



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 25 de septiembre del 2017

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Heider Fernando Losada Losada \_\_\_\_\_, con C.C. No. 1075252824 de Neiva \_\_\_\_\_,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o \_\_\_\_\_

titulado Modelación Hidrológica Del Efecto Del Cambio De Uso Del Suelo En Tres Escenarios Sobre La Cuenca Del Río Baché

presentado y aprobado en el año 2017 como requisito para optar al título de

Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Firma: \_\_\_\_\_



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Modelación hidrológica del efecto del cambio de uso del suelo en tres escenarios sobre la cuenca del Río Baché.

**AUTOR O AUTORES:**

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| Losada Losada              | Heider Fernando          |

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| Popayán Hernández          | Juan Guillermo           |
| Arévalo Hernández          | Jhon Jairo               |

**ASESOR (ES):**

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| Popayán Hernández          | Juan Guillermo           |
| Arévalo Hernández          | Jhon Jairo               |

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental

**CIUDAD:** Neiva

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2017

**NÚMERO DE PÁGINAS:** 107

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Vigilada mieducación



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

|               |                     |                |          |                 |             |               |               |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|
| <b>CÓDIGO</b> | <b>AP-BIB-FO-07</b> | <b>VERSIÓN</b> | <b>1</b> | <b>VIGENCIA</b> | <b>2014</b> | <b>PÁGINA</b> | <b>2 de 4</b> |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|

Diagramas  Fotografías \_\_\_ Grabaciones en discos \_\_\_ Ilustraciones en general  Grabados \_\_\_ Láminas \_\_\_  
Litografías \_\_\_ Mapas  Música impresa \_\_\_ Planos \_\_\_ Retratos \_\_\_ Sin ilustraciones \_\_\_ Tablas o Cuadros

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

| <u>Español</u>                   | <u>Inglés</u>                | <u>Español</u> | <u>Inglés</u> |
|----------------------------------|------------------------------|----------------|---------------|
| 1. <u>Modelación Hidrológica</u> | <u>Modeling Hydrological</u> | 6. _____       | _____         |
| 2. <u>Cuenca Río Baché</u>       | <u>Baché river basin</u>     | 7. _____       | _____         |
| 3. <u>Uso del Suelo</u>          | <u>Land Use</u>              | 8. _____       | _____         |
| 4. <u>Precipitación.</u>         | <u>Precipitation</u>         | 9. _____       | _____         |
| 5. <u>Esorrentía</u>             | <u>Runoff</u>                | 10. _____      | _____         |

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

En este trabajo, se comparó los cambios de la esorrentía directa por efecto de cambios de usos/coberturas de suelo sobre la cuenca del Río Baché del departamento del Huila, mediante el modelo HC-HMS 4.1 y SIG ArcView 10.3, las imágenes satelitales son derivadas de los satélites Landsat 4, 7 y 8 con una escala 1:100.000, y una resolución de 30 metros. Se realizaron la digitación del Modelo Digital de Elevación (MDE) de la cuenca, el mapa de suelos y mapas de usos/coberturas para tres escenarios (1995, 2005 y 2015). Los resultados del modelo en el escenario 1995, mostraron que la cobertura de suelo de bosques nativo es del 44,23% frente a l área dedicada a la producción agropecuaria del 55,76%, su producción de caudal fue de 897 m<sup>3</sup>/s y la conductividad hidráulica es de 1,93 mm/h; para el escenario 2005 el caudal fue de 1110,76m<sup>3</sup>/s, siendo elevado, la amplitud de la producción agropecuaria con el 60,33% frente al 39,67% de bosques nativos y una conductividad hidráulica de 1,74 mm/h y en el escenario 2015 el resultado fue de 1612m<sup>3</sup>/s, siendo muy elevado, la producción agropecuaria con el 70,12 % frente al 29,88% de bosques nativos y



|        |              |         |   |          |      |        |        |
|--------|--------------|---------|---|----------|------|--------|--------|
| CÓDIGO | AP-BIB-FO-07 | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA | 3 de 4 |
|--------|--------------|---------|---|----------|------|--------|--------|

su conductividad hidráulica de 1.54 mm/h, lo que indica que la mayor parte de los cambios se produjeron sobre suelos Andisoles e Inceptisoles que ocupan el 49.8% de la superficie total de la Cuenca y se desarrollan en zonas adyacentes a la red de drenaje natural.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

In this work, we compared the direct runoff changes due to land use / cover changes over the Baché River basin in the department of Huila, using the HC-HMS 4.1 and SIG ArcView 10.3 model, satellite images are derived of the Landsat 4, 7 and 8 satellites with a scale of 1: 100.000, and a resolution of 30 meters. Digitization of the Digital Elevation Model (MDE) of the basin, soil map and use / cover maps for three scenarios (1995, 2005 and 2015). The results of the model in the 1995 scenario showed that the native forest land cover is 44.23% compared to the area devoted to agricultural production of 55.76%, its production of flow was 897 m<sup>3</sup>/s and conductivity hydraulic is 1.93 mm / h; for the 2005 scenario, the flow rate was 1110.76 m<sup>3</sup>/s, with the amplitude of agricultural production being 60.33%, compared to 39.67% for native forests and a hydraulic conductivity of 1.74 mm/h in the 2015 scenario resulted in 1612 m<sup>3</sup>/s, being very high, agricultural production with 70.12% compared to 29.88% of native forests and its hydraulic conductivity of 1.54 mm/h, indicating that most of the changes occurred on soils Andisols and Inceptisols that occupy 49.8% of the total area of the Basin and are developed in areas adjacent to the natural drainage network.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado: Armando Torrente Trujillo

Firma:

Nombre Jurado: Armando Torrente Trujillo

Firma:



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

|               |                     |                |          |                 |             |               |               |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|
| <b>CÓDIGO</b> | <b>AP-BIB-FO-07</b> | <b>VERSIÓN</b> | <b>1</b> | <b>VIGENCIA</b> | <b>2014</b> | <b>PÁGINA</b> | <b>4 de 4</b> |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|

Nombre Jurado: Jaime Izquierdo Bautista

Firma:



**Modelación hidrológica del efecto del cambio de uso del suelo en tres escenarios  
sobre la cuenca del Río Baché**

**Heider Fernando Losada Losada  
Ingeniero Agrícola**

**Universidad Surcolombiana  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental  
Neiva – Huila  
2017**



**Modelación hidrológica del efecto del cambio de uso del suelo en tres escenarios  
sobre la cuenca del Río Baché**

Heider Fernando Losada Losada

Ingeniero Agrícola

Proyecto de grado para optar el título de  
Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental

Director

Juan Guillermo Popayán Hernández

Ing. Ambiental. M.Sc.

Universidad Surcolombiana  
Facultad De Ingeniería  
Programa de Ingeniería Agrícola  
Neiva – Huila

2017



Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Director de investigación

---

M.Sc. Juan Guillermo Popayán Hernández

Coodirector de investigación

---

M.Sc. Jhon Jairo Arevalo

Jurados

---

M.Sc. Jaime Izquierdo Bautista

---

Ph.D. Armando Torrente Trujillo

Fecha XXXXXX

## Dedicatoria

*Quiero dedicarle este trabajo a Dios, quien que me ha dado la vida y fortaleza para llevar a feliz término la presente investigación.*

*A mis Padres por estar ahí cuando más los necesite; en especial a mi madre por su ayuda y constante cooperación.*

*A mi pareja por apoyarme en los momentos más difíciles.*

*A Juan Guillermo Popayán Hernández Ing. Ambiental. M.Sc., por su dirección y asesoría en el desarrollo de la investigación.*

*A Jhon Jairo Arévalo Ing. Agrícola. M.Sc., por su dirección y asesoría en el desarrollo de la investigación.*

*A Carlos Cáceres, Ingeniero Agrícola Esp., por su asesoría en el desarrollo de la investigación.*

*A los amigos y resto de familiares que de una u otra manera contribuyeron al logro tan importante propósito.*

## Tabla de contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....                                  | <b>5</b>  |
| <b>RESUMEN</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>12</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....                       | <b>15</b> |
| <b>2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....                    | <b>17</b> |
| <b>2.1. Objetivo general:</b> .....                              | <b>17</b> |
| <b>2.2. Objetivos específicos:</b> .....                         | <b>17</b> |
| <b>3. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....           | <b>18</b> |
| <b>3.1 Marco teórico</b> .....                                   | <b>18</b> |
| <b>3.2. Revisión bibliográfica</b> .....                         | <b>25</b> |
| <b>4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....                  | <b>30</b> |
| <b>4.1. Aspecto general recopilación de la información</b> ..... | <b>30</b> |
| <b>4.2. Descripción del área de estudio</b> .....                | <b>31</b> |
| 4.2.1 Localización.....  | 31        |
| 4.2.2. Red hidrográfica .....                                    | 32        |
| 4.2.3. Clima.....  | 34        |
| 4.2.4 Estaciones Meteorológicas .....                            | 35        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.2.5. Suelos.....   | 36        |
| <b>4.3. Modelo hec-hms .....</b>   | <b>40</b> |
| <b>4.4. Programa HEC HMS .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>5. RESULTADOS.....</b>  | <b>50</b> |
| <b>5.1. Implementación del modelo en distintos escenarios de usos/coberturas suelo .....</b> | <b>50</b> |
| 5.1.1. Mapas de usos/coberturas del suelo.....   | 53        |
| 5.1.2. Evaluación de los cambios de usos/coberturas del suelo entre escenarios .....         | 54        |
| <b>5.2. Calibración del modelo para distintos escenarios de usos/coberturas del suelo..</b>  | <b>58</b> |
| 5.2.1. Evento de abril de 1995 .....   | 60        |
| 5.2.2. Evento de octubre de 2005 .....   | 62        |
| 5.2.3. Evento de marzo de 2015 .....   | 65        |
| 5.2.4. Análisis de resultados .....  | 67        |
| <b>5.4. Programa HC-HMS .....</b>  | <b>68</b> |
| 5.4.1. Consideraciones generales.....  | 68        |
| 5.4.2. Tormenta sintética adoptada .....   | 69        |
| <b>6. CONCLUSIONES.....</b>  | <b>74</b> |
| <b>7. REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS.....</b>   | <b>76</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>  | <b>82</b> |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Diagrama del proceso de escurrimiento en una cuenca .....                 | 19 |
| Figura 2 Diagrama metodológico.....  | 30 |
| Figura 3 Localización Cuenca Río Baché .....                                       | 31 |
| Figura 4 Mapa de hidrografía de la cuenca del Río Baché .....                      | 32 |
| Figura 5 Clima de la cuenca del Río Baché .....                                    | 34 |
| Figura 6 Estaciones meteorológicas e hidrológicas de la cuenca del Río Baché ..... | 36 |
| Figura 7 Mapa de suelo de la cuenca del Río Baché.....                             | 37 |
| Figura 8 Esquema conceptual del modelo SMA .....                                   | 43 |
| Figura 9 Usos y cobertura del año 1995 en la Cuenca Río Baché .....                | 56 |
| Figura 10 Uso y cobertura del año 2005 en la Cuenca Río Baché.....                 | 57 |
| Figura 11 Usos y coberturas del escenario del año 2015 en la Cuenca Río Baché..... | 58 |
| Figura 12 Polígono de Thiessen escenario abril 1995.....                           | 60 |
| Figura 13 Isohietas para el escenario abril 1995 .....                             | 61 |
| Figura 14 Polígono de Thiessen escenario 2005 .....                                | 62 |
| Figura 15 Isohietas para el escenario octubre de 2005.....                         | 64 |
| Figura 16 Polígono de Thiessen del escenario de marzo 2015 .....                   | 65 |
| Figura 17 Isohietas para el escenario de marzo de 2015.....                        | 66 |
| Figura 18 Modelación del programa HC-HMS.....                                      | 69 |
| Figura 19 Modelación de la tormenta sintética para el año 1995.....                | 70 |
| Figura 20 Modelación de la tormenta sintética para el año 2005.....                | 71 |
| Figura 21 Modelación de la tormenta sintética para el año 2015.....                | 72 |

## Índice de imágenes

|  |    |
|--|----|
| Imagen 1 Almacenamiento y capas del modelo SMA ..... | 44 |
|--|----|

## Índice de graficas

|   |    |
|---|----|
| Grafica 1 Hidrograma observado y calculado para el escenario 1995 ..... | 61 |
| Grafica 2 Hidrograma observado y calculado para el escenario 2005 ..... | 63 |
| Grafica 3 Hidrograma observado y calculado para el escenario 2015 ..... | 67 |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 Parametrización hidrológica de la cuenca del Río Baché .....                 | 33 |
| Tabla 2 Estaciones meteorológicas de la cuenca del Río Baché.....                    | 35 |
| Tabla 3 Tipo de suelo de la cuenca Río Baché.....                                    | 38 |
| Tabla 4 Intercepción de agua por parte de la vegetación HEC-HMS .....                | 45 |
| Tabla 5 Almacenamiento máximo en depresiones del terreno.....                        | 46 |
| Tabla 6 Porosidad y conductividad hidráulica para distintos tipos de suelo.....      | 46 |
| Tabla 7 Almacenamiento máximo en la zona capilar en eventos observado .....          | 47 |
| Tabla 8 Infiltración máxima por tipo de suelo .....                                  | 47 |
| Tabla 9 Conductividad hidráulica de acuerdo a las características de filtración..... | 48 |
| Tabla 10 Parámetros de las tres tormentas estudiadas .....                           | 51 |
| Tabla 11 Parámetros modificados en el shapefile .....                                | 52 |
| Tabla 12 Valores de la tabla nalc_lut.dbf.....                                       | 53 |
| Tabla 13 Diagnóstico de usos y coberturas para el año de 1995.....                   | 55 |
| Tabla 14 Estaciones meteorológicas escenario abril de 1995, 2005 y 2015 .....        | 59 |
| Tabla 15 Valores medios de la cuenca del Río Baché .....                             | 68 |
| Tabla 16 Parámetros de relación P-ET.....  | 70 |
| Tabla 17 Coeficiente de nasch sutcliffe .....  | 72 |
| Tabla 18 parámetro de $R^2$ para los escenarios 1995. 2005. 2015.....                | 73 |



## Resumen

En este trabajo, se comparó los cambios de la escorrentía directa por efecto de cambios de usos/coberturas de suelo sobre la cuenca del Río Baché del departamento del Huila, mediante el modelo HC-HMS 4.1 y SIG ArcView 10.3, las imágenes satelitales son derivadas de los satélites Landsat 4, 7 y 8 con una escala 1:100.000, y una resolución de 30 metros. Se realizaron la digitación del Modelo Digital de Elevación (MDE) de la cuenca, el mapa de suelos y mapas de usos/coberturas para tres escenarios (1995, 2005 y 2015). Los resultados del modelo en el escenario 1995, mostraron que la cobertura de suelo de bosques nativo es del 44,23% frente a la área dedicada a la producción agropecuaria del 55,76%, su producción de caudal fue de 897 m<sup>3</sup>/s y la conductividad hidráulica es de 1,93 mm/h; para el escenario 2005 el caudal fue de 1110,76m<sup>3</sup>/s, siendo elevado, la amplitud de la producción agropecuaria con el 60,33% frente al 39,67% de bosques nativos y una conductividad hidráulica de 1,74 mm/h y en el escenario 2015 el resultado fue de 1612m<sup>3</sup>/s, siendo muy elevado, la producción agropecuaria con el 70,12 % frente al 29,88% de bosques nativos y su conductividad hidráulica de 1.54 mm/h, lo que indica que la mayor parte de los cambios se produjeron sobre suelos Andisoles e Inceptisoles que ocupan el 49.8% de la superficie total de la Cuenca y se desarrollan en zonas adyacentes a la red de drenaje natural.

**Palabras clave:** Modelación Hidrológica; Cuenca Río Baché; Uso del Suelo; Precipitación Escorrentía.

## Abstract

In this work, we compared the direct runoff changes due to land use / cover changes over the Baché River basin in the department of Huila, using the HC-HMS 4.1 and SIG ArcView 10.3 model, satellite images are derived of the Landsat 4, 7 and 8 satellites with a scale of 1: 100.000, and a resolution of 30 meters. Digitization of the Digital Elevation Model (MDE) of the basin, soil map and use / cover maps for three scenarios (1995, 2005 and 2015). The results of the model in the 1995 scenario showed that the native forest land cover is 44.23% compared to the area devoted to agricultural production of 55.76%, its production of flow was 897 m<sup>3</sup>/s and conductivity hydraulic is 1.93 mm / h; for the 2005 scenario, the flow rate was 1110.76 m<sup>3</sup>/s, with the amplitude of agricultural production being 60.33%, compared to 39.67% for native forests and a hydraulic conductivity of 1.74 mm/h in the 2015 scenario resulted in 1612 m<sup>3</sup>/s, being very high, agricultural production with 70.12% compared to 29.88% of native forests and its hydraulic conductivity of 1.54 mm/h, indicating that most of the changes occurred on soils Andisols and Inceptisols that occupy 49.8% of the total area of the Basin and are developed in areas adjacent to the natural drainage network.

**Keywords:** Modeling Hydrological; Baché river basin; Land Use; Precipitation - Runoff.

## **Introducción**

El uso intensivo de los recursos naturales ha desencadenado el deterioro de los ecosistemas estratégicos por el afán de producir productos alimenticios, sin tener en cuenta la sostenibilidad de los tres ejes principales de la vida que son suelo, agua y aire. Con el ánimo de intentar frenar el cambio climático, la FAO, ONU, y ONG han puesto en marcha el programa “Recursos naturales y gobernanza de los bosques, las tierras y el agua”, este programa evita la degradación de los recursos naturales en todo América desde el año 2005 siendo de gran importancia la reforestación de 5 millones de árboles nativos de las zonas de mayor impacto hídrico de América del sur en los países de Perú, Brasil, Colombia y Ecuador. En Colombia la ONU 2015, en su programa de desarrollo sostenible declaro el periodo 2010 – 2020 “Decenio de las Naciones Unidas para los Desiertos y la Lucha Contra la Desertificación”, y la FAO 2007, con sus programas de Evaluación de la degradación de tierras como LADA, GLASOD, y redes informales de instituciones como WOCAT, ISRIC, que han generado 800 hectáreas de reforestación en los departamentos del Huila, Cauca , Choco, Nariño y Caquetá por lo cual estas técnicas estimulan que los ecosistemas estratégicos se mantengan desde la variabilidad del cambio climático.

Es así como entendiendo las tendencias mundiales de conservación del suelo y sabiendo que es el sustento de la vida terrestre y uno de los principales impulsores de esta; se confirma que este recurso se encuentra amenazado por el acelerado cambio climático produciendo desbalances hídricos que repercuten en el régimen hídrico de los suelos, esto sumado al cambio de uso y mal manejo de los suelos que le ha dado el hombre, han ocasionado una precipitada degradación química, biológica y física. Y es esta última, la que se aprecia con más preocupación en los suelos pues se manifiesta a través de problemas de compactación, sellado, encostrado, escorrentía, erosión hídrica y eólica, movimientos de masa, entre otros, que en los suelos agrícolas se maximiza debido a un mal manejo de pendientes, uso de una labranza agresiva e intensiva, deficiente cubierta vegetal, uso diferente al su potencial, entre otras (CAM, CENIGAA, TNC, IDEAM, 2015).

Los efectos negativos se reflejan cuando el agricultor percibe que la producción empieza a disminuir y su suelo es transportado fácilmente por el agua y el viento. Se da en la tarea a emplear técnicas en los sistemas de manejo de las tierras y su utilización en los sistemas agrícola o pecuario, siendo una herramienta que sirve para conocer si un área determinada está siendo utilizada en forma racional o no (Naranjo et al, 1990). Es significativo resaltar que, en el caso del Huila, las proyecciones del (IDEAM et al, 2015) muestran un incremento de 2°C en la temperatura media para el año 2040, que puede elevarse aún más con las nuevas proyecciones mundiales, así como una disminución de 30% en suelo apto para la agricultura. Para hacer frente a las consecuencias del cambio climático, en el futuro las soluciones serán económicamente mucho más costosas y técnicamente más complejas con lo cual varias generaciones de huilenses invertirán su tiempo y sus recursos económicos en temas de reconstrucción, reasentamiento y restauración, en lugar de invertirlos en desarrollo, competitividad y sostenibilidad para el departamento. (Gobernación del Huila et al, 2014). De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (2014), El departamento del Huila cuenta con una demanda hídrica variable con subcuencas hidrográficas que proporcionan en promedio una oferta hídrica máxima de 555 m<sup>3</sup>/s y una oferta mínima de 215 m<sup>3</sup>/s, lo cual constituye el caudal de agua que la cuenca aporta al Río Magdalena. La oferta hídrica en condiciones secas indica una situación más crítica para algunos municipios del departamento del Huila ya que cuentan con poco recurso hídrico. (CAM, CENIGAA, TNC, IDEAM, 2015).

Lo anterior refleja la crisis del departamento del Huila de acuerdo con la oferta del recurso hídrico, las preocupaciones de la comunidad frente a la calidad del mismo y la necesidad innegable de realizar un proceso de planificación frente a fenómenos extremos de variabilidad climática e implementar estrategias sostenibles del uso del agua las cuales son cada vez más apremiantes para los planificadores del uso del recurso hídrico. La modelación hidrológica adquiere una enorme relevancia en el proceso de planificación en virtud de los grandes desafíos en el manejo y conservación del recurso hídrico a que se enfrenta el Gobierno Nacional.

En la presente investigación, la modelación hidrológica de la cuenca del río Baché, es llevada a cabo con la herramienta HC-HMS 4.1, la cual está enfocada a la planificación de los recursos hídricos con el objeto de determinar la oferta hídrica para los escenarios en los años 1995, 2005 y 2015, el cambio de la cobertura del suelo en la cuenca del Río Baché.

## **1. Planteamiento del problema**

La creciente demanda del recurso hídrico a nivel mundial, así como la reducción de los caudales en ríos con sus graves consecuencias para usuarios y ecosistemas estratégicos, la sobre explotación de acuíferos a tasas superiores a la reposición natural, los problemas de contaminación y degradación de la calidad de las aguas, las dificultades de acceso al recurso para satisfacer necesidades básicas de un alto porcentaje de la población genera una autodestrucción de los recursos vitales de la esencia de la vida (Oberthür et al., 2011). La región andina no se escapa de estos problemas aunque cuenta con abundantes recursos hídricos especialmente en los países de Colombia, Perú y Ecuador, en los últimos años se ha venido limitando hasta notarse en un 30% de déficit hídrico en los caudales de las afluentes hídricas (Torres-Bejarano et al,2015) de acuerdo a la conjunción de los recursos subterráneos y los superficiales logran crear una distribución geográfica en la zona andina una riqueza de recursos hídricos potenciales muy equilibrada en cuanto al sistema útil de la vida del agua. (Toledo et al, 2012). Esto acorde a la información que maneja el IDEAM 2015, que pronostica que el departamento del Huila para el siglo XXI será uno de los departamentos que presentaría las mayores reducciones de precipitación, con cerca del 15% con respecto a la climatología 1971-2000. Además de la zona Andina, el departamento tendrá un cambio notable en la transición de clima semi húmedo a clima semiárido, lo cual genera un cambio bioclimático de la zona (Arango et al, 2010).

Un recurso hídrico importante en la región sur andina y específicamente en el departamento del Huila es la Cuenca del Río Baché siendo el afluente hídrico de mayor importancia para el desarrollo económico y social del departamento del Huila ya que abarca una extensión de 153.452,52 hectáreas de los municipios Aipe, Neiva, Palermo, Santa María y Teruel, presenta un déficit hídrico del 20%, 30% deforestación y 15% de la extensión agrícola de la cuenca del Río Baché.(Londoño, Cleef et al, 2014) .

Estos desafíos demandan con urgencia estrategias que permitan resolver las numerosas tareas pendientes en cuanto a la utilización de los recursos hídricos y los suelos aptos para la agricultura, por lo cual el problema surge de la necesidad de conocer cuáles son los aportes de los diferentes afluentes que llegan al río principal de la Cuenca de Río Baché, así como también la necesidad de conocer la variabilidad de los usos de suelo y los tipos de coberturas existentes.

## **2. Objetivos de la investigación**

### **2.1.Objetivo general:**

Comparar los cambios de la escorrentía directa por efecto de cambios de usos/coberturas de suelo sobre la cuenca del Río Baché.

### **2.2.Objetivos específicos:**

Realizar una aplicación del modelo HEC-HMS 4.1 a la cuenca del Río Baché, mediante la adaptación de parámetros hidrológicos, suelos y de usos / coberturas a las condiciones de la cuenca.

Cuantificar los efectos de cambios de usos/coberturas del suelo sobre la escorrentía directa en la cuenca del Río Baché, para tres escenarios (1995, 2005 y 2015) de usos/coberturas del suelo registrados en la cuenca.

### **3. Marco teórico y revisión bibliográfica**

#### **3.1 Marco teórico**

##### **3.1.1. Modelación hidrológica.**

La modelación hidrológica es representación conceptual de una parte del ciclo hidrológico. Los modelos hidrológicos utilizan bases físicas y métodos empíricos para convertir la precipitación en escurrimiento y describir el flujo de agua sobre la superficie terrestre (y en algunos casos dentro del suelo y a través del subsuelo), y el camino del agua una vez que ha ingresado a un sistema de ríos. Comúnmente la modelación hidrológica se utiliza para estimar el escurrimiento en una cuenca para proyectos de diseño hidrológico e hidráulico, es decir, la aplicación más utilizada de los modelos hidrológicos es para determinar la avenida o gasto de diseño en un sitio determinado, sin embargo, también puede tener otros propósitos como es el pronóstico de avenidas en ríos (CAM, CENIGAA, TNC, IDEAM, 2015).

##### **3.1.2. El proceso de transformación de lluvia en escurrimiento**

El ciclo hidrológico se desarrolla a nivel global, alimentado por subprocesos que ocurren en forma simultánea en todo el planeta tierra, pero son pocos estudios a nivel global del ciclo hidrológico. En cambio, tiene mucha aplicación el estudio hidrológico teniendo como unidad básica a la cuenca, dentro de la cual ocurre el proceso de transformación lluvia-escurrimiento. En otras palabras, se estudia el proceso por el cual el agua de lluvia que cae sobre una cuenca se mueve sobre y dentro de esta, generando hidrogramas subterráneos o superficiales, cuyos volúmenes y picos interesa conocer (Girón et al., 2009).



El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre, una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada, sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Conviene dividir estos caminos en tres clases: escurrimiento superficial, escurrimiento sub-superficial y escurrimiento subterráneo. Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores del mismo se saturan. Posteriormente, se comienzan a llenar las depresiones del terreno y, al mismo tiempo, el agua comienza a escurrir sobre su superficie. Este escurrimiento, llamado flujo en la superficie del terreno, se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos (se entiende por cauces definidos a aquellos que no desaparecen entre dos tormentas sucesivas). En su trayectoria hacia la corriente más próxima, el agua que fluye sobre el terreno se sigue infiltrando, e incluso se evapora en pequeñas cantidades. Una vez que llega a un cauce bien definido se convierte en escurrimiento en corrientes ( Labrador et al., 2016).

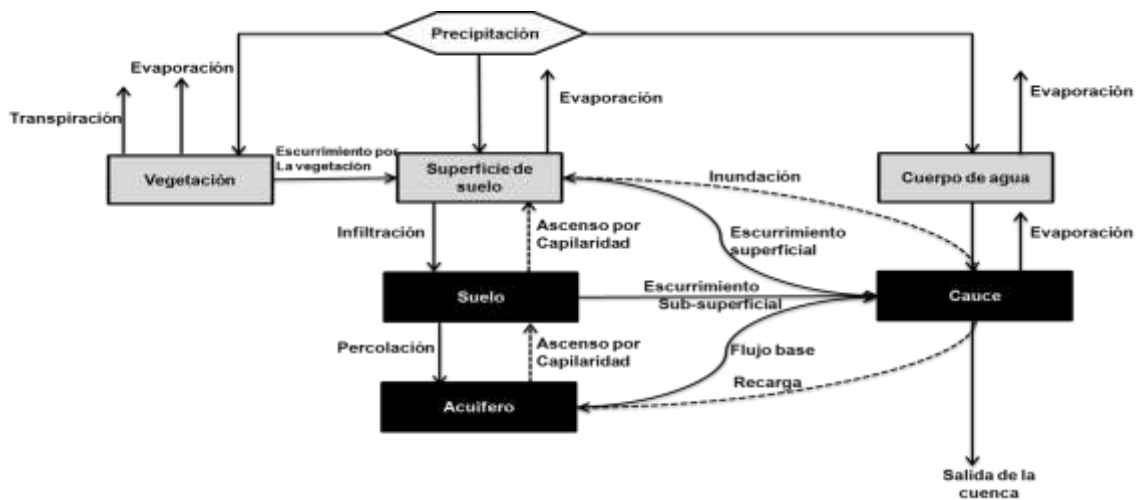


Figura 1 Diagrama del proceso de escurrimiento en una cuenca

Fuente: Manual de Referencia Técnica del HEC- HMS, 2000

El flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes, forma el escurrimiento superficial. Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento

sub-superficial; la otra parte, que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina escurrimiento subterráneo (Bosch y Hewlett, 1982).

De los tres tipos de escurrimiento, el superficial es el que llega más rápido hasta la salida de la cuenca. Por ello está relacionado directamente con una tormenta particular y entonces se dice que proviene de la precipitación en exceso o efectiva y que constituye el escurrimiento directo. El escurrimiento subterráneo es el que de manera más lenta llega hasta la salida de la cuenca (puede tardar años en llegar), y, en general, difícilmente se le puede relacionar con una tormenta particular, a menos que la cuenca sea demasiado pequeña y su suelo muy permeable. Debido a que se produce bajo el nivel de la superficie, es el único que alimenta a los cauces cuando no hay lluvias y por eso se dice que forma el escurrimiento base. (Chuanguo, 2009)

El escurrimiento sub-superficial puede ser casi tan rápido como el superficial o casi tan lento como el subterráneo, dependiendo de la permeabilidad de los estratos superiores del suelo; por ello es difícil distinguirlo de los otros dos. Cuando es relativamente rápido se le trata junto con el escurrimiento superficial y, cuando es relativamente lento, se le considera parte del subterráneo. (Abrahams, 1995)

La clasificación anterior, aunque ilustrativa, no deja de ser arbitraria. El agua puede comenzar su viaje hacia la corriente como flujo superficial e infiltrarse en el camino, terminando como escurrimiento sub-superficial o subterráneo. A la inversa, el escurrimiento sub-superficial puede emerger a la superficie si en su camino se encuentra con un estrato muy permeable que aflora en una ladera (vertiente). Lo importante en realidad es determinar la velocidad de respuesta de una cuenca ante la ocurrencia de una tormenta, pues esto es lo que determina la magnitud de las correspondientes avenidas.

### **3.1.3. El modelo lluvia-escurrimiento**

El proceso de transformación lluvia-escurrimiento, es sumamente complejo y requiere de una idealización a través de un modelo que simplifique suficientemente el sistema como para poder simular conceptualmente sus partes. Dentro del mismo se pueden identificar dos procesos

claramente independientes desde el punto de vista conceptual, como son el proceso de producción y el de transferencia. El primero, está asociado al mecanismo por el cual sólo una parte de la precipitación llega en forma rápida a la salida de la cuenca, ya que el resto queda retenido, se evapora o se infiltra y llega a la salida de la cuenca, pero ya como flujo subterráneo. El segundo, está relacionado con el recorrido que el agua realiza desde los distintos puntos de la cuenca hasta la salida de la misma (Kepner et al., 2008).

En cuencas intermedias y grandes, para realizar el análisis del proceso de transformación lluvia-escorrentamiento, normalmente se subdividen en subcuencas. Entonces, se determina el hidrograma de salida de cada subcuenca y luego, se transita la avenida hasta la salida de la cuenca. Este proceso se denomina tránsito de avenidas. Esto es, el proceso por el cual el escurrimiento de agua a la salida de la subcuenca viaja hacia aguas abajo del río, alterándose el hidrograma de una sección del mismo, a la sección siguiente. Para este tipo de casos se implementan los modelos de tránsito de avenidas o crecientes. Los mismos tienen por objetivo calcular el hidrograma en una sección del río, conociendo el hidrograma en otra sección, aguas arriba del mismo (Oberthur, et al., 2011).

Entonces los modelos hidrológicos pueden estar basados en eventos, que simulan el comportamiento de un sistema hidrológico durante un evento de precipitación, y por eso requieren especificación de todas las condiciones al inicio del evento; o continuos, cuando se hace una simulación continua se emplea un método que cuantifique los cambios de la humedad del suelo entre eventos de precipitación. Un modelo que intenta simular tanto el comportamiento en períodos de precipitación o en ausencia de ésta, es el modelo “Soil Moisture Accounting” (SMA), el cual está integrado en el HEC-HMS.

Herramientas informáticas empleadas en la modelación hidrológica continua: Existe tanto software para la modelación hidrológica como modelos hidrológicos, el avance en el campo de la hidrología no ha sido tan significativo en las últimas décadas, pero los sistemas informáticos y de información si han tenido un gran desarrollo, por lo que las plataformas informáticas son las que han tenido un notable progreso, por lo que existe una amplia variedad de software tanto de licencia restringida como libre, que puede incluir uno o más modelos hidrológicos, a continuación se

mencionan algunos ejemplos de estos tipos de plataformas que han sido y son utilizadas para la simulación hidrológica continua, sistemas que fueron desarrollados en diversas latitudes en países, como Holanda, Dinamarca, Alemania, EUA, Suecia, China, Italia, Francia, Suiza, entre otros: (Kepner, et al., 2008)

- NWSRFS-SAC-SMA, NATIONAL WEATHER SERVICE RIVER FORECAST SYSTEM - SOIL MOISTURE ACCOUNTING: El Modelo Sacramento, desarrollado por el Matinal Werther Service (NWS) de los EEUU (Duan, et al., 2017), es un modelo conceptual que considera la humedad del suelo. Parametriza las características de la humedad del suelo en una forma que distribuye lógicamente la humedad aplicada en varias profundidades y estados de energía en el suelo y tiene características racionales de percolación. (NWSRFS-SAC-SMA, 2017).

- FEWS (Flood Early Warning Systems): El Sistema de Alerta Temprana contra Inundaciones es una plataforma informática, que posee un conjunto de herramientas informáticas, elaboradas por Deltares de Holanda, en las que se provee un sistema de código abierto para el manejo de pronóstico y manejo de series de tiempo (FEWS(flood early warning systems), 2017).

- Sistema CHPS/FEWS: puede considerarse como la continuación del NWSRFS: (CHPS/FEWS, 2017), es una adaptación efectuada para la NWS en la plataforma FEWS, en donde se integra Modelo Sacramento.

- SHE (SYSTÈME HYDROLOGIQUEE EUROPÉEN):El Sistema Hidrológico Europeo, SHE, es un sistema de modelación hidrológica de base física desarrollado en conjunto por el Instituto Danés de Hidráulica (DHI), el Instituto Británico de Hidrología y la consultora francesa SOGREAH (Duan, et al., 2017) SHE simula la fase terrestre del ciclo hidrológico. Posee una arquitectura modular. Es un sistema de modelación distribuida espacialmente. Los procesos hidrológicos son modelados mediante representaciones en diferencias finitas de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales de conservación de masa, energía y cantidad de movimiento; y ecuaciones empíricas para ciertos procesos. La versión actual se

denomina MIKE SHE y es comercializada por DHI, que también ha desarrollado otras herramientas de simulación hidráulica, tal como MIKE FLOOD, entre otras. (SHE, 2017).

- PRMS (THE PRECIPITATION-RUNOFF MODELING SYSTEM, USGS): PRMS es un sistema de modelación hidrológica determinístico y distribuido desarrollado para evaluar los impactos de las diversas combinaciones de precipitación, clima y uso del suelo sobre los caudales, la producción de sedimentos y la hidrología de la cuenca a escala de eventos o continua en el tiempo (USDA, 1970). Su diseño modular otorga un marco flexible para la mejora del mismo. La versión 4.0.1 y su código fuente en JAVA están disponibles en la página del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) (PRMS, 2017).

- HBV: El modelo HBV fue desarrollado en Suecia, forma parte del HBV/IHMS (Sistema Integrado de Modelización Hidrológica), es un sistema computarizado para la predicción hidrológica, la simulación de la descarga, los cómputos de crecidas para proyectos, y estudios sobre cambio climático (HBV, 2017).

- HEC-HMS (Hydrologic Modeling System): (HEC-HMS, 2017) El Sistema de Modelación Hidrológica HMS, del US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC, de los EUA, está diseñado para simular el proceso lluvia- escurrimiento mediante diversos modelos que tiene incluidos dentro de su software, por ejemplo el método para calcular las pérdidas del SCS (Soil Conservation Service, actualmente NRCS, National Resources Conservation Service), entre otros. Es capaz de modelar diferentes sistemas de cuencas, tanto rurales como urbanas, concebido para la simulación de eventos hidrológicos aislados, principalmente; sin embargo, se puede utilizar como modelo de simulación continua mediante la utilización del modelo de pérdidas llamado: SMA (Soil Moisture Accounting), que es similar al modelo Sacramento utilizado por el NWSRFS de los EUA. La información requerida para la aplicación del modelo es la siguiente:

- a. Área de la cuenca y/o subcuencas
- b. Tiempo de retardo (Lag)
- c. Tormentas registradas en pluviógrafos u observatorios.

- d. Precipitación diaria y/o horaria correspondiente a las fechas del período a simular.
- e. Gastos máximos horarios y/o diarios de la creciente que se quiere simular, para poder calibrar.

Una de las ventajas de este software es su fácil implementación, aunque si bien, no fue diseñado para simulación continua, por lo que el ingreso de los datos puede consumir tiempo, lo que operacionalmente puede ser de poco provecho, sin embargo, mediante programas externos se pueden preparar los datos de entrada. Existen ya herramientas desarrolladas para este propósito, como el caso del HEC-DSS.

- CWMS (Corps Water Management System): El Sistema de Manejo del Agua del US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC, es un sistema integrado de hardware y software que inicia con la recepción de datos hidrometeorológicos, cuencas hidrográficas, y el estado del proyecto. Es un sistema más robusto que HEC-HMS, ya que incluye no solo a este, sino a otras herramientas de modelación matemática como HEC-RAS entre otros paquetes del US Army Corps of Engineers. (HEC-HMS, 2017).

- HYDROTEL: es un modelo hidrológico distribuido que genera series diarias de gastos, con base en series diarias de láminas de precipitación y temperatura, así como en las características fisiográficas detalladas de las cuencas. Para este propósito, la cuenca se discretiza en función del relieve y la hidrografía en unidades hidrológicas relativamente homogéneas (UHRH), con información específica sobre uso de suelo y textura del mismo. Con este modelo se puede simular en cada UHRH el escurrimiento diario mediante seis procesos. La calibración se hace por grupos de UHRH con respecto a series hidrométricas, obteniendo el mejor ajuste posible en volumen, forma y sincronización del hidrograma, al ser un modelo hidrológico distribuido, se requiere de información espacial de detalle en tiempo real, además de la topográfica es factible descargar la última versión disponible del software de la siguiente liga: (HYDROTEL, 2017).

- RS MINERVE: herramienta de reciente desarrollo y de licencia gratuita que ayuda a la modelización hidrológica-hidráulica según un concepto semi- distribuido, que incluye varios

modelos hidrológicos como el HBV y Sacramento, entre otros, disponible en la página: (RS MINERVE, 2017)

### **3.2. Revisión bibliográfica**

Se consultan algunas investigaciones relacionadas con la modelación hidrológica, así:

Se realizaron la modelación hidrológica como herramienta en los procesos de planificación de cuencas, analizando el comportamiento actual de una cuenca y la generación de distintos escenarios de uso que permitan determinar la oferta y la demanda hídrica basada en el análisis de parámetros hidrológicos como precipitación, evapotranspiración, usos del suelo, brillo solar, entre otros. Mediante la utilización de la herramienta WEAP y la generación de escenarios para el crecimiento de la población del municipio de Santa María localizado al occidente del departamento de Huila, y el cambio en las coberturas de la cuenca, se pudieron obtener resultados que pueden soportar la toma de decisiones sobre la administración y la planificación del recurso hídrico y la ordenación del territorio. (Moncayo Calderon et al., 2016).

Evaluaron los efectos hidrológicos de cambios de vegetación en la cuenca del río Columbia (EUA) a lo largo del último siglo, usando 2 escenarios de cobertura. El primero fue una reconstrucción de la cobertura vegetal histórica (año 1900), estimada por el Columbia Basin Ecosystem Management Project (ICBEMP). El segundo fue la cobertura actual, estimada a partir de datos de sensores remotos para 1990. Se aplicó un modelo hidrológico con una resolución de grilla de aproximadamente 500 km<sup>2</sup> por celda. Los resultados muestran que el cambio más importante relacionado con la vegetación ha sido una tendencia general hacia una disminución de la madurez de la vegetación en las áreas forestadas de la cuenca. En las subcuencas con mayores cambios, la escorrentía aumentó entre el 4,2 y 10,7 % y la evapotranspiración disminuyó entre un 3,1 y 12,1 %. (Aguayo et al., 2016)

Los páramos proporcionan múltiples servicios ecosistémicos principalmente relacionados con el abastecimiento de agua para las grandes ciudades. En Colombia, como en otros países, son pocos los esfuerzos realizados para la modelación hidrológica en este tipo de ecosistemas y, puesto

que se espera que el cambio climático y el cambio en el uso y coberturas terrestres impacten significativamente la provisión de agua por parte de estos ecosistemas, se requiere entender en primer lugar su funcionamiento ecohidrológico. Para ello se aplicó el modelo hidrológico topográfico TOPMODEL en la cuenca de la quebrada La Chucua (Parque Nacional Natural Chingaza), Los resultados muestran efectos significativos en el régimen de caudales simulados para este año con reducciones de hasta un 10%. (Gil, 2012).

Aplicaron los modelos hidrológico e hidráulico para medir el riesgo de inundabilidad en el tramo correspondiente a la urbanización Río Nima (Palmira, Valle del Cauca, Colombia) localizada sobre la llanura de inundación de la margen izquierda del río Nima. Inicialmente se utiliza un modelo hidrológico lluvia – escurrimiento (HEC–HMS) para estimar los caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno, información que permite implementar un modelo hidráulico unidimensional (HEC–GEORAS) para determinar la variación del flujo, los niveles de agua y las velocidades del flujo. (Hernan et al., 2006)

En los últimos años, gracias al progreso de la tecnología en el campo de los ordenadores, principalmente en la rama de las computadoras personales, la introducción de los métodos matemáticos en todas las ciencias se ha acelerado. Como consecuencia directa los modelos matemáticos se han convertido en una valiosa herramienta de solución de problemas en el ámbito hidrológico. Con el fin de enmarcar el proceso de modelación en una secuencia lógica, discreta, de pasos orientados a la obtención de un resultado, en este artículo se plantea un “Protocolo de Modelación” y se introducen algunos conceptos necesarios para un entendimiento formal del tema. (Calle, 2000)

Niehoffa et al., 2002, determinaron los impactos de cambios de uso de suelo sobre la esorrentía basado en una simulación compuesta de 3 partes: (1) generación de escenarios de uso de suelo explícitos espacialmente, (2) modelación de la generación de escurrimiento basada físicamente y espacialmente distribuida (modelo WASIM-ETH) y (3) aplicación de este procedimiento y demostración de resultados para una cuenca de meso escala predominantemente agrícola en un paisaje de suelos francos en el Sudoeste de Alemania. Con el objeto de extender las facilidades del modelo para representar adecuadamente los mecanismos de generación de



escorrentía originados por el uso del suelo, se introdujeron al modelo las siguientes facilidades adicionales: a) un módulo de macroporos para explicar los procesos de infiltración rápida, b) un módulo de sedimentación para decrecimiento de la conductividad hidráulica de la superficie de tierra, como una función de la intensidad de lluvia y de la cobertura de la vegetación y c) una variabilidad interna de cada celda de la grilla, considerando la porción impermeable y sellada de la celda. Los resultados muestran que la influencia de las condiciones de uso de suelo sobre la generación de escurrimiento depende fundamentalmente de las características de la lluvia y de la escala espacial relacionada. ()

Brown et al, 2007, aplicaron en forma acoplada un modelo de cambio de uso de suelo con el Modelo Integrado de Cantidad y Calidad (IQQM) en la cuenca del río Murrumbidgee, en el Sudeste de Australia. Acoplando los dos modelos evaluaron el impacto hidrológico de potenciales expansiones de cultivos para varias secciones a través del sistema del río.

Kepner et al., 2008, presentaron 2 estudios en los cuales se examinaron escenarios de uso de suelo futuros y se evaluaron sus impactos sobre las condiciones de agua superficial (carga de sedimento y escurrimiento superficial), usando modelos hidrológicos asociados con la herramienta AGWA. Para ambos estudios se modificó la grilla de cobertura de suelo para reflejar las condiciones de los años '20 a '60 y escenarios futuros seleccionados. Un tercer estudio utilizó datos históricos de cobertura de suelo para validar la aproximación y explorar la incertidumbre asociada con los escenarios de análisis.

Chuanguo, 2009, evaluaron las respuestas hidrológicas inducidas por cambios de uso de suelo, que han afectado una amplia porción de China en el último siglo. Los efectos fueron evaluados por medio de un modelo acoplado hidrológico-cobertura. Los principales cambios de uso del suelo fueron evaluados por el Satellite Landó Surface Climatólogo Project (ISLSCP) para la cuenca del río Huiche. Las variaciones de caudales máximos debidas a las deforestaciones extensivas fueron investigadas por simulación de los procesos hidrológicos a una escala de grilla de 10 km, para 2 escenarios de uso de suelo y para los mismos datos meteorológicos, condiciones iniciales y otros parámetros del modelo. Los resultados indican que es notable la sensibilidad de

la evapotranspiración, humedad del suelo y escurrimiento superficial a los cambios de uso del suelo y demuestran que la deforestación actual agrava los riesgos de inundación.

Otros investigadores han evaluado las modificaciones en el escurrimiento y la erosión originadas por cambios en la cobertura vegetal, en base a ensayos experimentales con parcelas de escurrimiento.

Hibbert, 1967, resumió y analizó 39 estudios de deforestación en bosques tropicales del mundo. Encontró que el límite superior del aumento de la producción de escorrentía fue de 4,5 mm/año por cada 1% de reducción de la cobertura de bosque. A partir de los resultados formuló las siguientes generalizaciones: (1) La reducción de la cobertura de bosques aumenta la producción de agua, (2) El establecimiento de cobertura de bosque sobre suelo escasamente vegetado disminuye la producción de agua y (3) la respuesta al tratamiento es altamente variable y para la mayoría de los casos, impredecible.

Evaluaron los efectos del cambio de vegetación sobre la producción de agua por medio del análisis y revisión de los resultados obtenidos en 94 cuencas experimentales a través del mundo. Los resultados de la revisión de Hibbert (1967) de estudios en 39 cuencas fueron poco modificados por la adición de los resultados de 55 investigaciones más recientes. La evidencia adicional apoyó fuertemente sus 2 primeras generalizaciones, pero no así la tercera. Los autores encontraron que el tipo de vegetación tiene una influencia sobre la producción de escurrimiento de la siguiente manera: i. Bosques de coníferas producen un cambio de 40 mm/año en la producción de escurrimiento cada 10 % de cambio de cobertura de bosque. ii. Bosques de madera dura caduca producen un cambio de 25 mm/año en la producción de escurrimiento cada 10 % de cambio de cobertura. iii. Arbustos y pradera producen un cambio de 25 mm/año en la producción de escurrimiento cada 10 % de cambio de cobertura. (Bosch et al, 1982)

Evaluaron los efectos del cambio de vegetación sobre el escurrimiento y la erosión por medio de experimentos de campo sobre parcelas de escurrimiento pequeñas y grandes ubicadas contemporáneamente en colinas cubiertas de pradera y con arbustos sin praderas, en la cuenca experimental Walnut Gulch (Arizona, EUA). Los experimentos indican que el reemplazo de la

pradera causa un aumento del escurrimiento y de la erosión, una disminución de la resistencia del flujo superficial y de la infiltración y un aumento de la heterogeneidad espacial de la cobertura vegetal. El aumento de escorrentía y erosión resulta en una remoción de la estructura superficial del horizonte A, la formación de costras en los espacios entre arbustos y el desarrollo de pequeñas cárcavas. (Abrahams, 1995)

Evaluaron el efecto del uso del suelo y precipitación sobre la escorrentía anual y la pérdida de sedimento en 8 sitios diferentes a lo largo de la región Mediterránea nordeste y la línea costera Atlántica ubicada en Portugal, España, Francia, Italia y Grecia. Esos sitios representan una variedad de paisajes y están bajo una cantidad de usos de suelo representativos de la región Mediterránea, tales como suelos agrícolas con cereales de secano, vinos, olivos, plantación de eucaliptos y vegetación natural. Encontraron que el uso del suelo puede afectar mucho la escorrentía y la erosión del suelo. (kosmas, 1997)

## 4. Metodología de la investigación

### 4.1. Aspecto general recopilación de la información

A continuación, en la *Figura 2* se observa la metodología a seguir en la presente investigación:

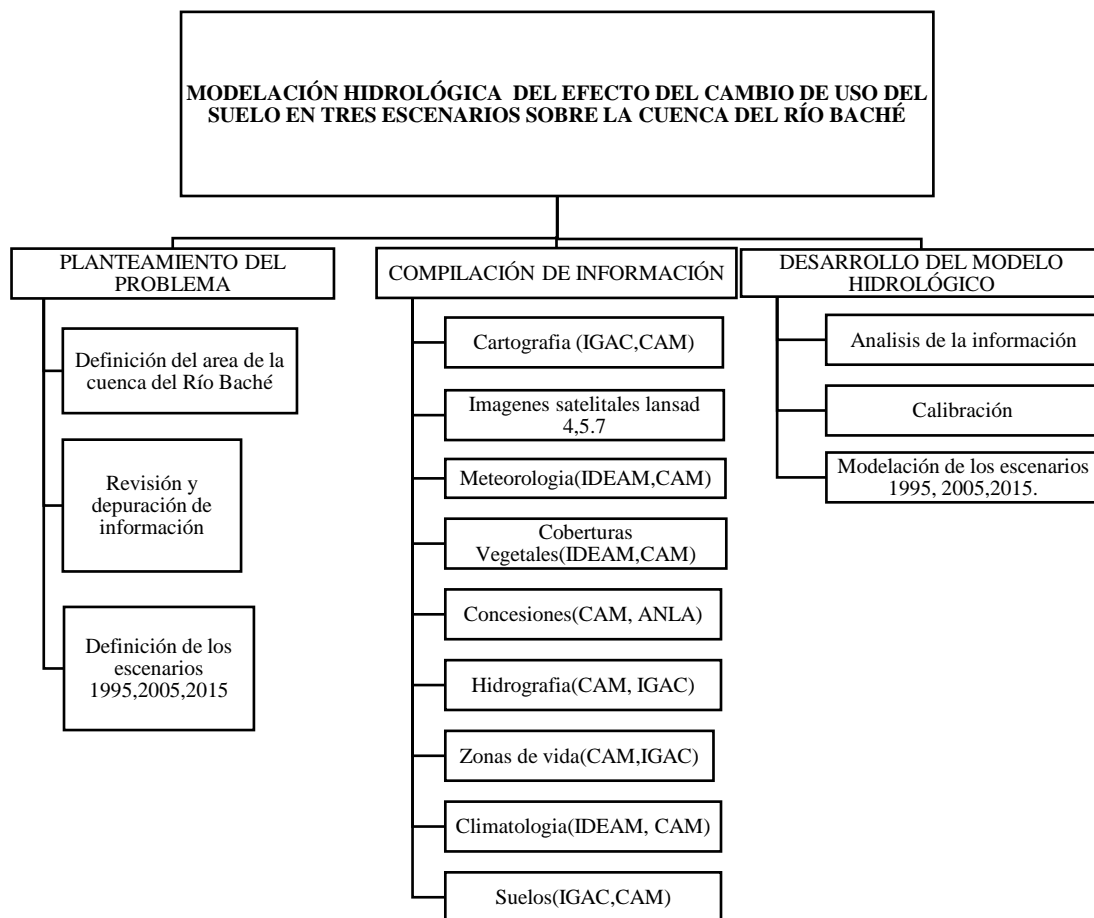


Figura 2 Diagrama metodológico

Se observa los tres pasos que se siguieron para convalidar la información obtenida de la presente investigación.

## 4.2.Descripción del área de estudio

### 4.2.1 Localización

La cuenca del río Baché presenta un extenso territorio, que abarca espacios de los municipios de Aipe, Neiva, Palermo, Santa María y Teruel (Huila). Según el sistema de información ambiental (SIA), tiene un área total de 153.452.52 hectáreas como se muestra en Figura 3

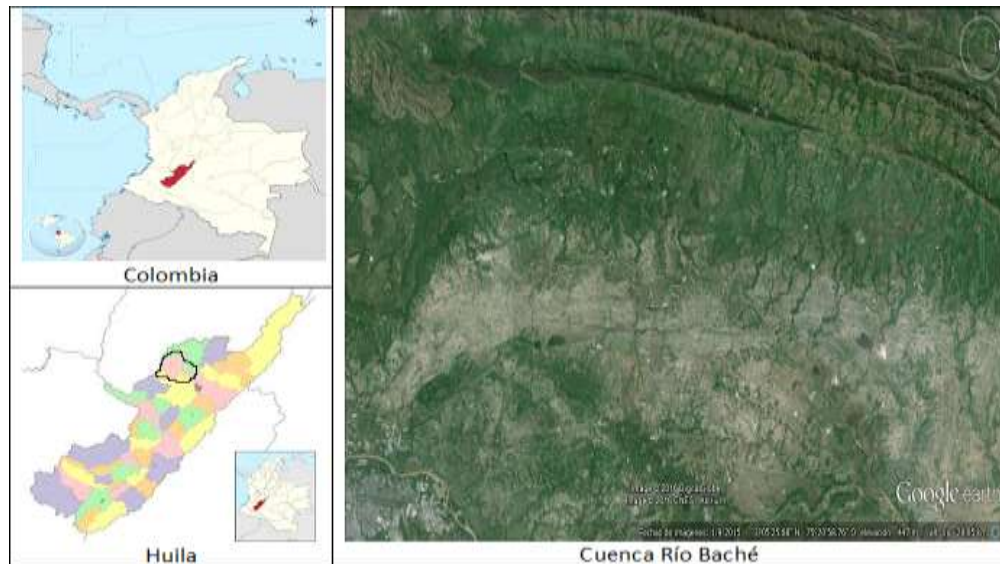


Figura 3 Localización Cuenca Río Baché

Fuente: software google earth, imagen satelital 2017,03/04/2017,

Su ubicación general según la Corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM), corresponde a las coordenadas planas X: 838.177.75 – 871.770.87 y Y: 795.304.17 – 853.286.81. Se localiza al noroccidente del departamento del Huila, en el flanco oriental de la cordillera Central; presenta los siguientes límites: al noroccidente con la cuenca del río Aipe; al nororiente con la cuenca de Fortalecillas Villavieja, la cual está separada por un tramo del río Magdalena; al sur con la cuenca del río Yaguará; al suroccidente con la cuenca del río Pérez y al occidente con

el municipio de Planadas, departamento del Tolima, en inmediaciones al parque natural Nevado del Huila (IDEAM, 2015).

#### 4.2.2. Red hidrográfica

La cuenca del Río Baché, presenta un tipo de drenaje paralelo perpendicular al cauce principal, que se despliega desde el cerro Chiflón y cerro Chiquito, por la vertiente occidental, desde unas ondulaciones y lomeríos por el costado oriental; la dirección del cauce principal es sur – nororiente. Su red hidrográfica presenta 9 vertientes de gran importancia como se muestra en la Tabla 1 tiene un recorrido total de 115 Kilómetros aproximadamente, con un caudal de aproximadamente  $12\text{m}^3/\text{s}$  siendo un caudal bastante representativo para el departamento del Huila como se muestra *Figura 4*.

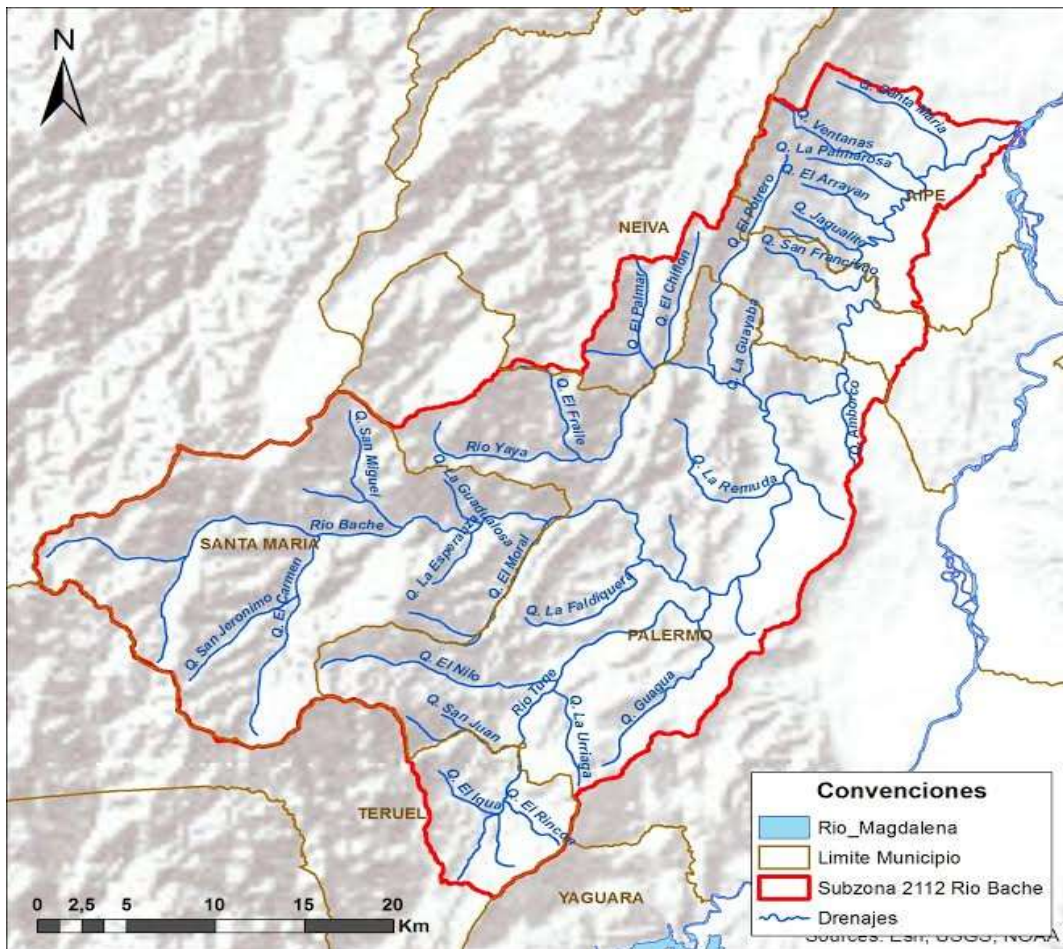


Figura 4 Mapa de hidrografía de la cuenca del Río Baché

Cuenca del Río Baché: Este río nace sobre los 2.800 m.s.n.m. en las ramificaciones del Nevado del Huila en el Municipio de Santa María, a unos 55 kilómetros al occidente del Municipio de Palermo, la mayor parte de su recorrido es por el Municipio de Palermo, hacia su desembocadura en el río Magdalena muy cerca a la población de Aipe., Está compuesta principalmente por tres subcuencas como son las del Río Yaya (16.22%), Río Tune (11.74%), Río Baché (51.64%) como se muestra en y una serie de pequeñas micro cuencas entre ellas las más importantes: Quebradas Las Moras, La Faldiguera, Amborco, Farfán y La Remuda que equivalen al 20% de la cuenca como se muestra en la Tabla 1. (CAM, CENIGAA, TNC, IDEAM, 2015)

Tabla 1 Parametrización hidrológica de la cuenca del Río Baché

| <b>Nombre Cuenca</b> | <b>Perímetro<br/>(Km)</b> | <b>Área<br/>(Km<sup>2</sup>)</b> | <b>Porcentaje de la Cuenca<br/>(%)</b> |
|----------------------|---------------------------|----------------------------------|--|
| Q El Carmen          | 42.78                     | 88.81                            | 7.66                                   |
| Q El Oso             | 21.77                     | 25.21                            | 2.18                                   |
| Q La Guagua          | 33.16                     | 38.22                            | 3.30                                   |
| Q Nilo               | 36.38                     | 45.16                            | 3.90                                   |
| Q San Juan           | 21.36                     | 16.03                            | 1.38                                   |
| Q Ventanas           | 26.21                     | 23.11                            | 1.99                                   |
| Río Baché            | 227.02                    | 598.36                           | 51.64                                  |
| Río Tune             | 78.59                     | 136.01                           | 11.74                                  |
| Río Yaya             | 87.75                     | 187.91                           | 16.22                                  |

Nota: Km: kilómetro; %: porcentaje

La calidad del agua del Río Baché son dulces muy adecuadas y limpias con características físicas - químicas que reflejan la poca afectación del recurso por la actividad humana. El agua es usada principalmente para el consumo (acueductos veredales), piscicultura y riegos de cultivos (Moncayo et al, 2016).

### 4.2.3. Clima

La cuenca hidrográfica del Río Baché tiene variaciones climáticas que están sometidas a la dinámica de los vientos alisios y al efecto Fohen, causado por las corrientes frías y húmedas que se originan en el parque de los nevados, pero al chocar con la cordillera va perdiendo humedad a medida que se desplaza; al llegar a la cuenca en inmediaciones del municipio de Aipe, estas corrientes están escasas de humedad, provocando que esta región sea muy seca como se muestra en la *Figura 5*.

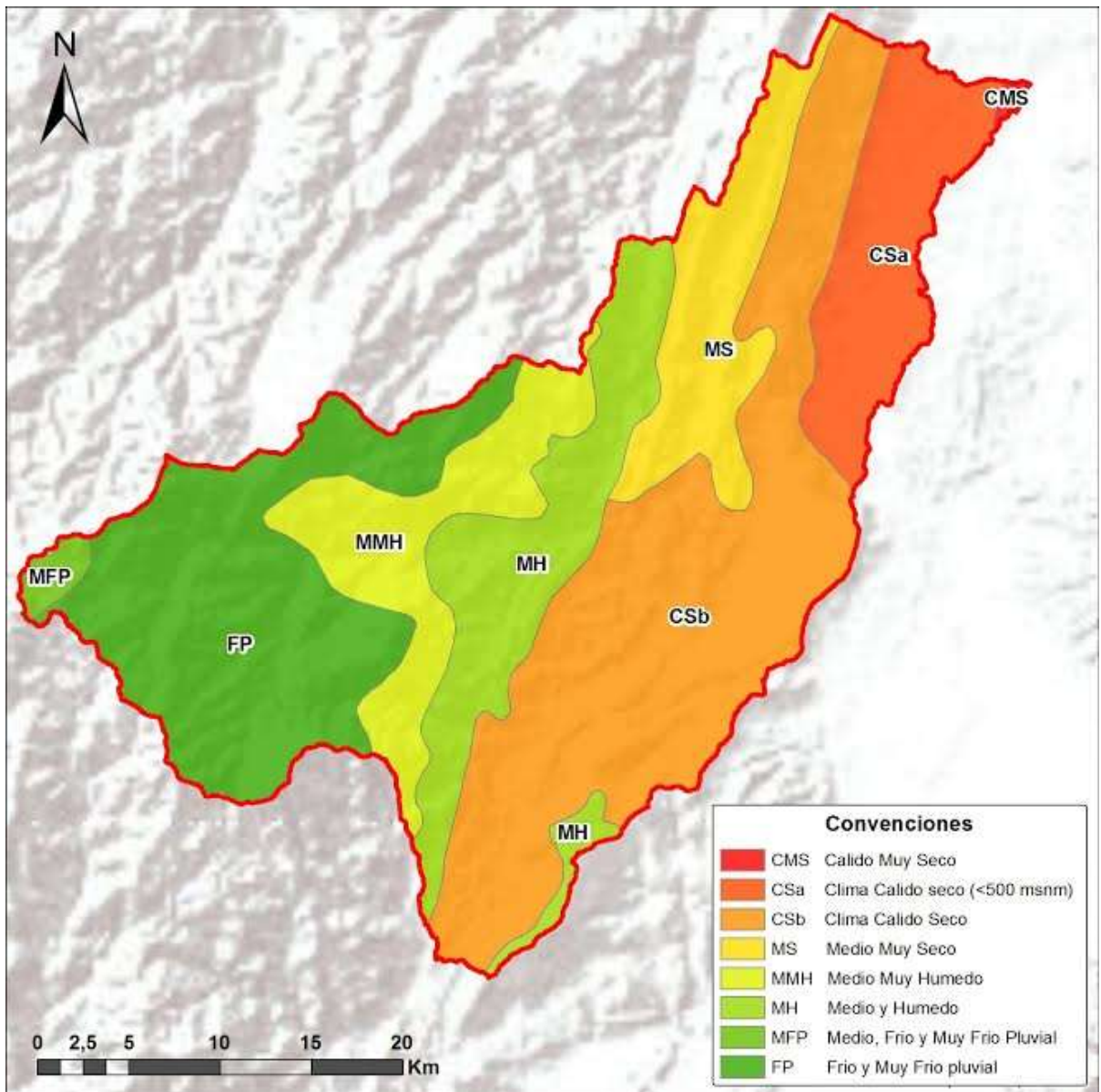


Figura 5 Clima de la cuenca del Río Baché



#### 4.2.4 Estaciones Meteorológicas

Las estaciones meteorológicas e hidrológicas de la cuenca del Río Baché son 24 estaciones (Tabla 2), de acuerdo a la ubicación geográfica de la cuenca (Figura 6).

Tabla 2 Estaciones meteorológicas de la cuenca del Río Baché

| <b>Código</b> | <b>Nombre Estación</b>   | <b>Clase</b>       | <b>Altitud (msnm)</b> |
|---------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|
| 21080030      | Yaguará                  | Meteorológica      | 600                   |
| 21080080      | La Mina                  | Meteorológica      | 1800                  |
| 21080100      | Las Herreras             | Meteorológica      | 1800                  |
| 21085030      | San Rafael               | Meteorológica      | 1030                  |
| 21090020      | El Cucharo               | Meteorológica      | 620                   |
| 21090120      | Casa Bombas 2            | Meteorológica      | 455                   |
| 21090140      | El Cardo 2               | Meteorológica      | 480                   |
| 21097070      | Pte Santander Automática | Hidrometeorológico | 431.2                 |
| 21110160      | Mesa Redonda             | Meteorológica      | 500                   |
| 21120040      | Potrerito                | Meteorológica      | 850                   |
| 21120090      | El Totumo                | Meteorológica      | 700                   |
| 21120130      | Hda Rionegro             | Meteorológica      | 560                   |
| 21125020      | Palermo                  | Meteorológica      | 550                   |
| 21125040      | San Francisco            | Meteorológica      | 825                   |
| 21127010      | Palermo                  | Hidrológica        | 535                   |
| 21130040      | San Luis                 | Meteorológica      | 1140                  |
| 21130060      | El Carmen                | Meteorológica      | 2250                  |
| 21135050      | La Julia                 | Meteorológica      | 1691                  |
| 21090030      | Sta Cecilia              | Meteorológica      | 450                   |
| 21095020      | Hidrobetania             | Meteorológica      | 500                   |
| 21105060      | Hidrobetania             | Meteorológica      | 500                   |
| 21110330      | Polonia                  | Meteorológica      | 429                   |
| 21115020      | Apto Benito Salas        | Meteorológica      | 439                   |
| 21115080      | Villavieja Ffcc          | Meteorológica      | 430                   |

A continuación, se muestra la figura 6.

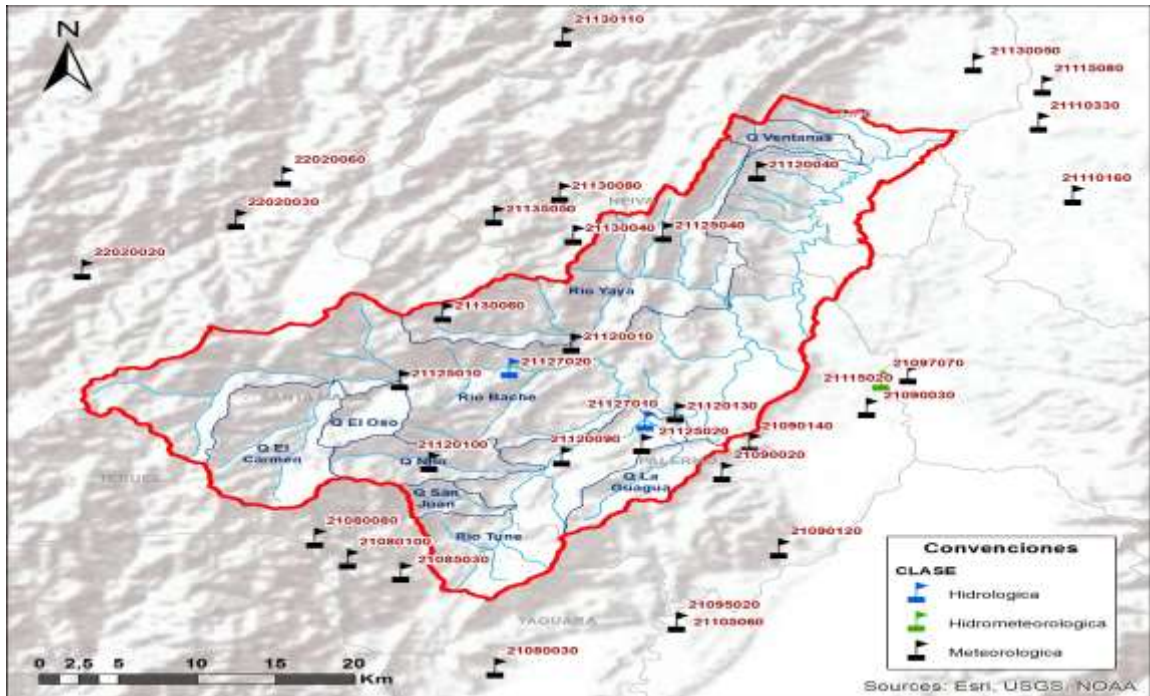


Figura 6 Estaciones meteorológicas e hidrológicas de la cuenca del Río Baché

#### 4.2.5. Suelos

La caracterización y descripción de suelos está basado en la información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi “IGAC”, en el departamento del Huila, de donde se obtuvo los elementos básicos para la estructuración del mapa de suelos de la Cuenca del Río Baché, por tratarse de un área relativamente pequeña y homogénea en aspectos climáticos y geológicos, con variación ligera de suelos (*Figura 7*)

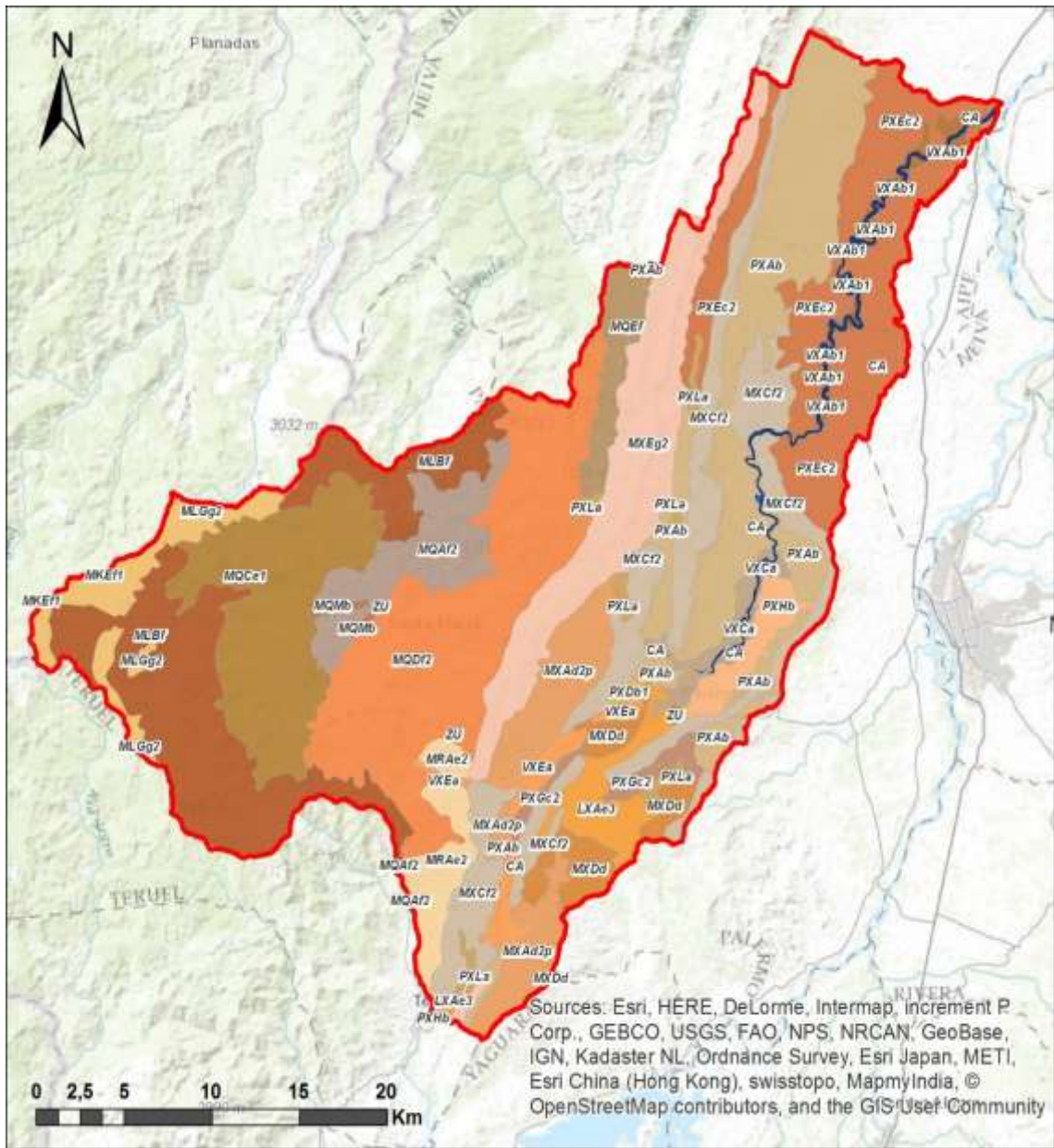


Figura 7 Mapa de suelo de la cuenca del Río Baché

A continuación, se muestran las variaciones en porcentaje de cada uno de los suelos en la cuenca del Río Baché en la *Tabla 3*.

Tabla 3 Tipo de suelo de la cuenca Río Baché

| <b>Símb</b> | <b>Orden</b> | <b>Subgrupo</b>   | <b>Textura</b>  | <b>Área (Ha)</b> | <b>Subgrupo (%)</b> | <b>Orden (%)</b>  |
|-------------|--------------|---|-----------------|------------------|---------------------|-------------------|
| PXDb1       | Alfisoles    | typic haplustalfs, typic haplustepts, typic argiustolls                         | arena y arcilla | 178.28           | 0.11                | 0,11              |
| MKEf1       | Andisoles    | typic fulvudands, typic udorthents, humic dystrodepts                           | limo            | 29.74            | 0.02                | 25,74             |
| MLBf        | Andisoles    | humic dystrodepts, typic udorthents, typic hapludands                           | arena y limo    | 7296.13          | 4.42                |                   |
| MQDf2       | Andisoles    | typic hapludolls, entic hapludolls, lithic udorthents                           | limo y arena    | 35197.75         | 21.30               |                   |
| CA          | -            | cuerpos de agua   | cuerpos de agua | 8.43             | 0.01                | 0.005             |
| LXAe3       | Entisoles    | entic haplustolls, typic ustorthents, lithic ustorthents                        | limo y arcilla  | 2495.96          | 1.51                | 10.18             |
| MLGg2       | Entisoles    | typic udorthents  | limo            | 6474.26          | 3.92                |                   |
| MXCf2       | Entisoles    | typic ustorthents, lithic haplustolls, typic haplustepts                        | limo y arena    | 1573.57          | 0.95                |                   |
| PXEc2       | Entisoles    | lithic ustorthents, typic ustorthents   | limo y arena    | 6250.17          | 3.78                |                   |
| VXAb1       | Entisoles    | fluventic haplustepts, aquic haplustepts, aquic ustifluvents, aquic endoaquepts | arena y limo    | 40.45            | 0.02                |                   |
| MQAf2       | Inceptisoles | tipic dystrodepts, typic udorthents   | limo y arcilla  | 17287.31         | 10.46               | 24.43             |
| MQCe1       | Inceptisoles | humic dystrodepts, oxic dystrodepts, typic hapludands                           | limo y arcilla  | 9418.97          | 5.70                |                   |
| MQMb        | Inceptisoles | fluvaquentic eutrodepts, typic udifluvents, fluventic eutrodepts                | limo y arena    | 157,17           | 0.10                |                   |
| MRAe2       | Inceptisoles | typic haplustepts, pachic haplustolls   | limo y arcilla  | 425,43           | 0.26                |                   |
| MXDd        | Inceptisoles | humic haplustepts, ustic dystrodepts  | arena           | 10704,18         | 6.48                |                   |
| <b>Símb</b> | <b>Orden</b> | <b>Subgrupo</b>   | <b>Textura</b>  | <b>Área</b>      | <b>Porc Subg</b>    | <b>Porc Orden</b> |

|        |                   |  |                | (Ha)     | (%)   | (%)   |
|--------|-------------------|--|----------------|----------|-------|-------|
| PXAb   | Inceptisoles      | typic haplustepts, fluventic haplustolls, typic ustifluvents | limo y arcilla | 546.81   | 0.33  | 24.43 |
| PXGc2  | Inceptisoles      | oxic haplustepts, typic dystrustepts                         | arcilla y limo | 324.84   | 0.20  |       |
| PXHb   | Inceptisoles      | plinthic endoaquepts   | arcilla y limo | 1516.77  | 0.92  |       |
| MXEg2  | misceláneo rocoso | afloramientos rocosos, lithic ustorthents                    | arena          | 22804.25 | 13.80 | 13.8  |
| MQEf   | Molisoles         | typic hapludolls, entic hapludolls, lithic udorthents        | limo y arena   | 39598.13 | 23.96 | 23.96 |
| MXAd2p | Oxisoles          | typic haplustolls, typic haplustepts                         | limo           | 2200.08  | 1.33  | 1.76  |
| PXLa   | Oxisoles          | typic ustifluvents, fluventic haplustolls, typic haplustepts | limo y arena   | 198.43   | 0.12  |       |
| VXCa   | Oxisoles          | typic fluvaquents, vertic haplustepts, fluventic haplustolls | limo           | 383.84   | 0.23  |       |
| VXEa   | Oxisoles          | typic haplustolls, typic natrustalfs                         | limo y arcilla | 129.09   | 0.08  |       |
| ZU     | zonas urbanas     | zonas urbanas  | zonas urbanas  | 4.73     | 0.00  | 0.003 |

Nota: Simb: Simbología; Porc Sub: Porcentaje De Subgrupo; Porc: Porcentaje

De acuerdo a las formaciones geológicas presentes, es posible encontrar 8 órdenes de suelo de los cuales los andisoles tienen el 25.8 %, los entisoles el 10.2%, inceptisoles 24.5%, misceláneo rocoso 13.8%, molisoles 24%, oxisoles 1.8% y zonas urbanas 0.003%, el suelo en la cuenca del Río Baché tiene areniscas y arcillas que diversifican las aptitudes del mismo.

### 4.3. Modelo HEC-HMS

Se evaluaron los efectos de cambios de usos/coberturas del suelo sobre la escorrentía directa y los caudales máximos en la cuenca del Río Baché, aplicando del modelo HEC-HMS. El pre y post-procesamiento de los parámetros de la simulación se realizó en el entorno SIG ArcView 10.3.

Los datos básicos para la aplicación del modelo son los siguientes: un MDE (formato raster), un mapa de usos/coberturas del suelo (formato raster), un mapa de suelos (formato de polígonos), datos pluviométricos de los eventos a simular correspondientes a estaciones de ubicación conocida y tablas con parámetros de uso del suelo e hidrológicos.

Se implementó el modelo en la cuenca para 3 escenarios distintos de usos/coberturas del suelo, correspondientes a los años 1995, 2005 y 2015. Como el MDE y los mapas de usos/coberturas del suelo no estaban disponibles, debieron elaborarse los mapas de usos/coberturas del suelo y se determinaron a partir de imágenes satelitales Landsat 4, 7 y 8 escala 1:100.000, con una resolución de 30 m, según una clasificación definida para esta investigación.

Se calibró el modelo con tres eventos precipitación-escorrentía observada, cada uno representativo de los escenarios previamente mencionados. Se evaluaron los cambios de usos/coberturas del suelo entre los escenarios, así como la distribución espacial de dichos cambios y su relación con el mapa de suelos, usando técnicas de SIG y teledetección.

**Caracterización de las subcuencas:** En una subcuenca hay dos procesos que es preciso caracterizar: la determinación de la precipitación efectiva y la circulación de la misma por la cuenca; que en ambos casos se ha elegido el método del SCS. Hay que estimar, por lo tanto, el valor del *CN* y el de los parámetros asociados a él, *S* e  $I_a$ , en el primer caso y del *lag time* en el segundo.

Para la estimación de la Curva Numero (*CN*) en cuencas no aforadas se parte de tablas que han sido elaboradas por diferentes Organismos de la Administración de EE.UU. (SCS, 1993; USDA 1959, disponibles en Ponce (1989)). En estas tablas de valores de *CN* se intentan describir

situaciones complejas en las que se combinan distintas condiciones: grupo hidrológico de suelo, tratamiento y uso del suelo, condición hidrológica de la superficie, y condición antecedente de humedad. Con estas tablas y la información digital disponible de la cuenca: mapa de suelos, mapa de usos, se elabora la CN, así como los demás parámetros, área de la subcuenca,  $I_a$ , (anexo B). Aplicando a estos valores medios los criterios de la condición de humedad antecedente establecidos por el método (Ponce, 1989), en función de las zonas de influencia de cada estación meteorológica, se obtienen los valores de CN a aplicar en cada subcuenca y para cada evento.

Se evaluaron los efectos originados por cambios de usos/coberturas del suelo sobre la escorrentía directa y los caudales máximos. Los efectos se evaluaron a la escala de la cuenca total. Para ello, se realizaron corridas del modelo para los tres escenarios de usos/coberturas, considerando como entrada una tormenta sintética de distribución espacial uniforme, una condición de humedad antecedente promedio y los restantes parámetros obtenidos en las calibraciones correspondientes. Se adoptó esta tormenta y esta condición inicial para aislar del análisis los efectos de la distribución espacio temporal de la lluvia y de la condición de humedad del suelo al inicio de la lluvia.

Se analizan los resultados de la simulación y se relacionaron éstos con los cambios de usos/coberturas del suelo y los tipos de suelo sobre los que se produjeron la mayor cantidad de cambios.

#### **4.4. Programa HEC HMS**

El sistema HEC-HMS fue desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers de los Estados Unidos y es una herramienta computacional muy utilizada en la modelación hidrológica. Las condiciones de humedad del suelo que existen en el momento de una tormenta severa afectan significativamente el volumen de escurrimiento. La información requerida para la modelación es la siguiente:

- Área de la cuenca
- Tiempo de concentración y de retraso
- Tormentas registradas en pluviógrafos o estaciones automáticas.

- Precipitación diaria y horaria correspondiente a las fechas de la simulación.
- Gastos máximos horarios y diarios registrados en las corrientes en estudio.
- Curva Elevaciones.
- Funcionamiento diario y horario de las presas correspondientes a las descargas por la obra de excedencias y elevaciones de los almacenamientos.
- Elevaciones diarias y horarias en las cuencas, correspondientes a las fechas de la simulación en las vertientes hídricas.

Para facilitar el proceso de la modelación es conveniente tener un esquema general de la interconexión del sistema de ríos, el sistema HEC-HMS cuenta con una interface gráfica para el usuario (GUI), la cual provee los medios necesarios para introducir los respectivos datos de las componentes y para visualizar los resultados. Para dar inicio a la aplicación del sistema, primero se crea un proyecto en el menú principal del HMS, el cuál básicamente consta de tres partes o modelos: Modelo de cuenca (Basin Model), Modelo Meteorológico (Meteorologic Model) y Especificaciones de control (Control Specifications). El Modelo de la Cuenca se introduce la red del sistema en estudio, con las componentes de subcuencas y tramos y elementos como presas de almacenamiento, incluyendo el nombre y características fisiográficas de cada subcuenca, además del modelo para calcular las pérdidas de precipitación (SMA4), el modelo para calcular el escurrimiento directo y de flujo base (Reservorio Lineal). En el Basin Model se etiquetan como “Loss Rate”, “Transform” y “Baseflow Method” respectivamente y se ingresan los parámetros de cada subcuenca.

Modelo de humedad del suelo (SMA, Soil-moisture Accounting Model): Al realizar la modelación hidrológica continua surge la necesidad de conocer la variación que experimentan los escurrimientos por el río en períodos largos de tiempo, incluyendo tanto períodos lluviosos como otros de ausencia de precipitaciones. Esto es la determinación del volumen de agua disponible para escurrimiento, o balance vertical. La mejor alternativa que contempla el programa HEC-HMS es la utilización del modelo SMA, en su variante de modelo semidistribuido, esto es debido al escaso conocimiento que se tiene de las características del terreno a pequeña escala. Elementos constituyentes del modelo SMA: El modelo SMA representa la cuenca mediante un conjunto de capas o depósitos, como se muestra esquemáticamente en la *Figura 8*, con las conexiones o flujos de agua entre los mismos.



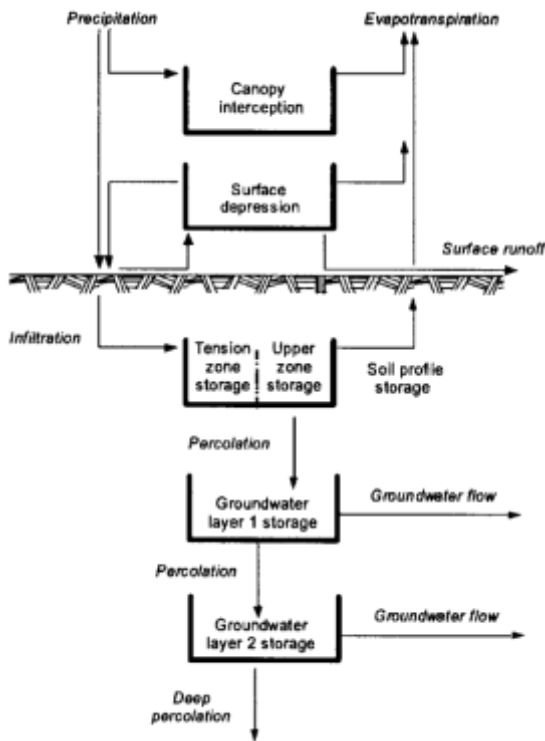


Figura 8 Esquema conceptual del modelo SMA

Fuente: HEC-HMS Technical Reference Manual 2000

Del esquema anterior, se notan algunos conceptos o consideraciones importantes en los que está basado el SMA; 1. Simula la cuenca como una serie de almacenamientos en capas. En cada uno de los reservorios en capas se considera la tasa de gastos de ingreso o salida, las capacidades de volumen de almacenamiento y las pérdidas; 2. Los diferentes almacenamientos o reservorios del modelo son: intercepción de la vegetación, intercepción superficial, perfil de suelo no saturado, agua subterránea (acuífero capa 1 y 2); 3. Intercepción de la vegetación: Es la precipitación retenida en el follaje de los árboles, arbustos y que no llega a la superficie del suelo; 4. Intercepción superficial: Es el agua retenida en las depresiones superficiales. Es el agua que no fue retenida por intercepción elevada, además ingresan a este reservorio los excesos de la tasa de infiltración.

En la siguiente *Imagen 1* representan los parámetros del SMA: Los parámetros de la figura que aparecen en *mm*, se refieren a la capacidad máxima de almacenamiento de cada nivel expresada como el espesor en *mm* de una lámina de agua.

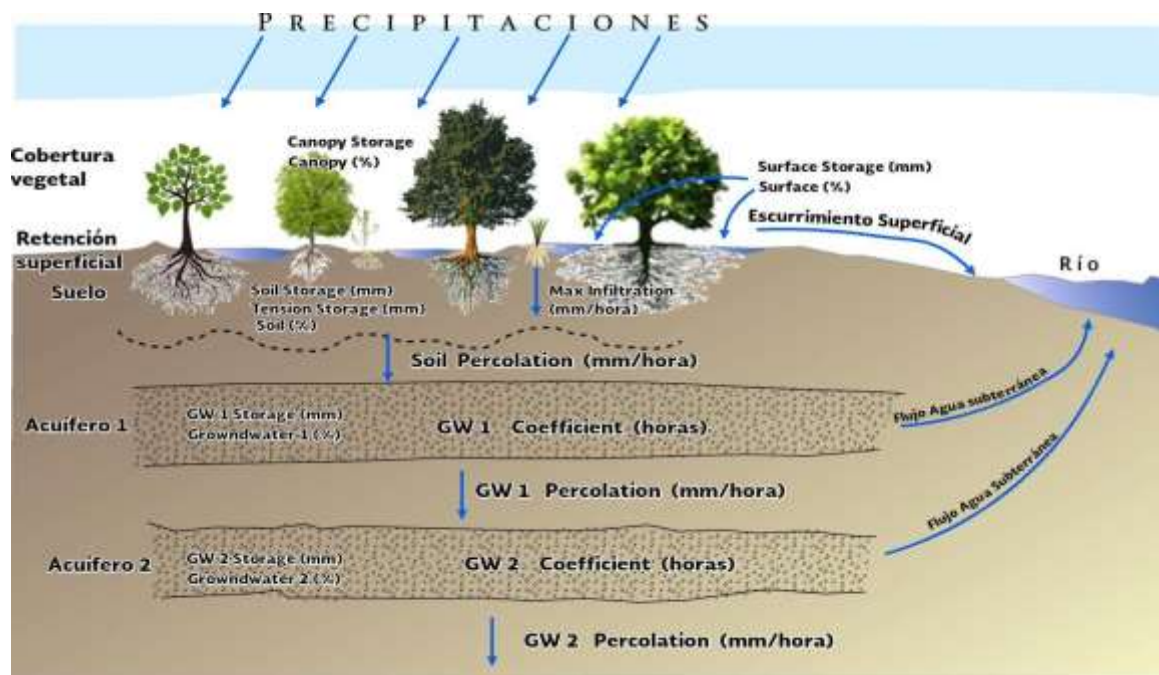


Imagen 1 Almacenamiento y capas del modelo SMA

Fuente: *Elaboración HEC-HMS Technical Reference Manual 2000*

Los diferentes niveles o estratos, que en el suelo se diferencian como el agua susceptible de ser drenada por gravedad (*Upper zone*) y el agua solamente extraíble por Evapotranspiración (*Tension zone*). La suma de ambas, es decir, el total del agua almacenada en el suelo se introduce en *Soil Storage* (mm) y la parte no drenable por gravedad se indica en la casilla *Tension Storage* (mm). Los parámetros que están en porcentaje (%) sirven para indicar el porcentaje de llenado de cada uno de los niveles (No indica la parte libre, indica la parte ocupada).

**El proceso se desarrolla de la siguiente manera:** Cuando comienza la precipitación, primero se completa la capacidad de retención de la vegetación (*Canopy Storage*). La Evapotranspiración (*ET*) toma agua de este nivel antes que de los otros. El agua no retenida por la vegetación pasa a la superficie del terreno. Desde esta retención superficial comienza la infiltración sin que se pueda superar la capacidad de infiltración (expresada en la casilla *Max Infiltration* (mm/hora)). La *ET* tomará agua de aquí si no la encuentra en el nivel anterior (*Canopy*). Si a pesar de la infiltración y de la *ET*, se excede el máximo almacenamiento que hayamos indicado en *Surface Storage* (mm), el agua sobrante pasa al esguerrimiento superficial.

**Cálculo del gasto base (Baseflow) por el método de Linear Reservoir:** Del cálculo de la fase anterior (*Loss*) para simular un proceso continuo, desde los acuíferos, puede llegar a salir un cierto flujo que llegará a alimentar el gasto base (*baseflow*) del río. Para que esos aportes se incorporen efectivamente al gasto, es necesario utilizar el método Linear Reservoir al calcular el gasto base.

**Estimación inicial de parámetros:** En los cálculos, es recomendable que los parámetros del modelo se puedan estimar previamente y, por lo tanto, pueden tratarse como información disponible. Básicamente se trata de parámetros del suelo, por lo que basándose en la cubierta vegetal, tipo y uso de suelo, además de los parámetros geomorfológicos, es posible estimar con cierta validez los parámetros del suelo, como a continuación se explica. El almacenamiento máximo por intercepción de la vegetación (follaje),  $hf$  depende del tipo de vegetación. Cultivos (yerba mate):  $hf = 1$  mm (asociado a cultivos agrícolas), Forestación:  $hf = 9$  mm (asociado a bosque) y Pastizales:  $hf = 3$  mm (asociado a pradera) De acuerdo a lo indicado en la *Tabla 4*:

Tabla 4 Intercepción de agua por parte de la vegetación HEC-HMS

| Tipo de Vegetación  | Intercepción (hf) |
|---------------------|-------------------|
| Bosque              | 9                 |
| Matorral            | 4                 |
| Prados              | 4                 |
| Urbano y baldío     | 0                 |
| Desnudo             | 0                 |
| Plantación forestal | 9                 |
| Parques Urbanos     | 3                 |
| Cultivos agrícolas  | 1                 |

Fuente: Ven Te Chow, "Hidrología Aplicada", Maidment, Mays, 1994

El almacenamiento máximo en depresiones ( $hd$ ) depende del tipo de superficie del suelo (pavimentada o no) y de la pendiente. Teniendo en cuenta la .

Tabla 5, para el presente estudio se consideró  $hd = 50.8$  mm, ya que la máxima pendiente en toda la cuenca es del 5%.

Tabla 5 Almacenamiento máximo en depresiones del terreno

| Descripción        | Pendiente (%) | Alma. Sup - hd (mm) |
|--------------------|---------------|---------------------|
| Zonas Pavimentadas | -             | 3.2 - 6.4           |
| Pendientes fuertes | >30           | 1.0                 |
| Pendientes suaves  | 10-30         | 12.7 - 6.4          |
| Zonas llanas       | 0 - 5         | 50.8                |

Fuente: Ven Te Chow, "Hidrología Aplicada", Maidment, Mays, 1994

Para estimar el almacenamiento máximo en el suelo es necesario disponer de una representación de la variación del espesor del manto de suelo a través de la cuenca. A partir de estudios geológicos, ese espesor es del orden de los 3 m en cuencas bajas. Dado que en las cabeceras de la cuenca se hacen evidentes los afloramientos de roca, el espesor se consideró prácticamente nulo en esa zona. Adicionalmente, el cálculo del almacenamiento máximo en el suelo depende de la porosidad del medio, ya que es el factor por el que hay que multiplicar al espesor. Se consideró que el suelo pertenece al grupo hidrológico C (franco arenoso) con lo que resulta una porosidad de 0.453 de acuerdo con la Tabla siguiente:

Tabla 6 Porosidad y conductividad hidráulica para distintos tipos de suelo

| Parámetros de infiltración de Green-Amp para varias clases de Suelos |           |                    |                                    |
|--|-----------|--------------------|------------------------------------|
| Clase de Suelo   | Porosidad | Porosidad efectiva | Conductividad hidráulica (cm/hora) |
| Arena  | 0.437     | 0.417              | 11.78                              |
| Arena  | 0.437     | 0.401              | 2.99                               |
| Franco   | 0.453     | 0.412              | 1.09                               |
| Franco   | 0.463     | 0.434              | 0.34                               |
| Franco   | 0.501     | 0.486              | 0.65                               |
| Franco   | 0.398     | 0.330              | 0.15                               |
| Franco   | 0.464     | 0.309              | 0.10                               |
| Franco   | 0.471     | 0.432              | 0.10                               |
| Arcilla  | 0.430     | 0.321              | 0.06                               |
| Arcilla  | 0.479     | 0.423              | 0.05                               |

|         |       |       |      |
|---------|-------|-------|------|
| Arcilla | 0.475 | 0.388 | 0.03 |
|---------|-------|-------|------|

Fuente: Ven Te Chow, "Hidrología Aplicada", Maidment, Mays, 1994

La profundidad de las raíces de los pastizales es del orden de 1 metro, mientras la correspondiente a la yerba nativa y a la forestación es lo suficientemente profunda como para alcanzar el estrato basáltico, es decir, para cubrir todo el espesor de suelo. Con respecto al almacenamiento máximo en la Zona Capilar de la capa superior de suelo, este fue estimado en 30 mm a partir de la regla de reconocimiento mostrada en la *Tabla 7*:

Tabla 7 Almacenamiento máximo en la zona capilar en eventos observado

| Frecuencia de escurrimiento | Almacenamiento máximo en zona capilar (mm) |
|-----------------------------|--|
| En todos los eventos        | 10.2 – 15.2                                |
| En eventos moderados        | 15.2 – 25.4                                |
| Solo en eventos largos      | 25.4 – 40.6                                |
| Nunca                       | > 40.6                                     |

Fuente: Ven Te Chow, "Hidrología Aplicada", Maidment, Mays, 1994

Donde existe una capa subterránea (espesores de suelo mayores a los correspondientes a la Zona Superior), sólo se consideró una capa superior (en rigor, se tomó una capa inferior de espesor despreciable, sin percolación, de modo de representar la impermeabilidad del manto basáltico). Su espesor fue tomado como igual al resto del manto de suelo.

**Infiltración/percolaciones máximas:** En base a la

*Tabla 8*, y teniendo en cuenta que se trata de suelo del grupo hidrológico C, la infiltración máxima se consideró de 2.5 mm/h.

Tabla 8 Infiltración máxima por tipo de suelo

| Grupo hidrológico de suelo | Infiltración superficial (mm/hora) |
|----------------------------|------------------------------------|
| A                          | >7.6                               |
| B                          | 3.8 – 7.6                          |
| C                          | 1.3 – 3.8                          |
| D                          | 0 -1.27                            |

Fuente: Ven Te Chow, "Hidrología Aplicada", Maidment, Mays, 1994

La percolación máxima (desde la capa superior de suelo a la capa subterránea) se tomó igual a la conductividad hidráulica, para cuya estimación se tuvo en cuenta la *Con* las consideraciones anteriores, se estimaron los valores iniciales de los parámetros de las subcuencas, asociándolas con ciertas características físicas. De esta manera se continuó conjuntando la información básica para el *modelo de cuenca*.

Tabla 9. Se consideró que la infiltración es muy lenta, seleccionándose el valor de 0.6 mm/h. Con las consideraciones anteriores, se estimaron los valores iniciales de los parámetros de las subcuencas, asociándolas con ciertas características físicas. De esta manera se continuó conjuntando la información básica para el *modelo de cuenca*.

Tabla 9 Conductividad hidráulica de acuerdo a las características de filtración

| <b>Conductividad hidráulica (mm/hora)</b> | <b>Características de filtración</b> |
|---|--------------------------------------|
| <0.8                                      | Muy lenta                            |
| 0.8 – 5                                   | Lenta                                |
| 5 – 20                                    | Moderadamente lenta                  |
| 20- 60                                    | Moderada                             |
| 60 – 120                                  | Moderadamente rápida                 |
| 120 – 180                                 | Rápida                               |

**Fuente:** Urban Hydrology for Small Watersheds”, Natural Resource Conservation Service, Engineering Division, Department of Agriculture, USA, Technical Release–55, 1999

**Modelo Meteorológico:** Antes de definir el modelo meteorológico, se debe ingresar la precipitación, por conveniencia y facilidad en el proceso de cálculo, se ingresara en forma de hietograma representativo para cada subcuenca con intervalos de tiempo de dos horas, como series de tiempo. Los componentes de series de tiempo ingresadas como hietogramas para cada subcuenca fueron obtenidas fuera del programa HEC-HMS, como ya se mencionó, mediante el método el inverso de la distancia al cuadrado del programa ETISOL del SIH. Además de la precipitación, HEC-HMS requiere más información, por lo que es necesario introducir previamente datos de Evapotranspiración Potencial (ETP) o bien, el mismo programa puede estimarla por el método de Priestley-Taylor, para lo cual requiere contar con información en series de tiempo de estaciones meteorológicas automáticas, pero con otras variables físicas como

temperatura y radiación. Por conveniencia y facilidad en los cálculos, los valores de evapotranspiración se introducen al programa como “Monthly Average”, para lo cual se introducen los valores mensuales de la misma, pero también se pueden ingresar los valores mensuales de evaporación y proporcionar los coeficientes mensuales que relacionan la evaporación con la evapotranspiración.

Aspectos considerados en la calibración: Para las calibraciones se consideraron los siguientes aspectos:

- Los parámetros iniciales - Gastos Observados.
- Prueba y error.
- Enfoque apropiado para el ajuste de los parámetros.
- Optimización automática de los parámetros.
- Calibrar las cuencas de cabecera menos complicadas.
- Seleccionar el período de calibración.
- Calibrar cuencas restantes de cabecera.
- Calibrar cuencas propias e intermedias.
- Efectos en el modelo causados por cambios en los parámetros.
- Uso de los parámetros calibrados en el pronóstico.

## 5. Resultados

### 5.1. Implementación del modelo en distintos escenarios de usos/coberturas suelo

Se calibró el modelo para cada uno de los escenarios de usos/cobertura del suelo considerados (1995, 2005 y 2015), para ello se seleccionaron tres eventos precipitación escorrentía observados en la cuenca en estudio, durante uno de los tres escenarios mencionados. Los eventos seleccionados corresponden a las crecidas de abril de 1995, octubre de 2005 y marzo de 2015. Para cada evento se contó con datos de caudales diarios de las 3 estaciones hidrológicas del IDEAM y de estaciones meteorológicas de precipitaciones diarias en 17 estaciones en la cuenca del Río Baché.

Los eventos presentaron lluvias similares, duraciones de lluvia entre 2 y 3 días e hidrogramas de pico único. Para cada uno se calculó la precipitación media para la cuenca total, aplicando el método de los polígonos de Thiessen con ArcView y se determinaron las isohietas de lluvia total, aplicando el método de interpolación RASTER INTERPLOATION en el programa ARC-GIS. También se calculó el escurrimiento directo, a partir del hidrograma observado, aplicando el método de la pendiente variable para la separación del flujo base. Los parámetros de los eventos seleccionados se muestran en la *Tabla 10*, Se elaboró un gráfico del coeficiente de escorrentía para cada escenario de usos/coberturas, (anexo G). Dado que el modelo no calcula dicho coeficiente, se obtuvo operando en la tabla de parámetros de las subcuencas, allí se creó un nuevo campo para el coeficiente, calculado como cociente entre el escurrimiento directo y la precipitación total de la tormenta.



Tabla 10 Parámetros de las tres tormentas estudiadas

| <b>Fecha</b>  | <b>Precipitación<br/>(mm)</b> | <b>Caudal Max<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Tiempo Max<br/>(h)</b> | <b>Escorrimento<br/>Directo<br/>(mm)</b> | <b>C</b> |
|---------------|-------------------------------|---|---------------------------|--|----------|
| Abril-24/1995 | 95                            | 10.74                                   | 57                        | 12.4                                     | 0.13     |
| Oct-05/2005   | 73                            | 9.47                                    | 60                        | 13.3                                     | 0.18     |
| Mar-15/2015   | 85                            | 8.11                                    | 58                        | 14.2                                     | 0.16     |

Nota: mm: milímetros; Max: máximo; m<sup>3</sup>: metro cubico; s: segundo; c: coeficiente de escorrentía; h: hora; Oct: octubre; Mar: marzo

A partir de la información precipitación-escorrentía observada, se calibró el modelo por un proceso de prueba y error, hasta obtener la mejor correspondencia entre los hidrogramas simulados. Esta tarea no fue sencilla, dada la gran cantidad de parámetros de este modelo. Con el objeto de auxiliar la calibración, se calculó la estadística del coeficiente de eficiencia Nash y Sutcliffe 1971, para el caudal y la precipitación mediante la regresión polinómica de 5° orden como se muestra en la tabla 25.

Para esta investigación, se adoptaron los parámetros de calibración que maximizaron el Coeficiente de Escorrimento y los errores relativos del caudal máximo y del volumen escurrido en valor absoluto, fueron simultáneamente menores o iguales al 20%.

Se modificaron los valores por defecto de parámetros de los segmentos del ancho del río, asignándole los correspondientes a suelos con alto contenido de arcilla y una rugosidad representativa de un valle de inundación con cobertura forestal densa.

Esto último es debido a que ArcGis sólo permite considerar secciones transversales simples (no compuestas) para representar los canales y dado que los caudales máximos de las crecidas simuladas exceden el cauce principal y se conducen principalmente por el valle aluvial (Tabla II).

Tabla 11 Parámetros modificados en el shapefile

| Parámetro | Valor por defecto | Valor modificado |
|-----------|-------------------|------------------|
| MAN       | 0.055             | 0.20             |
| CV        | 0                 | 1                |
| KSAT      | 220               | 0.4              |
| G         | 109               | 406              |
| DIST      | 0.845             | 0.340            |
| POR       | 0.432             | 0.4              |
| PCT_CLAY  | 0.09              | 0.70             |
| PCT_SILT  | 0.03              | 0.37             |
| PCT_SAND  | 0.70              | 0.25             |
| COH       | 0.002             | 0.006            |

Nota: MAN: Coeficiente de rugosidad de Manning para cuenca, G:Tensión capilar media (mm), POR: Porosidad ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ), SMAX: Máxima saturación relativa, CV: Coeficiente de variación de KS, PCT\_CL: Fracción de arena (0-1), PCT\_SI: Fracción de limo (0-1), PCT\_SAND: Fracción de arcilla (0-1), PCT\_CLAY: Fracción de arena (0-1), PCT\_SILT: Fracción de limo (0-1), DIST: Índice de distribución del tamaño de los poros ( $\gamma$ ), COH:: Coeficiente de cohesión del suelo, KSAT: Conductividad hidráulica saturada del fondo del canal (mm/hr), .

Parametrización de suelos y de usos/coberturas del suelo “Run Land Cover and Soils Parameterization”: Los valores de los parámetros de los segmentos asociados al tipo de suelo se obtuvieron a partir del mapa de suelos (polígonos) en formato shapefile, donde cada polígono corresponde a una unidad de suelo según la clasificación IGAC.

Los valores de los parámetros asociados a los usos/coberturas del suelo para cada uno de los escenarios seleccionados (1995, 2005 y 2015) se obtuvieron a partir de los mapas raster de usos/coberturas del suelo correspondientes.

Se modificó la tabla 12 denominada nalc\_lut.dbf original para describir los usos/coberturas del suelo según la clasificación definida. En el Anexo A se puede observar la tabla de atributos de los dos Shapefile creados, la delimitación de subcuencas.

Tabla 12 Valores de la tabla nalc\_lut.dbf

| <b>Clase</b> | <b>Nombre</b>     | <b>Cover (%)</b> | <b>Int (mm)</b> | <b>N-M</b> | <b>Imperv (%)</b> |
|--------------|-------------------|------------------|-----------------|------------|-------------------|
| 1            | Bosque            | 35               | 1,15            | 0,200      | 0,00              |
| 2            | Monte Natv        | 30               | 1,15            | 0,150      | 0,00              |
| 3            | Cultivo 1         | 50               | 2,80            | 0,040      | 0,00              |
| 4            | Cultivo 2         | 50               | 2,80            | 0,040      | 0,00              |
| 5            | Pastura           | 25               | 2,00            | 0,150      | 0,00              |
| 6            | Barbecho          | 20               | 0,30            | 0,035      | 0,00              |
| 7            | Suelo desnudo     | 0                | 0,00            | 0,025      | 0,00              |
| 8            | Agua              | 0                | 0,00            | 0,000      | 0,00              |
| 9            | Suelo Descubierta | 0                | 0,00            | 0,025      | 0,00              |

Nota: COVER: porcentaje de uso del suelo (%), INT: profundidad de intercepción en (mm), N - M: coeficiente de rugosidad de Manning para flujo superficial, IMPERV: porcentaje de superficie impermeable.

Intervalo de tiempo computacional: Se determinó el tiempo de equilibrio para la cuenca con menor valor de longitud según la shapefile de las imágenes en ARC-GIS (anexo A). De la delimitación y parametrización se obtuvieron los siguientes datos para la cuenca del Río Baché: Longitud de 350 m, Pendiente de 0,0045 m/m, Coeficiente de rugosidad de 0,128 e Intensidad de lluvia = 95 mm/h. Se adoptó el lag time de 3420 minutos para el año 1995, 3600 minutos para el año 2005 y 3134 minutos para el año 2015.

#### 5.1.1. Mapas de usos/coberturas del suelo

Se seleccionaron las fechas 11/01/1995, 30/03/2005 y 24/04/2015 de la imagen satelital usgs science for a changing world, consulta el día 23 de octubre del 2016, estas imágenes satelitales son representativas de los escenarios de usos/coberturas del suelo. Se describen a continuación las tareas de preprocesamiento y clasificación realizadas para obtener el mapa de uso de suelo en formato raster de cada escenario.

Pre-procesamiento: Con el modelo COST de Idrisi Kilimanjaro se realizó la “calibración” y luego, la corrección atmosférica. El resultando es una imagen con valores reales (32 bits) de reflectancia que varían entre 0 y 1. Los parámetros utilizados se presentan en el Anexo D. En el

caso de las imágenes de 1995 y 2015 como tienen una georreferenciación previa (SAD69 WGS84 UTM) se realizó el remuestreo utilizando 10 puntos de control, verificando también el error menor a 0.5 píxel. La interpolación espacial se realizó aplicando una función lineal y la interpolación radiométrica por el método del vecino más próximo (“Nearest neighbor”).

Clasificación Supervisada: La definición de las categorías o clases, tomando como antecedentes el “IGAC 2016” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) y el trabajo “Bosques Nativos del Huila” (Rojas et al. 2015), se definieron seis (6) clases de uso del suelo. Las imágenes satelitales disponibles con resolución de 30 m permiten distinguir tres tipos de cultivos. Teniendo en cuenta este aspecto y dados los objetivos de esta investigación, se definieron las clases de uso/cobertura del suelo (anexo B).

Creación de los sitios de entrenamiento y firmas espectrales: Para cada clase se seleccionaron entre 20 y 30 áreas de interés, luego con el editor de firma (“Signatura Editor”), se creó la firma espectral promedio, que son paramétricas porque ellas tienen información estadística. Se generó así un archivo de sitios de entrenamiento “\*.aoi” y una firma espectral “\*.sig”, para cada fecha e imagen.

En las matrices de contingencia (Anexo A), se observa que las mayores confusiones se dan entre las clases Bosque y Áreas con Vegetación Herbácea y Arbustiva, por qué el uso arbóreo del suelo es pobre. Como productos finales de este procedimiento se obtuvieron 3 mapas raster de usos/coberturas del suelo, uno por escenario.

#### 5.1.2. Evaluación de los cambios de usos/coberturas del suelo entre escenarios

El escenario 1995 tiene el 21% bosques y áreas seminaturales y el 26% en territorios agrícolas, su vegetación herbácea y arbustiva pierden 9.79 % y los cultivos transitorios tienen 3,4%, reflejando que el 25% del área de la cuenca tiene áreas agrícolas heterogéneas, cultivos transitorios el 3.38% y pastos el 26.39% con un total de área agrícola del 55.76% frente a la zona de bosques y área seminaturales con un 44.23% notándose un déficit de bosque nativo de la zona con el 20.44%, lo que se infiere que la cuenca está descubierta de las amenazas latentes.

Para el escenario del año 2005 los cultivos transitorios aumentaron al 7.95% y la categoría áreas de vegetación herbácea y arbustiva disminuyó al 12.62% de igual manera la clase de bosques y áreas seminaturales disminuyó al 39.67% y los territorios agrícolas aumentaron al 60.33%. Para el escenario 2015 se observa que los bosques y áreas seminaturales disminuyeron considerablemente con 29.88% frente a los territorios agrícolas que aumentaron al 70.12%, esto infiere que la cuenca del Río Baché tiene su mayor parte del territorio en agricultura, siendo principalmente fuentes de erosión, por lo cual es necesario que se realice un plan de acción de mitigación frente a la deforestación y agricultura intensiva de la zona

En el periodo de 20 años de la Cuenca del Río Baché refleja la alta deforestación, siendo uno de los porcentajes con mayor incidencia de aumento en agricultura en cultivos perennes y transitorios, que de los cuales es contaminado el suelo con sustancias químicas derivadas de la agricultura intensiva, siendo además de que los asentamientos urbanos estén en constante crecimiento sin un ente del estado de que controle el espacio natural de la Cuenca.

Tabla 13 Diagnóstico de usos y coberturas para el año de 1995

| Clase                       | Categoría                                 | Área 1995 (%) | Área 2005 (%) | Área 2015 (%) | Índice Diferencia (%) | Área perdida (%) |
|-----------------------------|---|---------------|---------------|---------------|-----------------------|------------------|
| Bosques y Áreas Seminatural | Áreas con vegetación herbácea y arbustiva | 21.1          | 12.6          | 11.3          | -9.8                  | -53.6            |
|                             | Bosques nativo                            | 20.4          | 20.4          | 12.0          | -8.5                  | -41.5            |
|                             | Áreas abiertas sin o con poca vegetación  | 2.7           | 6.6           | 6.6           | 3.9                   | 244.8            |
| Territorios Agrícolas       | Áreas agrícolas heterogéneas              | 26.0          | 26.0          | 22.7          | -3.3                  | -87.5            |
|                             | Cultivos transitorios                     | 3.4           | 8.0           | 21.0          | 17.6                  | 621.3            |
|                             | Pastos                                    | 26.4          | 26.4          | 26.4          | 0.0                   | 0.0              |

En la *Figura 9* se observa las categorías de los usos y coberturas para el escenario 1995 observando una mayor producción agropecuaria en cultivos transitorios en el centro de la cuenca.

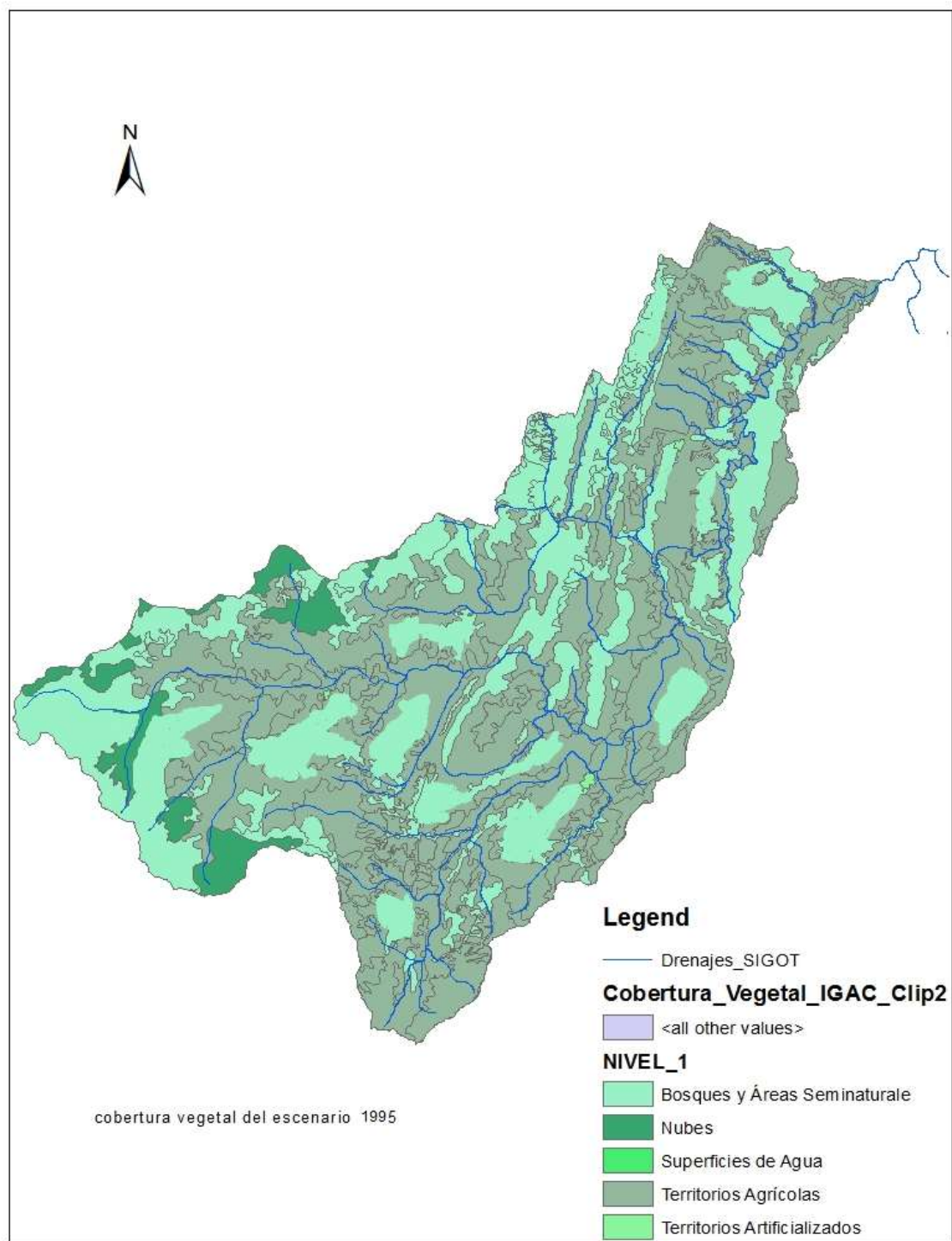


Figura 9 Usos y cobertura del año 1995 en la Cuenca Río Baché

A continuación se observa la  
suelo.

Figura 10 el escenario 2005 de usos y coberturas del

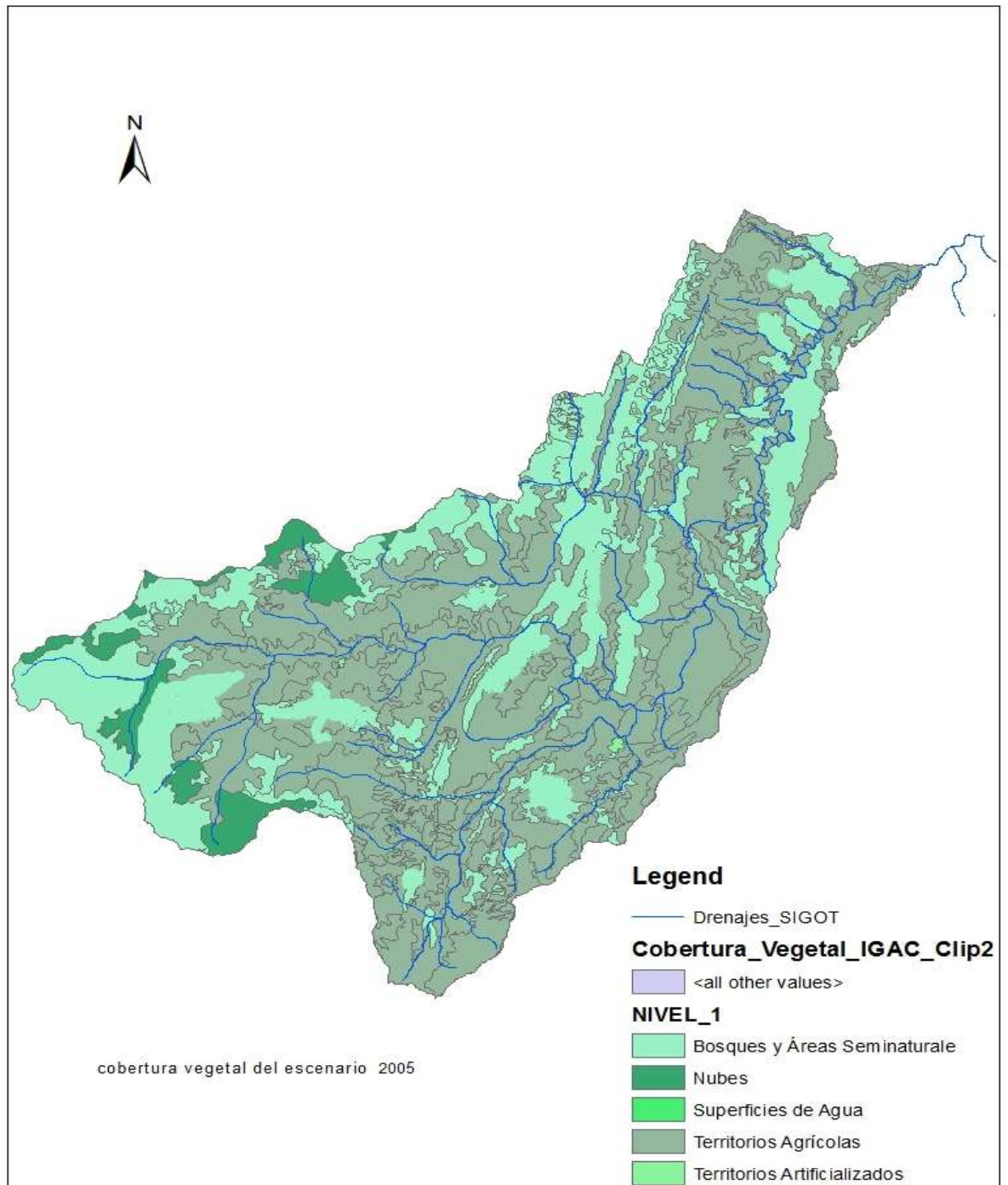


Figura 10 Uso y cobertura del año 2005 en la Cuenca Río Baché

A continuación, se observa la Figura 11 del escenario de usos y coberturas del año 2015

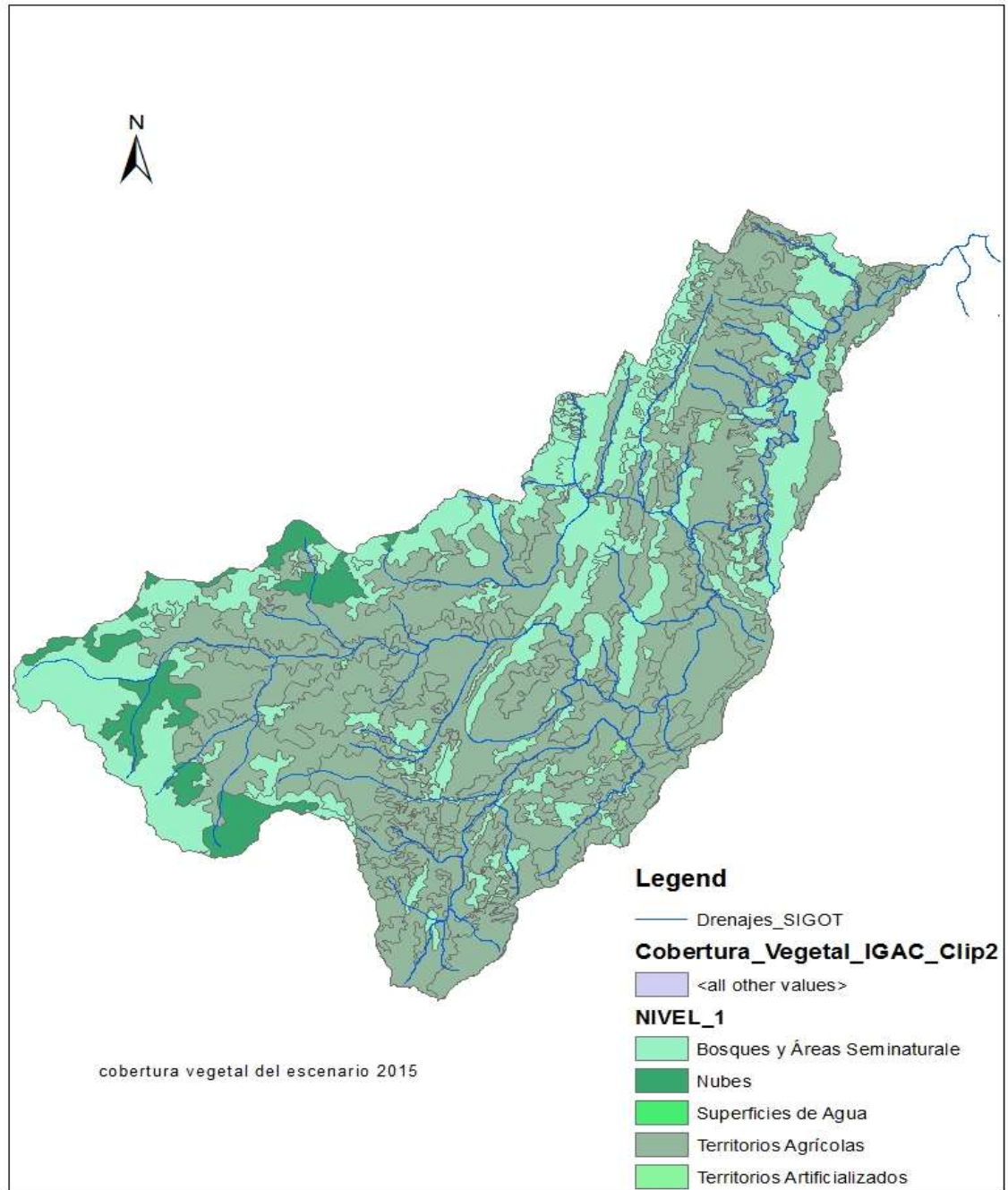


Figura 11 Usos y coberturas del escenario del año 2015 en la Cueva Río Baché

### 5.2. Calibración del modelo para distintos escenarios de usos/coberturas del suelo

En la siguiente tabla se muestra las estaciones meteorológicas para los escenarios abril de 1995, 2005 y 2015, en los parámetros de los polígonos de Thiessen.



Tabla 14 Estaciones meteorológicas escenario abril de 1995, 2005 y 2015

| número estación | Código   | Nombre estación   | Altitud (msnm) | Área 1995 |       | Área 2005 |      | Área 2015 |      |
|-----------------|----------|-------------------|----------------|-----------|-------|-----------|------|-----------|------|
|                 |          |                   |                | (ha)      | (%)   | (ha)      | (%)  | (ha)      | (%)  |
| 1***            | 21080080 | La Mina           | 1800           | 5370.8    | 5.10  | 5370.8    | 5.1  | 5370.8    | 5.9  |
| 2***            | 21120090 | El Totumo         | 700            | 8839.1    | 8.40  | 8839.1    | 8.4  | 8839.1    | 9.7  |
| 3*              | 21090140 | El Cardo 2        | 480            | 1374.6    | 1.31  | -         | -    | -         | -    |
| 4**             | 21120010 | Hda Paraguay      | 1300           | 8922.7    | 8.47  | 10330.7   | 9.9  | -         | -    |
| 5***            | 21120040 | Potrerito         | 850            | 15876.6   | 15.08 | 20374.7   | 19.5 | 20374.7   | 22.4 |
| 6***            | 21120100 | El Volcan         | 1105           | 9923.8    | 9.43  | 9923.7    | 9.5  | 9923.7    | 10.9 |
| 7**             | 21125020 | Palermo           | 550            | 2861.3    | 2.72  | 2861.5    | 2.7  | -         | -    |
| 8***            | 21120130 | Hda Rionegro      | 560            | 6362.0    | 6.04  | 7470      | 7.1  | 7470      | 8.2  |
| 9***            | 21085030 | San Rafael        | 1030           | 4918.6    | 4.67  | 4918.7    | 4.7  | 4918.7    | 5.4  |
| 10*             | 21090030 | Sta Cecilia       | 450            | 230.9     | 0.22  | -         | -    | -         | -    |
| 11***           | 21090020 | El Cucharo        | 620            | 845.6     | 0.80  | 1118.8    | 1    | 1118.8    | 1.2  |
| 12***           | 21115020 | Apto Benito Salas | 439            | 214.2     | 0.20  | 220.9     | 0.2  | 220.9     | 0.2  |
| 13***           | 21125010 | Sta Maria         | 1300           | 16968.9   | 16.12 | 16968.3   | 16.2 | 16968.3   | 18.6 |
| 14***           | 21130060 | El Carmen         | 2250           | 5217.2    | 4.96  | 5217.1    | 5    | 5217.1    | 22.4 |
| 15***           | 21130040 | San Luis          | 1140           | 2203.2    | 2.09  | 7035.8    | 6.7  | 7035.8    | 7.7  |
| 16*             | 21125040 | San Francisco     | 825            | 11638.5   | 11.05 | -         | -    | -         | -    |
| 17***           | 22020020 | Pena Rica         | 1780           | 3521.2    | 3.34  | 3521.2    | 3.3  | 3521.2    | 3.8  |

Nota: ha: hectárea; %: porcentaje; msnm: metros sobre el nivel del mar; \*: 1995; \*\*:2005; \*\*\*:2015

Se recopiló información de lluvias diarias en las estaciones climatológicas que actualmente están operando, de acuerdo a los polígonos de Thiessen mostrados en la cuenca del Río Baché y los porcentajes de influencia de cada estación por subcuenca, solo 17 de estas tuvieron influencia en el año 1995, 14 en el año 2005 y 12 en el año 2015. La tormenta ocurrió el día 24 de abril de 1995, con una lluvia total de 95 mm. En la Figura 12 se muestra los polígonos de Thiessen con 17 áreas (tabla 14), en la estación Santa María se obtiene el 16% de la precipitación y la de menor influencia es la estación Santa Cecilia con 0.22%.

### 5.2.1. Evento de abril de 1995

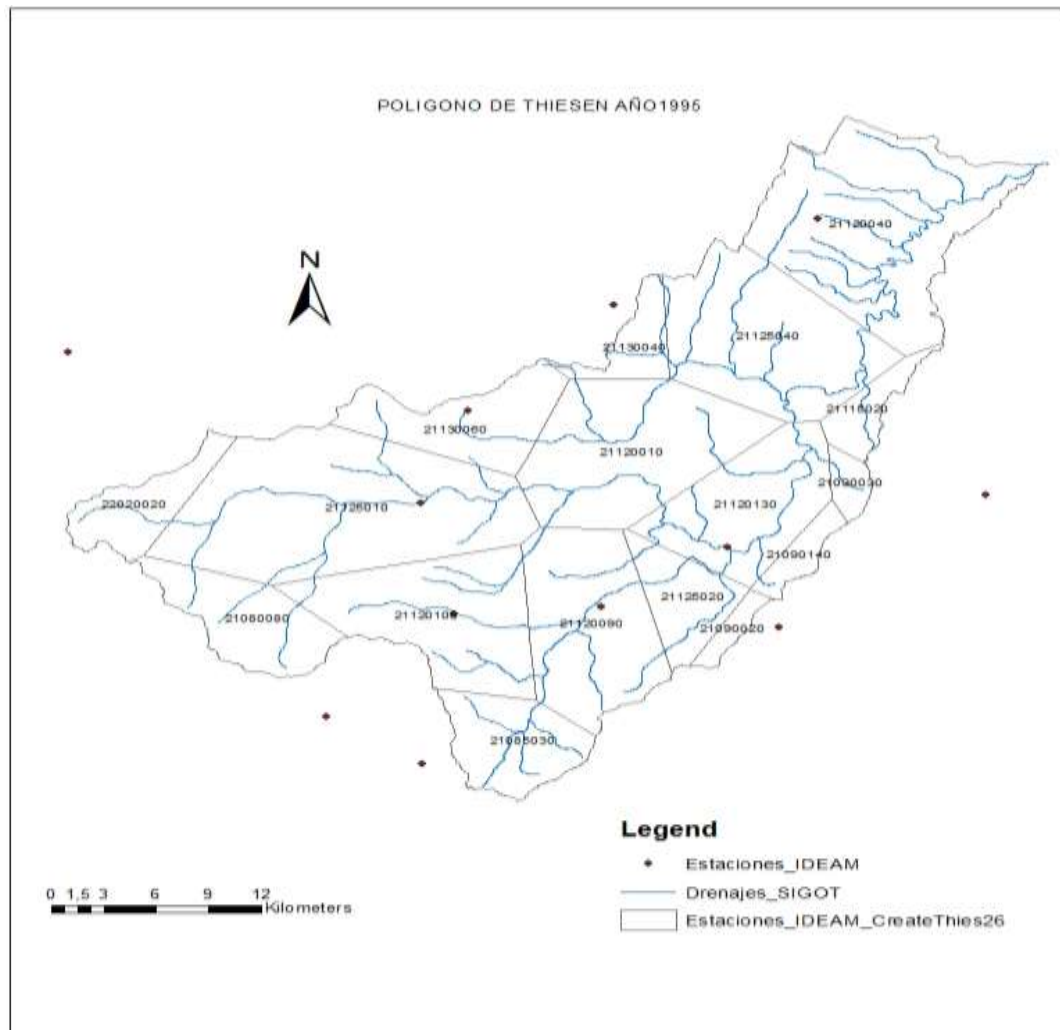
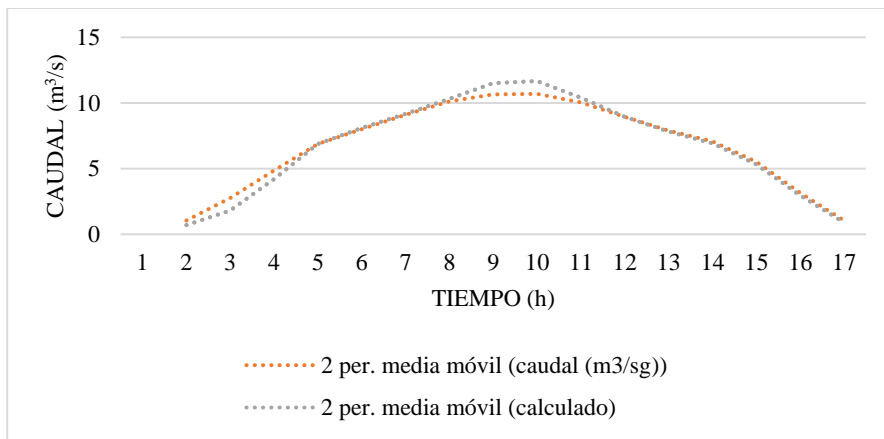


Figura 12 Polígono de Thiessen escenario abril 1995

Se observa en la *Figura 13* que las mayores precipitaciones se produjeron sobre la cuenca baja de la cuenca del Río Baché sobre suelo inceptisol de material fino y medio.



Grafica 1 Hidrograma observado y calculado para el escenario 1995

A continuación se muestra la figura 13 de las isohietas del escenario 1995

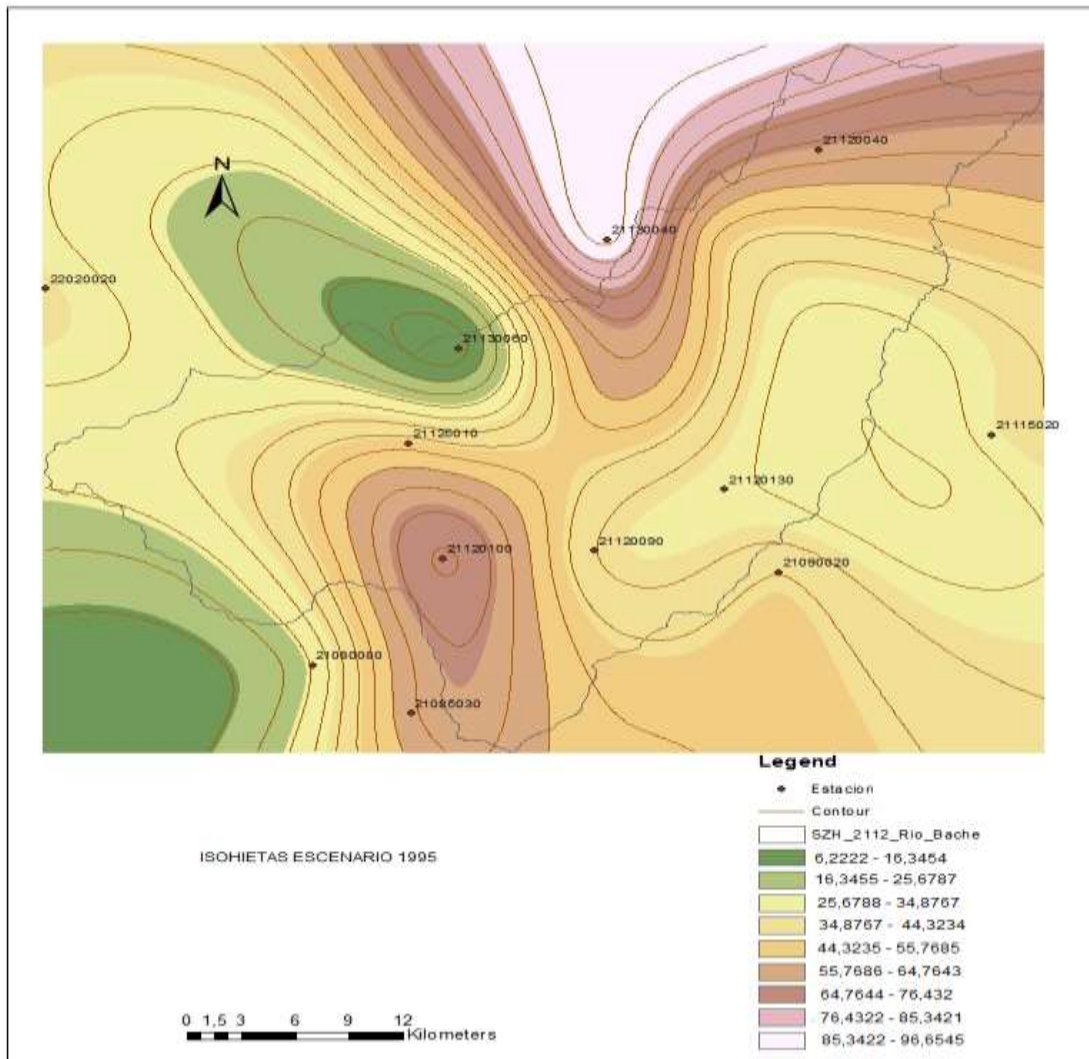


Figura 13 Isohietas para el escenario abril 1995

La calibración resultó satisfactoria. El coeficiente de eficiencia fue de 0.89 y el error estándar de  $4.02 \text{ m}^3/\text{s}$ , con un caudal medio observado de  $6.33 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los errores relativos fueron: del caudal máximo, -4% y del volumen de escurrimiento 3%. (Grafica 1). En el (Anexo I) se muestran los parámetros del modelo, los multiplicadores aplicados, el origen de los valores de los parámetros, la variabilidad espacial de los mismos y los valores mínimo, medio y máximo obtenidos.

### 5.2.2. Evento de octubre de 2005

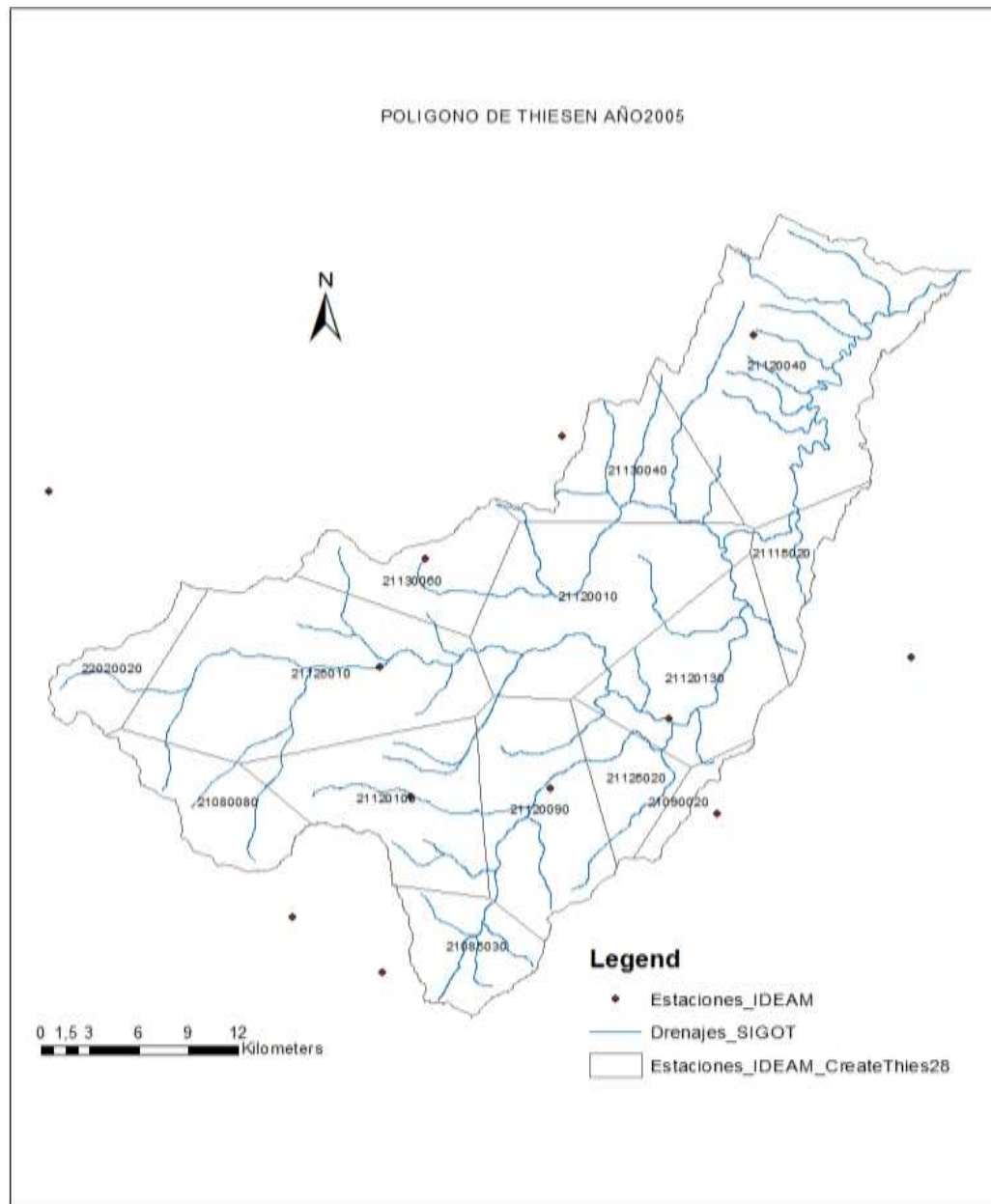
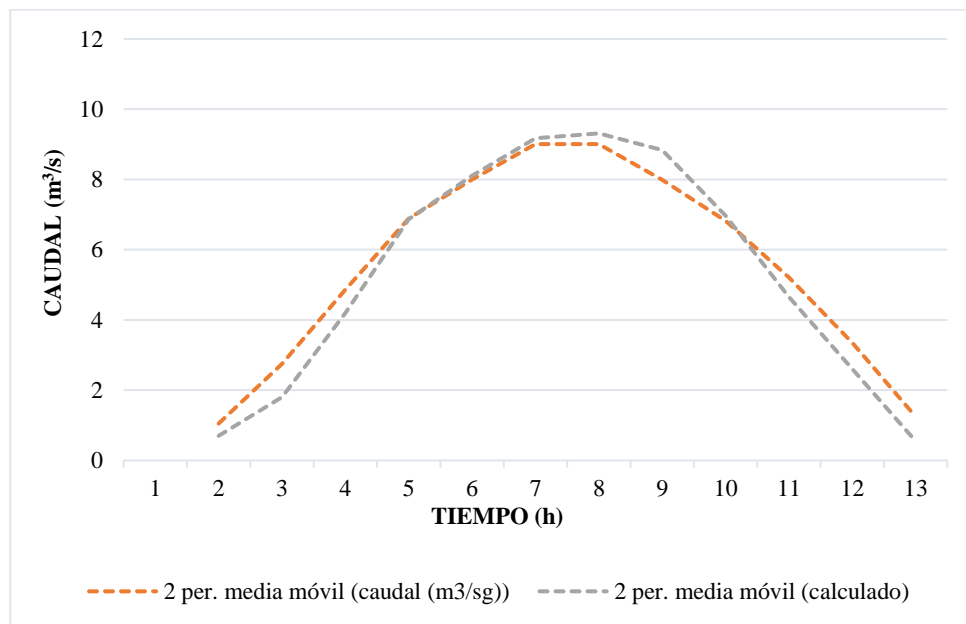


Figura 14 Polígono de Thiessen escenario 2005

La tormenta se desarrolló el día 13 de octubre de 2005, con una lluvia total areal de 73 mm. En la *Figura 14* se muestra los polígonos de Thiessen para el escenario de octubre del año 2005 mostrando 14 áreas como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en donde se encuentra ubicado la mayor parte de la precipitación de la cuenca para el dicho escenario es la estación Santa María se obtiene que 16.29% de la precipitación que se tiene en esta zona y la de menor influencia es la estación Benito salas con 0.21%



Grafica 2 Hidrograma observado y calculado para el escenario 2005

A continuación se muestra la figura 15 de las isohietas del escenario 2005

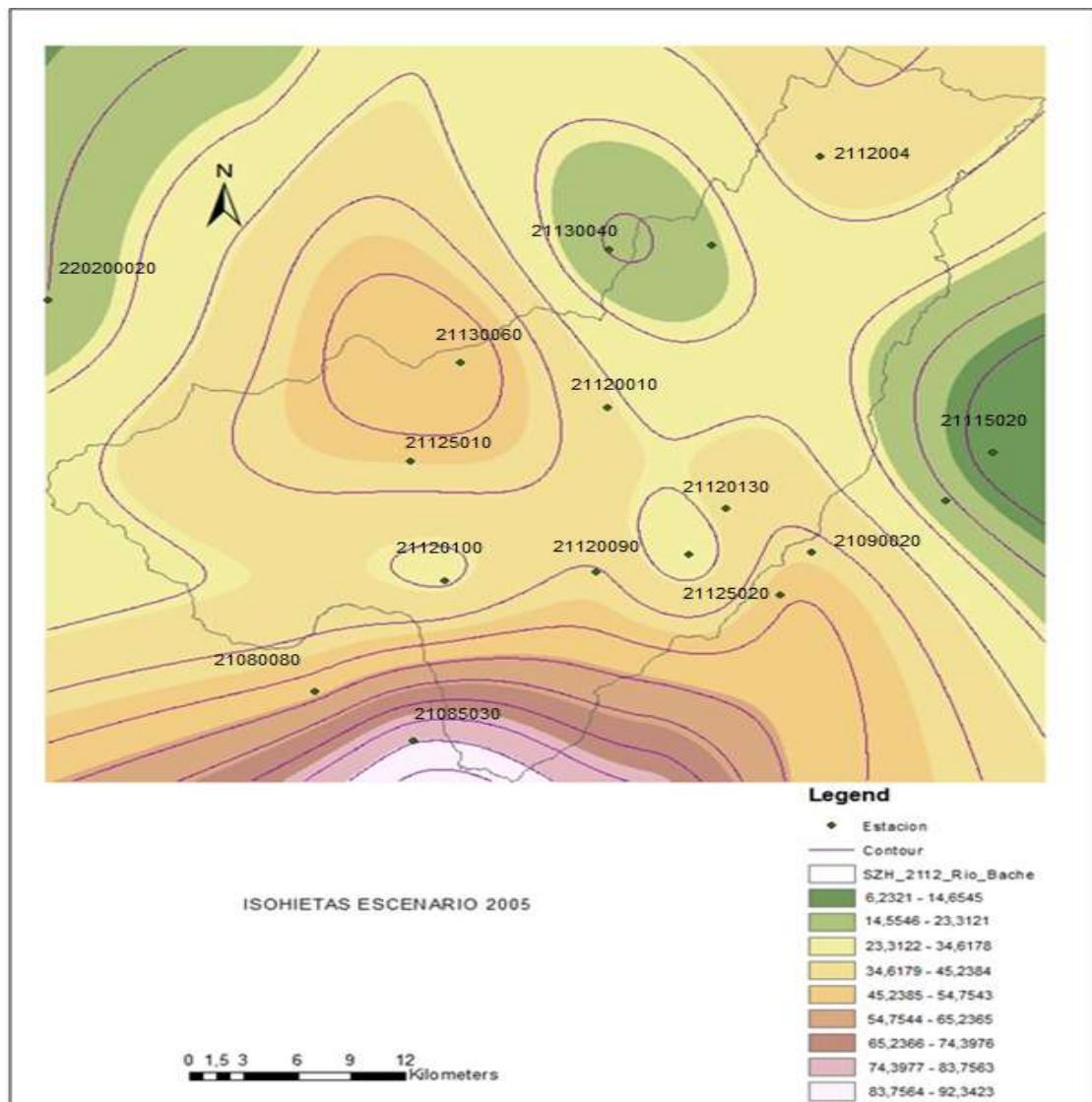


Figura 15 Isohietas para el escenario octubre de 2005

La calibración resultó satisfactoria. El coeficiente de eficiencia fue de 0.89 y el error estándar de  $3.64 \text{ m}^3/\text{s}$ , con un caudal medio observado de  $5.089 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los errores relativos fueron: del caudal máximo 9% y del volumen de escurrimiento -20%. La *Grafica 2* muestra los hidrogramas observado y simulado. En el anexo I se muestran los parámetros del modelo, los multiplicadores aplicados, el origen de los valores de los parámetros, la variabilidad espacial de los mismos y los valores mínimo, medio y máximo obtenidos.

### 5.2.3. Evento de marzo de 2015

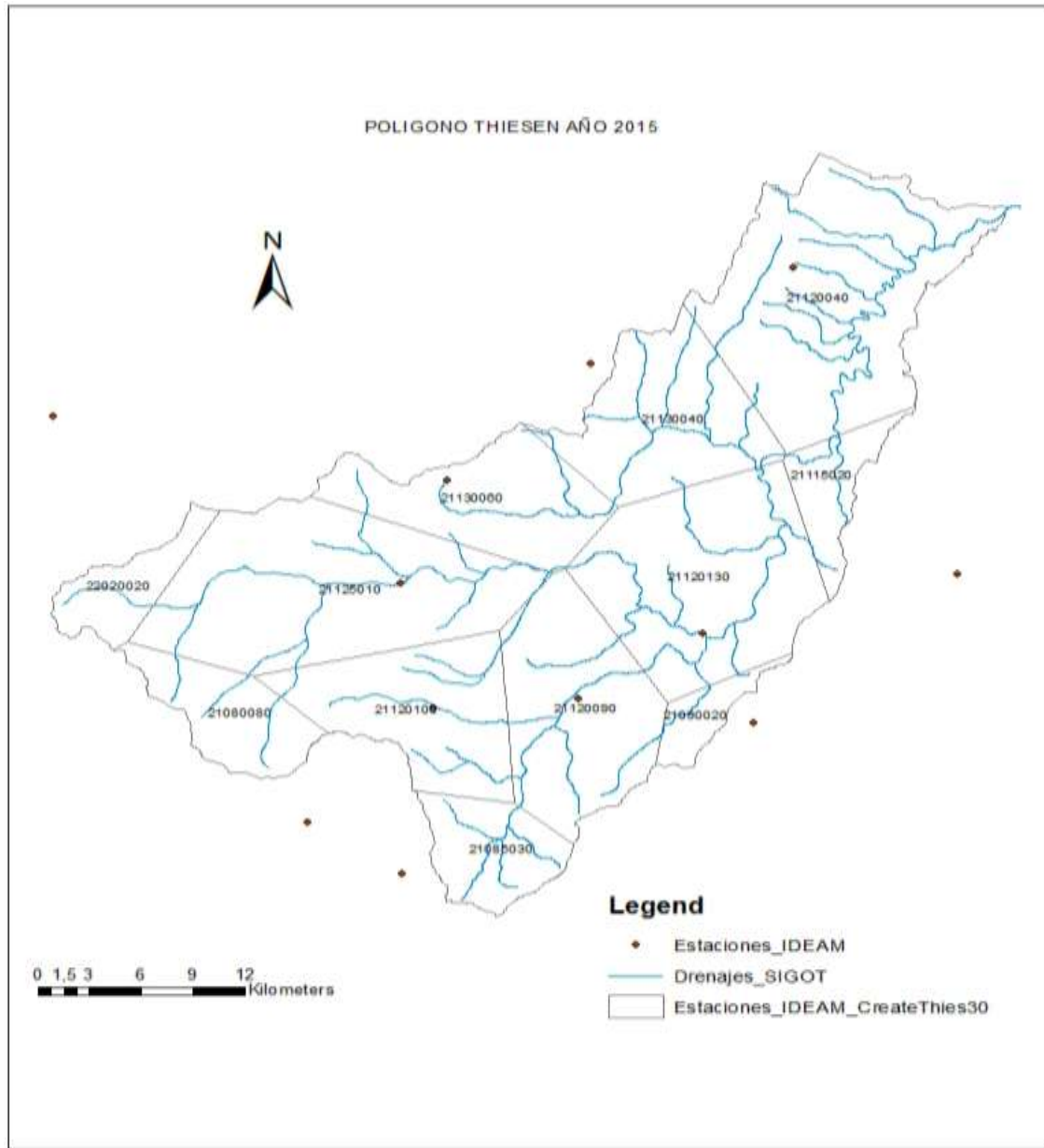


Figura 16 Polígono de Thiessen del escenario de marzo 2015

La tormenta se desarrolló el día 5 de marzo de 2015, con una lluvia total areal de 85 mm. En la *Figura 16* se muestra los polígonos de Thiessen para el escenario de marzo del año 2015 mostrando 12 áreas, en donde se encuentra ubicado la mayor parte de la precipitación de la cuenca para el dicho escenario es la estación Santa María se obtiene el 18.65% de la precipitación que se tiene en esta zona y la de menor influencia es la estación Benito salas con 0.24%

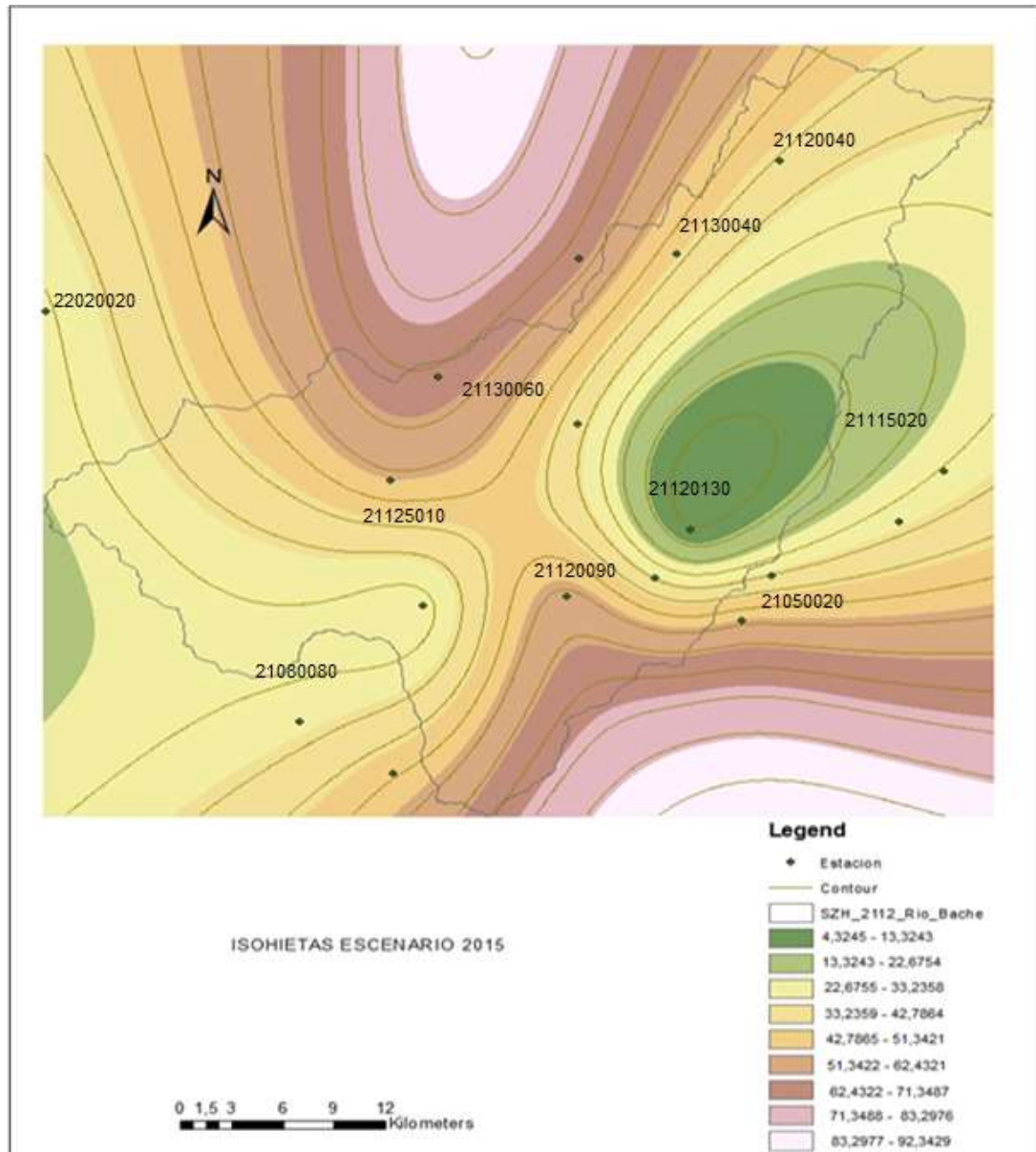
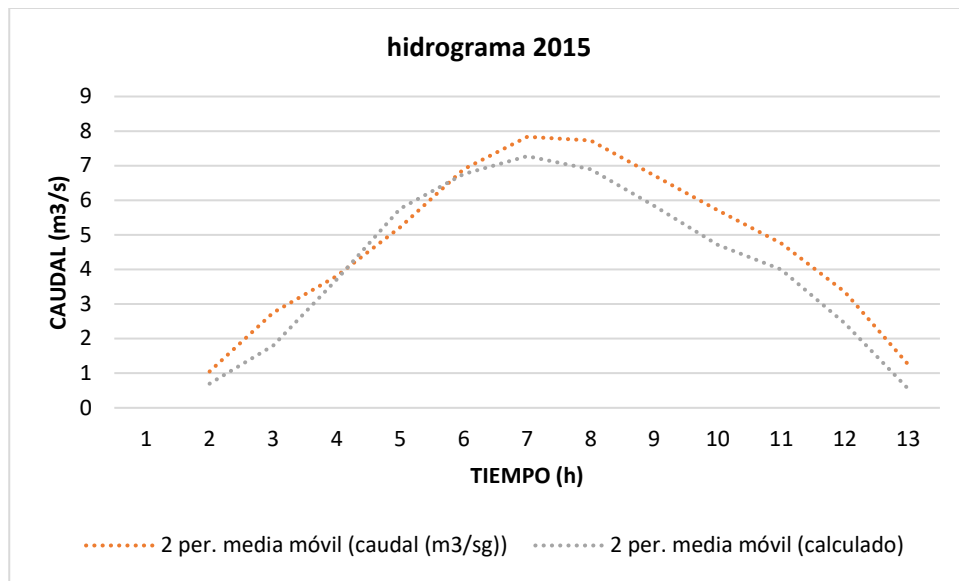


Figura 17 Isohietas para el escenario de marzo de 2015





Grafica 3 Hidrograma observado y calculado para el escenario 2015

La calibración obtenida resultó satisfactoria. El coeficiente de eficiencia fue de 0.89 y el error estándar de  $2.67 \text{ m}^3/\text{s}$ , con un caudal medio observado de  $4.39 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los errores relativos fueron: del caudal máximo, 11% y del volumen de escurrimiento -17%. La *Grafica 3* muestra los hidrogramas observado y simulado.

En el anexo I se muestran los parámetros del modelo, los multiplicadores aplicados, el origen de los valores de los parámetros, la variabilidad espacial de los mismos y los valores mínimo, medio y máximo obtenidos.

#### 5.2.4. Análisis de resultados

Para los tres eventos simulados, las zonas con mayores escurrimientos se ubican en la cuenca baja. Los parámetros del modelo HC HMS asociados a la cobertura de suelo para una Cuenca rural son tres: INT (profundidad de intercepción en mm), COVER (porcentaje de cobertura), N (coeficiente de rugosidad de Manning para flujo superficial). Los 3 parámetros tienen incidencia sobre el volumen de escurrimiento simulado.

A partir de los valores medios de los parámetros en la Cuenca total, para cada uno de los escenarios de cobertura considerados como se muestra en la *Tabla 15*

Tabla 15 Valores medios de la cuenca del Río Baché

| <b>Cobertura</b> | <b>Int<br/>(mm)</b> | <b>Cover<br/>(%)</b> | <b>N<br/>(mannig)</b> |
|------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| 1995             | 1.29                | 28.47                | 0.149                 |
| 2005             | 1.22                | 28.61                | 0.145                 |
| 2015             | 1.26                | 29.27                | 0.145                 |

Los valores de los parámetros no varían de manera significativa entre escenarios, para la escala de la Cuenca total. Los resultados obtenidos muestran una disminución de la conductividad hidráulica saturada del suelo media areal (KS) para los escenarios 2005(1.74 mm/h) y 2015(1.54 mm/h) respecto del escenario de 1995 (1.93 mm/h).

La disminución de KS, aplicada en forma agregada a todas las subcuencas por simplicidad del tratamiento, puede interpretarse físicamente como la consecuencia del proceso de destrucción de la estructura de los suelos destinados a uso agrícola. Los suelos molisoles y vertisoles de la Cuenca en estudio son afectados severamente por el manejo agrícola, que provoca pérdida de materia orgánica, erosión y compactación.

#### **5.4. Programa HC-HMS**

##### 5.4.1. Consideraciones generales

Se evaluaron los efectos de cambios de usos/coberturas del suelo sobre la escorrentía y los caudales máximos en la Cuenca del Río Baché. Para ello, se aplicó el modelo calibrado para cada escenario de usos/coberturas (1995, 2005 y 2015) considerando como entrada una tormenta sintética para los distintos escenarios. De acuerdo al programa HC- HMS, se verifica la calibracion y validacion de la modelacion de la cuenca del Río Baché (*Figura 18*).

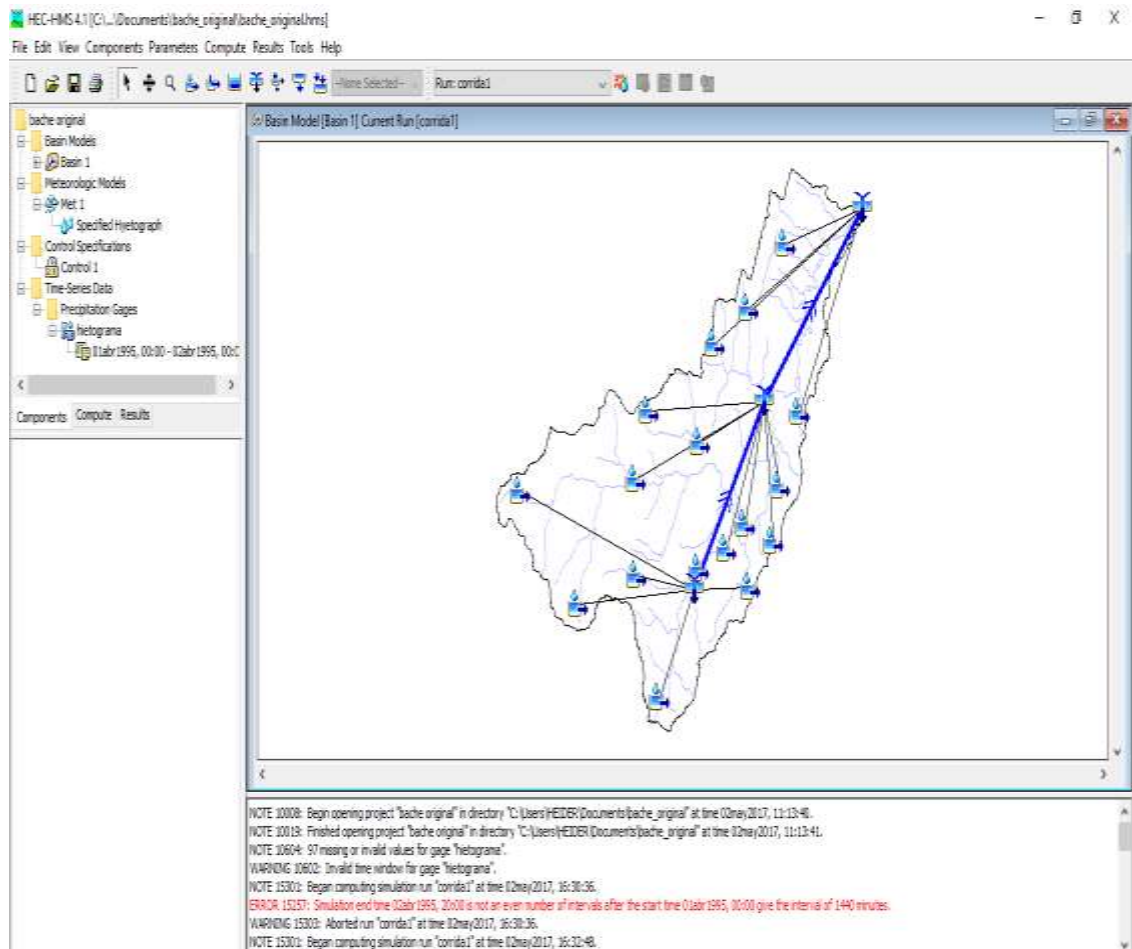


Figura 18 Modelación del programa HC-HMS

#### 5.4.2. Tormenta sintética adoptada

La simulación de la cuenca del Río Baché se realiza según el tipo de información disponible respecto de los volúmenes. Los niveles de precipitación y los gastos de salida, de manera general las opciones disponibles en el programa para llevar a cabo esta simulación conocida como **TORMENTA UNICA SINTETICA**.

Para el caso de los tres escenarios de la Cuenca, dado que se trata de uniones del sistema hidrológico, se eligió la opción *Specified Released*, la cual considera como datos de entrada las salidas registradas en el funcionamiento del vaso y las condiciones iniciales de la cuenca hídrica, como se especificó en la modelación al momento de hacer la simulaciones. Del informe final entregado al Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2015 y IDEAM

2015, se obtuvieron los porcentajes mensuales de relación evaporación- evapotranspiración en la cuenca del Río Baché.(tabla 16)

Tabla 16 Parámetros de relación P-ET

| Coeficiente | MESES |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | Ene   | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|             | 0.62  | 0.49 | 0.40 | 0.47 | 0.58 | 0.77 | 1.25 | 1.44 | 0.96 | 0.89 | 0.88 | 0.87 |

El funcionamiento de un modelo hidrológico es usualmente evaluado por inspección visual de las avenidas observadas y simuladas por las tormentas sintéticas. En las siguientes figuras se muestran los resultados de la modelación hidrológica continua en el período 1995, 2005 y 2015 de forma diaria, simulaciones en las que se fueron actualizando los parámetros de las subcuencas de acuerdo a cada corrida y optimización.

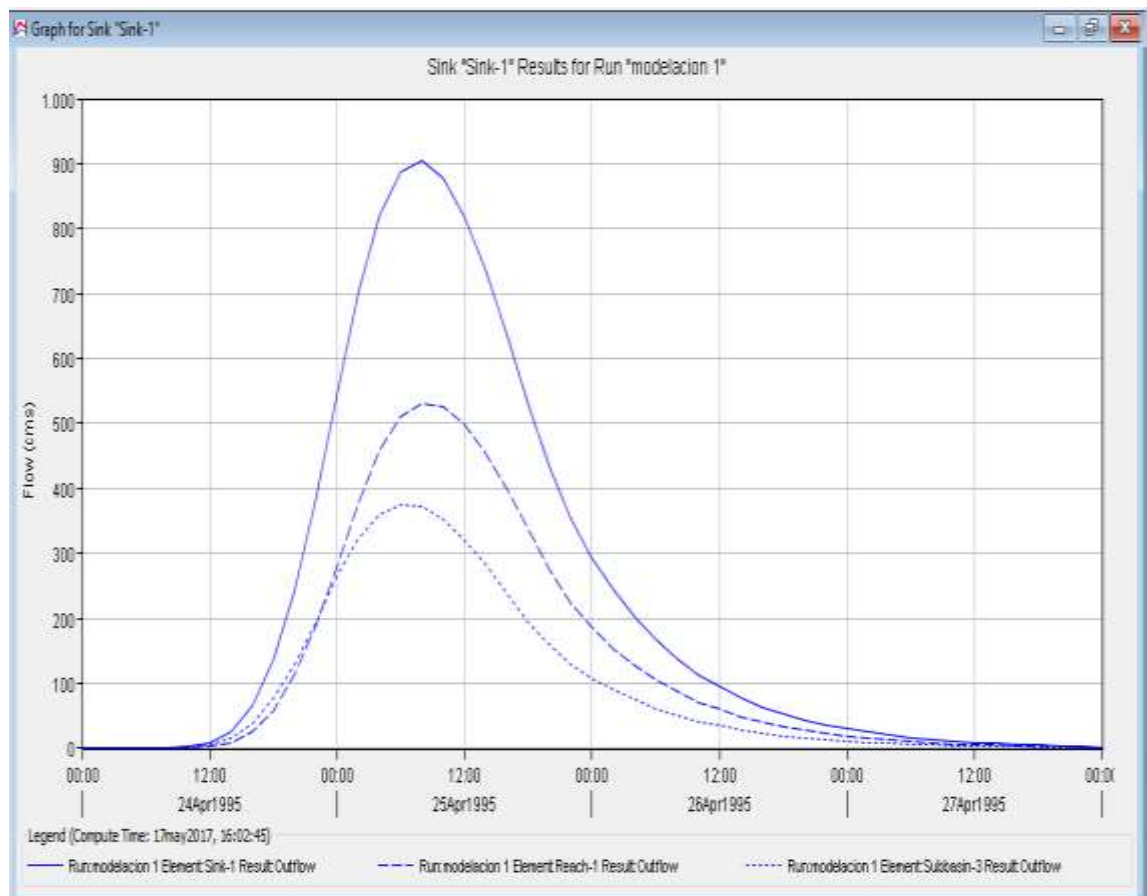


Figura 19 Modelación de la tormenta sintética para el año 1995

En la *Figura 19* se observa que el evento de modelación tiene una extensión de tres días para el proceso de referencia de tormenta sintética, este escenario con uso de cobertura de suelo de bosques nativo del 44.23% frente a la producción agropecuaria de 55.76%, el resultado fue 897 m<sup>3</sup>/s, siendo elevado frente a la capacidad de la Cuenca según el proyecto de aguas del IDEAM 2014, de igual manera se manifiesta que el caudal es representativo para tres días de precipitación con la mayor capacidad de caudal hídrico.

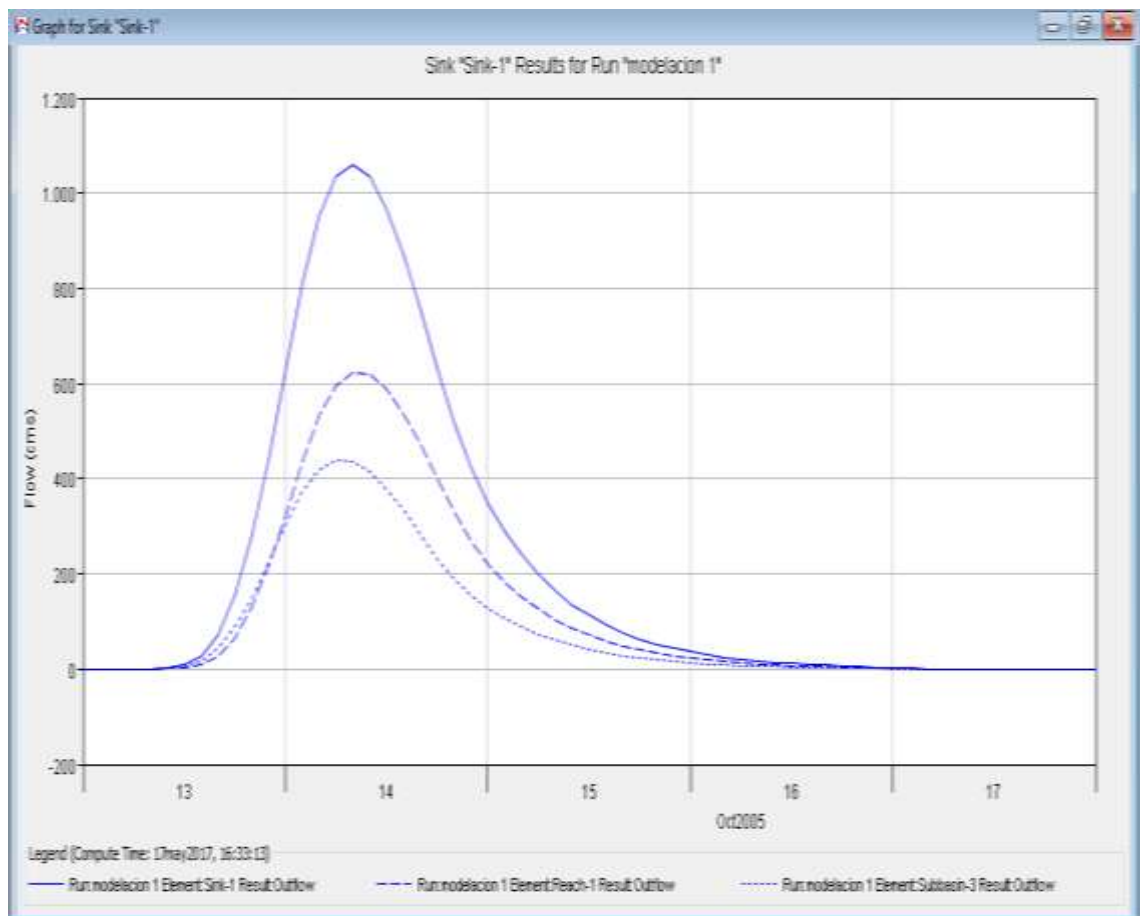


Figura 20 Modelación de la tormenta sintética para el año 2005

Para el escenario 2005 (*Figura 20*) el resultado fue de 1110.76m<sup>3</sup>/s es un caudal elevado, por lo que se infiere que la cobertura del suelo es afectada por la amplitud de la producción agropecuaria con el 60.33% frente al 39.67% de bosques nativos, afectando el suelo desprotegido frente a la erosión.

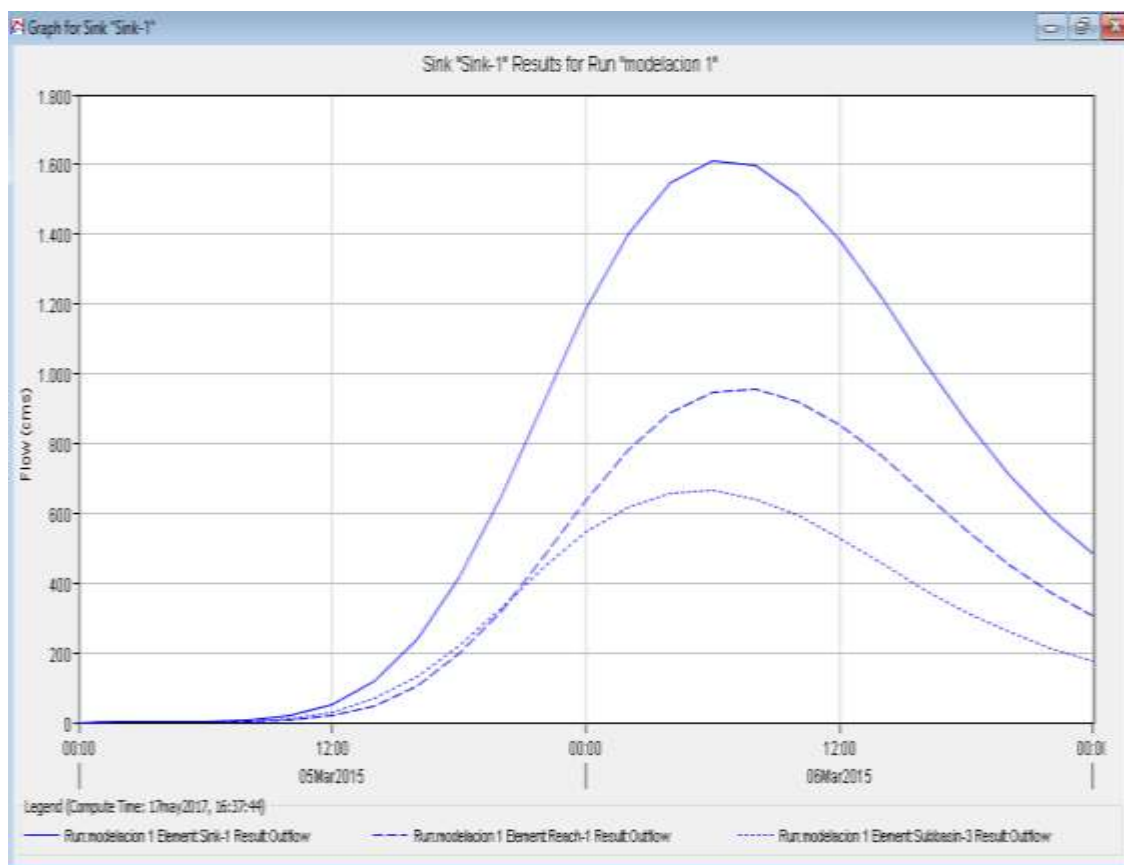


Figura 21 Modelación de la tormenta sintética para el año 2015

Para el escenario 2015 (*Figura 21*) el resultado fue de  $1612\text{m}^3/\text{s}$ . se infiere que es un caudal muy elevado por lo que se analiza que la cobertura del suelo es afectada por la amplitud de la producción agropecuaria con el 70.12 % frente al 29.88% de bosques nativos.

El modelo HEC-HMS se adapta bien a cuencas con áreas mayores de 100.000 hectáreas, el valor del coeficiente de Nash Sutcliffe está en los rangos de aceptación por lo tanto la simulación es eficiente al ser más compleja la calibración en este tipo de cuencas al intervenir un mayor número de variables en la simulación hidrológica, ya que la calibración depende no solamente de los escurrimientos que se generan en cuenca propia sino también de los provenientes de las cuencas aguas arriba (tabla 17).

Tabla 17 Coeficiente de Nash Sutcliffe

| Escenario | R    |
|-----------|------|
| 1995      | 0.76 |
| 2005      | 0.78 |
| 2015      | 0.78 |

De igual manera se realizó una validación de datos de la precipitación de los escenarios 1995, 2005 y 2015 en cuanto a los rangos de aceptación estos tres escenarios sufren cambios naturales como se registra en el informe IDEAM, 2015. Este refleja que estos escenarios son muy variables por los efectos climáticos y variabilidad del espacio usurpado por el hombre, por esta razón se realiza la regresión polinómica de 5 orden, como lo sugiere Campo 2014. Para los tres escenarios el porcentaje de confiabilidad precipitación es válido por ser superior al 70% como lo afirma Steel y Torrie, 1960; en la tabla 18 se representa la validez de los datos de precipitación para el  $R^2$ . Como fuente de aceptación para la modelación de los tres escenarios (anexo H).

Tabla 18 parámetro de  $R^2$  para los escenarios 1995, 2005, 2015

| <b>Escenario</b> | <b><math>R^2</math></b> | <b>Ecuación</b>   |
|------------------|-------------------------|---|
| 1995             | 0.7017                  | $y = -1.7621x^5 + 50.347x^4 - 480.24x^3 + 1659.7x^2 - 1081.6x + 796.82$ |
| 2005             | 0.9039                  | $y = -0.7933x^5 + 19.868x^4 - 144.55x^3 + 226.18x^2 + 331.27x + 2152.3$ |
| 2015             | 0.8779                  | $y = -0.7082x^5 + 17.074x^4 - 116.08x^3 + 84.103x^2 + 858.71x + 510.57$ |

## 6. Conclusiones

Existe disminución de la conductividad hidráulica saturada del suelo de la Cuenca del Río Baché para los escenarios 2005 (1.74 mm/h) y 2015 (1.54 mm/h) respecto del escenario de 1995 (1.93 mm/h), lo cual es consecuencia del proceso de destrucción de la estructura de los suelos destinados a cultivos transitorios.

Los escenarios de usos/coberturas del suelo para el periodo 1995 – 2015 resultó en aumento de la superficie agrícola, pérdida de bosques y área herbácea en la Cuenca del Río Baché. La disminución de la superficie de bosque representa 9.79% de la superficie total de la cuenca, siendo la mayor extensión ocupada por suelos Andisoles e Inceptisoles. Estos se caracterizan por un alto contenido de arcillas y cenizas volcánicas que ocupan el 49.8% de la superficie total de la cuenca y están localizados en zonas adyacentes a la red de drenaje.

Se presentó un aumento general de la escorrentía y de los caudales máximos al pasar del escenario 1995 al 2005, lo que es coherente con la disminución de la conductividad hidráulica del suelo para este último.

La escorrentía como el caudal máximo aumentaron un 25% debido a los mayores cambios de usos/coberturas del suelo.

El aumento de la superficie agrícola en la Cuenca del Río Baché en el período 1995 - 2015, ha originado un aumento tanto de la escorrentía como de los caudales máximos, principalmente por la baja a muy baja resistencia a la erosión de los suelos Andisoles e Inceptisoles, cuando son sometidos a uso agrícola. Este uso causa pérdida de materia orgánica, erosión y destrucción de la estructura, originando disminución de sus conductividades hidráulicas. En consecuencia bajo uso agrícola estos suelos tienen coeficientes de escorrentía próximos a la unidad después de un humedecimiento prolongado.



Se demostró la utilidad del modelo HC-HMS y técnicas de SIG y teledetección empleadas para evaluar los efectos de cambios de usos/coberturas del suelo sobre la distribución espacio-temporal de la esorrentía en cuencas hidrográficas. Estas herramientas pueden ser utilizadas para planificar un aprovechamiento sustentable de los recursos suelo y agua en cuencas de la región.

Finalmente se recomienda profundizar los estudios con mayor cantidad de eventos e incorporar al análisis la pérdida de suelos por erosión, así como los efectos de la variabilidad y cambio climático.

## 7. Referentes bibliográficos

Abrahams, A. D., 1995. Step-pool streams: Adjustment to maximum flow resistance. *Water Resources Research*, p. 31.

Aguayo, M., Stehr, A. & Link, O., 2016. Respuesta hidrológica de una cuenca de meso escala frente a futuros escenarios de expansión forestal. *Revista de geografía Norte Grande*.

Arango, F. L., Cuartas, J. R., Sanches, L. J. & Acevedo, G. R., 2010. Plan estratégico, tecnología, e innovación. Neiva: Gobernación del Huila.

Bosch, J. M. & Hewlett, J. D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *hydrology*, pp. 3-23.

Brown, G. D. & Chater, N., 2007. A temporal ratio model of memory. *Psychological Review*, pp. 539-576.

Calle, E., 2000. Protocolo Para La Modelación Matemática De Procesos Hidrológicos. *Meteorología Colombiana*, pp. 33-38.

CAM, CENIGAA, TNC, IDEAM, 2015. Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM); Centro de Investigación en Ciencias y Recursos. STCKHOLM, pp. 1-4.

CHPS/FEWS, 2017. SISTEMA. [En línea]  
Available at: <http://www.nws.noaa.gov/oh/hrl/chps/>

Chuanguo, Y., 2009. Analysis and Simulation of Human Activity Impact on Streamflow in the Huaihe River Basin with a Large-Scale Hydrologic Model. America Meteorological Society.

Duan, Q., Lohman, D. & Schaake, J., 2017. Physics Abstract Service. [En línea] Available at: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2001AGUSM...H32C07D>

Espiritu, T. G., 2013. Criterios geológicos hidrologícos para recomendaciones del uso de suelo en zonas conurbadas sujetas a satisfacciones por lluvias intensas. Caso de estudio sur de la ciudad Tuxtla Gutierrez , Chiappas. Investigaciones Geograficas, boletin del Instituto de Geografia, pp. 36-54.

FEWS(flood early warning systems), 2017. fews. [En línea] Available at: <https://publicwiki.deltares.nl/display/FEWSDOC/Home>

Gil, M. E., 2012. Modelación Hidrológica De Los Páramos Andinos Con Topmodel: Páramo De Chingaza, Colombia. Medellin: Universidad Nacional de Colombia.

Girón, J. B., Domínguez, E. & Etter, A., 2009. Modelación del efecto de escenarios de cobertura sobre la migración de nutrientes (N, P2O5) en la cuenca alta del río Magdalena (Huila, Colombia). Ingeniería y Universidad, 13(2), pp. 1-11.

HBV, 2017. MODELO HBV. [En línea] Available at: <https://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/homs/Components/Spanish/j04202.htm>

HEC-HMS, 2017. Hydrologic modeling systems. [En línea] Available at: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

Hernan, M. y otros, 2006. Modelación Hidrológica e Hidráulica Aplicada a Estudios de Inundabilidad en Cauces Naturales Caso de Estudio: Urbanización Río Nima. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, pp. 27-38.

Hewlett, J. D. & Hibbert, A. R., 1967. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. Progress in Physical Geography, pp. 90-275.

HYDROTEL, 2017. Modelig Hidrlogical Hidrotel. [En línea]  
Available at: <http://hydrotel.codeplex.com/documentation>

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015. Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011- 2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. ISBN 978-958-8902-55-5.

IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C., 2015. 496 páginas. ISBN: 978-958-8067-70-4

Kepner, G. W., Semmens, J. & Hernandez, M., 2008. Evaluating Hydrological Response to Forecasted Land-Use Change: Scenario Testing with the Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA) Tool. The Third Interagency Conference on Research in the Watersheds, pp. 8-11.

Kosmas, C., 1997. The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions. elsevier catena, p. 15.

Londoño, C., Cleef, A. & Madriñan, s., 2014. Angiosperm flora and biogeography of the param region colombia, northen andes.. flora- morphology, distribution, functional ecology of plants, pp. 81-87.

Labrador, A., Zúñiga, . J. & Romero, J., 2016. Desarrollo de un modelo para la planificación integral del recurso hídrico en la cuenca hidrográfica del Río Aipe, Huila, Colombia

Development of a model for integral planning of water resources in Aipe catchment, Huila, Colombia. *Revista Ingeniería y Región*, 15(1), pp. 23-35.

FAO, Un cuestionario para posibilitar la realización de Mapas de la Degradación de la Tierra y el Desarrollo de Mecanismos para el Manejo Sustentable de la Tierra, Copyright © 2007: CDE/WOCAT, FAO/LADA

Moncayo Calderon, O. J., Losada Palacios, L. & Cruz Padilla, J., 2016. Modelación Hidrológica de la Cuenca del Río Baché En El Departamento del Huila desde La Herramienta de Planificación Integrada de Recursos Hídricos.. p. 58.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, decreto 1648, "Por el cual se adiciona un Capítulo al Título 9, de la Parte 2, del Libro 2, del Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la Tasa Compensatoria por la utilización permanente de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, y se dictan otras disposiciones" url <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201648%20DEL%2021%20DE%20OCTUBRE%20DE%202016.pdf>.

Naranjo, E. H. & Motta, H. H., 1990. Efecto del Uso y Manejo de los Suelos del Centro Experimental Tarpeya, Sobre Algunas características Físicas, Neiva: Tesis de grado- Ingeniería Agrícola- Universidad Surcolombiana

NWSRFS-SAC-SMA, 2017. National Weather Service River. [En línea] Available. URL at: <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/homs/Components/Spanish/j04301.htm>

Oberthur, T. y otros, 2011. Relational relationships between inherent coffee quality and growing environment for denomination of origin labels in Nariño and Cauca. *Food policy*, pp. 783-794.

ONU, 2015. Objetivos de Desarrollo del Milenio Informe de 2015, Copyright © Naciones Unidas, 2015 Reservados todos los derechos URL: [http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015\\_spanish.pdf](http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015_spanish.pdf)

Palermo, 1999. Municipio de Palermo Plan de Desarrollo Municipal “Palermo por su transformación social”. URL: [http://www.palermoHuila.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestion\\_yControl/Plan%20de%20Desarrollo%202012-2015.pdf](http://www.palermoHuila.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestion_yControl/Plan%20de%20Desarrollo%202012-2015.pdf)

PRMS, 2017. The Precipitation Runoff Modeling Systems. [En línea] Available at: [http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/SW\\_MoWS/PRMS.html](http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/SW_MoWS/PRMS.html)

Rs Minerve, 2017. Rs Minerve. [En línea] Available at: <http://www.crealp.ch/fr/accueil/ressources/logiciels/rs-minerve/telechargements.html>

Rojas Basto, L., Gisela Artunduaga, L., Katherine, Y., & Suárez Salazar, J. (2015). *Especies arbóreas de uso múltiple en zonas de bosque seco tropical en el sur de Colombia* (Vol. 12).

SHE, 2017. Systeme Hydrology quee Europeen. [En línea] Available at: <http://www.mikebydhi.com/Products/WaterResources/MIKESHE.aspx>

Toledo, M. A., Moran, R. & Campos, H., 2012. Modelacion del movimiento del agua en medios porosos no lineales mediante un esquema de diferencias finitas. Revista internacional de metodos numericos para calculo y diseño en ingenieria, pp. 225-236.

Torres, B. F. y otros, 2015. La modelacion hidrodinamica para la gestion hidrica del embalse el Gujaro, Colombia. Revista internacional para calculo y diseño en ingenieria, pp. 133-145.

USDA, 1970. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Agencia para el Desarrollo Internacional ed. s.l.:Departamento de Agricultura de los EE.UU.

## 8. ANEXOS

### Anexo A

| OBJECTID<br>* | NIVEL_1                         | NIVEL_2                                     | Hectáreas | Shape_Length | Shape_Area |
|---------------|---------------------------------|---|-----------|--------------|------------|
| 46            | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 132.75    | 6995.45      | 1327568.2  |
| 88            | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 153.18    | 8478.29      | 1531858.1  |
| 106           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 223.55    | 10213.47     | 2235533.7  |
| 112           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 2552.05   | 15116.62     | 4283522.6  |
| 113           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 98.625    | 6030.11      | 986253.13  |
| 116           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 748.68    | 15487.72     | 7486829.4  |
| 124           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 51.922    | 3114.88      | 201009.71  |
| 126           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 448.52    | 9819.56      | 4485292.8  |
| 128           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 84.319    | 353.31       | 8148.5104  |
| 130           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 492.94    | 15764.84     | 4929436.3  |
| 133           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 5177.13   | 66309.74     | 27868272.  |
| 139           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 282.24    | 10943.80     | 2822403.5  |
| 142           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 189.27    | 9229         | 1892787.2  |
| 146           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 53.397    | 3421.14      | 533974.57  |
| 150           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 91.418    | 5685.79      | 914182.93  |
| 164           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 35.458    | 2458.19      | 354582.85  |
| 168           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 51.628    | 4760.37      | 516289.75  |
| 173           | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación | 89.029    | 5485.99      | 890292.70  |



|     |                                 |  |         |          |           |
|-----|---------------------------------|--|---------|----------|-----------|
| 234 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas Abiertas sin o con poca<br>Vegetación  | 175.88  | 8594.24  | 1758872.3 |
| 48  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 146.23  | 720.41   | 9134.07   |
| 51  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 171.77  | 10725.97 | 1717720.6 |
| 52  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 181.65  | 11090.26 | 1816005   |
| 53  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 44.78   | 3865.05  | 447808.58 |
| 57  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 66.99   | 4507.86  | 669937.97 |
| 58  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 73.100  | 8156.69  | 731005.24 |
| 59  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 159.73  | 8140.33  | 1597316.1 |
| 61  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 218.43  | 12016.48 | 2184399.2 |
| 62  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 101.56  | 7054.58  | 1015636.7 |
| 63  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 626.47  | 38939.15 | 6264770.0 |
| 64  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 273.09  | 12624.31 | 2730901.8 |
| 68  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 150.05  | 6505.54  | 1500577.9 |
| 79  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 1216.83 | 2863.75  | 286668.51 |
| 198 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 605.14  | 25027.19 | 6051414.1 |
| 199 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 36.58   | 3166.91  | 365899.54 |
| 201 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 29.90   | 2433.80  | 299058.24 |
| 203 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 152.05  | 12281.43 | 1520538.7 |
| 204 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 272.61  | 18968.51 | 2726175.6 |
| 205 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 142.89  | 10844.95 | 1428943.4 |

|     |                                 |  |         |          |           |
|-----|---------------------------------|--|---------|----------|-----------|
| 206 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 119.96  | 5372.62  | 1199616.5 |
| 207 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 73.49   | 4848.62  | 734994.59 |
| 208 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 269.04  | 14947.01 | 2690439.1 |
| 209 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 76.45   | 5368.59  | 764537.13 |
| 210 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 94.19   | 8864.34  | 941914.32 |
| 211 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 1043.78 | 24271.99 | 10437181. |
| 212 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 125.52  | 7826.67  | 1255273.1 |
| 213 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 176.55  | 11373.96 | 1765584.9 |
| 214 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 471.12  | 12511.44 | 4711292.5 |
| 215 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 324.99  | 131.69   | 111.03836 |
| 216 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 84.81   | 8474.56  | 848147.10 |
| 218 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 354.10  | 20346.46 | 3541045.5 |
| 219 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 90.99   | 7250.82  | 909925.78 |
| 221 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 425.46  | 2762.48  | 404658.83 |
| 222 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 172.83  | 7278.78  | 1728312.0 |
| 223 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 273.64  | 21264.79 | 2548753.9 |
| 224 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 353.38  | 5003.07  | 632657.87 |
| 225 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 161.69  | 1073.93  | 20064.274 |
| 226 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 735.33  | 54032.56 | 7353358.5 |
| 243 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 2909.36 | 80045.62 | 29093146. |

|     |                                 |  |         |           |           |
|-----|---------------------------------|--|---------|-----------|-----------|
| 244 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 291.22  | 15682.09  | 2912231.7 |
| 246 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 383.67  | 24644.72  | 3836766.0 |
| 247 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 66.13   | 4392.33   | 661357.28 |
| 248 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 2329.42 | 48803.33  | 15978373. |
| 249 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Áreas con Vegetación Herbácea y<br>Arbustiva | 26256.1 | 145609.03 | 32570281. |
| 3   | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 458.09  | 1962.29   | 131967.92 |
| 49  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 24229.5 | 80887.14  | 59012435. |
| 50  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 61.63   | 4604.47   | 616347.42 |
| 54  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 230.27  | 10170.09  | 2302716.9 |
| 65  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 112.61  | 7739.59   | 1126143.8 |
| 66  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 381.26  | 15354.46  | 3812640.5 |
| 67  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 545.93  | 22029.95  | 4025906.3 |
| 71  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 129.36  | 12848.12  | 1293635.8 |
| 73  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 0.32    | 338.91    | 3243.9880 |
| 77  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 2512.27 | 59332.88  | 18913336. |
| 82  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 1776.2  | 53985.46  | 17760873. |
| 86  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 52.49   | 8928.63   | 524916.02 |
| 92  | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 175.23  | 36311.30  | 1752364.9 |
| 100 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 86.582  | 8984.01   | 865821.67 |
| 193 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                                      | 188.13  | 27759.66  | 1874067.0 |

|     |                                 |                              |         |          |           |
|-----|---------------------------------|------------------------------|---------|----------|-----------|
| 194 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                      | 77.39   | 1133.29  | 26278.440 |
| 229 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                      | 160.18  | 23861.72 | 1601835.0 |
| 237 | Bosques y Áreas<br>Seminaturale | Bosques                      | 144.31  | 19447.17 | 1443115.8 |
| 2   | Nubes                           | Nubes                        | 707.53  | 7164.04  | 834791.77 |
| 20  | Nubes                           | Nubes                        | 876.38  | 17691.67 | 8763834.8 |
| 36  | Nubes                           | Nubes                        | 2059.89 | 22396.66 | 12780026. |
| 75  | Nubes                           | Nubes                        | 439.98  | 11972.28 | 4399821.9 |
| 76  | Nubes                           | Nubes                        | 1527.42 | 37974.52 | 15274236. |
| 80  | Nubes                           | Nubes                        | 621.62  | 21289.88 | 6216289.2 |
| 81  | Nubes                           | Nubes                        | 2179.54 | 27905.92 | 7520430.8 |
| 228 | Superficies de Agua             | Aguas Continentales          | 3736.03 | 3860.74  | 163392.37 |
| 1   | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 162.25  | 5420.52  | 770384.41 |
| 10  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 1460.7  | 54690.46 | 14607397. |
| 16  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 55.284  | 4235.73  | 552844.54 |
| 21  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 156.24  | 6356.42  | 1562460.4 |
| 22  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 133.22  | 6587.24  | 1332223.1 |
| 25  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 260.54  | 8898.23  | 2605451.3 |
| 30  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 297.27  | 11093.38 | 2972733.1 |
| 33  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 201.64  | 7032.76  | 2016447.7 |
| 35  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 164.32  | 8589.84  | 1643212.4 |
| 38  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 204.94  | 17297.20 | 2049400.1 |
| 39  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 42.27   | 3438.18  | 422741.37 |
| 43  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 296.25  | 19934.07 | 2962554.0 |
| 45  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 4915.96 | 12560.98 | 2322227.3 |
| 55  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 1830.45 | 45699.17 | 18304167. |
| 56  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 2032.95 | 43444.68 | 20329473. |
| 60  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 170.86  | 9819.51  | 1708697.3 |
| 69  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 301.22  | 13836.70 | 3012297.7 |
| 70  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 6291.67 | 12781.69 | 2405652.8 |
| 78  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 2080.14 | 58541.77 | 20801419. |
| 83  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 2209.92 | 85577.35 | 22099267. |
| 89  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 1619.78 | 38124.08 | 16197872. |
| 93  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 95.55   | 6464.38  | 798168    |
| 94  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 560.25  | 4803.08  | 857373.14 |
| 96  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 75.63   | 4882.24  | 756325.75 |
| 99  | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 144.27  | 7202.98  | 1442782.2 |
| 102 | Territorios Agrícolas           | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 136.62  | 9315.87  | 1024753.  |

|     |                       |                              |         |           |           |
|-----|-----------------------|------------------------------|---------|-----------|-----------|
| 103 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 3193.74 | 95895.8   | 31937443. |
| 110 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 156.34  | 558.01    | 5920.9192 |
| 111 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 1108.45 | 6698.91   | 1368321.9 |
| 118 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 1364.61 | 56065.19  | 13646051  |
| 120 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 67.60   | 3645.45   | 676025.47 |
| 125 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 96.69   | 6445.36   | 966924.99 |
| 129 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 72.28   | 3972.23   | 722815.04 |
| 144 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 135.23  | 443.00    | 10163.413 |
| 151 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 131.53  | 7400.31   | 1315324.5 |
| 157 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 84.43   | 1719.04   | 40814.525 |
| 159 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 175.22  | 299.30    | 1749.0408 |
| 160 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 285.95  | 13993.40  | 2859523.4 |
| 161 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 153.85  | 5434.61   | 1538517.8 |
| 165 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 477.85  | 19679.53  | 4778552.2 |
| 167 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 67.74   | 3485.09   | 677423.95 |
| 169 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 134.97  | 7611.99   | 1349722.4 |
| 177 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 71.95   | 4891.06   | 719574.77 |
| 179 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 86.88   | 4580.39   | 868841.04 |
| 185 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 317.98  | 14874.43  | 2785732.3 |
| 192 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 607.96  | 29033.06  | 6079776.4 |
| 200 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 57.1    | 1443.64   | 11308.508 |
| 202 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 55.845  | 4815.95   | 558454.05 |
| 217 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 303.70  | 16013.37  | 3037010.8 |
| 220 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 147.32  | 8101.58   | 1473275.2 |
| 230 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 145.43  | 7323.04   | 1454343.5 |
| 233 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 5463.59 | 135002.23 | 54635879. |
| 239 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 191.71  | 8678.65   | 1917124.9 |
| 240 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 1788.03 | 32848.50  | 13778221. |
| 241 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 86.81   | 8623.60   | 868191.92 |
| 242 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 304.04  | 6635.53   | 669841.64 |
| 245 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 274.65  | 11412.80  | 2746520.9 |
| 250 | Territorios Agrícolas | Áreas Agrícolas Heterogéneas | 6320.58 | 141830.23 | 63205826. |
| 121 | Territorios Agrícolas | Cultivos Transitorios        | 284.26  | 11725.94  | 2842425.6 |
| 127 | Territorios Agrícolas | Cultivos Transitorios        | 62.92   | 3483.042  | 629254.02 |
| 132 | Territorios Agrícolas | Cultivos Transitorios        | 54.55   | 2974.04   | 545582.53 |
| 147 | Territorios Agrícolas | Cultivos Transitorios        | 80.73   | 4542.58   | 807347.79 |
| 153 | Territorios Agrícolas | Cultivos Transitorios        | 3171.7  | 43832.96  | 31717443. |
| 170 | Territorios Agrícolas | Cultivos Transitorios        | 39.51   | 2905.52   | 395155.90 |
| 176 | Territorios Agrícolas | Cultivos Transitorios        | 89.01   | 4363.00   | 890156.19 |
| 235 | Territorios Agrícolas | Cultivos Transitorios        | 403.58  | 18012.71  | 4035131.6 |

|     |                       |        |         |           |           |
|-----|-----------------------|--------|---------|-----------|-----------|
| 4   | Territorios Agrícolas | Pastos | 149.29  | 9013.03   | 1492656.9 |
| 5   | Territorios Agrícolas | Pastos | 38.92   | 4052.58   | 389203.50 |
| 6   | Territorios Agrícolas | Pastos | 159.44  | 5544.65   | 1594134.2 |
| 7   | Territorios Agrícolas | Pastos | 486.47  | 28401.25  | 4864654.5 |
| 8   | Territorios Agrícolas | Pastos | 147.95  | 6875.06   | 1479181.3 |
| 9   | Territorios Agrícolas | Pastos | 686.39  | 22386.50  | 6863528.6 |
| 11  | Territorios Agrícolas | Pastos | 3747.92 | 101035.55 | 37472479. |
| 13  | Territorios Agrícolas | Pastos | 108.52  | 7389.23   | 1085845.1 |
| 14  | Territorios Agrícolas | Pastos | 129.95  | 6730.46   | 1299635.1 |
| 15  | Territorios Agrícolas | Pastos | 144.33  | 6572.65   | 1443175.0 |
| 17  | Territorios Agrícolas | Pastos | 741.36  | 23092.43  | 7413482.0 |
| 18  | Territorios Agrícolas | Pastos | 128.95  | 8119.07   | 1289317.0 |
| 19  | Territorios Agrícolas | Pastos | 173.53  | 9495.80   | 1735107.5 |
| 23  | Territorios Agrícolas | Pastos | 205.79  | 12829.89  | 2057744.7 |
| 24  | Territorios Agrícolas | Pastos | 74.11   | 5028.48   | 741112.32 |
| 26  | Territorios Agrícolas | Pastos | 141.61  | 8118.97   | 1416051.1 |
| 27  | Territorios Agrícolas | Pastos | 151.26  | 7274.23   | 1512804.9 |
| 29  | Territorios Agrícolas | Pastos | 123.61  | 4592.46   | 1236116.7 |
| 31  | Territorios Agrícolas | Pastos | 851.47  | 35521.01  | 8514495.3 |
| 32  | Territorios Agrícolas | Pastos | 329.36  | 12739.37  | 3293853.3 |
| 34  | Territorios Agrícolas | Pastos | 134.75  | 8012.52   | 1347440.8 |
| 37  | Territorios Agrícolas | Pastos | 37.25   | 3004.85   | 372592.72 |
| 40  | Territorios Agrícolas | Pastos | 99.89   | 5482.75   | 998937.72 |
| 41  | Territorios Agrícolas | Pastos | 45.594  | 3031.39   | 455959.23 |
| 42  | Territorios Agrícolas | Pastos | 72.97   | 4247.43   | 665995.73 |
| 44  | Territorios Agrícolas | Pastos | 298.12  | 17508.64  | 2981238.7 |
| 47  | Territorios Agrícolas | Pastos | 193.4   | 876.44    | 5395.6801 |
| 72  | Territorios Agrícolas | Pastos | 78.29   | 3642.22   | 782900.40 |
| 74  | Territorios Agrícolas | Pastos | 4304.71 | 105057.73 | 31815259. |
| 84  | Territorios Agrícolas | Pastos | 121.99  | 7430.57   | 1219236.1 |
| 85  | Territorios Agrícolas | Pastos | 222.67  | 11707.66  | 2226827.4 |
| 87  | Territorios Agrícolas | Pastos | 725.1   | 25116.29  | 7251829.9 |
| 90  | Territorios Agrícolas | Pastos | 102.08  | 5841.77   | 1020226.9 |
| 91  | Territorios Agrícolas | Pastos | 59.17   | 4096.39   | 591748.41 |
| 95  | Territorios Agrícolas | Pastos | 80.46   | 6476.54   | 804632.67 |
| 97  | Territorios Agrícolas | Pastos | 37.02   | 2502.14   | 370239.04 |
| 98  | Territorios Agrícolas | Pastos | 350.00  | 13110.03  | 35000470  |
| 101 | Territorios Agrícolas | Pastos | 187.72  | 10697.20  | 1877288.9 |
| 104 | Territorios Agrícolas | Pastos | 3708.27 | 9953.68   | 847567.28 |
| 105 | Territorios Agrícolas | Pastos | 230.95  | 17985.86  | 2309517.7 |

|     |                       |        |         |          |           |
|-----|-----------------------|--------|---------|----------|-----------|
| 107 | Territorios Agrícolas | Pastos | 187.04  | 11668.33 | 1870464.1 |
| 108 | Territorios Agrícolas | Pastos | 1389.92 | 39965.66 | 13899909. |
| 109 | Territorios Agrícolas | Pastos | 833.74  | 31435.82 | 8067938.1 |
| 114 | Territorios Agrícolas | Pastos | 2839.34 | 39958.77 | 8949090.7 |
| 115 | Territorios Agrícolas | Pastos | 488.25  | 16901.61 | 4882670.2 |
| 117 | Territorios Agrícolas | Pastos | 38.33   | 2297.14  | 383309.80 |
| 119 | Territorios Agrícolas | Pastos | 71.35   | 6505.35  | 691189.75 |
| 122 | Territorios Agrícolas | Pastos | 146.69  | 7721.31  | 955905.08 |
| 123 | Territorios Agrícolas | Pastos | 73.36   | 5143.56  | 733600.93 |
| 131 | Territorios Agrícolas | Pastos | 216.83  | 8993.81  | 2168045.9 |
| 134 | Territorios Agrícolas | Pastos | 42.10   | 3267.68  | 421077.42 |
| 135 | Territorios Agrícolas | Pastos | 180.96  | 11878.1  | 1809192.9 |
| 136 | Territorios Agrícolas | Pastos | 250.41  | 12646.1  | 2504585.6 |
| 137 | Territorios Agrícolas | Pastos | 213.61  | 6391.93  | 1013085.5 |
| 138 | Territorios Agrícolas | Pastos | 1379.43 | 31444.0  | 9824713.4 |
| 141 | Territorios Agrícolas | Pastos | 414.96  | 16699.93 | 4149807.2 |
| 143 | Territorios Agrícolas | Pastos | 1369.8  | 40019.13 | 8780295.9 |
| 145 | Territorios Agrícolas | Pastos | 181.48  | 6820.19  | 1814929.9 |
| 148 | Territorios Agrícolas | Pastos | 108.88  | 6177.25  | 1088369.7 |
| 149 | Territorios Agrícolas | Pastos | 1253.4  | 32394.68 | 12533227. |
| 152 | Territorios Agrícolas | Pastos | 53.82   | 4314.59  | 538263.65 |
| 154 | Territorios Agrícolas | Pastos | 204.33  | 8674.07  | 2043741.3 |
| 155 | Territorios Agrícolas | Pastos | 116.67  | 5660.69  | 1166919.7 |
| 156 | Territorios Agrícolas | Pastos | 823.29  | 11775.42 | 3535422.9 |
| 158 | Territorios Agrícolas | Pastos | 126.86  | 6039.59  | 1001393.1 |
| 162 | Territorios Agrícolas | Pastos | 464.75  | 23129.87 | 4647583.1 |
| 163 | Territorios Agrícolas | Pastos | 362.95  | 17317.25 | 3629336.4 |
| 166 | Territorios Agrícolas | Pastos | 198.91  | 10781.26 | 1989842.3 |
| 171 | Territorios Agrícolas | Pastos | 778.91  | 31805.02 | 7789640.0 |
| 172 | Territorios Agrícolas | Pastos | 835.06  | 19652.64 | 8350202.1 |
| 174 | Territorios Agrícolas | Pastos | 101.12  | 4554.29  | 1011174.1 |
| 175 | Territorios Agrícolas | Pastos | 433.36  | 15387.37 | 4333216.0 |
| 180 | Territorios Agrícolas | Pastos | 42.54   | 4245.23  | 425455.52 |
| 181 | Territorios Agrícolas | Pastos | 188.05  | 12800.14 | 1880231.8 |
| 182 | Territorios Agrícolas | Pastos | 473.24  | 19610.93 | 4732562.3 |
| 183 | Territorios Agrícolas | Pastos | 125.622 | 6145.12  | 1256162.2 |
| 184 | Territorios Agrícolas | Pastos | 50.38   | 4539.52  | 503886.28 |
| 186 | Territorios Agrícolas | Pastos | 35.76   | 3625.75  | 357695.60 |
| 187 | Territorios Agrícolas | Pastos | 203.85  | 6229.15  | 1391726.2 |
| 188 | Territorios Agrícolas | Pastos | 490.483 | 10709.69 | 2781352.6 |

|     |                              |   |         |          |           |
|-----|------------------------------|---|---------|----------|-----------|
| 189 | Territorios Agrícolas        | Pastos                                      | 113.0   | 8754.01  | 1130004.0 |
| 190 | Territorios Agrícolas        | Pastos                                      | 228.2   | 2331.23  | 155126.8  |
| 191 | Territorios Agrícolas        | Pastos                                      | 2560.03 | 79211.8  | 18775661. |
| 195 | Territorios Agrícolas        | Pastos                                      | 1464.10 | 33052.56 | 8440400.9 |
| 196 | Territorios Agrícolas        | Pastos                                      | 1411.24 | 3476.68  | 65225.43  |
| 197 | Territorios Agrícolas        | Pastos                                      | 1678.96 | 1222.49  | 14548.717 |
| 227 | Territorios Agrícolas        | Pastos                                      | 2015.67 | 43202.28 | 20156447. |
| 231 | Territorios Agrícolas        | Pastos                                      | 97.732  | 6729.21  | 977327.34 |
| 232 | Territorios Agrícolas        | Pastos                                      | 161.143 | 9327.91  | 1611432.1 |
| 236 | Territorios Agrícolas        | Pastos                                      | 2893.15 | 43888.14 | 13623433. |
| 238 | Territorios Agrícolas        | Pastos                                      | 92.8532 | 7323.69  | 928532.37 |
| 140 | Territorios Artificializados | Zonas de Extracción Minera y<br>Escombreras | 32.3168 | 2537.39  | 323168.37 |
| 12  | Territorios Artificializados | Zonas Urbanizadas                           | 5.629   | 1042.67  | 56291.25  |
| 28  | Territorios Artificializados | Zonas Urbanizadas                           | 23.05   | 2402.32  | 230524.95 |
| 178 | Territorios Artificializados | Zonas Urbanizadas                           | 68.581  | 4269.82  | 685833.51 |



## Anexo B

### Curva número

| Tipo de vegetación   | Tratamiento   | Condición<br>Hidrológica | Tipo de suelo |    |    |    |
|--|---|--------------------------|---------------|----|----|----|
|  |   |                          | A             | B  | C  | D  |
| Barbecho   | Desnudo   | -                        | 77            | 86 | 91 | 94 |
|  | CR  | Pobre                    | 76            | 85 | 90 | 93 |
|  | CR  | Buena                    | 74            | 83 | 88 | 90 |
| Cultivos alineados   | R   | Pobre                    | 72            | 81 | 88 | 91 |
|  | R   | Buena                    | 67            | 78 | 85 | 89 |
|  | R + CR  | Pobre                    | 71            | 80 | 87 | 90 |
|  | R + CR  | Buena                    | 64            | 75 | 82 | 85 |
|  | C   | Pobre                    | 70            | 79 | 84 | 88 |
|  | C   | Buena                    | 65            | 75 | 82 | 86 |
|  | C + CR  | Pobre                    | 69            | 78 | 83 | 87 |
|  | C + CR  | Buena                    | 64            | 74 | 81 | 85 |
|  | C + T   | Pobre                    | 66            | 74 | 80 | 82 |
|  | C + T   | Buena                    | 62            | 71 | 78 | 81 |
|  | C + T + CR  | Pobre                    | 65            | 73 | 79 | 81 |
|  | C + T + CR  | Buena                    | 61            | 70 | 77 | 80 |
|  | Cultivos no alineados. o<br>con<br>surcos pequeños o mal<br>definidos | R                        | Pobre         | 65 | 76 | 84 |
| R  |   | Buena                    | 63            | 75 | 83 | 87 |
| R + CR   |   | Pobre                    | 64            | 75 | 83 | 86 |
| R + CR   |   | Buena                    | 60            | 72 | 80 | 84 |
| C  |   | Pobre                    | 63            | 74 | 82 | 85 |
| C  |   | Buena                    | 61            | 73 | 81 | 84 |
| C + CR   |   | Pobre                    | 62            | 73 | 81 | 84 |
| C + CR   |   | Buena                    | 60            | 72 | 80 | 83 |
| C + T  |   | Pobre                    | 61            | 72 | 79 | 82 |
| C + T  |   | Buena                    | 59            | 70 | 78 | 81 |
| C + T + CR   |   | Pobre                    | 60            | 71 | 78 | 81 |
| C + T + CR   | Buena   | 58                       | 69            | 77 | 80 |    |
| Cultivos densos de<br>leguminosas<br>o prados en alternancia | R   | Pobre                    | 66            | 77 | 85 | 89 |
|  | R   | Buena                    | 58            | 72 | 81 | 85 |
|  | C   | Pobre                    | 64            | 75 | 83 | 85 |
|  | C   | Buena                    | 55            | 69 | 78 | 83 |
|  | C + T   | Pobre                    | 63            | 73 | 80 | 83 |
|  | C + T   | Buena                    | 51            | 67 | 76 | 80 |
| Pastizales o pastos<br>naturales                             | -   | Pobres                   | 68            | 79 | 86 | 89 |
|  | -   | Regulares                | 49            | 69 | 79 | 84 |
|  | -   | Buenas                   | 39            | 61 | 74 | 80 |
| Pastizales   | C   | Pobres                   | 47            | 67 | 81 | 88 |
|  | C   | Regulares                | 25            | 59 | 75 | 83 |
|  | C   | Buenas                   | 6             | 35 | 70 | 79 |
| Prados permanentes   | -   | -                        | 30            | 58 | 71 | 78 |

|  |   |             |     |    |    |    |
|--|---|-------------|-----|----|----|----|
| Matorral-herbazal. siendo el matorral preponderante            | - | Pobres      | 48  | 67 | 77 | 83 |
|  | - | Regulares   | 35  | 56 | 70 | 77 |
|  | - | Buenas      | ≤30 | 48 | 65 | 73 |
| Combinación de arbolado y herbazal. cultivos agrícolas leñosos | - | Pobres      | 57  | 73 | 82 | 86 |
|  | - | Regulares   | 43  | 65 | 76 | 82 |
|  | - | Buenas      | 32  | 58 | 72 | 79 |
| Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)           | - | Pobres      | 45  | 66 | 77 | 83 |
|  | - | Regulares   | 36  | 60 | 73 | 79 |
|  | - | Buenas      | 25  | 55 | 70 | 77 |
| Bosques  | - | I Muy pobre | 56  | 75 | 86 | 91 |
|  | - | II Pobre    | 46  | 68 | 78 | 84 |
|  | - | III Regular | 36  | 60 | 70 | 76 |
|  | - | IV Buena    | 26  | 52 | 63 | 69 |
|  | - | V Muy buena | 15  | 44 | 54 | 61 |
| Caseríos   | - | -           | 59  | 74 | 82 | 86 |
| Caminos en tierra  | - | -           | 72  | 82 | 87 | 89 |
| Caminos con firme  | - | -           | 74  | 84 | 90 | 92 |

#### Parámetros adaptación al programa HC-HMS escenario 1995

| número estaciones | Código   | Nombre estación   | Altitud (msnm) | Área (ha) | curva numero | la (mm) | lag time (min) |
|-------------------|----------|-------------------|----------------|-----------|--------------|---------|----------------|
| 1                 | 21080080 | La Mina           | 1800           | 5370.83   | 79           | 95      | 248            |
| 2                 | 21120090 | El Totumo         | 700            | 8839.17   | 75           | 72      | 254            |
| 3                 | 21090140 | El Cardo 2        | 480            | 1374.67   | 56           | 75      | 215            |
| 4                 | 21120010 | Hda Paraguay      | 1300           | 8922.78   | 74           | 82      | 195            |
| 5                 | 21120040 | Potrerito         | 850            | 15876.65  | 75           | 83      | 177            |
| 6                 | 21120100 | El Volcan         | 1105           | 9923.85   | 79           | 82      | 245            |
| 7                 | 21125020 | Palermo           | 550            | 2861.37   | 74           | 92      | 193            |
| 8                 | 21120130 | Hda Rionegro      | 560            | 6362.02   | 56           | 97      | 189            |
| 9                 | 21085030 | San Rafael        | 1030           | 4918.68   | 75           | 93      | 177            |
| 10                | 21090030 | Sta Cecilia       | 450            | 230.92    | 74           | 88      | 189            |
| 11                | 21090020 | El Cucharero      | 620            | 845.69    | 56           | 91      | 204            |
| 12                | 21115020 | Apto Benito Salas | 439            | 214.28    | 56           | 82      | 191            |
| 13                | 21125010 | Sta Maria         | 1300           | 16968.29  | 75           | 78      | 167            |
| 14                | 21130060 | El Carmen         | 2250           | 5217.23   | 74           | 79      | 166            |
| 15                | 21130040 | San Luis          | 1140           | 2203.20   | 74           | 83      | 215            |
| 16                | 21125040 | San Francisco     | 825            | 11638.55  | 79           | 82      | 208            |
| 17                | 22020020 | Pena Rica         | 1780           | 3521.21   | 56           | 89      | 187            |

Parámetros adaptación al programa HC-HMS escenario 2005

| Numero estaciones | Código   | Nombre de estaciones | Altitud (msnm) | Área (ha) | curva numero | la (mm) | lag time (min) |
|-------------------|----------|----------------------|----------------|-----------|--------------|---------|----------------|
| 1                 | 21080080 | La Mina              | 1800           | 5370.83   | 79           | 59      | 245            |
| 2                 | 21125020 | Palermo              | 550            | 2861.50   | 75           | 65      | 251            |
| 3                 | 21115020 | Apto Benito Salas    | 439            | 220.93    | 89           | 66      | 257            |
| 4                 | 21130040 | San Luis             | 1140           | 7035.82   | 75           | 69      | 258            |
| 5                 | 22020020 | Pena Rica            | 1780           | 3521.20   | 74           | 73      | 258            |
| 6                 | 21125010 | Sta Maria            | 1300           | 16968.35  | 56           | 72      | 270            |
| 7                 | 21120100 | El Volcan            | 1105           | 9923.77   | 56           | 56      | 260            |
| 8                 | 21085030 | San Rafael           | 1030           | 4918.76   | 74           | 45      | 243            |
| 9                 | 21120130 | Hda Rionegro         | 560            | 7470.08   | 75           | 67      | 245            |
| 10                | 21120090 | El Totumo            | 700            | 8839.17   | 79           | 59      | 258            |
| 11                | 21090020 | El Cucharero         | 620            | 1118.86   | 89           | 68      | 266            |
| 12                | 21120010 | Hda Paraguay         | 1300           | 10330.77  | 56           | 62      | 278            |
| 13                | 21120040 | Potrerito            | 850            | 20374.70  | 75           | 68      | 250            |
| 14                | 21130060 | El Carmen            | 2250           | 5217.16   | 79           | 73      | 261            |

Parámetros adaptación al programa HC-HMS escenario 2015

| Numero estaciones | Código   | Nombre de estaciones | Altitud (msnm) | Área (ha) | curva numero | la (mm) | lag time (min) |
|-------------------|----------|----------------------|----------------|-----------|--------------|---------|----------------|
| 1                 | 21080080 | La Mina              | 1800           | 5370.8    | 79           | 59      | 265            |
| 2                 | 21115020 | Apto Benito          | 439            | 220.9     | 75           | 85      | 251            |
| 3                 | 21130040 | San Luis             | 1140           | 7035.8    | 89           | 66      | 257            |
| 4                 | 22020020 | Pena Rica            | 1780           | 3521.2    | 75           | 85      | 258            |
| 5                 | 21125010 | Sta Maria            | 1300           | 16968.3   | 74           | 73      | 258            |
| 6                 | 21120100 | El Volcan            | 1105           | 9923.7    | 56           | 72      | 270            |
| 7                 | 21085030 | San Rafael           | 1030           | 4918.7    | 56           | 56      | 260            |
| 8                 | 21120130 | Hd Rionegro          | 560            | 7470.0    | 74           | 45      | 268            |
| 9                 | 21120090 | El Totumo            | 700            | 8839.1    | 75           | 67      | 245            |

|    |          |            |      |         |    |    |     |
|----|----------|------------|------|---------|----|----|-----|
| 10 | 21090020 | El Cucharo | 620  | 1118.8  | 79 | 85 | 258 |
| 11 | 21120040 | Potrerito  | 850  | 20374.7 | 89 | 68 | 266 |
| 12 | 21130060 | El Carmen  | 2250 | 5217.1  | 56 | 85 | 278 |

## Anexo C

fao 2008 para las unidades de suelos

| FAO Properties |                          |         |
|----------------|--------------------------|---------|
| PARÁMETRO      | DESCRIPCIÓN              | EJEMPLO |
| SOIL_UNIT      | Unidad de suelo          | VP 3    |
| TEXTURE        | Textura                  | C       |
| SANDTOP        | % de Arena superfic.     | 24.40   |
| SANDSUB        | % de Arena subsup.       | 22.40   |
| SILTTOP        | % de Limo superfic.      | 11.50   |
| SILTSUB        | % de Limo subsup.        | 10.90   |
| CLAYTOP        | % de Arcilla superfic.   | 64.20   |
| CLAYSUB        | % de Arcilla subsup.     | 66.70   |
| PHWAT.TOP      | PH en agua superfic      | 7.20    |
| PHWAT.SUB      | PH en agua subsuperfic   | 7.60    |
| OCTOP          | Carbono orgánico sup.    | 0.67    |
| OCSUB          | Carbono orgánico sub.    | 0.52    |
| NTOP           | Nitrógeno superfic.      | 0.14    |
| NSUB           | Nitrógeno subsup         | 0.04    |
| BSTOP          | Porcentaje               | 96.00   |
| BSSUB          | Porcentaje               | 97.00   |
| CEPTOP         | cmol(+)/kg               | 50.20   |
| CECSUB         | cmol(+)/kg               | 52.30   |
| CECCLAY.TOP    | cmol(+)/kg               | 75.00   |
| CECCLAY.SUB    | cmol(+)/kg               | 75.00   |
| CACO3.TOP      | Carbonato da calcio sup  | 1.20    |
| CACO3.SUB      | Carbonato da calcio sub. | 3.20    |
| BDTOP          | Densidad de volumen      | 1.10    |
| BDSUB          | Densidad de volumen      | 1.20    |

Cobertura de definición para los usos y coberturas según la fao 2016

| Clase de Cobertura       | Definición  |
|--------------------------|---|
| Tierras Forestales       | Tierra con una cubierta de copa (o su grado equivalente de espesura) de más del 20 % del área y una superficie superior a 10 hectáreas (ha). Los árboles deberían poder alcanzar una altura mínima de 7 metros (m) a su madurez in situ. Puede consistir ya sea en formaciones forestales cerradas, donde árboles de diversos tamaños y sotobosque cubren gran parte del terreno.   |
| Otras tierras forestales | Estas abarcan ya sea tierras donde la cubierta de copa (o su grado de espesura equivalente) tiene entre 5 y 20 % de árboles capaces de alcanzar una altura de 7 m a su madurez in situ; o tierras con una cubierta de copa de más del 20 % (o su grado de espesura equivalente) en la que los árboles no son capaces de alcanzar una altura de 7 m a su madurez in situ (por ej. árboles enanos o achicados); o aquellas donde la cubierta arbustiva abarca más del 20 %. |
| Bosques rurales          | Remanentes de bosque natural en un paisaje agrícola, menores a 1000 hectáreas.  |
| Otras tierras            | Tierras no clasificadas como forestales u otras tierras forestales especificadas más arriba. Incluye tierras agrícolas, praderas naturales y artificiales, terrenos con construcciones, tierras improductivas, etc.   |

## Anexo D

Matriz por porcentaje de pixeles clasificación imagen 1995.

| Clase        |               | Bosque | Cultivo 1 | Cultivo 2 | Pasto | Suelo desn. | Agua  | Suelo quem. |
|--------------|---------------|--------|-----------|-----------|-------|-------------|-------|-------------|
| 1            | Bosque        | 88.55  | 2.78      | 0.52      | 0.00  | 0.00        | 0.02  | 0.00        |
| 2            | Cultivo 1     | 2.16   | 96.64     | 0.14      | 0.02  | 0.14        | 0.02  | 0.00        |
| 3            | Cultivo 2     | 0.95   | 0.09      | 95.23     | 3.16  | 1.06        | 0.00  | 0.35        |
| 4            | pasto         | 0.00   | 0.00      | 1.36      | 96.56 | 0.33        | 0.00  | 0.00        |
| 5            | Suelo desn.   | 0.00   | 0.00      | 1.71      | 0.02  | 97.70       | 0.05  | 1.64        |
| 6            | Agua          | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00  | 0.00        | 99.80 | 0.00        |
| 7            | Suelo limpio. | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00  | 0.75        | 0.00  | 97.79       |
| <b>Total</b> |               | 100    | 100       | 100       | 100   | 100         | 100   | 100         |

Matriz por porcentaje de pixeles clasificación imagen 2005.

| Clase        |               | Bosque | Cultivo 1 | Cultivo 2 | Pastura | Area herbácea | Suelo desnudo | Agua   |
|--------------|---------------|--------|-----------|-----------|---------|---------------|---------------|--------|
| 1            | Bosque        | 95.87  | 1.49      | 0.00      | 0.01    | 0.00          | 0.00          | 0.00   |
| 2            | Cultivo 1     | 1.35   | 96.22     | 0.98      | 0.55    | 0.00          | 0.00          | 0.00   |
| 3            | Cultivo 2     | 0.00   | 1.85      | 99.01     | 0.01    | 0.00          | 0.00          | 0.00   |
| 4            | Pastura       | 0.00   | 0.37      | 0.00      | 95.22   | 0.05          | 0.00          | 0.00   |
| 5            | Area herbácea | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00    | 98.36         | 2.94          | 0.00   |
| 6            | Suelo desn.   | 0.03   | 0.00      | 0.01      | 0.09    | 1.16          | 97.02         | 0.00   |
| 7            | Agua          | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00    | 0.00          | 0.00          | 100.00 |
| <b>Total</b> |               | 100    | 100       | 100       | 100     | 100           | 100           | 100    |

*Matriz por porcentaje de pixeles clasificación imagen 2015.*

| Clase        |             | Bosque | Cultivo 1 | Cultivo 2 | Pastura | Area herbácea | Suelo desnudo | Agua  |
|--------------|-------------|--------|-----------|-----------|---------|---------------|---------------|-------|
| 1            | Bosque      | 96.52  | 0.12      | 0.09      | 0.00    | 0.00          | 0.00          | 0.00  |
| 2            | Cultivo 1   | 0.07   | 99.76     | 0.40      | 0.11    | 0.01          | 0.00          | 0.00  |
| 3            | Cultivo 2   | 0.03   | 0.03      | 99.31     | 0.08    | 0.52          | 0.08          | 0.03  |
| 4            | Pastura     | 0.00   | 0.03      | 0.08      | 92.15   | 0.04          | 0.02          | 0.00  |
| 5            | Barbecho    | 0.00   | 0.00      | 0.04      | 0.02    | 99.12         | 0.21          | 0.00  |
| 6            | Suelo desn. | 0.01   | 0.00      | 0.02      | 0.01    | 0.30          | 99.25         | 0.00  |
| 7            | Agua        | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00    | 0.00          | 0.00          | 99.97 |
| <b>Total</b> |             | 100    | 100       | 100       | 100     | 100           | 100           | 100   |

## Anexo E

### Precipitación mensual de la cuenca del Río Baché año 1995 información suministrada por el IDEAM

| CCODIGO  | NOMBRE_E                     | area_ha    | enero | febrero | marzo     | abril | mayo  | junio | julio | agosto | septiembre | octubre | noviembre | diciembre | valor anual |
|----------|------------------------------|------------|-------|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------------|
| 21080080 | MINA LA [21080080]           | 5370.82843 | 77.7  | 76.0    | 214.3     | 153.1 | 123.8 | 127.3 | 226.6 | 262.4  | 73.9       | 167.0   | 165.0     | 179.3     | 1846.4      |
| 21120090 | TOTUMO EL [21120090]         | 8839.17396 | 68.0  | 89.0    | 288.0     | 201.0 | 215.0 | 160.0 | 107.0 | 74.0   | 12.0       | 154.0   | 239.0     | 27.0      | 1634.0      |
| 21090140 | CARDO 2 EL [21090140]        | 1374.67211 | 102.0 | 52.0    | 241.0     | 185.0 | 32.0  | 22.0  | 56.0  | 2.0    | 50.0       | 230.0   | 304.0     | 87.0      | 1363.0      |
| 21120010 | PARAGUAY HDA [21120010]      | 8922.78298 | 84.2  | 28.2    | 275.4     | 278.5 | 109.6 | 89.0  | 115.9 | 116.7  | 14.6       | 205.0   | 295.4     | 139.7     | 1752.2      |
| 21120040 | POTRERITO [21120040]         | 15876.6475 | 22.0  | 193.0   | 306.0     | 315.0 | 50.0  | 44.0  | 91.0  | 39.0   | 45.0       | 135.0   | 197.0     | 59.0      | 1496.0      |
| 21120100 | VOLCAN EL [21120100]         | 9923.85341 | 104.0 | 125.0   | 303.0     | 353.0 | 246.0 | 233.0 | 138.0 | 126.0  | 59.0       | 289.0   | 371.0     | 236.0     | 2583.0      |
| 21125020 | PALERMO [21125020]           | 2861.37397 | 59.5  | 83.8    | 238.2     | 183.1 | 112.1 | 45.1  | 74.5  | 21.9   | 30.8       | 358.2   | 182.6     | 136.1     | 1525.9      |
| 21120130 | RIONEGRO HDA [21120130]      | 6362.02438 | 132.0 | 54.0    | 254.0     | 179.0 | 72.0  | 35.0  | 66.0  | 22.0   | 31.0       | 279.0   | 279.0     | 156.0     | 1559.0      |
| 21085030 | SAN RAFAEL [21085030]        | 4918.68231 | 171.6 | 71.0    | 238.6     | 294.6 | 153.7 | 117.7 | 130.1 | 82.2   | 79.0       | 252.9   | 351.9     | 313.1     | 2256.4      |
| 21090030 | STA CECILIA [21090030]       | 230.923782 | 32.2  | 33.4    | 172.2     | 148.8 | 36.5  | 21.3  | 57.6  | 1.3    | 48.0       | 189.3   | 245.4     | 153.3     | 1139.3      |
| 21090020 | CUCHARO EL [21090020]        | 845.685182 | 43.0  | 61.0    | 193.0     | 224.0 | 49.0  | 28.0  | 70.0  | 2.0    | 35.0       | 385.0   | 160.0     | 111.0     | 1361.0      |
| 21115020 | APTO BENITO SALAS [21115020] | 214.28069  | 16.0  | 65.2    | 159.7     | 185.0 | 38.1  | 73.4  | 67.3  | 8.1    | 24.7       | 156.8   | 211.8     | 245.9     | 1252.0      |
| 21125010 | STA MARIA [21125010]         | 16968.2861 | 88.7  | 8 148.5 | 8 121.7   | 239.8 | 80.1  | 155.4 | 147.5 | 74.5   | 92.5       | 104.1   | 65.8      | 142.3     | 1460.9      |
| 21130060 | CARMEN EL [21130060]         | 5217.22503 | 61.0  | 85.0    | 223.0     | 65.0  | 69.0  | 115.0 | 203.0 | 82.0   | 70.0       | 148.0   | 120.0     | 148.0     | 1389.0      |
| 21130040 | SAN LUIS [21130040]          | 2203.20421 | 15.0  | 89.0    | 414.0     | 430.0 | 148.0 | 201.0 | 147.0 | 103.0  | 48.0       | 284.0   | 199.0     | 180.0     | 2258.0      |
| 21125040 | SAN FRANCISCO [21125040]     | 11638.5452 | 6.5   | 68.4    | 188.0     | 256.9 | 79.0  | 76.2  | 86.3  | 37.7   | 36.5       | 206.8   | 194.5     | 178.1     | 1414.9      |
| 22020020 | PENA RICA [22020020]         | 3521.21386 | 62.8  | 8 73.8  | 8 117.6 8 | 192.0 | 145.6 | 111.7 | 111.9 | 119.1  | 30.5       | 28.0    | 72.8      | 13.1      | 1078.9      |



Precipitación mensual de la cuenca del Río Baché año 2005 información suministrada por el IDEAM

| CODIGO   | NOMBRE_E                     | area_ha    | enero | febrero | marzo | abril | mayo  | junio | julio | agosto | septiembre | octubre | noviembre | diciembre | valor anual |
|----------|------------------------------|------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------------|
| 21080080 | MINA LA [21080080]           | 5370.83456 | 110.4 | 320.8 3 | 216.2 | 175.4 | 59.5  | 15.5  | 39.6  | 39.6   | 92.1       | 195.8   | 148.2     | 136.7     | 1549.8 3    |
| 21125020 | PALERMO [21125020]           | 2861.50423 | 267.6 | 109.3   | 138.0 | 182.5 | 134.9 | 23.6  | 21.8  | 54.8   | 27.1       | 240.8   | 27.1      | 27.1      | 1200.4 3    |
| 21115020 | APTO BENITO SALAS [21115020] | 220.92832  | 101.6 | 115.8   | 64.7  | 145.7 | 37.2  | 19.6  | 8.6   | 61.8   | 29.3       | 228.3   | 167.8     | 380.6     | 1361.0      |
| 21130040 | SAN LUIS [21130040]          | 7035.81647 | 102.0 | 296.0   | 99.0  | 182.0 | 4.0   | 10.0  | 10.0  | 16.0   | 23.0       | 122.0   | 243.0     | 335.0     | 1442.0      |
| 22020020 | PENA RICA [22020020]         | 3521.19591 | 73.0  | 136.0   | 101.0 | 136.0 | 122.0 | 84.0  | 45.0  | 96.0   | 90.0       | 237.0   | 232.0     | 153.0     | 1505.0      |
| 21125010 | STA MARIA [21125010]         | 16968.3507 | 128.1 | 240.5   | 188.2 | 95.7  | 103.3 | 24.5  | 49.3  | 39.8   | 47.5       | 282.9   | 258.9     | 149.9     | 1608.6      |
| 21120100 | VOLCAN EL [21120100]         | 9923.77154 | 221.0 | 550.0   | 148.0 | 149.0 | 375.0 | 55.0  | 44.0  | 51.0   | 97.0       | 322.0   | 375.0     | 229.0     | 2616.0      |
| 21085030 | SAN RAFAEL [21085030]        | 4918.75929 | 205.2 | 360.9   | 323.8 | 136.2 | 131.2 | 28.7  | 54.6  | 38.6   | 75.6       | 247.0   | 315.8     | 371.0     | 2288.6      |
| 21120130 | RIONEGRO HDA [21120130]      | 7470.08247 | 272.0 | 35.8    | 161.0 | 211.0 | 139.0 | 23.0  | 56.0  | 56     | 36.3       | 259.0   | 172.6     | 320.1     | 1685.8 3    |
| 21120090 | TOTUMO EL [21120090]         | 8839.17273 | 237.0 | 234.0   | 177.0 | 142.0 | 165.0 | 24.0  | 14.0  | 42.0   | 45.0       | 341.0   | 153.0     | 384.0     | 1958.0      |
| 21090020 | CUCHARO EL [21090020]        | 1118.85627 | 193.0 | 226.0   | 196.0 | 92.0  | 93.0  | 16.0  | 5.0   | 30.0   | 34.0       | 296.0   | 243.0     | 384.0     | 1808.0      |
| 21120010 | PARAGUAY HDA [21120010]      | 10330.7741 | 287.3 | 571.5   | 155.9 | 224.8 | 44.5  | 44.5  | 72.4  | 54.6   | 152.9      | 486.6   | 505.8     | 334.5     | 2890.8 3    |
| 21120040 | POTRERITO [21120040]         | 20374.6999 | 170.0 | 33.0    | 165.0 | 91.0  | 15.0  | 25.0  | 76.0  | 1.0    | 139.0      | 201.0   | 334.0     | 52.0      | 1302.0      |
| 21130060 | CARMEN EL [21130060]         | 5217.16232 | 163.0 | 186.0   | 217.0 | 233.0 | 111.0 | 81.0  | 4.0   | 65.0   | 125.0      | 286.0   | 222.2     | 344.0     | 2037.2      |

Precipitación mensual de la cuenca del Río Baché año 2015 información suministrada por el IDEAM

| CODIGO   | NOMBRE_E                     | area_ha    | enero | febrero | marzo  | abril  | mayo  | junio | julio  | agosto | septiembre | octubre | noviembre | diciembr<br>e | valor<br>anual |
|----------|------------------------------|------------|-------|---------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|------------|---------|-----------|---------------|----------------|
| 21080080 | MINA LA [21080080]           | 5370.83456 | 149.8 | 103.80  | 163.00 | 163.10 | 88.40 | 61.70 | 21.6 3 | 31.1 3 | 6.0 3      | 68.30   | 103.10    | 7.30          | 967.2 3        |
| 21115020 | APTO BENITO SALAS [21115020] | 220.92832  | 41.9  | 93.50   | 152.30 | 85.60  | 12.60 | 9.00  | 8.50   | 4.50   | 9.80       | 22.40   | 132.30    | 0.60          | 573.0          |
| 21130040 | SAN LUIS [21130040]          | 7035.81647 | 91    | 221.0 3 | 286.00 | 272.00 | 61.00 | 22.00 | 16.00  | 13.00  | 33.00      | 194.00  | 162.00    | 11.00         | 1382.0 3       |
| 22020020 | PENA RICA [22020020]         | 3521.19591 | 69    | 73.00   | 147.00 | 51.00  | 40.00 | 58.00 | 68.00  | 26.00  | 22.00      | 119.00  | 99.00     | 4.20          | 776.2          |
| 21125010 | STA MARIA [21125010]         | 16968.3507 | 135.3 | 186.20  | 242.30 | 182.00 | 45.70 | 27.00 | 16.70  | 21.20  | 30.40      | 100.50  | 230.40    | 7.30          | 1225.0         |
| 21120100 | VOLCAN EL [21120100]         | 9923.77154 | 72    | 151.00  | 144.00 | 181.00 | 20.00 | 25.00 | 5.00   | 30.00  | 30.00      | 130.00  | 228.00    | 3.00          | 1019.0         |
| 21085030 | SAN RAFAEL [21085030]        | 4918.75929 | 253.1 | 143.00  | 222.70 | 80.00  | 35.70 | 43.10 | 16.20  | 12.60  | 29.90      | 100.10  | 186.40    | 1.60          | 1124.4         |
| 21120130 | RIONEGRO HDA [21120130]      | 7470.08247 | 114   | 335     | 79     | 26.6   | 21.6  | 7.2   | 12.5   | 2.3    | 3.5        | 43.3    | 70.3      | 5.6           | 720.9          |
| 21120090 | TOTUMO EL [21120090]         | 8839.17273 | 127   | 99.00   | 256.00 | 21.00  | 34.00 | 53.00 | 4.00   | 2.30   | 43.00      | 132.00  | 99.00     | 15.00         | 885.3          |
| 21090020 | CUCHARO EL [21090020]        | 1118.85627 | 103   | 75.00   | 245.00 | 65.00  | 9.00  | 5.00  | 7.00   | 5.00   | 12.00      | 38.00   | 159.00    | 3.00          | 726.0          |
| 21120040 | POTRERITO [21120040]         | 20374.6999 | 98    | 179.00  | 197.00 | 147.00 | 8.00  | 3.00  | 2.00   | 2.00   | 30.00      | 84.00   | 175.00    | 32.00         | 957.0          |

|          |                      |            |     |        |        |        |       |       |       |       |        |        |        |      |        |
|----------|----------------------|------------|-----|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|------|--------|
| 21130060 | CARMEN EL [21130060] | 5217.16232 | 151 | 158.00 | 295.00 | 111.00 | 51.00 | 52.00 | 33.00 | 57.00 | 129.00 | 169.00 | 191.00 | 1.00 | 1398.0 |
|----------|----------------------|------------|-----|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|------|--------|

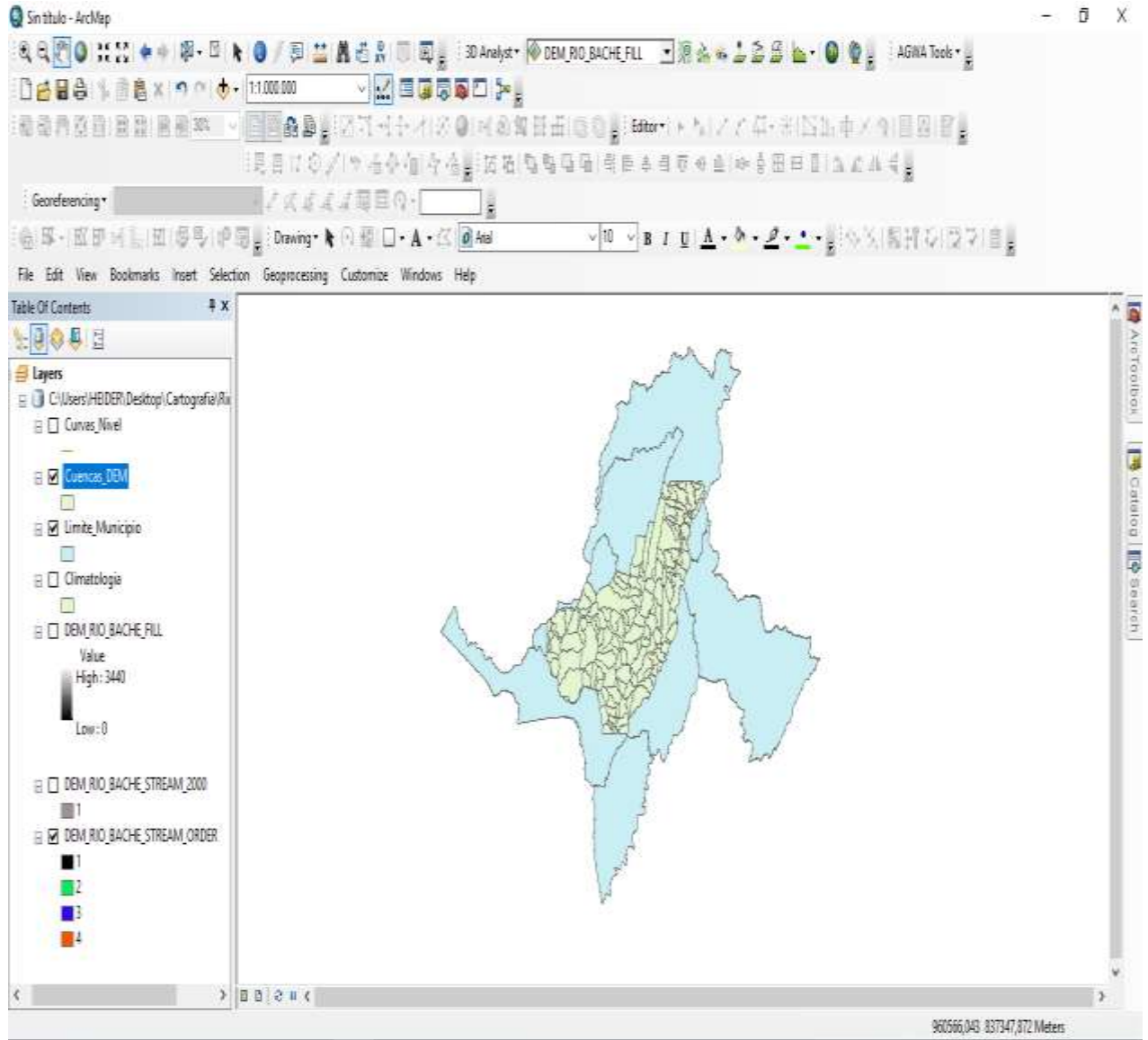
### Temperatura mensual de la cuenca del Río Baché

| AÑO  | ENERO | * FEBRE | * MARZO * | ABRIL * | MAYO | * JUNIO | * JULIO * | AGOST * | SEPTI | * OCTUB | * NOVIE * | DICIE * | VR ANUAL * |
|------|-------|---------|-----------|---------|------|---------|-----------|---------|-------|---------|-----------|---------|------------|
| 1972 |       |         | 19.7      | 19.8    | 20.6 | 20.2    | 20.8      | 20.7    | 21.0  | 21.1    | 20.5      | 20.2    | 20.5 3     |
| 1973 | 20.9  | 21.6    | 21.6      | 20.7    | 20.4 | 20.3    | 3 20.2 3  | 20.0    | 19.9  | 20.1    | 3 19.9    | 19.4    | 20.4 3     |
| 1974 | 19.1  | 19.5    | 19.8      | 20.1    | 20.1 | 20.1    | 19.9      | 20.9    | 20.1  | 19.7    | 19.9      | 19.2    | 19.9       |
| 1975 | 20.4  | 20.5    | 20.3      | 20.5    | 20.7 | 20.6    | 19.3      | 20.3    | 20.4  | 20.0    | 19.8 3    | 19.4    | 20.2 3     |
| 1976 | 19.9  | 8 20.2  | 8 20.8 8  | 20.6 8  | 20.8 | 8 21.0  | 8 21.0 8  | 21.6    | 21.7  | 21.2    | 8 20.9 8  | 20.6 8  | 20.9       |
| 1977 | 20.9  | 20.9    | 22.0      | 20.9    | 20.9 | 21.0    | 20.5 8    | 20.6    | 21.0  | 20.9    | 8 20.9 8  | 21.0 3  | 21.0 3     |
| 1978 | 21.1  | 3 21.0  | 8 21.3 8  | 20.9 8  | 20.8 | 3 20.5  | 3 20.7 3  | 21.1 3  | 21.9  | 3 21.2  | 3 20.8 8  | 20.4 8  | 21.0 3     |
| 1979 | 20.4  | 3 20.8  | 3 21.0 3  | 21.1 3  | 21.0 | 3 20.7  | 3 20.8 3  | 21.0 3  | 20.4  | 3 20.4  | 3 20.3 8  | 20.2 3  | 20.7 3     |
| 1980 | 21.0  | 3 20.6  | 3 22.3 3  | 21.1 3  | 21.1 | 3 21.3  | 3 21.4 3  | 21.1 3  | 21.9  | 3 21.2  | 3 20.0 3  | 20.2 3  | 21.1 3     |
| 1981 | 20.3  | 20.5    | 3 21.1 3  | 20.6 3  | 20.0 | 3 20.9  | 3 20.8    | 21.0 8  | 21.0  | 3 20.2  | 3 20.2 8  | 20.3 3  | 20.6 3     |
| 1982 | 19.7  | 3 18.9  | 3 19.7 3  | 19.3 3  | 19.6 | 3 19.9  | 3 19.5 3  | 19.5 3  | 19.5  | 3 19.4  | 3 19.8 3  | 19.9 3  | 19.6 3     |
| 1983 | 20.1  | 8 20.2  | 8 21.4 3  | 21.9 3  | 21.7 | 8 21.9  | 3 21.4 3  | 20.6 8  | 21.7  | 20.8    | 3 20.4 3  | 20.1 3  | 21.0 3     |
| 1984 | 19.9  | 3 20.3  | 3 20.5 3  | 20.5 8  | 20.4 | 3 20.3  | 3 20.0 3  | 20.2 3  | 19.9  | 3 19.9  | 3 19.7 3  | 20.3 3  | 20.2 3     |
| 1985 | 20.7  | 3 20.7  | 3 20.8 3  | 21.1 3  | 21.1 | 3 21.0  | 3 20.6 3  | 20.9 3  | 20.8  | 3 21.3  | 3 20.8 3  | 21.2 3  | 20.9 3     |
| 1986 | 20.8  | 8 20.7  | 8 20.5 3  | 21.0 3  | 21.1 | 3 21.1  | 3 21.0 3  | 21.5    | 20.8  | 20.3    | 3 20.4 3  | 20.5 8  | 20.8 3     |
| 1987 | 20.6  | 8 20.9  | 3 20.9 3  | 21.2 3  | 21.4 | 3 21.7  | 3 20.9 3  | 20.8 3  | 20.9  | 3 20.7  | 3 21.0 3  | 21.1 3  | 21.0 3     |
| 1988 | 21.0  | 8 21.0  | 3 21.1    | 21.0    | 21.4 | 3 20.7  | 20.6      | 20.3    | 20.5  | 21.1    | 20.7      | 20.5 3  | 20.8 3     |
| 1989 | 20.6  | 8 20.7  | 8 20.9 8  |         | 21.1 | 21.3    | 3 20.8 3  | 21.4    | 21.7  | 3 21.1  | 3 21.1 3  | 21.2 3  | 21.1 3     |
| 1990 | 21.0  | 3 20.7  | 3 21.6 3  | 21.5 3  | 21.3 | 3 21.5  | 8 21.2 8  | 21.4 3  | 22.1  | 3 21.1  | 3 21.1 3  | 20.5 3  | 21.3 3     |
| 1991 | 21.0  | 3 21.3  | 3 20.9 3  | 21.2 3  | 21.2 | 3 21.4  | 3 20.4 3  | 20.1 3  | 20.3  | 3 20.9  | 3 20.3 3  | 20.3 3  | 20.8 3     |
| 1992 | 20.7  | 3 20.5  | 3 20.8 8  | 20.9 8  | 21.1 | 3 20.9  | 3 20.0 3  | 20.6 8  | 21.0  | 3 20.7  | 8 20.6 8  | 20.4 3  | 20.7 3     |
| 1993 | 20.7  | 8 20.9  | 3 20.8 3  | 21.3 3  | 21.4 | 3 21.6  | 3 21.3 3  | 22.0 3  | 21.9  | 3 21.9  | 21.5 3    | 21.4 3  | 21.4 3     |
| 1994 | 21.6  | 3 21.6  | 3 21.5 3  | 21.7 8  | 21.7 | 3 21.6  | 3 21.2    | 21.7    | 21.7  | 8 21.4  | 8 21.2 8  | 21.0 8  | 21.5 3     |
| 1995 | 21.0  | 8 21.0  | 8 21.1 8  | 21.1 8  | 21.0 | 8 20.9  | 8 20.4 8  | 20.2 3  | 21.2  | 21.3    | 3 21.8 3  | 21.2 3  | 21.0 3     |
| 1996 | 20.7  | 21.0    | 3 21.1 3  | 21.4    | 21.7 | 3 20.9  | 21.1 3    | 21.3 3  | 21.9  | 21.5    | 3 21.5 3  | 21.7    | 21.3 3     |
| 1997 | 21.5  | 3 21.5  | 21.9 8    | 22.0 8  | 21.5 | 21.3    | 3 21.6 8  | 21.8 3  | 22.0  | 3 21.6  | 3 21.7 3  | 21.7 3  | 21.7 3     |
| 1998 | 21.7  | 3 21.9  | 3 22.0 8  | 22.1 8  | 22.2 | 8 22.1  | 8 21.8 8  | 22.0 8  | 22.3  | 8 22.1  | 8 22.0 8  | 21.9 8  | 22.0 3     |

|      |      |        |          |        |      |        |          |        |      |        |          |        |        |
|------|------|--------|----------|--------|------|--------|----------|--------|------|--------|----------|--------|--------|
| 1999 | 21.8 | 8 21.9 | 8 22.1 8 | 22.2 8 | 22.2 | 8 22.1 | 8 21.8 8 | 22.0 8 | 22.3 | 8 22.1 | 8 22.0 8 | 21.9 8 | 22.0   |
| 2000 | 21.9 | 8 22.0 | 8 22.2 8 | 22.3 8 | 22.3 | 8 22.2 | 8 21.9 8 | 22.1 8 | 22.4 | 8 22.1 | 8 22.0 8 | 21.9 8 | 22.1   |
| 2001 | 21.7 | 8 21.6 | 8 21.6 8 | 21.4 8 | 21.1 | 3 20.4 | 3 20.8 3 | 21.2 3 | 21.1 | 21.3   | 20.6     | 20.8 3 | 21.1 3 |
| 2002 | 20.8 | 21.0   | 21.4     | 20.8 3 | 20.8 | 3 20.0 | 3 21.0 3 | 21.0   | 21.2 | 3 20.5 | 3 20.4 3 | 20.8 3 | 20.8 3 |
| 2003 | 21.0 | 21.2   | 3 21.1 3 | 20.8 3 | 21.2 | 3 20.6 | 3 20.4 3 | 21.3 3 | 20.9 | 20.8   | 3 20.2 3 | 20.3   | 20.8 3 |
| 2004 | 20.3 | 20.5   | 3 21.3   | 20.6   | 20.7 | 3 20.2 | 20.3     | 20.9 3 | 20.7 | 3 20.3 | 20.1 3   | 20.4   | 20.5 3 |
| 2005 | 20.2 | 20.7   | 20.7     | 21.6   | 21.3 | 3 21.6 | 21.2 3   | 21.4 3 | 21.6 | 20.7   | 3 20.7   | 20.8 3 | 21.0 3 |
| 2006 | 20.7 | 21.2   | 3 21.0 3 | 20.9   | 21.0 | 20.8   | 20.7     | 20.7 3 | 21.1 | 3 20.8 | 3 20.2   | 20.5   | 20.8 3 |
| 2007 | 20.9 | 20.9   | 3 21.5   | 21.2 3 | 20.6 | 20.3   | 21.1     | 20.9 3 | 21.7 | 20.6   | 20.5 3   | 19.9   | 20.8 3 |
| 2008 | 20.2 | 20.5   | 19.9 3   | 20.0 3 | 20.0 | 3 20.2 | 3 20.6 3 | 20.9   | 20.5 | 20.9   | 3 20.0   | 20.3   | 20.3 3 |
| 2009 | 20.2 | 20.3   | 19.9     | 20.4   | 20.7 | 20.6   | 3 20.9   | 21.1 3 | 21.6 | 21.2   | 21.0     | 20.6   | 20.7 3 |
| 2010 | 21.3 | 22.0   | 3 21.6   | 21.3   | 21.3 | 20.6   | 20.3     | 20.4   | 20.4 | 20.3   | 19.9     | 19.7 3 | 20.8 3 |
| 2011 | 20.2 | 19.9   | 20.0     | 20.3   | 20.5 | 20.6   | 3 20.4   | 20.8 3 | 21.0 | 20.2   | 19.9 3   | 20.3   | 20.3 3 |
| 2012 | 20.1 | 20.3   | 20.3     | 20.4 3 | 20.6 | 3 20.9 | 3 20.6 3 | 20.6 3 | 20.8 | 3 20.6 | 3 20.6 3 | 20.1 3 | 20.5 3 |
| 2013 | 20.9 | 20.6   | 20.6     | 20.8   | 20.4 | 20.6   | 3 20.4 3 | 20.7 3 | 20.9 | 3 20.7 | 3 20.2 3 | 20.4   | 20.6 3 |
| 2014 | 20.5 | 20.3   | 20.6     | 21.4 3 | 20.9 | 20.6   | 3 20.7   | 20.7   | 21.0 | 20.6   | 3 20.4   | 20.4   | 20.7 3 |
| 2015 | 20.4 | 20.5   | 3 20.3 3 | 20.7 3 | 20.9 | 3 20.5 | 3 20.8 3 | 20.8 3 | 21.5 | 3 21.2 | 3 20.7 3 | 21.3 3 | 20.8 3 |

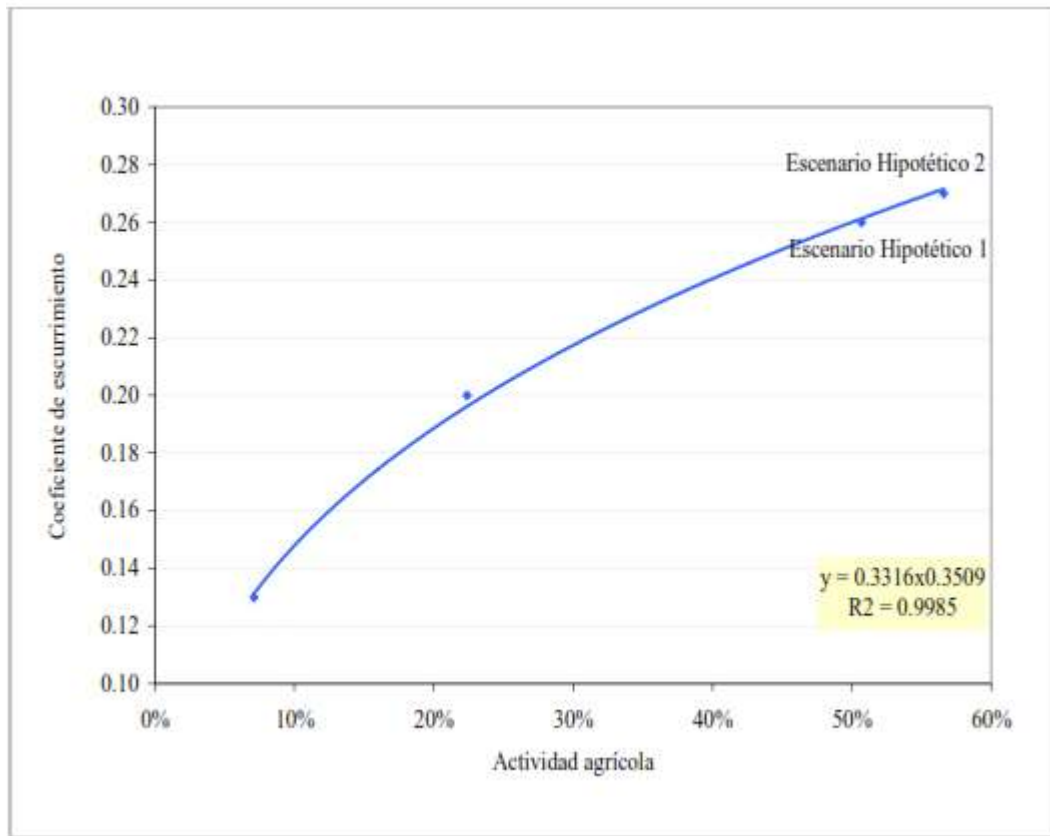
## Anexo F

Figura arc gis 10.3 de la validación de las curvas de nivel



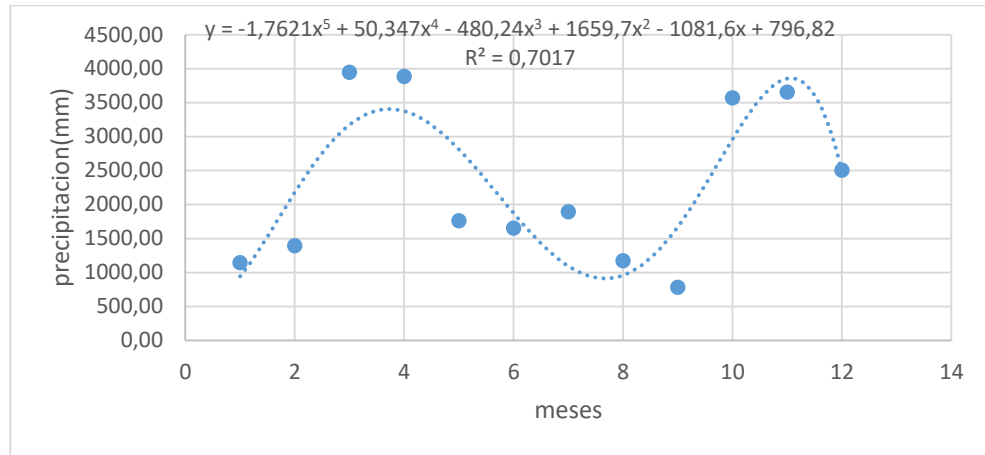
## Anexo G

Anexo tabla de escurrimiento para los años 1995, 2005, 2015

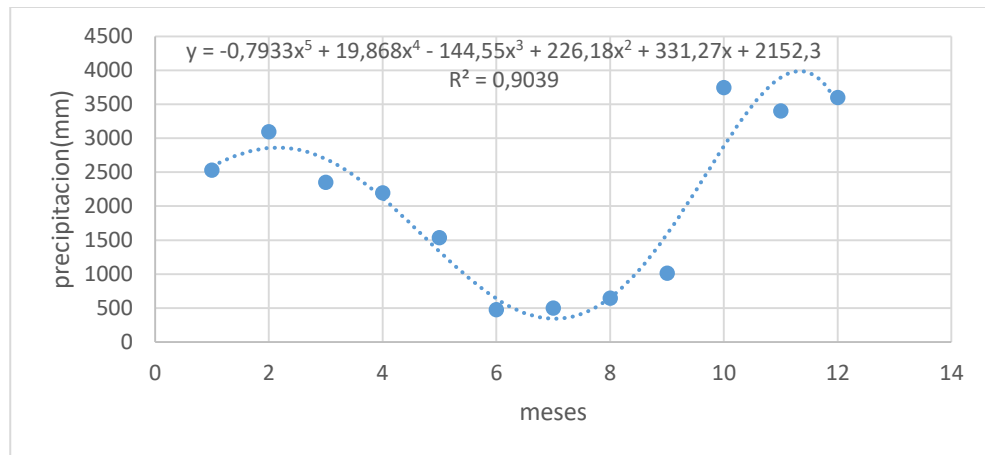


## Anego H

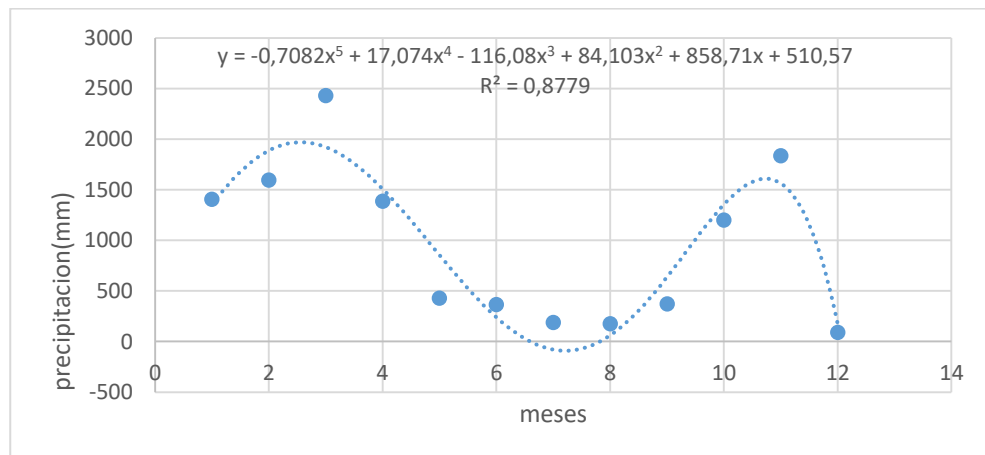
Grafica estadística para el escenario 1995



Grafica estadística para el escenario 2005



Grafica estadística para el escenario 2015



## Anexo I

### Parámetros de escenario 1995

| Parámetro  | Mult. | Origen        | Variabilidad | Valores |        |        |
|------------|-------|---------------|--------------|---------|--------|--------|
|            |       |               |              | Mínimo  | Medio  | Máximo |
| INT        | 1     | Uso/Cobertura | Distribuido  | 0.92    | 1.29   | 1.8    |
| COVER      | 1     | Uso/Cobertura | Distribuido  | 23.1    | 28.47  | 30.85  |
| MANN_N     | 1     | Uso/Cobertura | Distribuido  | 0.114   | 0.149  | 0.171  |
| PCT_IMPERV | ---   | Uso/Cobertura | Distribuido  | 0       | 0      | 0      |
| PAVE       | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 0       | 0      | 0      |
| SPLASH     | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 114.1   | 123.9  | 131.7  |
| ROCK       | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.05    | 0.06   | 0.15   |
| KS         | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.53    | 1.93   | 3.93   |
| G          | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 259     | 325    | 407    |
| POR        | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.462   | 0.469  | 0.478  |
| SMAX       | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.8     | 0.83   | 0.84   |
| CV         | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.48    | 0.73   | 0.94   |
| PCT_SAND   |       | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.13    | 0.32   | 0.4    |
| PCT_SILT   | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.12    | 0.19   | 0.29   |
| PCT_CLAY   |       | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.4     | 0.49   | 0.63   |
| DIST       | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.16    | 0.2    | 0.24   |
| COHESION   | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.0007  | 0.0008 | 0.0008 |
| SA         | ---   | Usuario       | Concentrado  | ----    | 0.4    | ----   |
| n CANAL    | 1.4   | Usuario       | Concentrado  | ----    | 0.14   | ----   |
| B CANAL    | 1     | Usuario       | Distribuido  | 13.5    | 15     | 21     |
| H CANAL    | 1     | Usuario       | Distribuido  | 3.75    | 6.58   | 11.26  |
| KSAT       | 1     | Usuario       | Concentrado  | ----    | 0.6    | ----   |
| G CANAL    | 1     | Usuario       | Concentrado  | ----    | 407    | ----   |

Nota: INT: Altura de intercepción (mm). COVER: Fracción de superficie cubierta por cobertura (%). MANN\_N: Coeficiente de rugosidad de Manning para cuenca. PCT\_IMPERV: Porcentaje impermeable (%). PAVE: Fracción de superficie erosionable (0-1). SPLASH:

Coefficiente de salpicadura. ROCK: Fracción volumétrica de roca. KS: Conductividad hidráulica saturada (mm/hr). G: Tensión capilar media (mm). POR: Porosidad (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>). SMAX: Máxima saturación relativa. CV: Coeficiente de variación de KS. Fracción de arena (0-1). Fracción de limo (0-1). Fracción de arcilla (0-1). DIST: Índice de distribución del tamaño de los poros ( $\lambda$ ). COHESION: Coeficiente de cohesión del suelo. SA: saturación relativa inicial de la capa superior del suelo (0-1). N CANAL: coeficiente de rugosidad de Manning para canal. B CANAL: ancho del canal (m). H CANAL: profundidad del canal (m). KSAT: Conductividad hidráulica saturada del fondo del canal (mm/hr). G CANAL: Tensión capilar media del fondo del canal (mm).

### Parámetro calibración escenario 2005

| Parámetro  | Mult. | Origen        | Variabilidad | valores |        |        |
|------------|-------|---------------|--------------|---------|--------|--------|
|            |       |               |              | Mínimo  | Medio  | Máximo |
| INT        | 1     | Uso/Cobertura | Distribuido  | 0.86    | 1.22   | 1.7    |
| COVER      | 1     | Uso/Cobertura | Distribuido  | 23.2    | 28.61  | 34.8   |
| MANN_N     | 1     | Uso/Cobertura | Distribuido  | 0.099   | 0.145  | 0.165  |
| PCT_IMPERV | ---   | Uso/Cobertura | Distribuido  | 0       | 0      | 0      |
| PAVE       | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 0       | 0      | 0      |
| SPLASH     | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 114.1   | 123.9  | 131.7  |
| ROCK       | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.05    | 0.06   | 0.15   |
| KS         | 0.9   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.48    | 1.74   | 3.54   |
| G          | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 259     | 325    | 407    |
| POR        | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.462   | 0.469  | 0.478  |
| SMAX       | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.8     | 0.83   | 0.84   |
| CV         | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.48    | 0.73   | 0.94   |
| PCT_SAND   | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.13    | 0.32   | 0.4    |
| PCT_SILT   | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.12    | 0.19   | 0.29   |
| PCT_CLAY   | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.4     | 0.49   | 0.63   |
| DIST       | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.16    | 0.2    | 0.24   |
| COHESION   | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.0007  | 0.0008 | 0.0008 |
| SA         | ---   | Usuario       | Concentrado  | ----    | 0.4    | ----   |
| n canal    | 1.4   | Usuario       | Concentrado  | ----    | 0.14   | ----   |
| B canal    | 1     | Usuario       | Distribuido  | 13.5    | 15     | 21     |



|         |   |         |             |      |      |       |
|---------|---|---------|-------------|------|------|-------|
| H canal | 1 | Usuario | Distribuido | 3.75 | 6.58 | 11.26 |
| KSAT    | 1 | Usuario | Concentrado | ---- | 0.6  | ----  |
| G canal | 1 | Usuario | Concentrado | ---- | 407  | ----  |

### Parámetro calibrado para el escenario 2015

| Parámetro  | Mult. | Origen        | Variabilidad | valores     |        |        |
|------------|-------|---------------|--------------|-------------|--------|--------|
|            |       |               |              | Mínimo      | Medio  | Máximo |
| INT        | 1     | Uso/Cobertura | Distribuido  | 0.86        | 1.26   | 1.8    |
| COVER      | 1     | Uso/Cobertura | Distribuido  | 23.85       | 29.27  | 34.9   |
| MANN_N     | 1     | Uso/Cobertura | Distribuido  | 0.099       | 0.143  | 0.175  |
| PCT_IMPERV | ---   | Uso/Cobertura | Distribuido  | 0           | 0      | 0      |
| PAVE       | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 0           | 0      | 0      |
| SPLASH     | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 114.1       | 123.9  | 131.7  |
| ROCK       | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.05        | 0.06   | 0.15   |
| KS         | 0.8   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.42        | 1.54   | 3.14   |
| G          | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 259         | 325    | 407    |
| POR        | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.462       | 0.469  | 0.478  |
| SMAX       | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.8         | 0.83   | 0.84   |
| CV         | 1     | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.48        | 0.73   | 0.94   |
| PCT_SAND   |       | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.13        | 0.32   | 0.4    |
| PCT_SILT   | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.12        | 0.19   | 0.29   |
| PCT_CLAY   |       | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.4         | 0.49   | 0.63   |
| DIST       | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.16        | 0.2    | 0.24   |
| COHESION   | ---   | Tipo de suelo | Distribuido  | 0.0007      | 0.0008 | 0.0008 |
| SA         | ---   | Usuario       | Concentrado  | ----        | 0.5    | ----   |
| n canal    | 1.4   | Usuario       | Concentrado  | Concentrado | ----   | 0.14   |
| B canal    | 1     | Usuario       | Distribuido  | 13.5        | 15     | 21     |
| H canal    | 1     | Usuario       | Distribuido  | 3.75        | 6.58   | 11.26  |
| KSAT       | 1     | Usuario       | Concentrado  | ----        | 0.6    | ----   |
| G canal    | 1     | Usuario       | Usuario      | ----        | 407    | ----   |