

| ESTACIÓN                | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | YEAR |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| EL RECREO (21207560)    | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 1.1 | 0.8 | 0.6  |
| PTE MANRIQUE (21208000) | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 1.5 | 1.9 | 1.2 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 1.5 | 2.4 | 1.4 | 1.1  |
| EL BOSQUE (21208450)    | 0.4 | 0.3 | 0.6 | 1.3 | 1.7 | 1.0 | 0.7 | 0.5 | 0.6 | 1.4 | 1.9 | 1.2 | 1.0  |

**Fuente: H&E**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

La variación temporal del Caudal medio mensual se presenta en la Figura 11 observándose un régimen bimodal con dos periodos de altos caudales y dos periodos de bajos caudales.

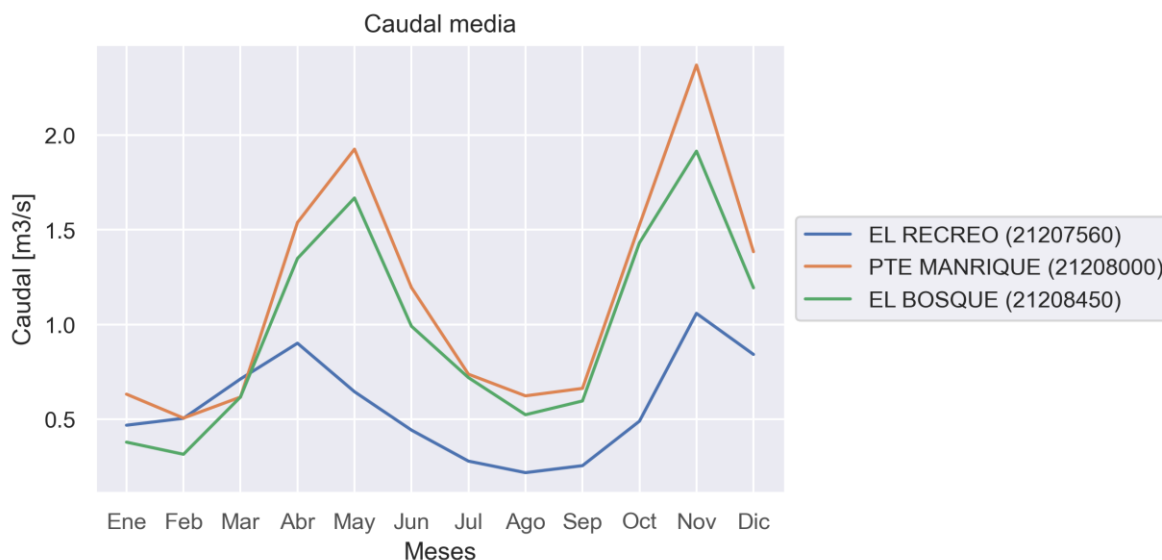


**Figura 11. Variación temporal de la Caudal media mensual promedio multianual [1990-2016]**  
Fuente: H&E

En la estación PTE MANRIQUE (21208000), para el periodo 1990-2016 el promedio anual es de 1.1 m³/s, siendo el valor mínimo de 0.5 m³/s que presenta en el mes de febrero, y el valor más alto de 2.4 m³/s que se presenta en el mes de noviembre. En la estación EL BOSQUE (21208450), para el mismo periodo. El promedio anual es de 1.0 m³/s, siendo el valor mínimo de 0.3 m³/s que presenta en el mes de febrero, y el valor más alto de 1.9 m³/s que se presenta en el mes de noviembre.

### 5.3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE CAUDALES MÁXIMOS

Se analizaron los caudales máximos instantáneos anuales de las estaciones Limnimétrica El Recreo, el Bosque y Manrique localizadas en la parte alta de la cuenca del río Bojacá, la primera y en la cuenca del río Subacho las segundas dos, con el fin de calcular esta variable para diferentes periodos de retorno.

Los datos históricos fueron ajustados a las distribuciones probabilísticas Normal, Gumbel, Pearson tipo III, Log – Pearson tipo III, Log-Normal y EV3. Adicionalmente, se llevó a cabo la prueba estadística de Chi Cuadrado, la cual evalúa la distribución que mejor se ajusta a los datos históricos (Ver Figura 12).

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

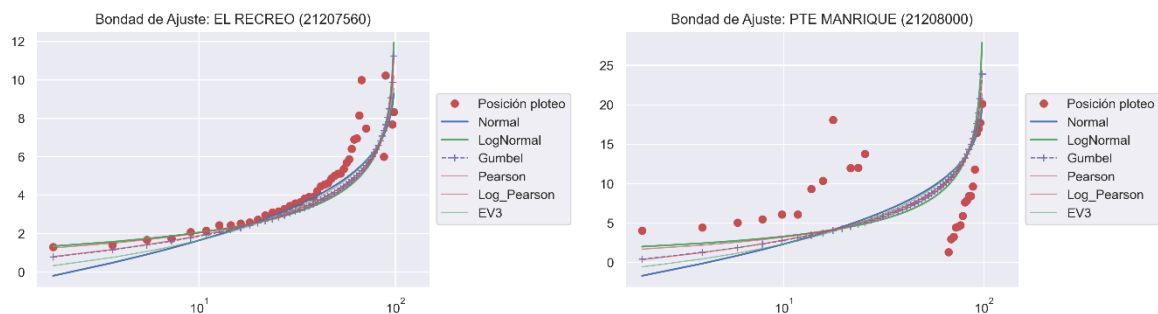


**Figura 12. Prueba de Bonda de Ajuste.**

Para este análisis se tomaron los registros de la estación desde el año 1990 hasta el año 2019.

**Tabla 8. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno.**

| ESTACIÓN            | 2   | 4    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 50   | 100  | 250  | 500  |
|---------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>EL RECREO</b>    | 4.0 | 5.7  | 6.2  | 7.8  | 8.8  | 9.5  | 10.0 | 10.4 | 11.7 | 13.5 | 16.0 | 18.0 |
| <b>PTE MANRIQUE</b> | 7.5 | 11.5 | 12.8 | 16.9 | 19.5 | 21.4 | 22.9 | 24.1 | 27.7 | 33.0 | 40.6 | 46.9 |
| <b>EL BOSQUE</b>    | 4.9 | 8.5  | 9.8  | 14.0 | 16.8 | 18.9 | 20.6 | 22.0 | 26.4 | 32.9 | 43.0 | 51.7 |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

## 6. ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS A LA ALTURA DEL PROYECTO

En este capítulo se presenta la estimación de los caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno a la altura de la unión del río Subachoque y río Bojacá.

Los caudales máximos servirán como insumo para el diseño hidráulico DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA.

Teniendo en cuenta que la cuenca en estudio no se encuentra instrumentada en su totalidad, para realizar una estimación directa de los caudales máximos, se propone realizar una estimación de estos a partir del método del Soil Conservation Service debido a que la cuenca tiene un área de drenaje mayor a 2,5 km<sup>2</sup>.

Para la estimación de la amenaza por inundación en el municipio, se estimaron caudales máximos para las principales corrientes en el municipio. La metodología utilizada para la generación de los caudales máximos está basada en el concepto de la Curva Numero desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

<sup>1</sup>El método Soil se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso del mismo y de su cubierta vegetal. A partir de la representación de la precipitación (P) y precipitación efectiva (Pe) se obtuvo una familia de curvas que fueron estandarizadas para definir un número adimensional de curvas NC, que varía de 1 a 100 según sea el grado de escurrimiento directo. El NC igual a 1 indica que toda la lluvia infiltra y un NC de 100 representa el escurrimiento total de la precipitación. Los números de curva se aplican para diferentes condiciones de humedad antecedente, siendo la condición II la que corresponde a humedad media del suelo. Si en el momento de producirse la precipitación el suelo se encuentra saturado de acuerdo con lluvias precedentes en el período de 5 días anteriores, se supone un aumento de la escorrentía (condición III); por el contrario, si el suelo está seco la infiltración será predominante (condición I).

La Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR en Convenio con la universidad de Pamplona elaboró la actualización y complementación de la oferta hídrica superficial para cuencas hasta quinto orden para la jurisdicción de la Car, dicho estudio genero para los suelos de la jurisdicción los valores de la curva número, <sup>2</sup>la determinación del complejo de suelo hidrológico se establece en términos de dos variables principales: (i) el tipo de suelo mediante el cual se fijan las condiciones de infiltración sub superficial incidente en la escorrentía superficial en forma directa y por tanto la condición hidrológica del suelo se ajusta a los conceptos de tipo agrológico. (ii) la cobertura vegetal, según la cual las plantas

<sup>1</sup> Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina 2003

<sup>2</sup> Actualización y complementación de la oferta hídrica superficial para cuencas hasta quinto orden para la jurisdicción de la Car Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR - universidad de Pamplona

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

también ejercen una fuerte influencia en la escorrentía directa no solamente en su interpretación hipotética de un coeficiente de escorrentía sino también en la capacidad de planta para absorber agua en los periodos húmedos. Esta interacción permite determinar en forma empírica una primera aproximación al valor del CN para las condiciones hidrológicas promedio a nivel local.

Tomando como base este estudio se tomaron valores ponderados de la curva número para condiciones húmedas en la cuenca con valores cercanos a 80, se presenta el mapa de curvas número para Cundinamarca enfocado a la cuenca estudiada.

Por otro lado se efectuó el análisis de los tipos de suelo existentes en la cuenca con base a la cartografía IGAC tipos de suelo escala 1:25.000, dicho análisis arroja que la microcuenca presentan suelos tipo B es decir son Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderada y suelos con infiltración lenta cuando es encuentran muy húmedos.

## 6.1. ESTIMACIÓN DE CAUDALES – MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO SCS

Los hidrogramas unitarios se utilizan para estimar el caudal que se tendrá en un punto sobre la corriente a la salida de una cuenca, con base en la lluvia que se presente en dicha cuenca para un período de retorno dado.

El hidrograma unitario utilizado fue el hidrograma adimensional del Soil Conservation Service, en el cual el caudal en un tiempo  $t$ , se expresa por la relación entre dicho caudal ( $q$ ), con respecto al caudal pico ( $q_p$ ), y el tiempo se expresa por la relación entre dicho tiempo ( $t$ ), con respecto al tiempo de ocurrencia del caudal pico en el hidrograma unitario o tiempo de retardo ( $T_p$ ). Conocidos los valores de caudal pico y tiempo de retardo el hidrograma unitario puede estimarse a partir del hidrograma sintético adimensional del SCS.

### 6.1.1. Hidrograma adimensional del SCS

El hidrograma unitario adimensional del Soil Conservation Service, es un hidrograma sintético que fue desarrollado con base en el estudio de un gran número de hidrogramas unitarios naturales en un amplio rango de tamaños de cuencas y sitios geográficos.

En este hidrograma unitario el caudal se expresa por la relación del caudal  $q$  con respecto al caudal pico  $q_p$  y el tiempo por la relación del tiempo  $t$  con respecto al tiempo de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario,  $T_p$ . Conocidos los valores de caudal pico y tiempo de retardo el hidrograma unitario puede estimarse a partir del hidrograma sintético adimensional del SCS, el cual se presenta en la Figura 13 y cuyos valores se presentan en el Tabla 9.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

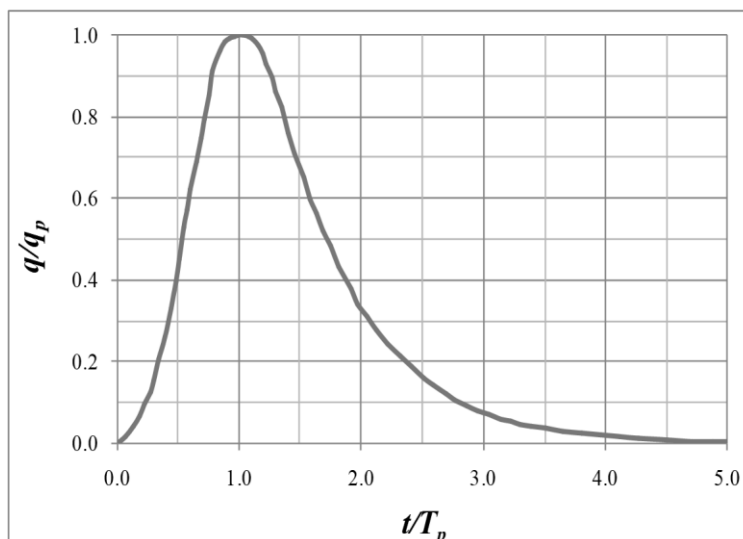


**Figura 13. Representación Hidrograma adimensional del Soil Conservation Service (SCS).  
Fuente (Chow, Maidment, & Mays, 1988)**

**Tabla 9. Valores Hidrograma adimensional del Soil Conservation Service (SCS)**

| $t/T_p$ | $q/q_p$ |
|---------|---------|
| 0,0     | 0,00    |
| 0,2     | 0,10    |
| 0,4     | 0,31    |
| 0,6     | 0,66    |
| 0,8     | 0,93    |
| 1,0     | 1,00    |
| 1,2     | 0,93    |
| 1,4     | 0,78    |
| 1,6     | 0,56    |
| 1,8     | 0,39    |
| 2,0     | 0,28    |
| 2,2     | 0,207   |
| 2,4     | 0,147   |
| 2,6     | 0,107   |
| 2,8     | 0,077   |
| 3,0     | 0,055   |
| 3,2     | 0,040   |
| 3,4     | 0,029   |
| 3,6     | 0,021   |
| 3,8     | 0,015   |
| 4,0     | 0,011   |
| 4,2     | 0,010   |
| 4,4     | 0,007   |
| 4,6     | 0,003   |
| 4,8     | 0,0015  |
| 5,0     | 0,000   |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

El caudal pico está dado por la siguiente expresión:

$$q_p = \frac{0,208 * A}{T_p}$$

Donde,

$q_p$ = Caudal pico del hidrograma unitario para 1 mm de precipitación efectiva, (m<sup>3</sup>/s)

$A$ = Área de drenaje hasta el sitio de interés, (km<sup>2</sup>)

$T_p$ = Tiempo al pico, (h)

Por otra parte, el tiempo al pico está dado por la siguiente formulación:

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p$$

$$t_p \approx 0,6 * T_c$$

Donde,

$T_p$ = Tiempo al pico, (h)

$t_r$ = Duración de la lluvia efectiva, (h)

$t_p$ = Tiempo de retardo de la cuenca, (h)

$T_c$ = Tiempo de concentración, (h)

Finalmente, una vez encontrado el valor del caudal pico y del tiempo al pico, puede utilizarse para encontrar el hidrograma de escorrentía directa y de caudal, para lo cual se selecciona un hidrograma de lluvia, se calculan las abstracciones y se calcula el hidrograma de exceso de lluvia.

### 6.1.2. Precipitación efectiva

La precipitación efectiva es la precipitación que se convierte en escorrentía directa, por lo tanto, es importante calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha.

El método implementado se denomina “Número de Curva”, propuesto por el SCS; en este método, la profundidad de escorrentía (es decir, la profundidad efectiva de precipitación) es una función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, denominado número de curva o CN. El número de curva varía en un rango de 1 a 100, existiendo una función de las siguientes propiedades productoras de escorrentía de la hoya hidrográfica: i) tipo de suelo hidrológico, ii) utilización y tratamiento del suelo, iii) condiciones de la superficie del terreno, y (iv) condición de humedad antecedente del suelo (INVIAS, 2009).

La cobertura del suelo seleccionado se presenta en la Tabla 10 y el tipo de suelo presenta características de drenaje adecuadas, se presentan los CN para áreas urbanas. AMC II e Ia=0,2S. El valor de CN para cada condición de humedad antecedente es propio de cada cuenca y se obtiene con base en el tipo de suelo y la condición hidrológica que es un indicador de la cobertura vegetal y de la capacidad de infiltración del suelo.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

**Tabla 10. Número de Curva de Escorrentía para áreas urbanas. AMC II e  $I_a=0,2S$**

| Descripción del uso de la tierra                                   |                                                | Grupo Hidrológico del Suelo |    |    |    |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|----|----|----|
|                                                                    |                                                | A                           | B  | C  | D  |
| Tierra cultivada:                                                  | sin tratamiento de conservación                | 72                          | 81 | 88 | 91 |
|                                                                    | con tratamiento de conservación                | 62                          | 71 | 78 | 81 |
| Pastizales:                                                        | condiciones pobres                             | 68                          | 79 | 86 | 89 |
|                                                                    | condiciones óptimas                            | 39                          | 61 | 74 | 80 |
| Vegas de ríos:                                                     | condiciones óptimas                            | 30                          | 58 | 71 | 78 |
| Bosques:                                                           | trocos delgados, cubiertas pobres, sin hierbas | 45                          | 66 | 77 | 83 |
|                                                                    | cubierta buena                                 | 25                          | 55 | 70 | 77 |
| Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. |                                                |                             |    |    |    |
| Óptimas condiciones:                                               | cubierta de pasto en el 75% o más              | 39                          | 61 | 74 | 80 |
| Condiciones aceptables:                                            | cubierta de pasto en el 50 al 75%              | 49                          | 69 | 79 | 84 |
| Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)                   |                                                | 89                          | 92 | 94 | 95 |
| Distritos industriales (72% impermeables)                          |                                                | 81                          | 88 | 91 | 93 |
| Residencial:                                                       |                                                |                             |    |    |    |
| Tamaño promedio del lote                                           | Porcentaje promedio impermeable                |                             |    |    |    |
| 1/8 acre o menos                                                   | 65                                             | 77                          | 85 | 90 | 92 |
| 1/4 acre                                                           | 38                                             | 61                          | 75 | 83 | 87 |
| 1/3 acre                                                           | 30                                             | 57                          | 72 | 81 | 86 |
| 1/2 acre                                                           | 25                                             | 54                          | 70 | 80 | 85 |
| 1 acre                                                             | 20                                             | 51                          | 68 | 79 | 84 |
| Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.                   |                                                | 98                          | 98 | 98 | 98 |
| Calles y carreteras:                                               |                                                |                             |    |    |    |
| Pavimentados con cunetas y alcantarillados                         |                                                | 98                          | 98 | 98 | 98 |
| grava                                                              |                                                | 76                          | 85 | 89 | 91 |
| tierra                                                             |                                                | 72                          | 82 | 87 | 89 |

El método del servicio de conservación de suelos de la curva número involucra la determinación del valor de la curva número que tiene el dominio en valores desde 0 a 100 y es función de la textura, la cobertura, tipo de tratamiento superficial que éste presente, de su condición hidrológica y los antecedentes de humedad del suelo que pueda relacionarse con la precipitación en los 5 días anteriores (Ver Figura 14). Entre menor sea el número de curva, más bajo es el potencial de escorrentía.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

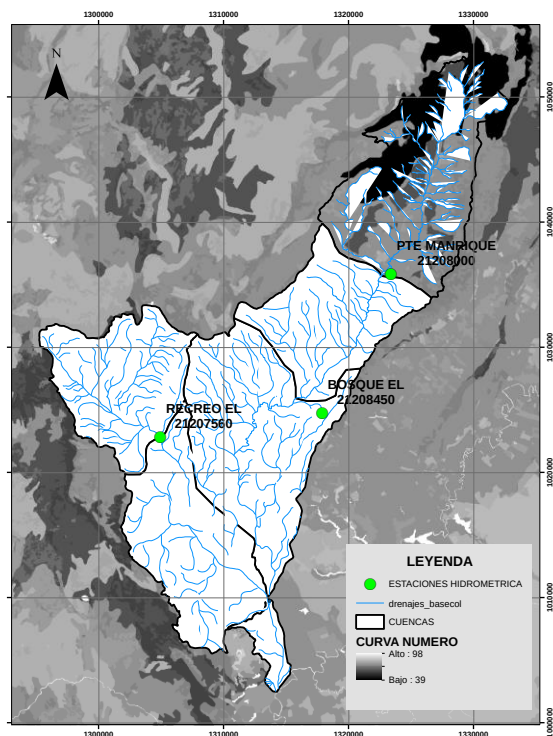


**Figura 14. Mapa de cn EN LA CUENCA del RÍO BALSILLAS.**

**Fuente: H&E**

De acuerdo con el anterior mapa, a continuación, en el Tabla 11 se presenta el número de curva asignado.

**Tabla 11. Número de Curva Subcuencas analizadas.**

| NOMBRE     | Ac    | CN   |
|------------|-------|------|
| Subachoque | 249.1 | 76.8 |
| Recreo     | 99.4  | 72.3 |
| Río Bojacá | 115.8 | 78.2 |
| Balsillas  | 14.0  | 79.8 |
| Manrique   | 148.3 | 65.2 |

**Fuente: H&E**

La profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa  $P_e$  es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación  $P$ ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca  $F_a$  es menor o igual a alguna retención potencial máxima  $S$ . Existe una cierta cantidad de precipitación  $I_a$  (abstracción inicial antes del encharcamiento) para lo cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es  $P-I_a$ , en la Figura 15 se muestra la representación gráfica de estas variables.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

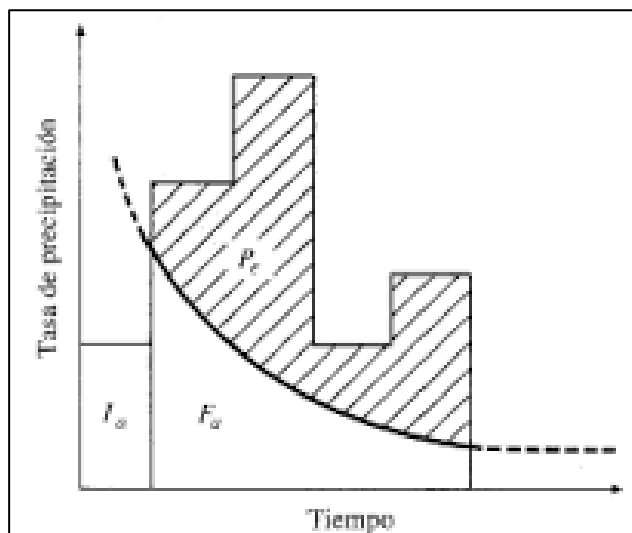


**Figura 15. Representación gráfica del cálculo de abstracciones del SCS.**  
Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1988)

La hipótesis del método del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Donde,

$F_a$ = Abstracción continuada  
 $S$ = Retención potencial máxima  
 $P_e$ = Exceso de precipitación  
 $P$ = Precipitación  
 $I_a$ = Abstracción inicial

Del principio de continuidad:

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Y por lo tanto al combinar las dos ecuaciones se obtiene:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Por definición la abstracción inicial es:

$$I_a = 0,2S$$

Por lo tanto:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

El uso de esta metodología requiere de la determinación del valor del Número de Curva CN, correspondiente al área en estudio.

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Donde S está dado en pulgadas.

### 6.1.3. Modelo hidrológico implementado para la estimación de caudales máximos

El sistema de modelación hidrológica HEC – HMS fue desarrollado por El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, y es una evolución del modelo HEC-1 desarrollado por el mismo ente. Es un modelo de simulación de evento único de Lluvia-Escorrentía. Tiene la capacidad de simular eventos históricos, eventos en tiempo real o tormentas generadas en forma sintética.

El programa está conformado por una interfaz gráfica, componentes integrados de análisis hidrológico, almacenamiento de datos, herramientas de manejo, ayudas gráficas y reportes. En su desarrollo se utilizó una combinación de los lenguajes de programación C, C++ y FORTRAN. El motor de cálculo y la interfaz gráfica de usuario están escritos en el lenguaje orientado a objetos C++. Los algoritmos correspondientes a las rutinas de modelación hidrológica fueron desarrollados en FORTRAN<sup>3</sup>

Este modelo permite efectuar el modelo lluvia escorrentía mediante diferente metodologías de transformación, estimación de pérdidas, determinación de flujo base, tránsitos de flujo entre otros.

Para este caso en particular se han seleccionado como método de estimación de perdidas, el de la curva número SCS, como método de transformación se ha optado por el del hidrograma unitario de SCS, como se ha toma toda la cuenca desde su nacimiento no asignaremos valor al flujo base. A continuación se presentan los valores asumidos para el modelo y las imágenes con los resultados arrojados por el modelo para cada uno de los escenarios propuestos en las quebradas.

### 6.1.4. Topología del modelo

La Figura 16 muestra la topología usada para la estimación de caudales máximos para las cuencas del municipio. Se dividió estas el área de estudio en áreas más pequeñas para determinar caudales máximos que consideren la variación espacial de los suelos, cobertura vegetal, uso del suelo y pendientes.

<sup>3</sup> U.S. Army Corps of Engineers. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS. User's Manual*, 2001, p.9

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |  |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA.</b><br><b>ESTUDIO HIDROLÓGICO</b><br><div> <div>MOSQUERA, CUNDINAMARCA</div> <div>Elaborado<br/>02/11/2020</div> <div>Versión:<br/>1</div> </div> |  |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------|

Con los parámetros morfológicos e hidrológicos obtenidos y evaluados para cada drenaje se estructuro el modelo correspondiente en Hec Hms, en donde se generaron las hidrógrafas para los periodos de retorno entre 2.33, 25, 50 y 100 años.

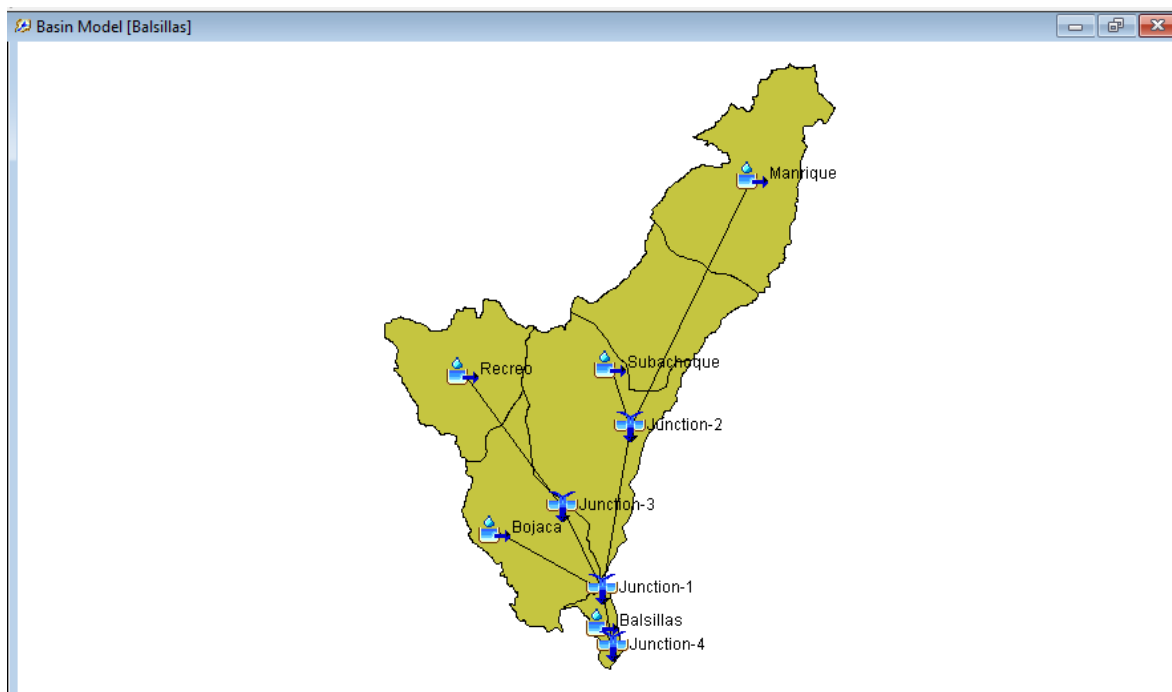


**Figura 16. Topología del modelo HMS implementado.**  
Fuente: H&E

## 6.2. MORFOMETRÍA DE CUENCAS Y TIEMPO DE REZAGO

Las índices morfométricas de cada una de las áreas aferentes identificadas en las cuencas del municipio, como: área, longitud del cauce principal, longitud de la cuenca, pendiente del cauce principal, se calcularon con base en la información del Modelo Digital de Elevación (MDE) generado a partir de productos obtenidos por agencias internacionales por medio de las misiones satelitales como la ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) y la SRTM (*Shuttle Radar Topography Misión*), que ofrecen productos gratuitos con resoluciones de 30 [m]; el MDE utilizado fue generado por la misión ASTER de la Nasa con una resolución de pixel de 30x30 [m] y corregido por alturas con la misión SRTM 90x90 [m]; sobre esta información se trazó la cuenca aferente para el punto evaluado, utilizando herramientas SIG.

**A partir de la información morfométrica, se determina el tiempo de rezago que corresponde al tiempo comprendido entre el centroide del histograma de precipitación efectiva y el pico del hidrograma de escorrentía directa correspondiente. En la**

Tabla 12 se presenta los resultados de los índices morfométricos requeridos para la estimación de caudales máximos.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA.</b><br><b>ESTUDIO HIDROLÓGICO</b><br><b>MOSQUERA, CUNDINAMARCA</b><br><b>Elaborado 02/11/2020</b><br><b>Versión: 1</b> |  |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------|

**Tabla 12. Morfometría usada en modelo hms.**

| NOMBRE     | Ac    | Pc   | Lx   | Lcp  | Hmax   | Hmed   | Hmin   | Smed | Tlag  | Tc    |
|------------|-------|------|------|------|--------|--------|--------|------|-------|-------|
| Subachoque | 249.1 | 83.5 | 30.5 | 37.7 | 3187.0 | 2635.0 | 2511.0 | 10.2 | 111.0 | 185.1 |
| Recreo     | 99.4  | 48.3 | 14.0 | 13.0 | 3258.0 | 2737.3 | 2559.0 | 19.4 | 35.9  | 59.9  |
| Bojacá     | 115.8 | 56.9 | 20.5 | 17.3 | 2903.0 | 2600.0 | 2528.0 | 13.3 | 62.9  | 104.9 |
| Balsillas  | 14.0  | 21.8 | 7.4  | 7.1  | 2859.0 | 2625.8 | 2533.0 | 19.1 | 18.8  | 31.4  |
| Manrique   | 148.3 | 67.1 | 19.7 | 13.2 | 3732.0 | 2991.6 | 2611.0 | 22.2 | 41.2  | 68.7  |

### 6.2.1. Calibración del modelo con caudales reales

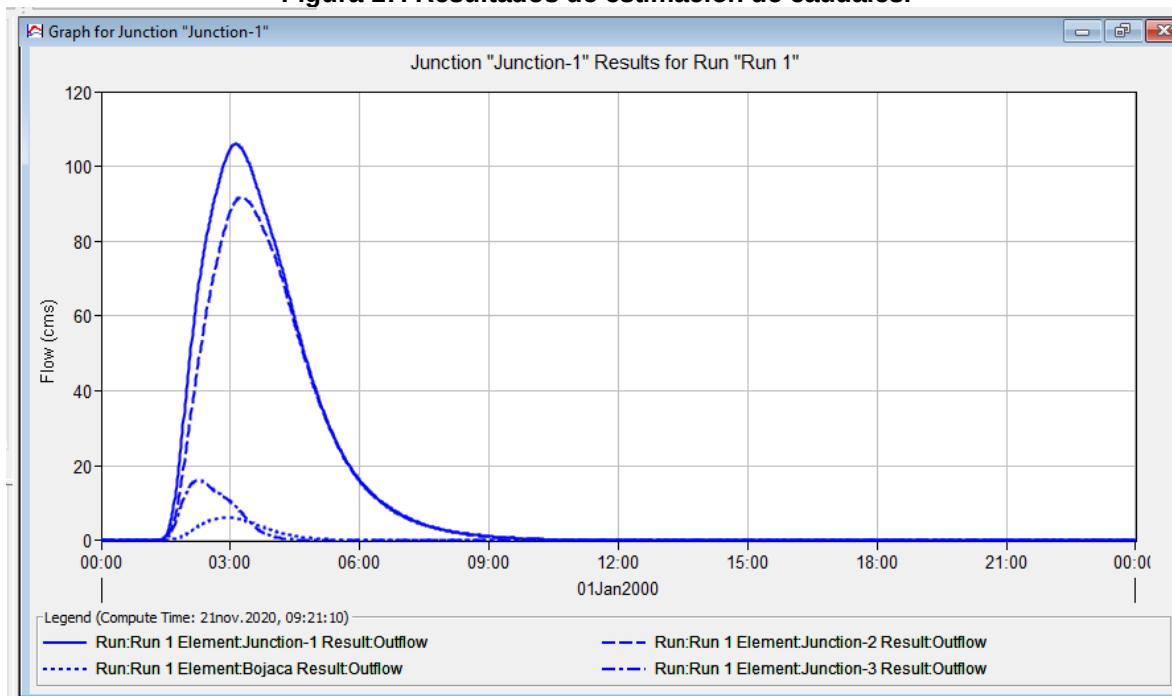
Al implementar la modelación en HEC-HMS, las variables de entradas (con excepción del área de la cuenca) se ven afectadas debido a las suposiciones previamente establecidas y a las metodologías con las que se obtienen dichos parámetros, por lo que es necesario someterlo a pruebas de calibración y validación de los datos involucrados. Mediante un análisis de caudales de la estación Manrique, el Bosque y el Recreo, se dispone de datos históricos con los que se busca calibrar el modelo. La metodología que se llevó a cabo consta de los siguientes pasos:

1. Ejecución del modelo para un periodo histórico de caudales registrados en la cuenca de análisis.
2. Comparación de los caudales máximos de salida con los máximos estimados para las estaciones disponibles.
3. Afinar los parámetros de entrada como lo es el tiempo de concentración y la curva número hasta obtener caudales cercanos a los registrados mediante la optimización.

### 6.2.2. Resultados obtenidos en la estimación de Caudales máximos instantáneos

A partir de la aplicación de la metodología antes presentada, y con la ayuda del modelo hidrológico HEC-HMS que se presenta en el Anexo 4, se obtuvieron caudales máximos esperados para diferentes periodos de retorno a la altura del punto de interés que corresponde al inicio del río Balsillas que resulta de la unión del río Subachoque y el río Bojacá (Ver Figura 17). En la Tabla 13 se presenta los caudales estimados para cada subcuenca modelada para periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años.

**Figura 17. Resultados de estimación de caudales.**



**Fuente: H&E**

**Tabla 13. Caudales máximos estimados para diferentes periodos de retorno.**

| CUENCA        | PERIODO DE RETORNO [AÑOS] |      |      |      |
|---------------|---------------------------|------|------|------|
|               | 100                       | 50   | 25   | 2.33 |
| RÍO BALSILLAS | 106.0                     | 74.9 | 51.8 | 11.8 |

**Fuente: H&E**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

## 7. CONCLUSIONES

El cauce del río Balsillas tiene pendientes del cauce muy bajas que generan flujos muy bajos por lo cual no existe estación de medición y las estimaciones de caudales máximos varían considerablemente dependiendo el método y supuestos que se realicen.

Con base en el modelo del Soil Conservation Service, calibrado con información de caudales máximos de las estaciones Manrique y el Recreo, se estimaron caudales máximos asociados a periodos de retorno de 2.33 25, 50 y 100 años con valores de 11.8 m<sup>3</sup>/s, 51.8,0 m<sup>3</sup>/s, y 74.9 m<sup>3</sup>/s 106 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA. |                         |               |  |
|                                                                                   | ESTUDIO HIDROLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                 |                         |               |                                                                                     |
|                                                                                   | MOSQUERA, CUNDINAMARCA                                                                                                                                                                                                                              | Elaborado<br>02/11/2020 | Versión:<br>1 |                                                                                     |

## 8. ANEXOS Y BIBLIOGRAFIA

### 8.1. ANEXOS

ANEXO 1. INVENTARIO DE INFORMACIÓN HIDROCLIMATICA.

ANEXO 2. ANÁLISIS DE CALIDAD DE SERIES DE TIEMPO HIDROMETRICAS.

ANEXO 3. ANÁLISIS DE CALIDAD DE SERIES DE TIEMPO HIDROMETRICAS.

ANEXO 4. ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS ESTACIONES DISPONIBLES.

ANEXO 5. MODELO HEC-HMS.

### 8.2. BIBLIOGRAFIA

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. (1988). *Hidrología Aplicada* (1ª edición ed.). (J. Saldarriaga, Trad.) New York: McGraw-Hill.

IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá.

INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. Bogotá.

Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería* (2ª edición ed.). Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.