

**EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD Y CANTIDAD PARA LA  
PLANIFICACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO  
MOLINO, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**



**ANGIE NATHALY CRUZ RUIZ (Código 104912010610)  
EVELYN GISSELLE RAMÍREZ ROJAS (Código 104911024087)**

**Proyecto de grado modalidad investigación como requisito parcial para optar  
por el título de Ingeniera Ambiental**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN – 2019**

**EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD Y CANTIDAD PARA LA  
PLANIFICACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO  
MOLINO, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**



**ANGIE NATHALY RUIZ CRUZ (Código 104912010610)  
EVELYN GISSELLE RAMIREZ ROJAS (Código 104911024087)**

**Proyecto de grado modalidad investigación como requisito parcial para optar  
por el título de Ingeniera Ambiental**

**Director**

**Ing. M.Sc. CARLOS ARMANDO GALLARDO BARRERA  
Departamento de Hidráulica**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN – 2019**

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma de los jurados:

---

Firma del Jurado.

---

Firma del Jurado.

## DEDICATORIA

A Dios por brindarme la fuerza para salir adelante a pesar de todas las dificultades que se me han presentado.

A mis padres, María Evelyn Rojas Bolívar y Abelino Ramírez Ruíz, quienes han puesto todo su esfuerzo y dedicación en cuidar de mí y en brindarme su apoyo incondicional, y son a quienes debo quien soy y en donde estoy ahora, además son la motivación para cada día ser mejor y alcanzar todas mis metas.

A mis amigos, que me han acompañado y apoyado durante el transcurso de toda mi carrera universitaria.

Evelyn Gisselle Ramírez Rojas

A Dios todo poderoso que me dio la oportunidad de llegar hasta este punto, por plasmar su arte en mí.

A mi familia, especialmente a mi madre, Margarita Ruiz y mis hermanas, Karen y Leidy pues son el motivo por el que me supero día a día.

A mi compañero y pareja, Santiago Valencia. A él infinitas gracias por darme el privilegio de contar incondicionalmente con su apoyo a nivel académico y personal, por motivarme a terminar esta etapa de mi vida.

A mi compañera y amiga, Evelyn Ramírez por su apoyo y compañía a lo largo de mi formación académica y en el desarrollo de este proyecto de investigación.

Angie Nathaly Cruz Ruiz

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro director, el Ingeniero Carlos Armando Gallardo Barrera, por su compromiso, dedicación y paciencia para lograr la realización de nuestro trabajo de investigación.

Al Acueducto y Alcantarillado de Popayán y la Fundación Procuencia Río Las Piedras, especialmente al Ingeniero Víctor Hugo Zúñiga, por su gestión en la obtención de información necesaria para el desarrollo de la investigación y por atender todas nuestras dudas e inquietudes con prontitud.

Al Ingeniero Luis Jorge González, por brindarnos de su tiempo al contestar dudas y proporcionarnos información.

Al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), por facilitar la información necesaria para la elaboración de la presente investigación.

A nuestra Alma Máter, la Universidad del Cauca por permitirnos ser parte de ella y así formarnos como profesionales.

A nuestros profesores, quienes compartieron su conocimiento y enseñanzas para formarnos como profesionales integrales.

A nuestros compañeros, los ingenieros David Fernández, Camila Segura, Jhon Quintero, Paola Calvache y Joao Quijano por brindarnos sus conocimientos, guiarnos y acompañarnos en el desarrollo del presente trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	1
1. PROBLEMA .....	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 HIPÓTESIS.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos Específicos .....	4
2. ANTECEDENTES .....	5
3. MARCO CONCEPTUAL .....	8
3.1 SUBCUENCA .....	8
3.2 CAUDAL AMBIENTAL.....	8
3.3 OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA .....	9
3.3.1 Oferta de agua .....	9
3.3.2 Demanda de agua.....	9
3.4 CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES.....	9
3.5 ÍNDICES HÍDRICOS DE CANTIDAD .....	10
3.5.1 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) .....	10
3.5.2 Índice del Uso del Agua (IUA) .....	10
3.5.3 Índice de Aridez (IA).....	10
3.5.4 Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento (IV) .....	11
3.5.5 Índice de Disponibilidad Per Cápita de agua (IDP) .....	11
3.6 ÍNDICES HÍDRICOS DE CALIDAD .....	11
3.6.1 Índice de Calidad del Agua (ICA) .....	11
3.6.2 Índice de Contaminación (ICO) .....	11
4. METODOLOGÍA.....	13

4.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	13
4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MOLINO .....	14
4.2.1 Clima .....	14
4.2.2 Hidrografía .....	15
4.3 DETERMINACIÓN DE CAUDALES MEDIOS .....	15
4.3.1 Cálculo de las Isoyetas .....	15
4.3.2 Aplicación del método del Servicio de Conservación de Suelos para determinar la escorrentía.....	22
4.4 DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS.....	27
4.5 ELABORACIÓN DE CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES MEDIOS Y MÍNIMOS .....	29
4.6 DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES HÍDRICOS DE CANTIDAD PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO MOLINO .....	36
4.6.1 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) .....	36
4.6.2 Caudal Ambiental .....	38
4.6.3 Índice del Uso del Agua (IUA) .....	39
4.6.4 Índice de Aridez (IA).....	45
4.6.5 Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento (IV) .....	49
4.6.6 Índice de Disponibilidad Per Cápita de agua (IDP) .....	51
4.7 DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES HÍDRICOS DE CALIDAD PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO MOLINO .....	52
4.7.1 Índice de Calidad del Agua (ICA) .....	53
4.7.2 Índice de Contaminación (ICO) .....	58
5. RESULTADOS.....	63
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	64
6.1 ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES HÍDRICOS DE CANTIDAD .....	64
6.2 ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES HÍDRICOS DE CALIDAD .....	65

6.3 ANÁLISIS CAUDAL AMBIENTAL.....	67
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	69
7.1 CONCLUSIONES .....	69
7.2 RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA .....	72
ANEXOS .....	76
ANEXO A. Precipitación promedio mensual periodo 2013 - 2017.....	76
ANEXO B. Clasificación por categoría del uso del suelo. (Mapa base “Uso del suelo”, Corporación Autónoma Regional del Cauca) .....	89
ANEXO C. Tabla de valores de números de curva CN. ....	91
ANEXO D. Datos de caudales medios y mínimos de las subcuencas de referencia. .....	93
ANEXO E. Datos para la elaboración de la curva de duración de caudales.....	111
ANEXO F. Estaciones pluviométricas ubicadas en la subcuenca del río Molino.	112
ANEXO G. Precipitación mensual en la subcuenca del río Molino en el periodo 2009 – 2018.....	113
ANEXO H. Precipitación ponderada en el periodo 2009 – 2018. ....	117
ANEXO I. Datos para la elaboración de la curva de duración de caudales medios multianuales para el periodo 2009 – 2018. ....	123
ANEXO J. Temperatura mínima y máxima mensual, periodo 2013 – 2017.....	124
ANEXO K. Evapotranspiración sin corregir y corregida.....	129
ANEXO L. Número máximo de horas de sol dependiendo del mes y de la latitud. .....	129
ANEXO M. Parámetros fisicoquímicos del punto de muestreo Bocatoma.....	130

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Rangos de la clasificación climáticas de Caldas.....	14
<b>Tabla 2.</b> Precipitaciones medias mensuales de la subcuenca del río Molino. ....	22
<b>Tabla 3.</b> Determinación valor de curva número. ....	24
<b>Tabla 4.</b> Precipitación efectiva por mes. ....	25
<b>Tabla 5.</b> Caudales medios mensuales multianuales generados. ....	26
<b>Tabla 6.</b> Datos promedio mensuales de caudales mínimos.....	27
<b>Tabla 7.</b> Datos promedio mensuales de caudales medios.....	28
<b>Tabla 8.</b> Relación porcentual de los caudales mínimos respecto a los medios de las subcuencas de los ríos Las Piedras, Negro y Palacé. ....	28
<b>Tabla 9.</b> Relación porcentual de los caudales mínimos respecto a los medios de la subcuenca del río Molino. ....	28
<b>Tabla 10.</b> Estimación de caudales mínimos mensuales para la subcuenca del río Molino.....	29
<b>Tabla 11.</b> Estimación del área para cada estación pluviométrica. ....	31
<b>Tabla 12.</b> Precipitación media mensual ponderada para el área de la subcuenca del río Molino (2009 – 2018). ....	32
<b>Tabla 13.</b> Precipitación efectiva mensual para el período 2009 - 2018. ....	33
<b>Tabla 14.</b> Estimación de caudales medios mensuales para la subcuenca del río Molino en el periodo 2009 – 2018. ....	33
<b>Tabla 15.</b> Datos de caudales medios mensuales multianuales. ....	34
<b>Tabla 16.</b> Calificación del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).....	37
<b>Tabla 17.</b> Valores de Rf. ....	40
<b>Tabla 18.</b> Oferta Hídrica Neta con y sin reducciones.....	42
<b>Tabla 19.</b> Índice del Uso del Agua para cada mes con y sin reducciones. ....	43
<b>Tabla 20.</b> Calificación del Índice del Uso del Agua (IUA).....	44
<b>Tabla 21.</b> Calificación para el Índice del Uso del Agua. ....	44
<b>Tabla 22.</b> Temperatura media mensual. ....	46
<b>Tabla 23.</b> Número máximo de horas de sol para cada mes.....	47
<b>Tabla 24.</b> Evapotranspiración potencial mensual. ....	48
<b>Tabla 25.</b> Calificación del Índice de Aridez. ....	49
<b>Tabla 26.</b> Matriz de relación para categorizar el Índice de Vulnerabilidad. ....	50
<b>Tabla 27.</b> Clasificación del Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento. ....	50

<b>Tabla 28.</b> Categorías del Índice de Disponibilidad Per-cápita de Agua. ....	52
<b>Tabla 29.</b> Presión barométrica aproximada a diferentes elevaciones.....	54
<b>Tabla 30.</b> 100 % Capacidad de Oxígeno Disuelto (mg/L).....	55
<b>Tabla 31.</b> Variables y ponderaciones del ICA. ....	56
<b>Tabla 32.</b> Clasificación del Índice de Calidad del Agua - ICA (IDEAM).....	58
<b>Tabla 33.</b> Clasificación del Índice de Contaminación (ICO). ....	59
<b>Tabla 34.</b> Resumen de resultados del caudal ambiental y los índices de cantidad y calidad para la subcuenca del río Molino. ....	63

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización de la subcuenca del río Molino, departamento del Cauca. ...	13
<b>Figura 2.</b> Ubicación de las subcuencas río Molino, Las Piedras, Palace y Negro. ...	14
<b>Figura 3.</b> Mapa de isoyetas para el mes de enero. P(mm).....	16
<b>Figura 4.</b> Mapa de isoyetas para el mes de febrero. P(mm).....	16
<b>Figura 5.</b> Mapa de isoyetas para el mes de marzo. P(mm).....	17
<b>Figura 6.</b> Mapa de isoyetas para el mes de abril. P(mm).....	17
<b>Figura 7.</b> Mapa de isoyetas para el mes de mayo. P(mm).....	18
<b>Figura 8.</b> Mapa de isoyetas para el mes de junio. P(mm).....	18
<b>Figura 9.</b> Mapa de isoyetas para el mes de julio. P(mm).....	19
<b>Figura 10.</b> Mapa de isoyetas para el mes de agosto. P(mm).....	19
<b>Figura 11.</b> Mapa de isoyetas para el mes de septiembre. P(mm).....	20
<b>Figura 12.</b> Mapa de isoyetas para el mes de octubre. P(mm).....	20
<b>Figura 13.</b> Mapa de isoyetas para el mes de noviembre. P(mm).....	21
<b>Figura 14.</b> Mapa de isoyetas para el mes de diciembre. P(mm).....	21
<b>Figura 15.</b> Mapa de coberturas de la subcuenca río Molino.....	24
<b>Figura 16.</b> Curva de duración de caudales medios. ....	30
<b>Figura 17.</b> Curva de duración de caudales mínimos. ....	30
<b>Figura 18.</b> Subáreas estimadas para la subcuenca del río Molino. ....	31
<b>Figura 19.</b> Curva de duración de caudales medios mensuales multianuales. ....	34
<b>Figura 20.</b> Caudales máximos y mínimos mensuales. ....	35
<b>Figura 21.</b> Estimación de $V_t$ y $V_p$ . ....	36
<b>Figura 22.</b> Estimación del caudal ambiental. ....	38
<b>Figura 23.</b> Ubicación de la estación Bocatoma. ....	53

## INTRODUCCIÓN

Para la Asociación Mundial del Agua las crisis hídricas son consecuencia de fracasos gubernamentales al integrar políticas y prácticas relacionadas con la gestión del recurso hídrico. En esta medida, la planificación de estos se presenta como una herramienta indispensable para su organización y gestión, así como para el desarrollo socioeconómico sustentable y sostenible en el tiempo.

En Colombia, la administración del recurso hídrico está determinada por la implementación de diferentes normativas, instrumentos y herramientas técnicas, basadas en el conocimiento del cuerpo de agua y su respectivo análisis para definir la mejor opción de manejo, dependiendo de esta su efectividad para garantizar las condiciones adecuadas de las cuencas. La planificación de una cuenca hidrográfica es un proceso sistémico que busca prever herramientas para realizar un manejo adecuado de los recursos naturales, buscando un balance entre su aprovechamiento, protección y conservación para garantizar la sostenibilidad de las futuras generaciones y la supervivencia de los ecosistemas. Esta planificación considera la dinámica de ocupación e interacción del agua con el territorio y su influencia con las actividades sociales y económicas, con propósito de analizar y seleccionar acciones y actividades de mejora continua, donde exista un balance entre el aprovechamiento de dichos recursos y la protección de la base natural y los procesos que la sustentan. En tal sentido, se define que la estrategia de la planificación se basa en la necesidad de generar un cambio mejorado donde se considere la relación de los recursos naturales en el territorio (MINAMBIENTE, 2014).

Actualmente el principal instrumento con el que cuenta el país para la planificación del recurso hídrico es la Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico, expedida en el año 2010, donde se establecen los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para el manejo del recurso. Dentro de esta política se encuentran la guía técnica para la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCAS) y la guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico (PORH), instrumento de planificación que permite en ejercicio de la autoridad ambiental, intervenir de manera sistémica los cuerpos de agua para garantizar las condiciones de calidad y cantidad requeridas para el

sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y los usos actuales y potenciales de dichos cuerpos de agua (MINAMBIENTE, 2014). Sin embargo, siendo primordial la gestión del recurso muchas fuentes hídricas no cuentan con estudios eficientes. Por este motivo, el presente trabajo pretende contribuir, mediante la determinación de los índices hídricos a la futura planificación del recurso hídrico de la subcuenca del río Molino. Con esta herramienta se pueden tomar acciones de control para garantizar un suministro de agua seguro.

# **1. PROBLEMA**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la subcuenca del río Molino no se cuenta con instrumentación adecuada de estaciones de aforo que permitan determinar los caudales, debido a esto existe una limitante en el cálculo de los índices de cantidad. Además, es de gran importancia determinar los índices de cantidad y calidad para comprobar el estado de presión en el uso y aprovechamiento del recurso hídrico por alta demanda y deterioro de la calidad del agua, contribuyendo así a una futura planificación del recurso hídrico.

## **1.2 HIPÓTESIS**

Con el cálculo de los índices de cantidad y calidad, se pretende evaluar el estado del recurso hídrico para la planificación de la subcuenca del río Molino, de modo que se puede establecer como hipótesis: ¿Los índices de cantidad y calidad a determinar podrán ser usados como parte del análisis de una adecuada planificación del recurso hídrico en la subcuenca del río Molino?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Debido a la falta de información acerca de los índices de cantidad y calidad de la subcuenca del río Molino no se ha podido hacer una correcta planificación del recurso hídrico. Dicha planificación es útil para determinar la cantidad de agua que se puede demandar según los diferentes usos que requiere la sociedad, teniendo en cuenta la no alteración del medio ambiente, por lo que surge a su vez la necesidad de determinar el caudal ambiental, que permite la ordenación del recurso y el uso racional del agua.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluar los índices de cantidad y calidad para la planificación del recurso hídrico de la subcuenca del río Molino.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Generar los caudales medios mensuales de la subcuenca del río Molino.
- Generar los caudales mínimos mensuales de la subcuenca del río Molino.
- Determinar los índices de cantidad: Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH), Índice del Uso del Agua (IUA), Índice de Aridez (IA), Índice de Vulnerabilidad (IV) e Índice Disponibilidad Per Cápita (IDP) para la subcuenca del río Molino.
- Determinar los índices de calidad: Índice de Calidad del Agua (ICA) e Índice de Contaminación (ICO) para la subcuenca del río Molino.
- Estimar el caudal ambiental de la subcuenca del río Molino.

## 2. ANTECEDENTES

A la subcuenca del río Molino se le han realizado estudios por parte de la CRC y el Acueducto de Popayán referentes a aspectos socioeconómicos, demográficos, culturales, hidrológicos, parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, y estudios geológicos. Sin embargo, según la literatura encontrada, no se presentan estudios con relación a los índices de calidad y cantidad del agua, además no se tiene un monitoreo constante de los caudales medios y mínimos en esta subcuenca, debido a que no se cuenta con estación de aforos certificada.

A continuación, se presentan los trabajos y diagnósticos ambientales revisados para la subcuenca hidrográfica del río Molino y similares, que sirvieron como apoyo para el análisis de los índices desarrollados en este proyecto:

Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación: En este documento se formulan cuatro índices de contaminación, los cuales califican diferentes cualidades de las aguas y, por lo tanto, complementan el panorama ambiental de un recurso hídrico (Ramírez, Restrepo & Viña, 1997).

Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica: En esta investigación se hace un reconocimiento y análisis de los ICA de mayor uso y aplicabilidad, y su importancia para la evaluación de la calidad del agua para consumo humano (Torres, Hernán & Patiño, 2009).

Diseño metodológico para determinar índices de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación del agua (ICO) en fuentes superficiales, su implementación y despliegue en un sistema de información geográfica (SIG): En este estudio se propone una metodología para la obtención de los índices de calidad y contaminación con un enfoque espacial y temático que facilite y sirva de apoyo en procesos de ordenamiento de recursos hídricos con ayuda de tecnologías como sistemas de información geográfica (Díaz & Molano, 2009).

Instrumentación y estudio de parámetros para el cálculo de los índices de escasez a usar en el ordenamiento de las cuencas de los ríos Molino y Pisojé (Ordoñez & Enríquez, 2009).

Monitoreo de la calidad y cantidad del agua captada de la cuenca del río Las Piedras para potabilización por parte del acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. comportamiento hidrológico de la cuenca en la última década (Idrobo, 2010).

Análisis de la oferta hídrica de la subcuenca del río Las Piedras y su afectación por el fenómeno de El Niño (Zúñiga & Víquez, 2011).

Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOS) en cuerpos de agua: En este artículo se expone un método para determinar y analizar índices de contaminación del agua, para así evaluar y cuantificar la contaminación presente en un cuerpo de agua determinado, basándose en una serie de fórmulas que permiten relacionar parámetros fisicoquímicos y biológicos (Cañas, 2014).

Determinación del caudal ambiental y su relación con variables indicadoras de calidad del recurso hídrico: El objeto de esta investigación es la determinación del caudal ambiental en la subcuenca del río Las Piedras y su correlación con diferentes variables fisicoquímicas e índices de calidad del agua. (Casanova & Figueroa, 2014).

Estimación de la curva de gastos para el río Molino y actualización del índice de escasez para la subcuenca hidrográfica del río Pisojé: El objetivo planteado para este trabajo fue generar una curva de gastos para el río Molino en el sector Bocatoma y determinar el índice de escasez para la subcuenca hidrográfica del río Pisojé, a partir de datos de precipitación de estaciones meteorológicas de la zona; la metodología de cálculo fue propuesta por el IDEAM (Recalde, 2016).

Estudio para la determinación de caudales ambientales en la cuenca hidrográfica del río Las Piedras: En este documento se determinó el caudal ambiental para la subcuenca hidrográfica río Las Piedras y para las corrientes principales de sus microcuencas (Avilés & Tovar, 2017).

Aplicación de los índices hídricos para la planificación del recurso hídrico en la subcuenca del río Las Piedras: En este trabajo de investigación se realizó la aplicación de los índices hídricos para la planificación del recurso hídrico de la subcuenca del río Las Piedras con el objeto de determinar y evaluar la calidad del agua que soporte la demanda de esta región mediante la metodología propuesta por el IDEAM (Muñoz & Cerón, 2017).

Manejo adaptativo del territorio en una cuenca Altoandina desde la diversidad cultural y ecosistémica: Revisión de indicadores hídricos de cantidad para el manejo y planificación del territorio, influencia en la toma de decisiones y enfrentar la gestión en riesgos de desastres (Recamán, 2017).

### 3. MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1 SUBCUENCA

La zonificación de cuencas hidrográficas según la Resolución 337 de 1978 (HIMAT – IDEAM, 1978) corresponde a tres niveles de jerarquía:

**Áreas hidrográficas:** Corresponden a las regiones hidrográficas o vertientes que, en sentido estricto, son las grandes cuencas que agrupan un conjunto de ríos con sus afluentes que desembocan en un mismo mar. Para Colombia se encuentran las áreas hidrográficas del Caribe, Magdalena – Cauca, Orinoco, Amazonas y Pacífico (IDEAM, 2013)

**Zona hidrográfica:** Hace referencia a las cuencas hidrográficas que entregan o desembocan sus aguas superficiales directamente de un área hidrográfica. Agrupan varias cuencas que se presentan como un subsistema hídrico con características de relieve y drenaje homogéneo y sus aguas tributan a través de un afluente principal hacia un área hidrográfica (IDEAM, 2013). Para el área hidrográfica de interés Magdalena – Cauca, se encuentran las zonas hidrográficas del Alto Magdalena, Saldaña, Medio Magdalena, Sogamoso, Bajo Magdalena, Cauca, Nechí, Cesar y Costa (HIMAT – IDEAM, 1978).

**Subzonas hidrográficas:** Son las cuencas que tributan sus aguas a las zonas hidrográficas (IDEAM, 2013). Para el presente estudio se tienen como subzonas hidrográficas los ríos Molino, Las Piedras, Palace y Negro.

#### 3.2 CAUDAL AMBIENTAL

De acuerdo con el Decreto 3930 de 2010, se define como: “Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas” (ENA, 2014).

### **3.3 OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA**

#### **3.3.1 Oferta de agua**

Volumen de agua que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Es el agua que fluye por la superficie del suelo que no se infiltra o se evapora y se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lenticos. (ENA, 2014).

#### **3.3.2 Demanda de agua**

Sustracción de agua del sistema natural destinada a suplir las necesidades y los requerimientos de consumo humano, producción sectorial y demandas esenciales de los ecosistemas existentes sean intervenidos o no. La extracción y, por ende, la utilización del recurso implica sustracción, alteración, desviación o retención temporal del recurso hídrico, incluidos en este los sistemas de almacenamiento que limitan el aprovechamiento para usos compartidos u otros usos excluyentes (ENA, 2014).

### **3.4 CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES**

La curva de duración de caudales también es conocida como curva de persistencia o curva de caudales clasificados. Esta resulta del análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales medios diarios en el sitio de captación de un proyecto de suministro de agua.

La curva de duración de caudales indica el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos. Además, resalta el valor del caudal en función de la frecuencia de su ocurrencia. La curva se puede construir a partir de caudales diarios, mensuales, anuales, etc.

La determinación de la curva de duración de caudales nos permite identificar aproximadamente el volumen de agua que se puede extraer directamente de la fuente para la elaboración de proyectos hídricos, debido a que se sabe, gracias a diferentes

estudios, el caudal que se puede derivar al igualar o superar un porcentaje de tiempo de acuerdo con la actividad a realizar.

### **3.5 ÍNDICES HÍDRICOS DE CANTIDAD**

A continuación, se presentan los conceptos asociados a los índices hídricos de cantidad. Las fórmulas y parámetros de cálculo se encuentran en la sección de metodología.

#### **3.5.1 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)**

Mide la cantidad de humedad que pueden retener las cuencas y la capacidad de estas para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo-vegetación con las condiciones climáticas y con las características morfométricas de la cuenca. Este indicador permite evaluar la capacidad de regulación del sistema en su conjunto (Muñoz & Cerón, 2017).

#### **3.5.2 Índice del Uso del Agua (IUA)**

Corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un periodo de tiempo (anual, mensual) y en una unidad espacial de referencia (área, zona, subzona, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para la misma unidad temporal y espacial (IDEAM, 2012).

#### **3.5.3 Índice de Aridez (IA)**

Es una característica cualitativa del clima, que representa la dinámica superficial del suelo y permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial (Muñoz & Cerón, 2017).

### **3.5.4 Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento (IV)**

Mide el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas por períodos largos de estiaje o eventos como el fenómeno cálido del Pacífico (El Niño), podría generar riesgos de desabastecimiento (Muñoz & Cerón, 2017).

### **3.5.5 Índice de Disponibilidad Per Cápita de agua (IDP)**

Expresado en  $m^3/\text{habitante} \cdot \text{año}$ , establece la relación entre la población y la cantidad de agua disponible en las principales fuentes de agua, medida en términos de escurrimiento superficial (Ocampo, 2012).

## **3.6 ÍNDICES HÍDRICOS DE CALIDAD**

A continuación, se presentan los conceptos asociados a los índices hídricos de calidad. Las fórmulas y parámetros de cálculo se encuentran en la sección de metodología.

### **3.6.1 Índice de Calidad del Agua (ICA)**

Es el valor numérico que califica, en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo en un determinado tiempo. (IDEAM, 2012).

Esta herramienta surge como una alternativa para la evaluación de los cuerpos hídricos permitiendo que los procesos de formulación de políticas públicas y seguimientos de los impactos sean más eficaces (Torres, Cruz & Patiño, 2009).

### **3.6.2 Índice de Contaminación (ICO)**

Es el que permite definir el grado de contaminación del agua. Con base en las correlaciones referidas, se definieron los siguientes índices de contaminación:

### **3.6.2.1 Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI)**

Se expresa en numerosas variables, de las cuales se eligieron: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonates y bicarbonatos (Ramírez, Restrepo & Viña, 1997).

### **3.6.2.2 Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)**

Al igual que en la mineralización, se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionaron: demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como lo demuestra la ausencia de correlaciones entre ellas (Ramírez, Restrepo & Viña, 1997).

### **3.6.2.3 Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS)**

Se determina tan sólo mediante la concentración de sólidos suspendidos. Si bien esta variable observó alguna correlación de importancia con la demanda de oxígeno (DBO y DQO) y con el amonio, se desagregó de las anteriores por cuanto estas últimas corresponden con claridad a procesos de contaminación orgánica, mientras que los sólidos suspendidos bajo muchas circunstancias podrían perfectamente hacer referencia tan sólo a compuestos inorgánicos (Ramírez, Restrepo & Viña, 1997).

### **3.6.2.4 Índice de Contaminación por Trofia (ICOTRO)**

Se determina en esencia por la concentración del fósforo total, el cual incluye ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico (Ramírez, Restrepo & Viña, 1997).

## 4. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos propuestos se emplearon las clasificaciones planteadas por el IDEAM (2012) para la determinación de los diferentes índices y explicadas en los numerales anteriores.

### 4.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en la subcuenca del río Molino, la cual se encuentra localizada al suroccidente de Colombia, en el centro del Departamento del Cauca, hacia el oriente del Municipio de Popayán (Figura 1).

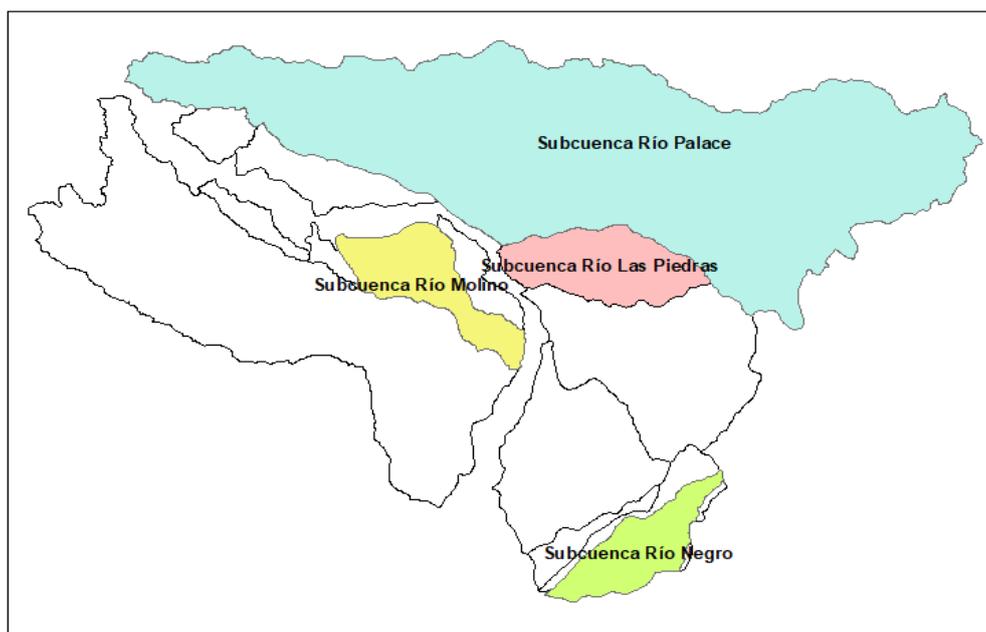
**Figura 1.** Localización de la subcuenca del río Molino, departamento del Cauca.



Fuente: Mapa base de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (2006).

En la Figura 2 se observan las subzonas hidrográficas de los ríos Molino, Las Piedras, Palace y Negro las cuales se encuentran en el área hidrográfica Magdalena – Cauca, en la zona hidrográfica del Cauca. Hacen parte de la vertiente occidental de la cordillera central.

**Figura 2.** Ubicación de las subcuencas río Molino, Las Piedras, Palace y Negro.



Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MOLINO

### 4.2.1 Clima

La precipitación media anual de la subcuenca del río Molino es de 1977 mm. Los valores promedio de la humedad relativa media máxima es de 87.5% y el de la media mínima de 73.1% (CRC, 2016). La temperatura en la subcuenca se define según la variación altitudinal, de acuerdo con la clasificación climática de Caldas propuesta en el POMCH (Tabla 1).

**Tabla 1.** Rangos de la clasificación climáticas de Caldas.

Piso térmico	Rango de altura (m)	Temperatura (°C)
Cálido	0 a 1000	24
Templado	1001 a 2000	24 a 17,5
Frío	2001 a 3000	17,5 a 12
Páramo bajo	3001 a 3700	12 a 7
Páramo alto	3701 a 4200	< 7

Fuente: POMCH (2016).

#### **4.2.2 Hidrografía**

La subcuenca del río Molino se abastece de los afluentes del río Ejido y las quebradas Dos Aguitas, Quitacalzón, La Cantera, Del Sanjón, Filipilla, La Honda, Patevenado, El Alejo, Piedra Grande, Aguarregada, San José, San Roque, De Pasares, El Consuelo y Santa Teresa.

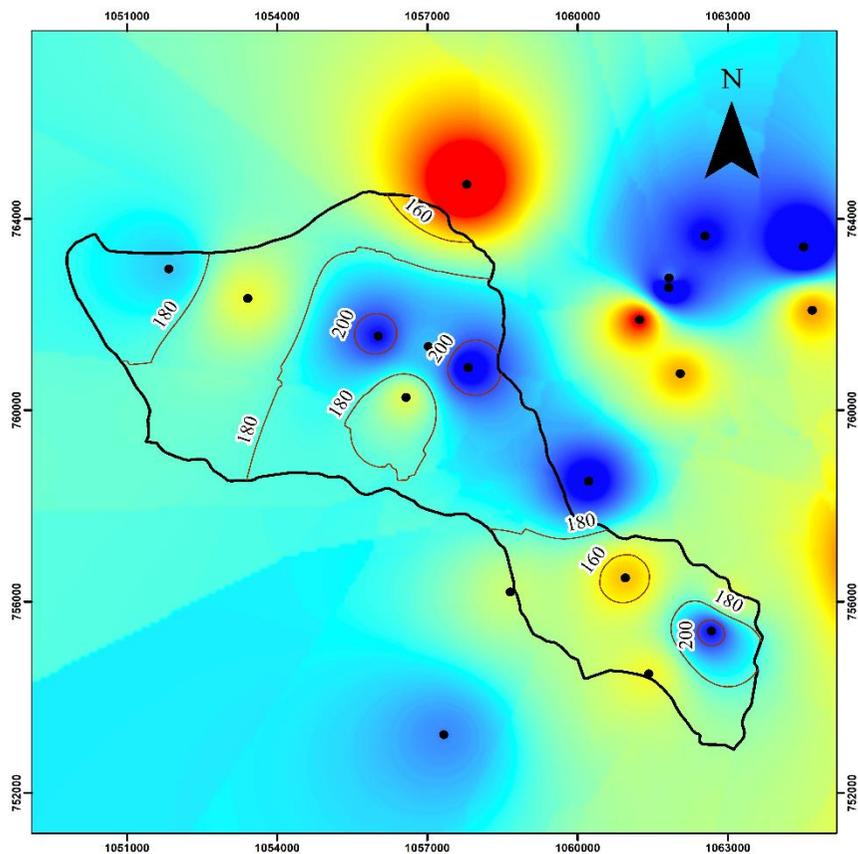
#### **4.3 DETERMINACIÓN DE CAUDALES MEDIOS**

Debido a que no existen estaciones de aforo en la subcuenca del río Molino, no se dispone de información de sus caudales medios, por ello surge la necesidad de generarlos a partir de alguno de los métodos de lluvia - escorrentía. Se seleccionó el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) para determinar la escorrentía media mensual. Para ello se recopiló información de la precipitación mensual de 40 estaciones meteorológicas con influencia en la subcuenca del río Molino, la cual fue proporcionada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la División Ambiental del Acueducto y Alcantarillado de Popayán (Anexo A).

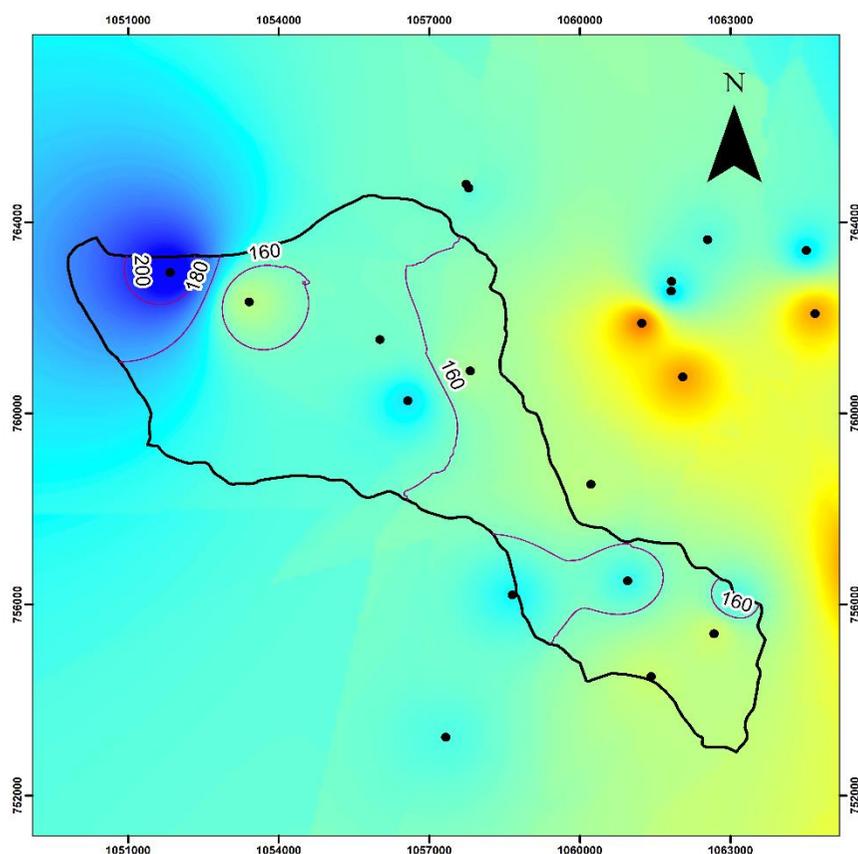
##### **4.3.1 Cálculo de las Isoyetas**

Con los registros de precipitaciones del Anexo A se determinó la precipitación media mensual de la subcuenca para el periodo 2013 – 2017, por medio de la elaboración de isoyetas utilizando el software ArcGis 10.3 (Figuras 3 a 14). Se utilizó este método debido a que es el más preciso pues permite la consideración de los efectos orográficos en el cálculo de la precipitación media sobre la cuenca en estudio.

**Figura 3.** Mapa de isoyetas para el mes de enero. P(mm)

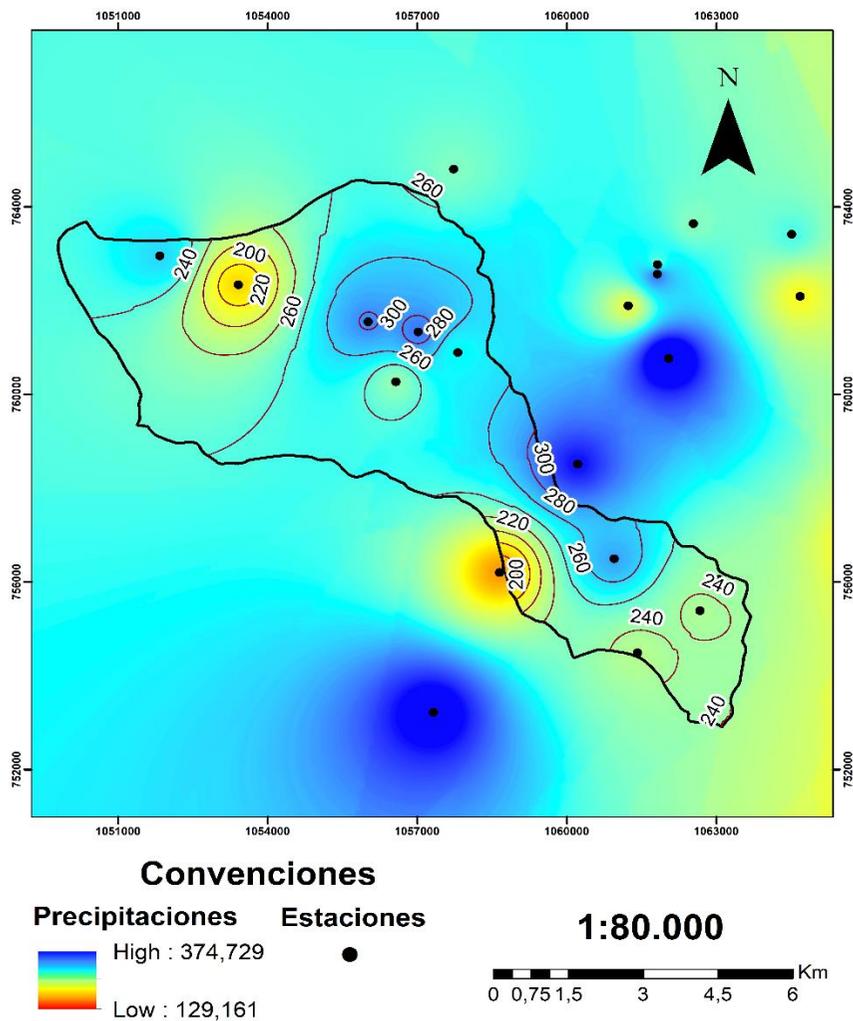


**Figura 4.** Mapa de isoyetas para el mes de febrero. P(mm)

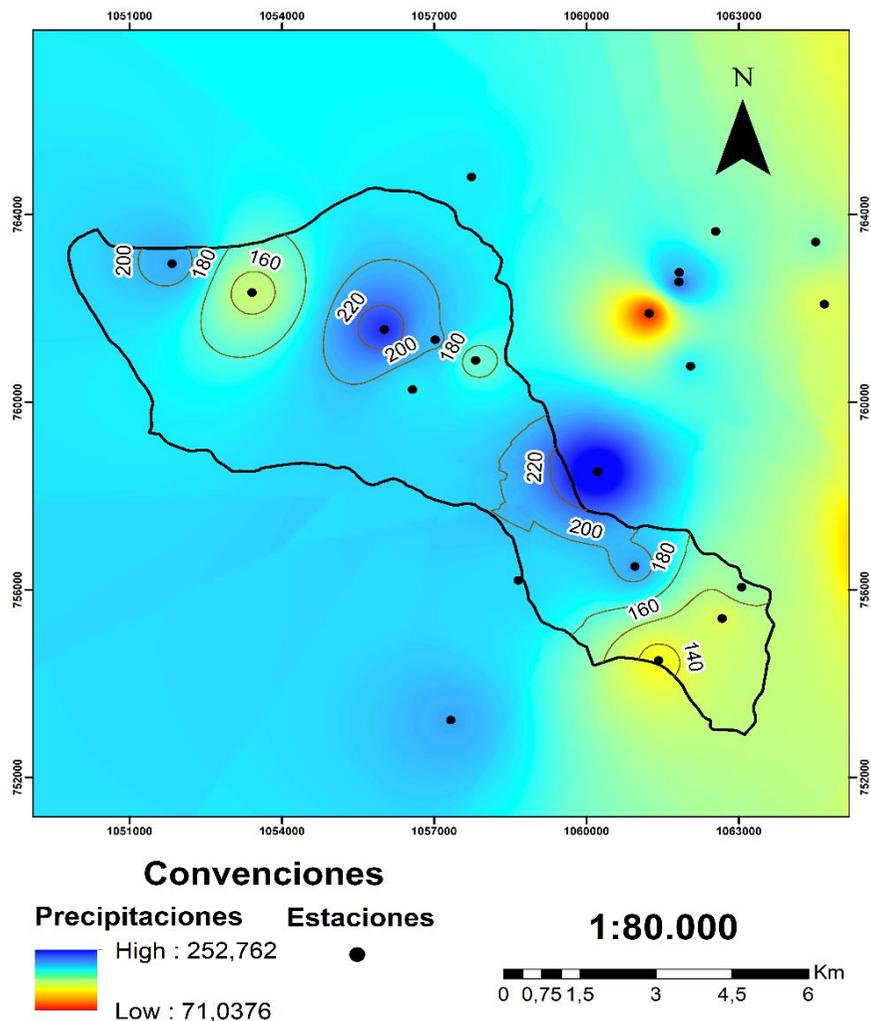


Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5.** Mapa de isoyetas para el mes de marzo. P(mm)

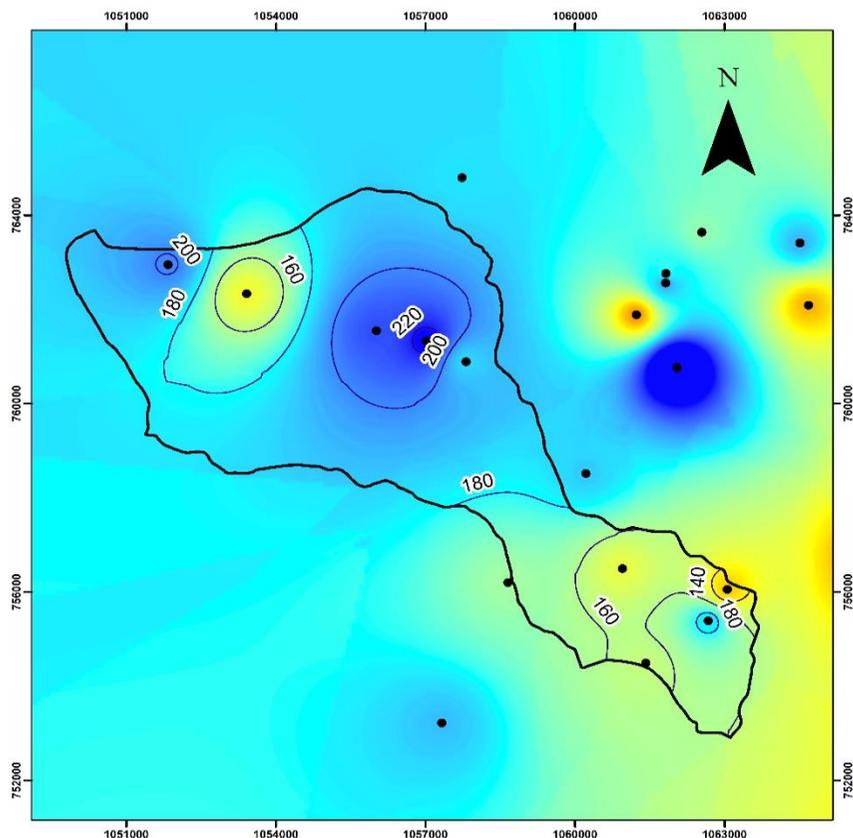


**Figura 6.** Mapa de isoyetas para el mes de abril. P(mm)

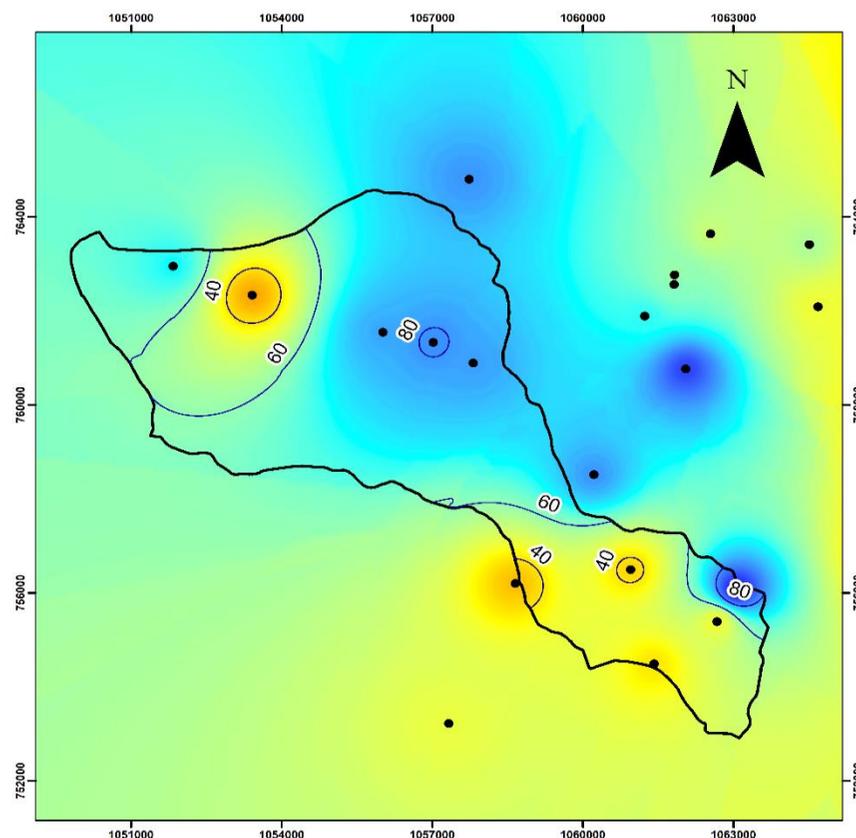


Fuente: Elaboración propia.

**Figura 7.** Mapa de isoyetas para el mes de mayo. P(mm)

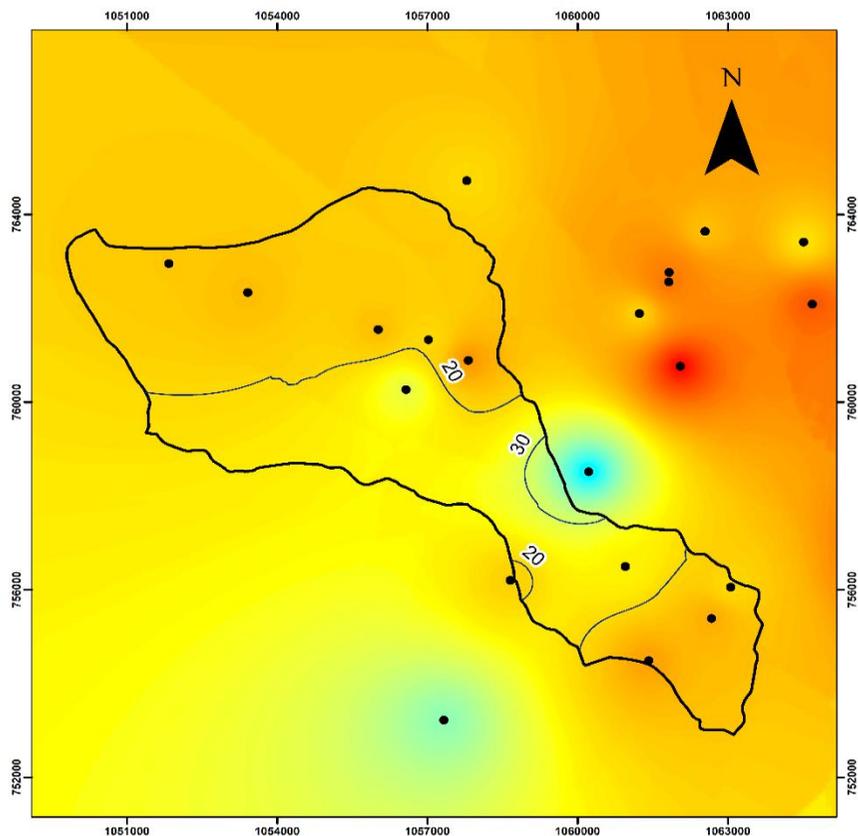


**Figura 8.** Mapa de isoyetas para el mes de junio. P(mm)



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 9.** Mapa de isoyetas para el mes de julio. P(mm)



**Convenciones**

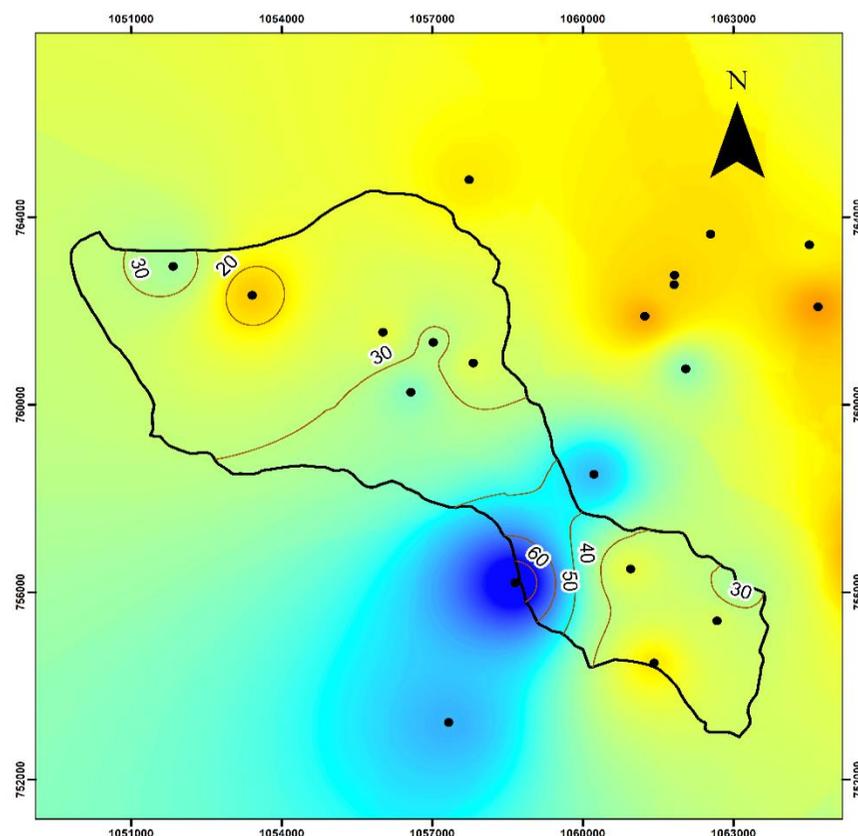
**Precipitaciones** High : 134,977  
 Low : 0,0392617

**Estaciones** ●

**1:80.000**

0 0,75 1,5 3 4,5 6 Km

**Figura 10.** Mapa de isoyetas para el mes de agosto. P(mm)



**Convenciones**

**Precipitaciones** High : 89,9869  
 Low : 1,01041

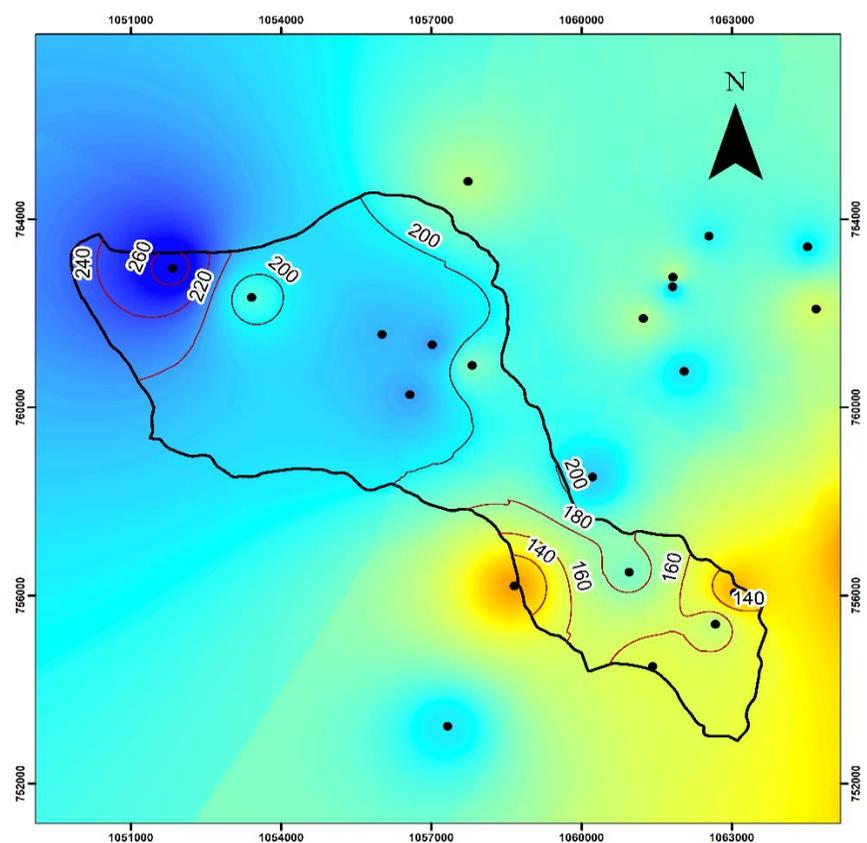
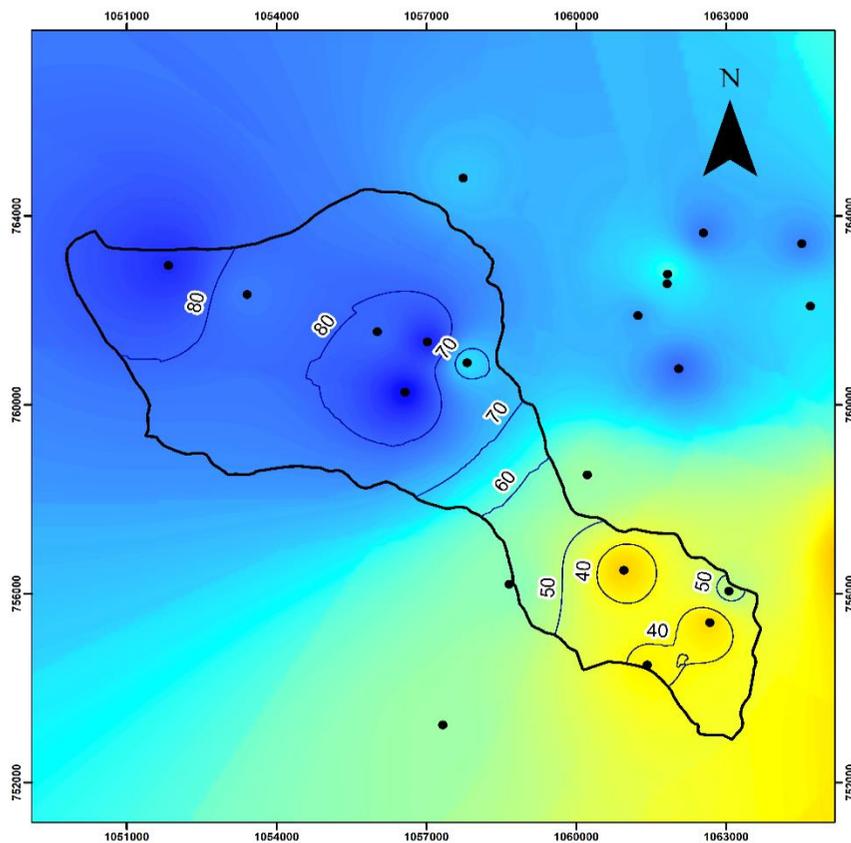
**Estaciones** ●

**1:80.000**

0 0,75 1,5 3 4,5 6 Km

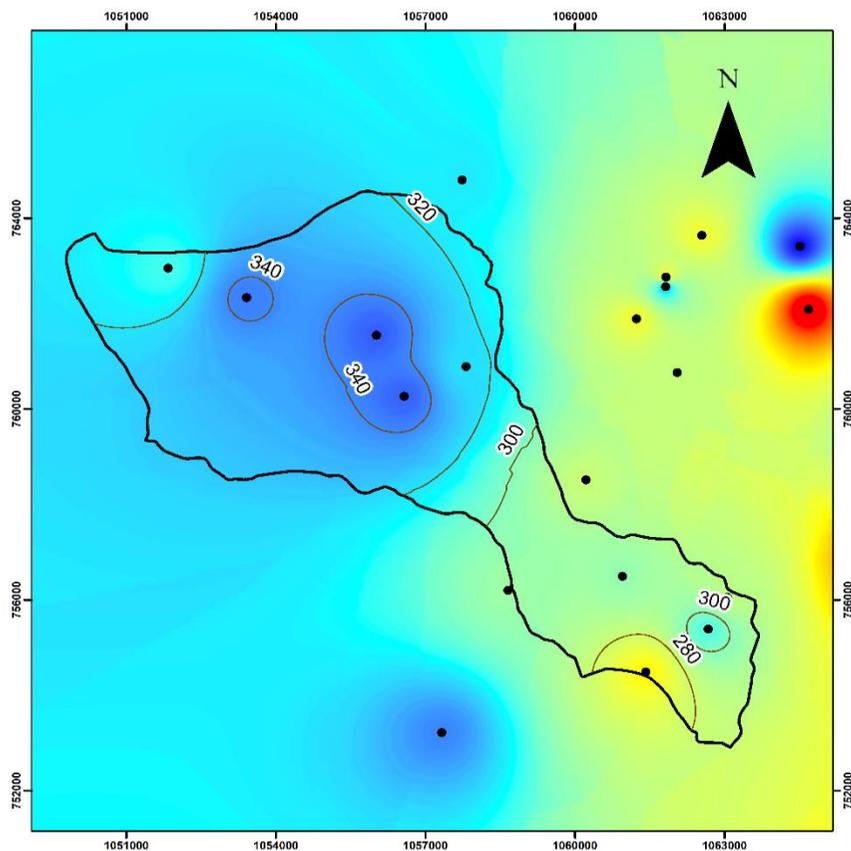
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 11.** Mapa de isoyetas para el mes de septiembre. P(mm) **Figura 12.** Mapa de isoyetas para el mes de octubre. P(mm)



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 13.** Mapa de isoyetas para el mes de noviembre. P(mm)



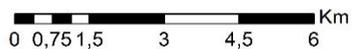
**Convenciones**

Precipitaciones Estaciones

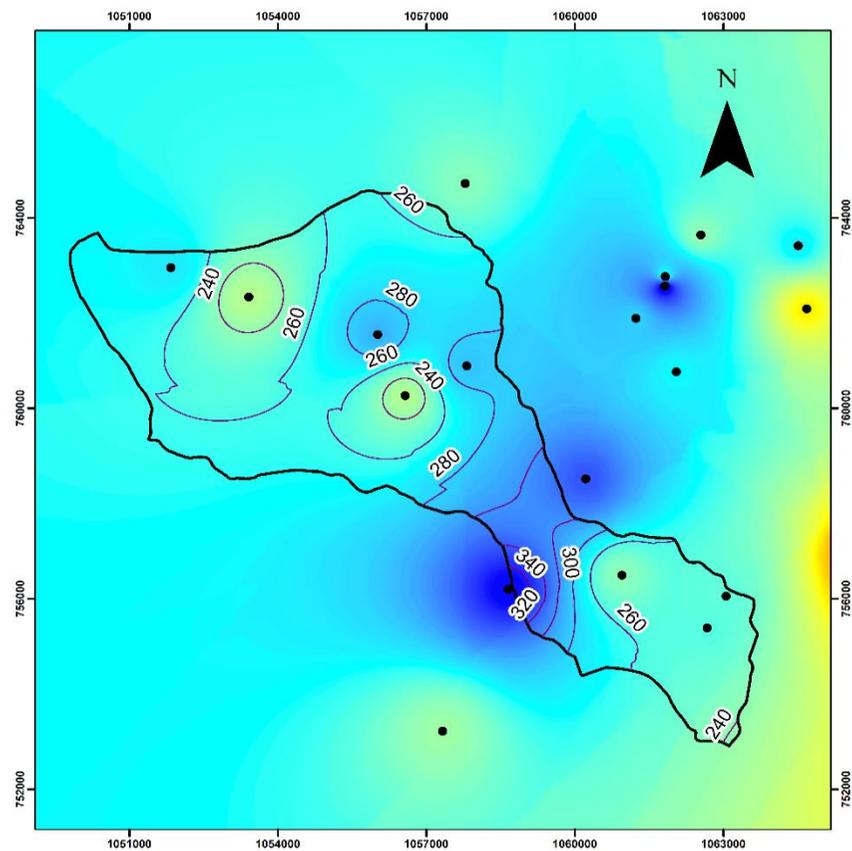


●

**1:80.000**

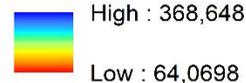


**Figura 14.** Mapa de isoyetas para el mes de diciembre. P(mm)



**Convenciones**

Precipitaciones Estaciones



●

**1:80.000**



Fuente: Elaboración propia.

A partir de las isoyetas mensuales se determinó la precipitación media mensual del área de estudio (Tabla 2), siguiendo la Ecuación 1.

$$P_{media\ mensual} = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + \dots + P_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

**Tabla 2.** Precipitaciones medias mensuales de la subcuenca del río Molino.

<b>Mes</b>	<b>Precipitación media mensual (mm)</b>
Enero	179
Febrero	167
Marzo	260
Abril	187
Mayo	176
Junio	61
Julio	22
Agosto	32
Septiembre	68
Octubre	197
Noviembre	317
Diciembre	267

#### 4.3.2 Aplicación del método del Servicio de Conservación de Suelos para determinar la escorrentía

El cálculo de la precipitación efectiva o escorrentía se realizó por el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) a partir de los datos de precipitación media mensual de la Tabla 2, de acuerdo con la Ecuación 2.

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

Donde:

Pe = Escorrentía (mm)

P = Precipitación total (mm)

0,2 S = Pérdidas iniciales = 20%

0,8 S = Infiltración durante la escorrentía superficial directa = 80%.

Esta ecuación tiene en cuenta el potencial de retención de agua (S) que se obtiene de acuerdo con la Ecuación 3.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

Donde:

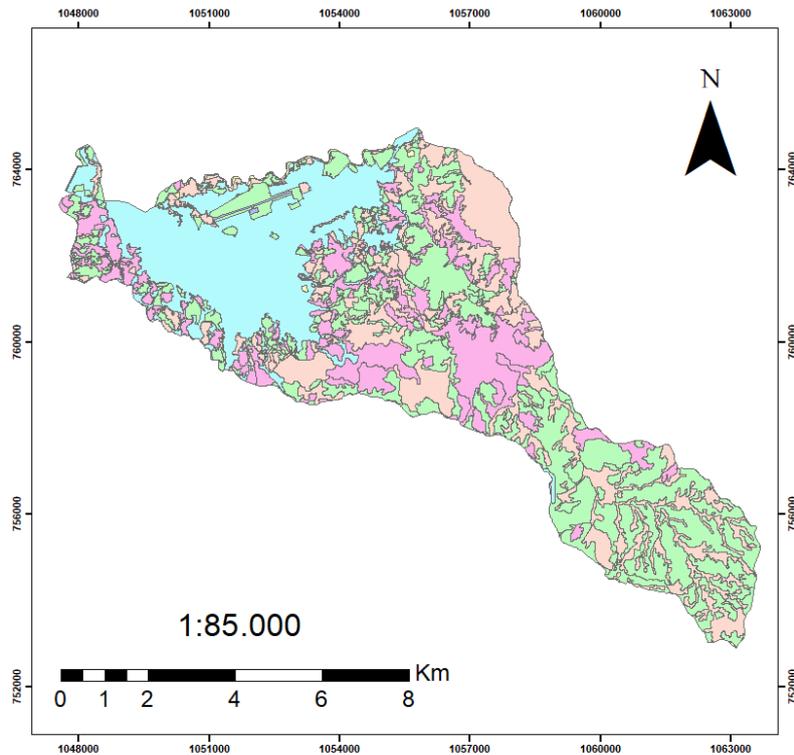
S = Potencial de retención de agua por el suelo sobre el área de drenaje en el momento de inicio de la precipitación (mm).

CN = Curva número de escorrentía.

El método considera el valor de la Curva Número (CN) que tiene en cuenta la cobertura y tipo de suelo. Para determinar este valor se asoció el uso del suelo según el mapa de cobertura del suelo de la subcuenca del río Molino proporcionado por la Corporación Autónoma Regional del Cauca, por categorías como se muestra en el Anexo B, la cual se clasificó, según la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010), para reducir información y facilitar su cálculo. El tipo de suelo se toma del trabajo “Estudio preliminar (afectación y daños) asociados a fenómenos de inundación lenta y súbita (avenida torrencial) en la zona urbana y rural el municipio de Popayán”, realizado por la Universidad del Cauca y la Alcaldía de la ciudad de Popayán (CONVENIO 20131800008927 ALCALDÍA – UNICAUCA, 2015). Posteriormente se procedió a determinar el valor de la Curva Número (Tabla 3) según el Anexo C.

En la Figura 15 se observa el mapa de coberturas de la subcuenca del río Molino que se obtiene después de aplicar la metodología CORINE Land Cover.

**Figura 15.** Mapa de coberturas de la subcuenca río Molino.



**Leyenda**

**Coberturas**

 Bosques	 Residencial
 Distritos Industriales	 Tierra Cultivada
 Pastizales	 Vegas de Ríos

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.** Determinación valor de curva número.

Uso del suelo	Tipo de suelo	CN	Area (Km <sup>2</sup> )	CN * $\Sigma$ Area
Tierra cultivada	B	81	10,229354	828,577674
Pastizales	B	79	18,992156	1500,38032
Vegas de ríos	B	58	0,07214	4,18412
Bosques	B	55	14,97302	823,5161
Residencial	B	68	11,295462	768,091416
Distritos industriales	B	88	0,077	6,775208
			55,639123	3931,52484
			<b>CN ponderado</b>	<b>71</b>

Al obtener el valor de CN se calculó la escorrentía para cada mes (Tabla 4). Como ejemplo se calcula la escorrentía para el mes de enero, de acuerdo con las Ecuaciones 2 y 3.

$$S = \frac{25400}{71} - 254 = 103,746 \text{ mm}$$

$$P_e = \frac{(179 - 0,2 \times 103,746)^2}{179 + 0,8 \times 103,746} = 96 \text{ mm}$$

**Tabla 4.** Precipitación efectiva por mes.

<b>Mes</b>	<b>Precipitación efectiva (mm)</b>
Enero	96
Febrero	86
Marzo	167
Abril	102
Mayo	93
Junio	11
Julio	0,015
Agosto	1,101
Septiembre	15
Octubre	111
Noviembre	219
Diciembre	173

La estimación del caudal medio (Tabla 5) se hizo a partir de la Ecuación 4.

$$Q = \frac{P_e \times A}{86,4 \times 10^6 \times n} + Q_b \quad (4)$$

Donde:

Q = Caudal medio en (m<sup>3</sup>/s)

Pe = Escorrentía media (mm)

A = Área de la cuenca hidrográfica (m<sup>2</sup>)

n = Número de días del mes (29 o 31)

Q<sub>b</sub> = Caudal base (m<sup>3</sup>/s), en este caso equivale a 0,25 m<sup>3</sup>/s

El caudal base se tomó del trabajo del Convenio 20131800008927 Alcaldía – Unicauca, denominado: “Estudio preliminar (afectación y daños) asociados a fenómenos de inundación lenta y súbita (avenida torrencial) en la zona urbana y rural del municipio de Popayán”, en donde se realizó mediciones de caudales en época de verano cuando se presentaba un intenso fenómeno de El Niño, estableciéndose un valor de 250 lps, el cual fue aportado por aguas subterráneas.

Como cálculo tipo se encuentra el caudal medio para el mes de enero.

$$Q = \frac{96 \times 55639123}{86,4 \times 10^6 \times 31} + 0,25 = 2,322 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Tabla 5.** Caudales medios mensuales multianuales generados.

<b>Mes</b>	<b>Caudal medio (m<sup>3</sup>/s)</b>
Enero	2,322
Febrero	2,303
Marzo	3,868
Abril	2,543
Mayo	2,267
Junio	0,502
Julio	0,250
Agosto	0,274
Septiembre	0,581
Octubre	2,655
Noviembre	5,165
Diciembre	4,006
$\bar{x}$	2,228

#### 4.4 DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS

Para el cálculo del caudal mínimo de la subcuenca del río Molino, se tomaron como base los datos de caudales medios y mínimos de tres subcuencas cercanas con condiciones similares de geología y suelos como lo son las de los ríos Las Piedras, Negro y Palacé, comprendidos entre los años 1965 a 2015 (Anexo D). Del plan de ordenación y manejo de la subcuenca del río Molino - Quebrada Pubús (CRC, 2006) se tomó como referencia las cuencas anteriormente mencionadas.

Del Anexo D se obtuvieron los promedios mensuales de caudales mínimos y medios de las subcuencas anteriormente mencionadas (Tabla 6 y 7) para hallar una relación porcentual del caudal mínimo con respecto al medio (Tabla 8).

El promedio del valor porcentual por mes de cada subcuenca (Tabla 9) se toma como referente para hallar los caudales mínimos del área de estudio (Tabla 10) con respecto a los caudales medios encontrados en la Tabla 5.

**Tabla 6.** Datos promedio mensuales de caudales mínimos.

<b>Subcuenca</b>	<b>Río Las Piedras</b>	<b>Río Negro</b>	<b>Río Palacé</b>
Enero	1,925	0,449	3,196
Febrero	1,865	0,414	3,197
Marzo	1,76	0,44	3,28
Abril	1,84	0,521	3,452
Mayo	1,668	0,72	4,01
Junio	1,364	1,007	4,155
Julio	1,14	1,407	4,039
Agosto	1,02	1,36	4,65
Septiembre	0,939	1,073	3,039
Octubre	0,99	0,89	3,13
Noviembre	1,482	0,8	3,72
Diciembre	2,112	0,546	3,733

**Tabla 7.** Datos promedio mensuales de caudales medios.

Subcuenca	Río Las Piedras	Río Negro	Río Palacé
Enero	3,265	0,834	5,902
Febrero	3,126	0,778	6,011
Marzo	3,03	0,84	6,28
Abril	3,031	1,401	7,117
Mayo	2,546	1,966	7,291
Junio	1,719	3,438	8,067
Julio	1,35	4,483	8,926
Agosto	1,17	3,72	7,15
Septiembre	1,064	2,12	5,359
Octubre	1,67	1,59	6,18
Noviembre	3,31	1,74	7,857
Diciembre	4,278	1,31	7,499

**Tabla 8.** Relación porcentual de los caudales mínimos respecto a los medios de las subcuencas de los ríos Las Piedras, Negro y Palacé.

Subcuenca	Ene %	Feb %	Mar %	Abr %	May %	Jun %	Jul %	Ago %	Sep %	Oct %	Nov %	Dic %
Río Las Piedras	59	60	58	61	66	79	84	88	88	59	45	49
Río Negro	54	53	52	37	37	29	31	37	51	56	46	42
Río Palacé	54	53	52	49	55	52	45	65	57	51	47	50
$\bar{x}$	56	55	54	49	52	53	54	63	65	55	46	47

**Tabla 9.** Relación porcentual de los caudales mínimos respecto a los medios de la subcuenca del río Molino.

Subcuenca	Ene %	Feb %	Mar %	Abr %	May %	Jun %	Jul %	Ago %	Sep %	Oct %	Nov %	Dic %
Río Molino	56	55	54	49	52	53	54	63	65	55	46	47

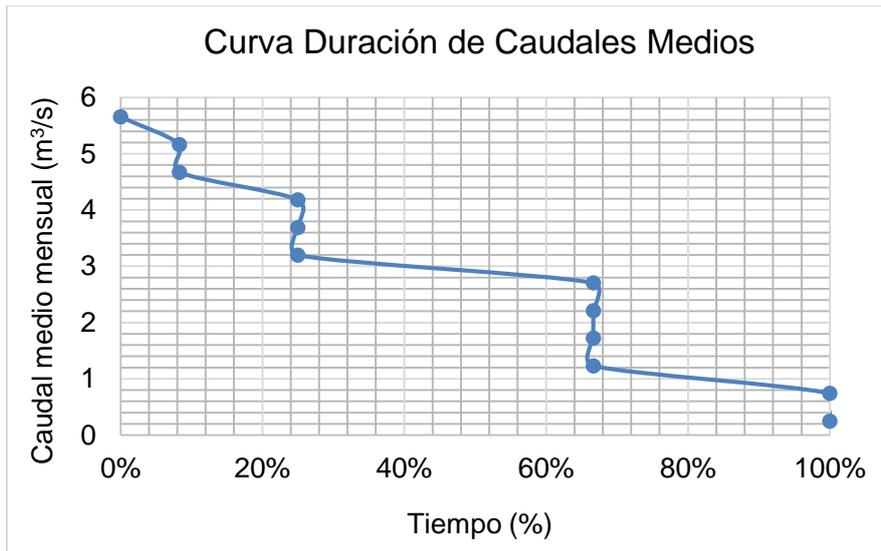
**Tabla 10.** Estimación de caudales mínimos mensuales para la subcuenca del río Molino.

<b>Mes</b>	<b>Caudal mínimo (m<sup>3</sup>/s)</b>
Enero	1,292
Febrero	1,275
Marzo	2,089
Abril	1,241
Mayo	1,188
Junio	0,268
Julio	0,134
Agosto	0,173
Septiembre	0,379
Octubre	1,470
Noviembre	2,378
Diciembre	1,880
$\bar{x}$	1,147

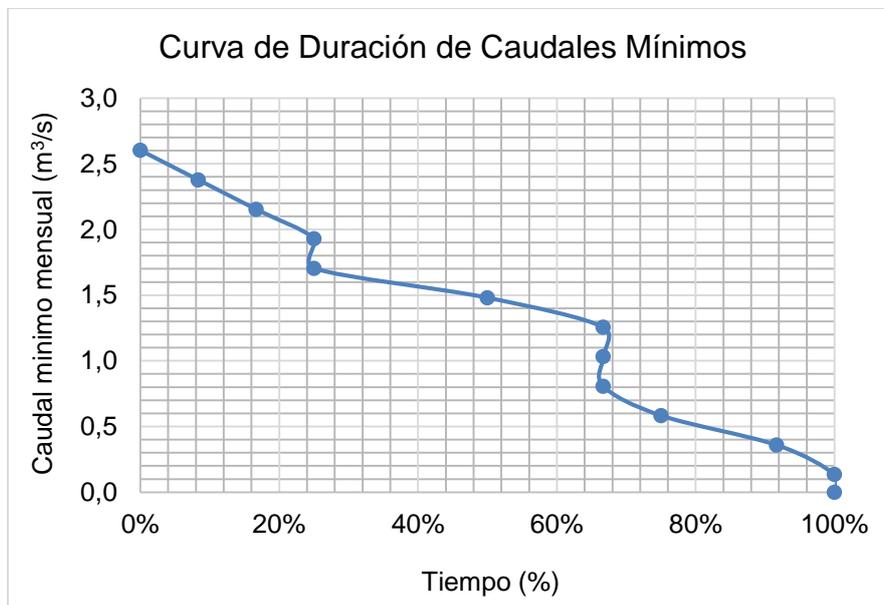
#### **4.5 ELABORACIÓN DE CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES MEDIOS Y MÍNIMOS**

Para la determinación de algunos de los índices es necesario tener de antemano la curva de duración de caudales (CDC) tanto de caudales medios como mínimos. Las curvas de duración de caudales (Figuras 16 y 17) se determinaron de acuerdo con los datos expuestos en el Anexo E.

**Figura 16.** Curva de duración de caudales medios.



**Figura 17.** Curva de duración de caudales mínimos.

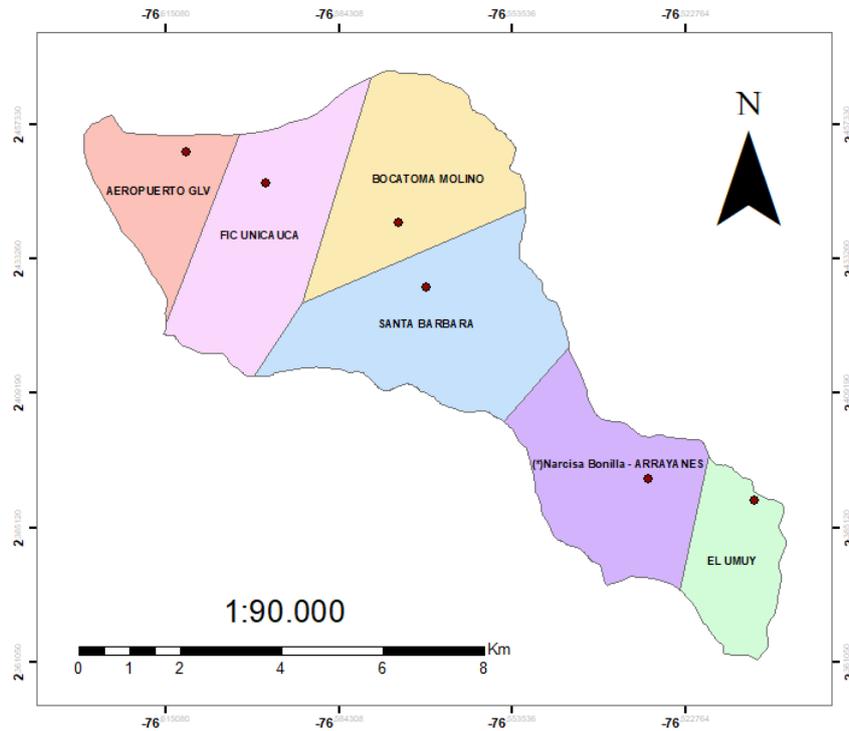


Debido a que se usó la serie de datos de caudales medios mensuales multianuales en ausencia de los diarios, la proyección obtenida en la curva no fue la esperada. Por tal motivo se procedió a usar otro tipo de método que permitiera mejorar este análisis. Se empleó el método aritmético, el cual consiste en usar los datos de las estaciones pluviométricas localizadas dentro del área de interés.

Se trabajó con las seis estaciones pluviométricas que se encontraron dentro de la subcuenca del río Molino (Anexo F). Además, con el programa ArcGIS 10.3 se

delimitaron las subáreas de cada estación, de una manera similar a como se emplea el método de los Polígonos de Thiessen (Figura 18 y Tabla 11).

**Figura 18.** Subáreas estimadas para la subcuenca del río Molino.



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11.** Estimación del área para cada estación pluviométrica.

Estación	Área (Km <sup>2</sup> )	%Área
Santa Bárbara	13,786851	23,745227
Arrayanes	10,252364	17,657745
Unicauca	11,334254	19,521096
Bocatoma	11,182692	19,260059
El Umuy	5,556122	9,569362
Aeropuerto	5,949285	10,246511

Con los datos de precipitación mensual de cada estación y para un período de 10 años (2009 a 2018, Anexo G) se procedió a calcular la precipitación media mensual (Anexo H). Esta precipitación media mensual para cada año y estación se afectó por

su área de influencia dentro de la subcuenca y se obtuvo la precipitación ponderada por estación. Luego, se promedió la precipitación ponderada teniendo en cuenta las seis estaciones y se halló la precipitación media mensual ponderada para cada año y para toda el área de la subcuenca del río Molino (Tabla 12).

**Tabla 12.** Precipitación media mensual ponderada para el área de la subcuenca del río Molino (2009 – 2018).

	<b>Precipitación (mm)</b>									
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Ene</b>	99,6	93,7	111,1	139,2	103,4	237,7	82,7	176,0	262,5	134,8
<b>Feb</b>	119,2	88,3	119,9	124,9	100,3	242,1	203,1	80,1	146,0	326,3
<b>Mar</b>	111,2	81,2	147,8	110,0	93,3	335,8	208,1	173,4	474,6	170,6
<b>Abr</b>	111,0	88,8	136,9	115,5	92,4	134,3	140,4	298,0	285,5	231,2
<b>May</b>	106,6	91,7	127,1	99,9	99,2	182,1	44,5	127,1	269,5	259,9
<b>Jun</b>	92,1	93,4	106,2	89,2	96,8	45,8	16,4	35,5	154,5	85,7
<b>Jul</b>	86,3	92,5	93,9	83,4	89,0	7,6	11,6	25,8	15,7	66,0
<b>Ago</b>	75,2	93,3	83,7	78,7	83,7	13,3	3,4	11,6	74,6	5,6
<b>Sep</b>	60,9	92,3	82,2	72,2	81,0	70,1	17,5	97,4	75,8	125,0
<b>Oct</b>	70,5	94,3	104,3	80,9	77,6	193,7	167,0	300,2	223,0	396,6
<b>Nov</b>	93,7	125,7	128,5	91,0	100,2	385,0	184,7	214,6	341,9	429,6
<b>Dic</b>	100,5	127,3	160,8	112,2	138,1	332,7	13,0	281,4	281,4	113,6

Por medio del método del Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S.), se calculó la precipitación efectiva (escorrentía) aplicando la Ecuación 2 (Tabla 13).

Posteriormente se estima el caudal medio mediante la Ecuación 4 y los resultados se presentan en la Tabla 14.

**Tabla 13.** Precipitación efectiva mensual para el período 2009 - 2018.

	<b>Precipitación efectiva (mm)</b>									
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Ene</b>	34,0	30,1	42,1	63,1	36,7	146,8	23,2	146,8	169,1	59,7
<b>Feb</b>	47,9	26,7	48,4	52,2	34,6	150,8	116,2	150,8	68,5	228,1
<b>Mar</b>	42,1	22,3	70,0	41,2	29,9	237,0	120,6	237,0	369,4	88,6
<b>Abr</b>	42,0	27,0	61,4	45,2	29,3	59,3	64,1	59,3	190,2	140,9
<b>May</b>	38,9	28,8	53,8	34,3	33,8	98,2	4,4	98,2	175,5	166,8
<b>Jun</b>	29,1	29,9	38,6	27,2	32,1	4,9	0,2	4,9	75,3	25,0
<b>Jul</b>	25,4	29,3	30,2	23,6	27,1	1,9	0,9	1,9	0,3	13,7
<b>Ago</b>	18,8	29,9	23,8	20,8	23,8	0,6	3,5	0,6	18,4	2,6
<b>Sep</b>	11,2	29,2	22,9	17,1	22,1	15,9	0,1	15,9	19,1	52,3
<b>Oct</b>	16,1	30,5	37,3	22,1	20,1	108,1	85,6	108,1	133,7	294,6
<b>Nov</b>	30,1	52,8	54,9	28,4	34,5	283,5	100,4	283,5	242,7	326,1
<b>Dic</b>	34,6	54,0	80,4	42,8	62,3	234,1	0,6	234,1	186,4	43,9

**Tabla 14.** Estimación de caudales medios mensuales para la subcuenca del río Molino en el periodo 2009 – 2018.

	<b>Caudal medio (m<sup>3</sup>/s)</b>									
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Ene</b>	1,012	0,925	1,192	1,664	1,071	3,538	0,769	2,334	4,038	1,588
<b>Feb</b>	1,323	0,847	1,335	1,419	1,024	3,627	2,854	0,734	1,785	5,359
<b>Mar</b>	1,193	0,749	1,817	1,174	0,919	5,559	2,951	2,285	8,524	2,234
<b>Abr</b>	1,191	0,854	1,625	1,263	0,906	1,579	1,685	4,769	4,511	3,407
<b>May</b>	1,121	0,896	1,456	1,018	1,007	2,449	0,349	1,456	4,181	3,987
<b>Jun</b>	0,902	0,92	1,114	0,859	0,97	0,359	0,254	0,291	1,938	0,811
<b>Jul</b>	0,819	0,907	0,927	0,778	0,856	0,293	0,270	0,255	0,256	0,557
<b>Ago</b>	0,67	0,919	0,782	0,715	0,782	0,263	0,328	0,270	0,662	0,308
<b>Sep</b>	0,501	0,904	0,762	0,632	0,746	0,606	0,252	0,980	0,678	1,421
<b>Oct</b>	0,611	0,933	1,085	0,745	0,701	2,672	2,167	4,816	3,244	6,848
<b>Nov</b>	0,925	1,433	1,48	0,886	1,022	6,601	2,499	3,078	5,687	7,554
<b>Dic</b>	1,026	1,46	2,052	1,209	1,646	5,493	0,264	4,427	4,427	1,233

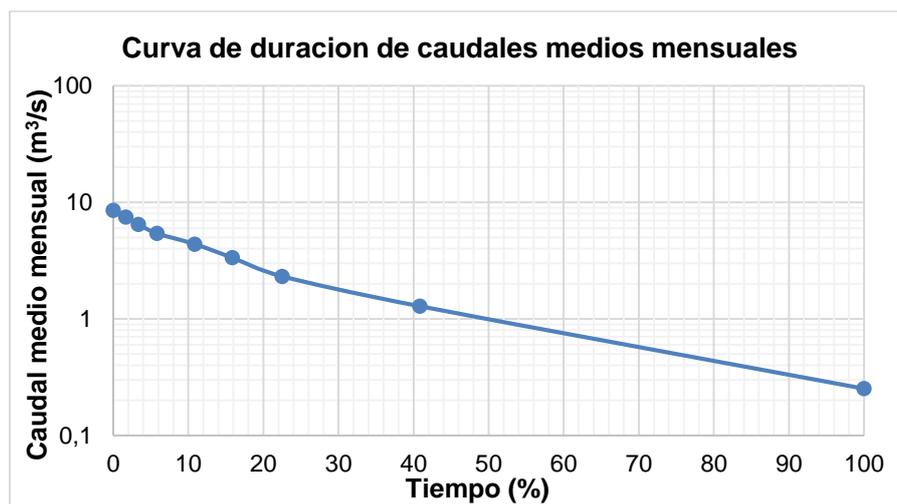
En la Tabla 15 se encuentran los caudales mensuales multianuales que se obtuvieron a partir de la Tabla 14.

**Tabla 15.** Datos de caudales medios mensuales multianuales.

Mes	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)
Enero	1,813
Febrero	2,031
Marzo	2,741
Abril	2,179
Mayo	1,792
Junio	0,842
Julio	0,592
Agosto	0,570
Septiembre	0,748
Octubre	2,382
Noviembre	3,116
Diciembre	2,324
$\bar{x}$	1,761
<b>Desviación estándar</b>	0,874

Con los datos de la Tabla 14, se realizó la curva de duración de caudales medios mensuales para la subcuenca del río Molino (Figura 19), de acuerdo con el Anexo I.

**Figura 19.** Curva de duración de caudales medios mensuales multianuales.

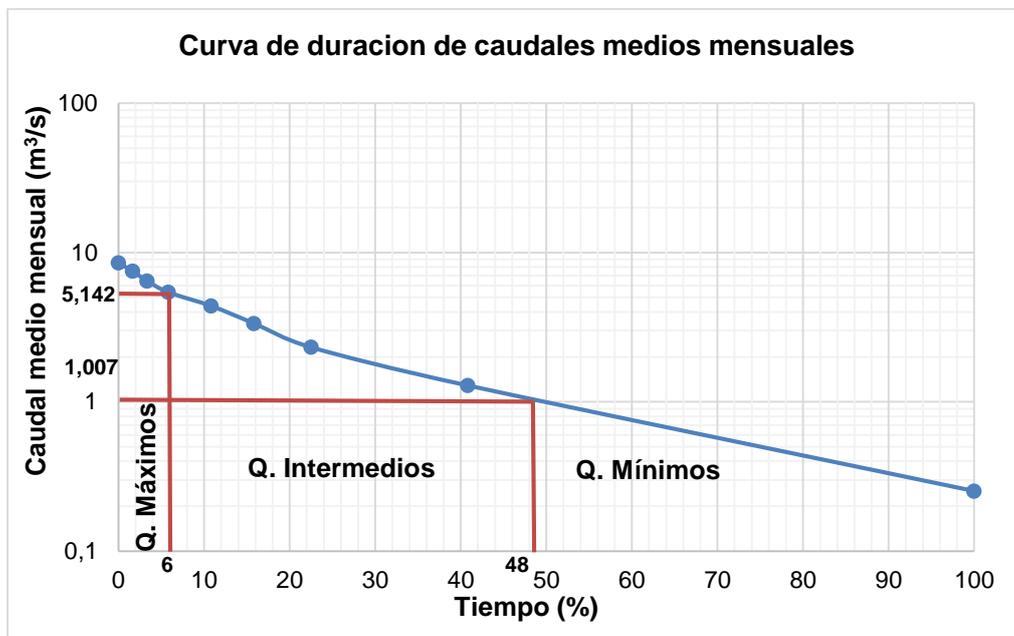


A partir del caudal mínimo y máximo de la Tabla 14, se procede a determinar el caudal mínimo y máximo de referencia, por medio de las Ecuaciones 5 y 6, los cuales se ubican en la curva de duración de caudales medios mensuales indicados en la Figura 20.

$$Q_{min} = \frac{\bar{Q} + Q_{\min \text{ de medios}}}{2} = \frac{1,761 + 0,252}{2} = 1,007 \frac{m^3}{s} \quad (5)$$

$$Q_{max} = \frac{\bar{Q} + Q_{\max \text{ de medios}}}{2} = \frac{1,761 + 8,524}{2} = 5,142 \frac{m^3}{s} \quad (6)$$

**Figura 20.** Caudales máximos y mínimos mensuales.



Para la interpretación de la curva de duración de caudales mínimos mensuales, se toma como referencia los caudales mínimos de la Figura 20, que se encuentren a partir del caudal mínimo obtenido en la Ecuación 5.

## 4.6 DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES HÍDRICOS DE CANTIDAD PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO MOLINO

### 4.6.1 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)

La obtención de este índice se basa fundamentalmente en la curva de duración de caudales medios (Figura 21) para los caudales medios diarios. Su estimación resulta de la relación del área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio y la correspondiente área total por debajo de la curva de duración de caudales diarios. Este índice se calcula mediante la Ecuación 7 (Ocampo, 2012).

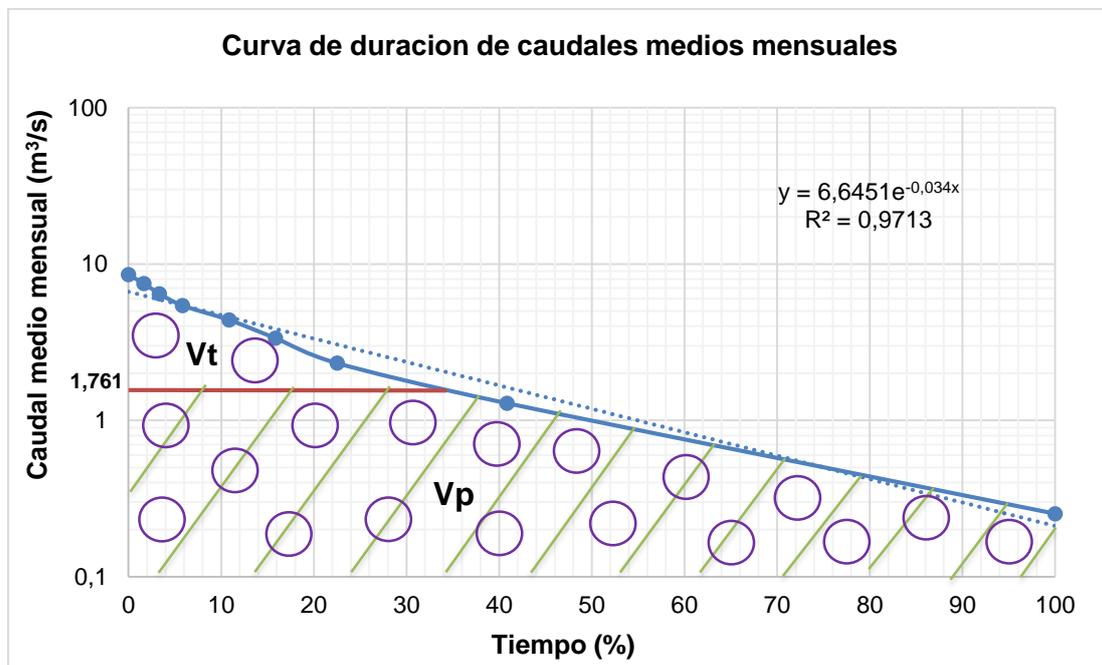
$$IRH = \frac{V_p}{V_t} \quad (7)$$

Donde:

$V_p$  = Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio.

$V_t$  = Volumen total representado por el área bajo la curva.

Figura 21. Estimación de  $V_t$  y  $V_p$ .



Teniendo en cuenta que el caudal medio obtenido tiene un valor de 1,761 m<sup>3</sup>/s, el área sombreada bajo la línea de caudal medio, representa a V<sub>p</sub> y el área con círculos a V<sub>t</sub>. El área aproximada para V<sub>p</sub> y V<sub>t</sub> se determina usando la ecuación característica de la curva de la siguiente forma:

$$V_t = \int_0^{100} 6,6451e^{-0,034x} dx = 189$$

$$V_p = (1,661 \times 34) + \int_{34}^{100} 6,6451e^{-0,034x} dx = 111$$

Reemplazando en la Ecuación 7, se halla el IRH:

$$IRH = \frac{111}{189} = 0,6$$

En la Tabla 16 se encuentra la clasificación del Índice de Retención y Regulación Hídrica.

**Tabla 16.** Calificación del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).

IRH	Calificación	Descripción
> 0,85	Muy alta	Muy alta retención y regulación de humedad
0,75 - 0,85	Alta	Alta retención y regulación de humedad
0,65 - 0,75	Moderada	Media retención y regulación de humedad
0,50 - 0,65	Baja	Baja retención y regulación de humedad
< 0,5	Muy baja	Muy baja retención y regulación de humedad

Fuente: IDEAM (2012).

Por lo tanto, la calificación para el IRH de la subcuenca del río Molino es Baja.

#### 4.6.2 Caudal Ambiental

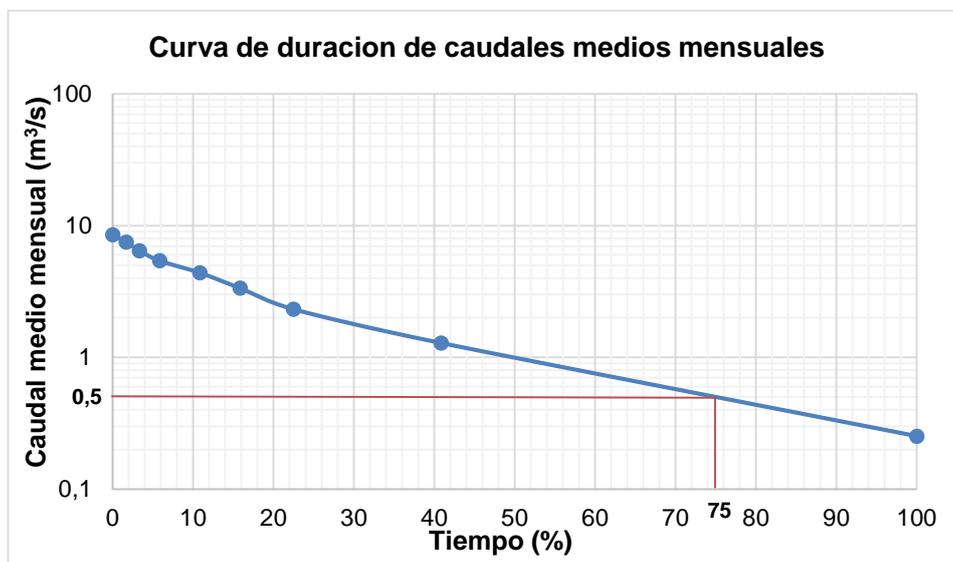
La determinación del caudal ambiental es un factor determinante para calcular el Índice del Uso del Agua (IUA), por lo cual se procede a realizar el cálculo mediante la metodología propuesta por el IDEAM (2012), la cual se basa en el régimen hidrológico, calculado a partir de la curva de duración de caudales medios. Siguiendo la metodología propuesta en el Estudio Nacional del Agua, el valor del caudal ambiental corresponde al Q85% de la curva de duración, este valor característico se aplica para un IRH superior a 0,7 (alta retención y regulación). Para valores de IRH inferiores a 0,7, se adopta el valor Q75% de la curva de duración de caudales medios diarios (ENA, 2014). De esta forma, se calculará el caudal ambiental teniendo en cuenta las Ecuaciones 8 y 9, dependiendo del valor del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) obtenido.

$$\text{Si } IRH \geq 0,7: Q_{\text{ambiental}} = Q_{85} \text{ de la curva de duracion de caudales} \quad (8)$$

$$\text{Si } IRH < 0,7: Q_{\text{ambiental}} = Q_{75} \text{ de la curva de duracion de caudales} \quad (9)$$

Debido a que el IRH es menor a 0.7, se procede a usar la Ecuación 9, por lo tanto, en la Figura 22 se ubica el porcentaje de tiempo del 75%, para hallar el respectivo caudal.

**Figura 22.** Estimación del caudal ambiental.



Por lo anterior, para un porcentaje de tiempo del 75%, se tiene un caudal ambiental de 0,50 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.6.3 Índice del Uso del Agua (IUA)

El IUA se calculó a partir de la Ecuación 10 (IDEAM, 2012).

$$IUA = \frac{Dh}{OHN} \times 100 \quad (10)$$

Donde:

Dh = Demanda hídrica sectorial (m<sup>3</sup>/s).

OHN = Oferta hídrica superficial neta (m<sup>3</sup>/s).

Este índice puede ser calculado teniendo en cuenta reducciones en la oferta hídrica superficial neta o sin estas.

La Oferta Hídrica Total (OHT) para cada mes equivale al valor del caudal medio mensual multianual generado (Tabla 15), debido a que estos han sido calculados a partir de fórmulas empíricas de lluvia – escorrentía (SCS).

Si no se consideran las reducciones, la Oferta Hídrica Superficial Neta (OHN) es igual a la Oferta Hídrica Total (OHT), es decir, corresponde solamente al caudal medio mensual multianual (Tabla 15).

Teniendo en cuenta las reducciones se exponen dos métodos, el primero comprende los factores de reducción para mantener el régimen de estiaje (R<sub>e</sub>) y el de protección de fuentes frágiles (R<sub>f</sub>) y el segundo que tiene en cuenta el caudal ambiental.

##### 4.6.3.1 Cálculo de la Oferta Hídrica Superficial Neta con reducciones R<sub>e</sub> y R<sub>f</sub>:

La oferta hídrica superficial teniendo en cuenta los factores de reducción R<sub>e</sub> y R<sub>f</sub> se calcula mediante la Ecuación 11 (MUÑOZ S., CERON R., 2017).

$$OHN = OHT \times (1 - R_e - R_f) \quad (11)$$

Donde:

OHT = Oferta hídrica total.

$R_e$  = Factor de reducción para mantener el régimen de estiaje, decimal.

$R_f$  = Factor de reducción para protección de fuentes frágiles, decimal.

El factor de reducción para mantener el régimen de estiaje ( $R_e$ ) se calculó de acuerdo con la Ecuación 12.

$$Re(\%) = \frac{Q_{\min 97,5}}{Q_{med 75}} \times 100 \quad (12)$$

El factor de reducción para protección de fuentes frágiles ( $R_f$ ) es función del Coeficiente de Variación que se define conforme a la Ecuación 13, y se determina de acuerdo con los valores de la Tabla 17.

$$CV = \frac{\text{Desviacion estandar}}{\text{media aritmetica}} \quad (13)$$

**Tabla 17.** Valores de  $R_f$ .

<b>Coeficiente de Variación (CV)</b>	<b><math>R_f</math> (%)</b>
0,0 – 0,2	15
0,2 – 0,3	25
0,3 – 0,4	35
0,4 – 0,6	40
> 0,6	50

Fuente: Ocampo (2012).

Para el cálculo de  $R_e$  se tomaron los valores de caudal mínimo y medio con un porcentaje de tiempo de 97,5% y 75%, respectivamente (Figura 19), que corresponden a 0,26 m<sup>3</sup>/s y 0,5 m<sup>3</sup>/s.

$$Re(\%) = \frac{0,26}{0,50} \times 100 = 52 \%$$

El coeficiente de variación tiene en cuenta la desviación estándar y la media aritmética de los datos de la Tabla 15.

$$CV = \frac{0,874}{1,761} = 0,50$$

De acuerdo con la Tabla 17 de valores de  $R_f$ , para un CV mayor a 0,5 el valor de  $R_f$  corresponde a 40%.

A partir de los valores encontrados se procedió a determinar la oferta hídrica neta (Tabla 18), teniendo en cuenta que los valores de  $R_e$  y  $R_f$  se utilicen en su forma decimal. Se procede a realizar un cálculo tipo para la determinación de la oferta hídrica neta para el mes de enero.

$$OHN_{enero} = 1,813 \times (1 - 0,52 - 0,40) = 0,145 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### **4.6.3.2 Cálculo de la Oferta Hídrica Superficial Neta con reducciones considerando el caudal ambiental:**

La oferta hídrica superficial teniendo en cuenta el caudal ambiental se calcula mediante la Ecuación 14 (IDEAM, 2012).

$$OHN = OHT - O_{Q_{amb}} \quad (14)$$

Donde:

OHT = Es el volumen total de agua superficial ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$O_{Q_{amb}}$  = Es el volumen de agua correspondiente al caudal ambiental ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

El siguiente cálculo indica la oferta hídrica neta para el mes de enero.

$$OHN_{enero} = 1,813 - 0,5 = 1,313 \text{ m}^3/\text{s}$$

La Tabla 18 indica la oferta hídrica neta con reducciones y sin reducciones.

**Tabla 18.** Oferta Hídrica Neta con y sin reducciones.

<b>Mes</b>	<b>OHN sin reducciones (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>OHN (R<sub>e</sub> y R<sub>f</sub>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>OHN (Q<sub>amb</sub>) (m<sup>3</sup>/s)</b>
Enero	1,813	0,145	1,313
Febrero	2,031	0,162	1,531
Marzo	2,741	0,219	2,241
Abril	2,179	0,174	1,679
Mayo	1,792	0,143	1,292
Junio	0,842	0,067	0,342
Julio	0,592	0,047	0,092
Agosto	0,570	0,046	0,070
Septiembre	0,748	0,060	0,248
Octubre	2,382	0,191	1,882
Noviembre	3,116	0,249	2,616
Diciembre	2,324	0,186	1,824

Para la demanda hídrica sectorial ( $D_h$ ), solo se obtuvo el agua facturada para consumo doméstico en la planta Tulcán, correspondiente a 80 lps, debido a la falta de datos de lo demandado por parte del sector agrícola, agropecuario e industrial. En primer lugar, la falta de datos para el sector agrícola se da porque no se conoce los tipos de cultivos que se encuentran presentes en la zona, segundo, en el sector agropecuario se debería tener en cuenta el número de cabezas de ganado, información que no se posee y tercero, en el sector industrial no se cuenta con industrias.

Cabe resaltar que hay más usuarios en la subcuenca, pero al no existir un censo se desconoce la demanda de población rural, además por ser antigua esta planta no puede aumentar la capacidad de préstamo del servicio.

Por último, es de vital importancia aclarar que los estudios relacionados con el cálculo de las demandas agrícolas y agropecuarias se deben realizar en otro trabajo independiente debido a la complejidad que representa, si se desea tener más certeza en los resultados.

Por último, se calculó el IUA con reducciones y sin reducciones para cada mes como se presenta en la Tabla 19 según la Ecuación 10, de igual manera que como se calcula para el mes de enero.

$$IUA_{Re\ y\ Rf\ enero} = \frac{0,08}{0,145} \times 100 = 55 \%$$

$$IUA_{Caudal\ ambiental\ enero} = \frac{0,08}{1,313} \times 100 = 6 \%$$

$$IUA_{sin\ reducciones\ enero} = \frac{0,08}{1,813} \times 100 = 6 \%$$

**Tabla 19.** Índice del Uso del Agua para cada mes con y sin reducciones.

Mes	IUA sin reducciones (%)	IUA (R <sub>e</sub> y R <sub>f</sub> ) (%)	IUA (Q <sub>amb</sub> ) (%)
Enero	4	55	6
Febrero	4	49	5
Marzo	3	36	4
Abril	4	46	5
Mayo	4	56	6
Junio	10	119	23
Julio	14	169	87
Agosto	14	175	114
Septiembre	11	134	32
Octubre	3	42	4
Noviembre	3	32	3
Diciembre	3	43	4
$\bar{x}$	6	80	25

De acuerdo con la Tabla 19 el IUA con los factores de reducción R<sub>e</sub> y R<sub>f</sub> en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y el IUA por el caudal ambiental en el mes de agosto, dan mayor del 100%, debido a que la demanda supera a la oferta.

En la Tabla 20 se encuentra la clasificación del Índice del Uso del Agua.

**Tabla 20.** Calificación del Índice del Uso del Agua (IUA).

<b>Índice del uso del agua</b>	<b>Calificación</b>	<b>Observaciones</b>
> 50 %	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20 - 50 %	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10 - 20 %	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1 - 10 %	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1 %	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: IDEAM (2012).

La calificación para el IUA por cada mes en la subcuenca del río Molino se presenta en la Tabla 21 de acuerdo con la Tabla 20.

**Tabla 21.** Calificación para el Índice del Uso del Agua.

<b>Mes</b>	<b>Calificación IUA sin reducciones</b>	<b>Calificación IUA (R<sub>e</sub> y R<sub>f</sub>)</b>	<b>Calificación IUA Q<sub>amb</sub></b>
Enero	Bajo	Muy Alto	Bajo
Febrero	Bajo	Alto	Bajo
Marzo	Bajo	Alto	Bajo
Abril	Bajo	Alto	Bajo
Mayo	Bajo	Muy Alto	Bajo
Junio	Moderado	Muy Alto	Alto
Julio	Moderado	Muy Alto	Muy Alto
Agosto	Moderado	Muy Alto	Muy Alto

Mes	Calificación IUA sin reducciones	Calificación IUA (R <sub>e</sub> y R <sub>f</sub> )	Calificación IUA Q <sub>amb</sub>
Septiembre	Moderado	Muy Alto	Alto
Octubre	Bajo	Alto	Bajo
Noviembre	Bajo	Alto	Bajo
Diciembre	Bajo	Alto	Bajo

Para facilitar el análisis del Índice del Uso del Agua, se determinó un valor promedio, teniendo un IUA con los factores de reducción R<sub>e</sub> y R<sub>f</sub> de 80%, por el caudal ambiental de 25% y sin reducciones de 6% como se muestra en la Tabla 19, el cual indica que por lo general la demanda del recurso hídrico en la subcuenca del río Molino con reducciones tiende a ser alta y sin reducciones es baja. El IUA sin reducciones es lo que más se ajusta a la realidad, debido a que las personas toman más de lo que necesitan.

#### 4.6.4 Índice de Aridez (IA)

Para este índice se trabajará con los datos de temperatura y precipitación de la subcuenca río Molino proporcionados por la Fundación Procuencia río Las Piedras.

Para el cálculo de este índice se utiliza la Ecuación 15 (Ocampo, 2012).

$$I_a = \frac{ETP - ETR}{ETP} \quad (15)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm).

ETR = Evapotranspiración real (mm).

Se calculó la ETP, de acuerdo con la Ecuación 16 de Thornthwaite, que tiene en cuenta la temperatura, la latitud y el número de horas de sol.

Se determinó el índice de calor mensual según el promedio de las temperaturas mínimas y máximas mensuales del Anexo J, como se muestra en la Tabla 22.

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} \quad (16)$$

Donde:

i = Índice de calor mensual.

t = Temperatura media mensual (°C).

**Tabla 22.** Temperatura media mensual.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	$\bar{T}$
T (°C)	16	16	16	17	16	17	17	17	17	16	16	16	16

Como cálculo base se presentan los datos del mes de enero:

$$i = \left(\frac{16}{5}\right)^{1,514} = 5,818$$

Se calcula el índice de calor anual (I) sumando los 13 valores de i, de acuerdo con la Ecuación 17.

$$I = \sum i \quad (17)$$

$$I = 72,616$$

Luego se calculó la ETP mensual sin corregir mediante la Ecuación 18.

$$ETP_{\text{sin corr.}} = 16 \left(\frac{10t}{I}\right)^a \quad (18)$$

Donde:

$ETP_{\text{sin corr.}}$  = ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas).

$a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} I + 0,49239$ , en este caso en particular es 1,646.

La ETP sin corregir para el cálculo tipo es:

$$ETP_{\text{sin corr.}} = 16 \left( \frac{10 \times 16}{72,616} \right)^{1,646} = 59 \text{ mm/mes}$$

Posteriormente se hace la corrección (Ecuación 19) para el número de días del mes y el número de horas de sol (Anexo K).

$$ETP = ETP_{\text{sin corr.}} \times \frac{N}{12} \times \frac{d}{30} \quad (19)$$

Donde:

N = Número máximo de horas de sol dependiendo del mes y de la latitud (de acuerdo con el Anexo L).

d = Número de días del mes.

Del Anexo L se calculó, mediante interpolación, el número máximo de horas de sol para cada mes (Tabla 23), teniendo como referencia la latitud de la estación ubicada en la Bocatoma del río Molino debido a que está situada en un punto medio de la subcuenca correspondiente a 2,439725 como se aprecia en el Anexo A.

$$N_{\text{enero}} = 12 + \left( \left( \frac{2,439725 - 2}{4 - 2} \right) (11,9 - 12) \right) = 11,98$$

Por lo tanto, la ETP para el mes de enero es:

$$ETP = 59 \times \frac{11,98}{12} \times \frac{31}{30} = 60,87 \text{ mm/mes}$$

**Tabla 23.** Número máximo de horas de sol para cada mes.

Mes	N
Enero	11,98
Febrero	12,08
Marzo	12,10
Abril	12,2

Mes	N
Mayo	12,22
Junio	12,24
Julio	12,22
Agosto	12,22
Septiembre	12,10
Octubre	12,08
Noviembre	11,98
Diciembre	11,98

De la misma forma se calculó la ETP para los otros meses (Anexo K), como se presenta en la Tabla 24.

**Tabla 24.** Evapotranspiración potencial mensual.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
ETP (mm/mes)	61	55	61	66	62	66	68	68	66	61	59	61	756

La evapotranspiración potencial se transforma en evapotranspiración real, mediante la ecuación de Budyko (Budyko, 1974), según la Ecuación 20.

$$ETR = \sqrt{ETP \times P \times \operatorname{Tanh}\left(\frac{P}{ETP}\right) \times \left(1 - \operatorname{Cosh}\left(\frac{ETP}{P}\right) + \operatorname{Tanh}\left(\frac{ETP}{P}\right)\right)} \quad (20)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial corregida.

P = Precipitación media multianual.

Tanh = Función tangente hiperbólica.

Cosh = Función coseno hiperbólico.

Senh = Función seno hiperbólico.

$$ETR = \sqrt{756 \times 1715 \times \operatorname{Tanh}\left(\frac{1715}{756}\right) \times \left(1 - \operatorname{Cosh}\left(\frac{756}{1715}\right) + \operatorname{Tanh}\left(\frac{756}{1715}\right)\right)}$$

$$ETR = 632 \text{ mm/año}$$

Finalmente, con los datos de ETP y ETR se calculó el Índice de Aridez.

$$I_a = \frac{756 - 632}{756} = 0,16$$

En la Tabla 25 se encuentra la clasificación del Índice de Aridez.

**Tabla 25.** Calificación del Índice de Aridez.

Índice de Aridez	Calificación	Descripción
< 0,15	Altos excedentes	Altos excedentes de agua
0,15 - 0,19	Excedentes	Excedentes de agua
0,20 - 0,29	Moderado y excedentes	Moderado y excedentes de agua
0,30 - 0,39	Moderado	Moderado
0,40 - 0,49	Bajo	Moderado y deficitario de agua
0,50 - 0,59	Deficitario	Deficitario de agua
> 0,60	Altamente deficitario	Altamente deficitario de agua

Fuente: IDEAM (2012).

Por lo tanto, la calificación para el IA en la subcuenca del río Molino recae en la categoría de Excedentes.

#### 4.6.5 Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento (IV)

Se determina a través de la matriz de relación entre el IRH y el IUA como se presenta en la Tabla 26.

**Tabla 26.** Matriz de relación para categorizar el Índice de Vulnerabilidad.

Categorías	Índice de Vulnerabilidad – IV			
	IRH - Alto	IRH - Moderado	IRH - Bajo	IRH - Muy bajo
IUA - Muy alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
IUA - Alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
IUA- Moderado/Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
IUA - Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
IUA - Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio

Fuente: Ocampo (2012).

La calificación para el IV de cada mes en la subcuenca del río Molino se presenta en la Tabla 27.

**Tabla 27.** Clasificación del Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento.

Mes	IV para IUA sin reducciones	IV para IUA ( $R_e$ y $R_f$ )	IV para IUA ( $Q_{amb}$ )
Enero	Medio	Alto	Medio
Febrero	Medio	Alto	Medio
Marzo	Medio	Alto	Medio
Abril	Medio	Alto	Medio
Mayo	Medio	Alto	Medio
Junio	Alto	Alto	Alto
Julio	Alto	Alto	Alto
Agosto	Alto	Alto	Alto
Septiembre	Alto	Alto	Alto
Octubre	Medio	Alto	Medio
Noviembre	Medio	Alto	Medio
Diciembre	Medio	Alto	Medio

De acuerdo con el valor promedio obtenido para el Índice del Uso del Agua y la calificación “Bajo” del IRH, se procede a relacionarlos de acuerdo con la Tabla 26,

para encontrar una calificación del Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento que permita una mejor interpretación de los datos. De esta forma, la calificación para el IV es Alto, para un IUA con reducciones, y medio para un IUA sin reducciones.

#### 4.6.6 Índice de Disponibilidad Per Cápita de agua (IDP)

El IDP se calcula siguiendo la Ecuación 21.

$$IDP = \frac{Q}{POBLACION} \quad (21)$$

Donde:

Q = Caudal medio anual (m<sup>3</sup>/año).

Población = Número de habitantes.

El valor de caudal utilizado para el cálculo (1,761 m<sup>3</sup>/s), es el promedio de los caudales medios mensuales multianuales consignados en la Tabla 15.

$$1,761 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{1 \text{ día}} \times \frac{365 \text{ día}}{\text{año}} = 55534896 \frac{m^3}{\text{año}}$$

La población de la subcuenca del río Molino se estima en 53329 habitantes distribuidos en la zona urbana y rural (Acueducto y alcantarillado de Popayán, 2017).

Por lo tanto, el IDP es igual a:

$$IDP = \frac{55534896 \frac{m^3}{\text{año}}}{53329 \text{ Habitantes}} = 1041,364 \frac{m^3}{\text{Hab} \times \text{año}}$$

En la Tabla 28 se encuentra la clasificación del índice de Disponibilidad Per-cápita de Agua.

**Tabla 28.** Categorías del Índice de Disponibilidad Per-cápita de Agua.

<b>IDP m<sup>3</sup>/hab-año</b>	<b>Categoría</b>	<b>Observación</b>
1700 – 1001	Estrés Hídrico	Ampliar las medidas de adaptación y adecuar dispositivos para el aprovechamiento de aguas lluvias y subterráneas.
1000 – 501	Escasez de agua	Implementar medidas de ahorro y uso eficiente del agua.
< 500	Escasez severa de agua	Se presentan problemas imposibles de superar; el desarrollo económico se restringe fuertemente.

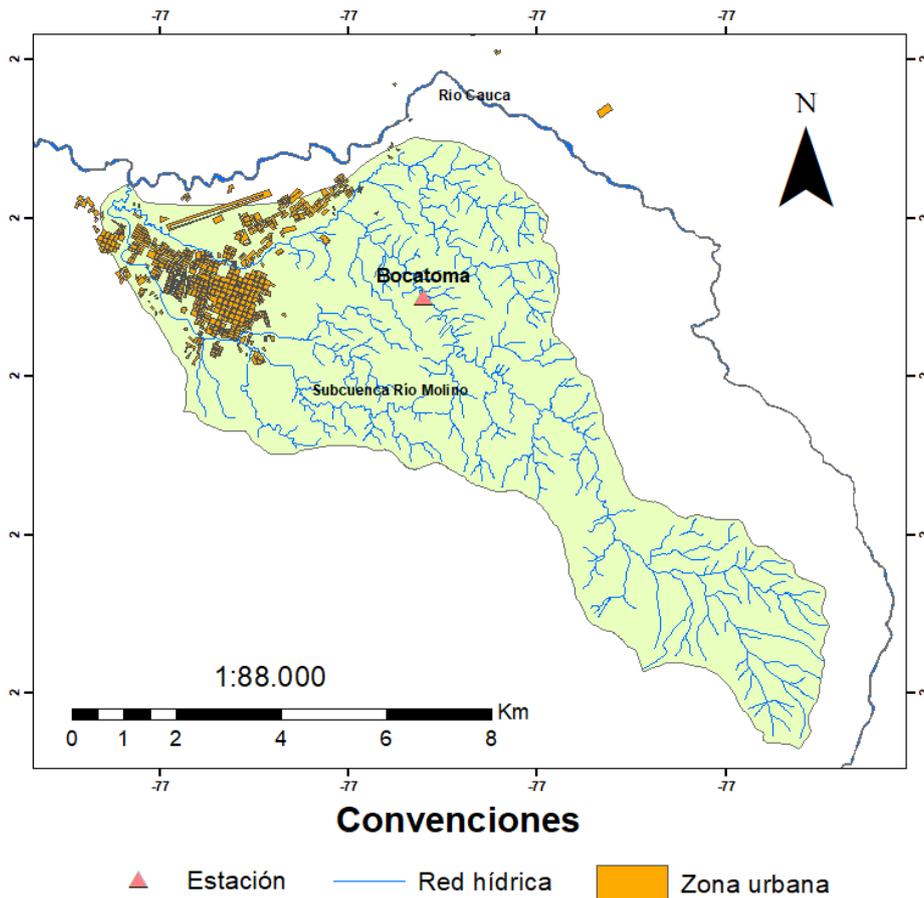
Fuente: IDEAM (2012).

Por lo tanto, la calificación para el IDP en la subcuenca del río Molino es: Estrés Hídrico.

#### **4.7 DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES HÍDRICOS DE CALIDAD PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO MOLINO**

Para el cálculo de los índices de calidad se hizo necesario utilizar los datos mensuales fisicoquímicos y bacteriológicos de la estación Bocatoma en el periodo 2013 – 2017 (Anexo M), los cuales se obtuvieron por medio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán. Sólo se trabajó con una estación debido a que la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) no proporcionó los datos pertinentes. La estación Bocatoma se localiza en las coordenadas 2°26'21.95" de latitud Norte y 76°34'27.48" de longitud Oeste como se muestra en la Figura 23.

**Figura 23.** Ubicación de la estación Bocatoma.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.7.1 Índice de Calidad del Agua (ICA)

El indicador se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco o seis variables que determinan, en gran parte, la calidad de las aguas corrientes superficiales. La fórmula de cálculo del indicador se muestra en la Ecuación 22 (IDEAM, 2012).

$$ICA_{njt} = \left( \sum_{i=1}^n W_i \times I_{ikjt} \right) \quad (22)$$

Donde:

$W_i$  = Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad  $i$ .

$I_{ikjt}$  = Es el valor calculado de la variable  $i$  (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo  $j$ , registrado durante la medición realizada en el trimestre  $k$ , del período de tiempo  $t$ .

$n$  = Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador;  $n$  es igual a cinco o seis, dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Los datos necesarios para el cálculo del ICA se tomaron del Anexo M. Se muestra el cálculo del punto de muestreo de Bocatoma del río Molino.

- Altura del Punto de muestreo = 1834 msnm
- Oxígeno Disuelto (OD) = 7,38 mg/L
- Temperatura del agua = 19°C

El valor de la Presión atmosférica a la altura trabajada se obtuvo de la Tabla 29.

**Tabla 29.** Presión barométrica aproximada a diferentes elevaciones.

Elevación (msnm)	Presión (mm Hg)	Elevación (msnm)	Presión (mm Hg)	Elevación (msnm)	Presión (mm Hg)
0	760	800	690	1600	626
100	751	900	682	1700	618
200	742	1000	674	1800	611
300	733	1100	666	1900	604
400	725	1200	658	2000	596
500	716	1300	650	2100	589
600	707	1400	642	2200	581
700	699	1500	634	2300	574

Fuente: Vernier Software & Technology (2017).

Como la altura 1834 msnm no se encuentra en la Tabla 29, se realizó una interpolación con los datos más cercanos a ella.

$$P_{1834 \text{ msnm}} = 674 + \left( \left( \frac{1834 - 1800}{1900 - 1800} \right) (666 - 674) \right) = 671,28$$

Así, se obtuvo una  $P_{atm} = 671,28$  mm Hg.

De la Tabla 30 se obtuvo el valor de 100% capacidad de oxígeno disuelto, cruzando los datos de  $T_{agua} = 19^{\circ}C$  con la  $P_{atm} = 671,28$  mm Hg.

Como la  $P_{atm}$  igual a 671,28 mm Hg no se encuentra en la Tabla 30, se realizó una interpolación con los datos más cercanos a ella para hallar el valor de 100% de oxígeno disuelto correspondiente.

$$100\%OD_{711,984\text{ mmHg}} = 8,24 + \left( \left( \frac{671,28 - 670}{680 - 670} \right) (8,37 - 8,24) \right) = 8,26\text{ mg/L}$$

Así, se obtuvo un 100% de oxígeno disuelto de 8,26 mg/L.

**Tabla 30.** 100 % Capacidad de Oxígeno Disuelto (mg/L).

°C	770 mm	760 mm	750 mm	740 mm	730 mm	720 mm	710 mm	700 mm	690 mm	680 mm	670 mm
1	14.39	14.19	14.00	13.82	13.63	13.44	13.26	13.07	12.88	12.70	12.51
3	13.65	13.47	13.29	13.12	12.94	12.76	12.59	12.41	12.23	12.05	11.88
5	12.97	12.81	12.64	12.47	12.30	12.13	11.96	11.80	11.63	11.46	11.29
7	12.35	12.19	12.03	11.87	11.71	11.55	11.39	11.23	11.07	10.91	10.75
9	11.77	11.62	11.46	11.31	11.16	11.01	10.85	10.70	10.55	10.39	10.24
11	11.24	11.09	10.94	10.80	10.65	10.51	10.36	10.21	10.07	9.92	9.78
13	10.74	10.60	10.46	10.32	10.18	9.90	9.77	9.63	9.49	9.49	9.35
15	10.29	10.15	10.02	9.88	9.75	9.62	9.48	9.35	9.22	9.08	8.95
17	9.86	9.74	9.61	9.48	9.35	9.22	9.10	8.97	8.84	8.71	8.58
19	9.47	9.35	9.23	9.11	8.98	8.86	8.74	8.61	8.49	8.37	8.24

Fuente: Vernier Software & Technology (2017).

Se procedió a calcular el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto mediante la Ecuación 23.

$$\%SAT\ OD = \frac{OD}{100\% OD} \times 100 \quad (23)$$

$$\%SAT OD = \frac{7,38 \text{ mg/L}}{8,26 \text{ mg/L}} \times 100 = 89,3 \%$$

Se obtuvo un Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto de 89,3 %.

En la Tabla 31 se resumen las variables involucradas en el cálculo de este índice empleando 5 variables, la unidad de medida en la que se registra cada uno de ellas y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo.

**Tabla 31.** Variables y ponderaciones del ICA.

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno Disuelto, OD	% Saturación	0,2
Sólidos suspendidos totales, SST	mg/L	0,2
Demanda química de Oxígeno, DQO	mg/L	0,2
Conductividad eléctrica, C.E.	μS/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Fuente: IDEAM (2012).

Se muestran los cálculos para el punto de muestreo, y los valores de las variables fueron tomados del Anexo M. Luego se calculó el valor I para cada variable mediante las Ecuaciones 24, 25 y 26, y las relaciones para DBO y pH.

$$\bullet \quad I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 \times \%Sat OD) \quad (24)$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 \times 89,3)$$

$$I_{OD} = 0,893$$

El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula como sigue:

$$\bullet \quad I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 \times SST) \quad (25)$$

Si  $SST \leq 4.5$ , entonces  $I_{SST} = 1$

Si  $SST \geq 320$ , entonces  $I_{SST} = 0$

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 \times 28,04)$$

$$I_{SST} = 0,94$$

Mediante adaptación de la propuesta de la Universidad Politécnica de Catalunya el  $I_{DQO}$  se determinó con las relaciones:

Si  $DQO \leq 20$ , entonces  $I_{DQO} = 0,91$

Si  $20 < DQO \leq 25$ , entonces  $I_{DQO} = 0,71$

Si  $25 < DQO \leq 40$ , entonces  $I_{DQO} = 0,51$

Si  $40 < DQO \leq 80$ , entonces  $I_{DQO} = 0,26$

Si  $DQO > 80$ , entonces  $I_{DQO} = 0,125$

Como el valor de DQO es igual a 18,16 mg/L (Anexo M), entonces:

$$I_{DQO} = 0,91$$

Para el subíndice de conductividad eléctrica se calcula como sigue:

$$\bullet \quad I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34 \times \text{Log}(67,6))} \quad (26)$$

Cuando  $I_{C.E.} < 0$ , entonces  $I_{C.E.} = 0$

$$I_{C.E.} = 0,84$$

- El  $I_{pH}$  se determinó mediante las relaciones:

Si  $pH < 4$ , entonces  $I_{pH} = 0,1$

Si  $4 \leq pH \leq 7$ , entonces  $I_{pH} = 0,02628419 \times e^{(pH \times 0,520025)}$

Si  $7 < pH \leq 8$ , entonces  $I_{pH} = 1$

Si  $8 < pH \leq 11$ , entonces  $I_{pH} = 1 \times e^{[(pH - 8) - 0,5187742]}$

Si  $pH > 11$ , entonces  $I_{pH} = 0,1$

Como el valor de pH es igual a 7,38 unidades de pH (Anexo M), entonces:

$$I_{pH} = 1$$

Se realizó el cálculo del ICA de acuerdo con la Ecuación 22.

$$ICA = (0,2 \times 0,893) + (0,2 \times 0,94) + (0,2 \times 0,91) + (0,2 \times 0,84) + (0,2 \times 1)$$
$$ICA = 0,92$$

La interpretación del Índice de Calidad del Agua se presenta en la Tabla 32.

**Tabla 32.** Clasificación del Índice de Calidad del Agua - ICA (IDEAM).

Valor	Calificación	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Fuente: IDEAM (2012).

Por lo tanto, la calificación para la calidad del agua según el índice ICA – IDEAM es Buena.

#### 4.7.2 Índice de Contaminación (ICO)

Para el cálculo del ICO se requieren los datos de conductividad, dureza, alcalinidad, DBO, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales y coliformes totales de la subcuenca.

En la Tabla 33 se encuentran los rangos establecidos para el Índice de Contaminación junto con su clasificación o grado de contaminación.

**Tabla 33.** Clasificación del Índice de Contaminación (ICO).

ICO	Grado de Contaminación	Escala de Color
0 - 0,2	Muy baja	
> 0,2 - 0,4	Baja	
> 0,4 - 0,6	Media	
> 0,6 - 0,8	Alta	
> 0,8 - 1	Muy alta	

Fuente: IDEAM (2012).

#### 4.6.2.1 Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI)

Agrupar la conductividad que expresa contenido de sólidos disueltos en el cuerpo de agua, dureza que se basa en la concentración de cationes de calcio y magnesio y alcalinidad que expresa el contenido de los aniones de carbono y bicarbonato. El ICOMI se calcula mediante las Ecuaciones 27 a 30 (Cañas, 2014).

$$ICOMI = \frac{1}{3}(I_{CONDUCTIVIDAD} + I_{DUREZA} + I_{ALCALINIDAD}) \quad (27)$$

Donde:

$$I_{CONDUCTIVIDAD} = 10^{-3,26+1,34 \cdot \text{Log}(I_{CONDUCTIVIDAD})} \quad (28)$$

Conductividades mayores a 270  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tienen un índice de conductividad = 1

$$I_{DUREZA} = 10^{-9,09+4,4 \cdot \text{Log}(I_{DUREZA})} \quad (29)$$

Durezas mayores a 100 mg/L, tienen un índice = 1

Durezas menores a 30 mg/L, tienen un índice = 0

$$I_{ALCALINIDAD} = -0,25 + 0,005 \times \text{Alcalinidad} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \quad (30)$$

Alcalinidades mayores a 250 mg/L, tienen un índice de 1.

Alcalinidades menores a 50 mg/L, tienen un índice de 0.

Se muestran los cálculos tipo realizados:

- $I_{CONDUCTIVIDAD} = 10^{-3,26+1,34 \times \text{Log}(67,60)}$

$$I_{CONDUCTIVIDAD} = 0,16$$

- $I_{DUREZA} = 10^{-9,09+4,4 \times \text{Log}(24,63)}$

$$I_{DUREZA} = 0,001$$

- Como la alcalinidad es igual a 25,04 mg/L y es menor a 50 mg/L, entonces:

$$I_{ALCALINIDAD} = 0$$

Según la Ecuación 27 el índice ICOMI es:

$$ICOMI = \frac{1}{3}(0,16 + 0,001 + 0) = 0,05$$

Por lo tanto, la calificación según la Tabla 33 para el ICOMI de la subcuenca del río Molino es Muy Bajo.

#### 4.6.2.2 Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)

Se obtiene a través de la demanda bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno. Este se calcula mediante las Ecuaciones 31 a 34 (Cañas, 2014).

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO} + I_{COLIFORMES} + I_{OXIGENO\%}) \quad (31)$$

Donde:

$$I_{DBO} = -0,005 + 0,70 \times \text{Log}_{10} \left( DBO \left( \frac{mg}{L} \right) \right) \quad (32)$$

$$DBO > 30 \text{ mg/L} = 1$$

$$DBO < 2 \text{ mg/L} = 0$$

$$I_{COLIFORMES} = -1,44 + 0,56 \times \text{Log}_{10} \left( \text{coliformes} \left( \frac{NMP}{100mL} \right) \right) \quad (33)$$

$$\text{Coliformes Totales} > 20000 \left( \frac{NMP}{100mL} \right) = 1$$

$$\text{Coliformes Totales} < 500 \left( \frac{NMP}{100mL} \right) = 0$$

$$I_{OXIGENO\%} = 1 - 0,01 \times \text{Oxígeno}(\%) \quad (34)$$

$I_{OXIGENO\%}$  Si es mayor a 100%, entonces es igual a cero.

Se realizaron los cálculos tipo para el punto de muestreo Bocatoma:

- Como la  $DBO_5$  es igual a 1,13 mg/L y es menor a 2 mg/L, entonces:

$$I_{DBO} = 0$$

- $I_{COLIFORMES} = -1,44 + 0,56 \div \text{Log} (4396,22)$

$$I_{COLIFORMES} = 0,6$$

- $I_{OXIGENO\%} = 1 - 0,01 (88,6\%)$

$$I_{OXIGENO\%} = 0,114$$

Según la Ecuación 31 el índice ICOMO para Bocatoma es:

$$ICOMO = \frac{1}{3} (0 + 0,6 + 0,114) = 0,238$$

Por lo tanto, la calificación para el ICOMO de la subcuenca del río Molino de acuerdo con la Tabla 33 es Bajo.

#### 4.6.2.3 Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS)

Este índice trabaja con la concentración de sólidos suspendidos que se definen como partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución. El ICOSUS se calcula mediante la Ecuación 35 (Cañas, 2014).

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 \times \text{Sólidos suspendidos} \quad (35)$$

Sólidos Suspendidos > 340 mg/l tiene un ICOSUS = 1

Sólidos Suspendidos < 10 mg/l tiene un ICOSUS = 0

Se realiza el cálculo tipo del ICOSUS para el punto de muestreo Bocatoma:

$$ICOSUS = -0,02 + (0,003 \times 28,04) = 0,064$$

Por lo tanto, la calificación para ICOSUS de la subcuenca del río Molino es Muy Bajo, de acuerdo con la Tabla 33.

## 5. RESULTADOS

Una vez estimados los índices de cantidad y calidad propuestos en el desarrollo de este trabajo, además, del caudal ambiental para la subcuenca del río Molino, se procede a relacionarnos en la Tabla 34 de manera resumida para contribuir a una mejor interpretación de éstos.

**Tabla 34.** Resumen de resultados del caudal ambiental y los índices de cantidad y calidad para la subcuenca del río Molino.

PARÁMETRO	VALOR	CALIFICACIÓN
IRH	0,60	Bajo
Caudal Ambiental	0,5 m <sup>3</sup> /s (75% CDC)	
IUA (R <sub>e</sub> y R <sub>f</sub> )	80%	Muy Alto
IUA (Q <sub>amb</sub> )	25%	Alto
IUA sin reducciones	6%	Bajo
IA	0,16	Excedentes
IV para IUA con reducciones		Alto
IV para IUA sin reducciones		Medio
IDP	1041,364	Estrés Hídrico
ICA	0,92	Buena
ICOMI	0,05	Muy Bajo
ICOMO	0,238	Bajo
ICOSUS	0,064	Muy Bajo

Fuente: Elaboración propia.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1 ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES HÍDRICOS DE CANTIDAD

El Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) correlaciona variables del suelo y cobertura vegetal, como resultado se obtuvo un valor de 0.6, lo cual indica una baja retención y regulación de humedad en la subcuenca. Esto se debe a que los suelos de la subcuenca son intervenidos por el hombre. Por otro lado, es necesario considerar el hecho de que los valores de caudales medios mensuales se obtuvieron de datos de precipitación, lo que pudo haber alterado el valor de este índice.

El Índice del Uso del Agua se calcula primero sin tener en cuenta las reducciones en la oferta hídrica superficial neta. En este trabajo se obtuvo una calificación de Bajo, indicando que la oferta disponible es mayor a la demanda.

En segunda instancia, el IUA con reducciones se calcula aplicando dos metodologías, una que tiene en cuenta el factor de reducción para mantener el régimen de estiaje ( $R_e$ ) y el factor de reducción para protección de fuentes frágiles ( $R_f$ ) y otra considerando el caudal ambiental.

Para las reducciones con  $R_e$  y  $R_f$  se obtuvo un  $R_e$  igual a 0.52, lo cual indica que para conservar el caudal de estiaje la oferta se debe reducir en un 52%, y un  $R_f$  igual a 0.4 indicando que, por irregularidad temporal, la oferta se debe reducir en un 40%. En total hay una reducción del 92% a la Oferta Hídrica Total (OHT), obteniendo así una Oferta Hídrica Neta (OHN) de 0.145 m<sup>3</sup>/s para el mes de enero, que corresponde al 8% de la OHT y, a su vez, a la disponibilidad hídrica para cubrir la demanda de la población. De manera general, la subcuenca del río Molino cuenta con una calificación de Muy Alto, en este sentido no es posible exceder el consumo de agua, ya que la disponibilidad se convierte en un factor limitante del desarrollo.

Siguiendo con el cálculo del IUA por medio del caudal ambiental, se obtuvo una calificación de Alto, lo cual implica que la demanda supera a la oferta disponible.

El Índice de Aridez es otro indicador del régimen natural y ha sido definido como una característica del clima que muestra los lugares con excedentes y déficit de agua. Para la subcuenca del río Molino, en general, se obtuvo una calificación de “Excedentes” que indica que el área tiene una buena suficiencia de precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas que dependen de ella, además de que es capaz de suplir la demanda del recurso.

Para el Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento (IV) se obtuvo una calificación general de Alto para un IUA con reducciones, lo cual indica que existe un grado de fragilidad alta en la subcuenca del río Molino para mantener la oferta hídrica neta disponible del abastecimiento de agua a la población, que ante amenazas como periodos largos de estiaje o en presencia del fenómeno de El Niño podrían generar riesgo de desabastecimiento en los meses en que la demanda supera la oferta. Por otro lado, la subcuenca es susceptible a un crecimiento poblacional y por ende un aumento en la demanda del recurso hídrico, que conlleva a que la vulnerabilidad aumente con el transcurso del tiempo. Un ejemplo de esta problemática es la que se presenta en la planta de tratamiento de agua potable “Tulcán”, la cual se abastece de la subcuenca del río Molino; puesto que durante los meses de bajas precipitaciones deben recurrir a planes de racionamiento de agua.

El Índice de Disponibilidad Per Cápita de agua obtuvo un valor de  $1041 \text{ m}^3/\text{Hab}^*\text{año}$ , por lo que se considera que la subcuenca se encuentra en situación de Estrés Hídrico. Esta clasificación es incoherente ya que no coincide con las características hídricas de la subcuenca, la cual es un territorio con alta capacidad de agua. Por lo que, se tienen que adaptar dispositivos para aprovechamiento de aguas lluvias y subterráneas. Cabe resaltar que el IDEAM calcula este índice a escala nacional, es decir para territorios muy grandes en áreas con cierto grado de desertificación, por tanto, los resultados no pueden ser muy precisos, puesto que el estudio se realizó en un área no muy extensa.

## **6.2 ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES HÍDRICOS DE CALIDAD**

De acuerdo con el Índice de Calidad de Agua (ICA) planteado por el IDEAM, el cual hace uso únicamente de cinco variables fisicoquímicas, el punto de muestro

“Bocatoma” obtiene una calificación Buena, significando que la subcuenca del río Molino se encuentra en óptimas condiciones de calidad de agua.

Mediante la calificación obtenida por el ICA (Buena), se infiere que existe una autodepuración de agentes contaminantes que influye en las condiciones sanitarias, físicas y químicas del recurso hídrico. Es de resaltar, que el punto de muestreo (Bocatoma) se encuentra en una pendiente alta del río, permitiendo una mayor aireación que se observa claramente en el contenido de oxígeno disuelto (7.38 mg/L), razón por la cual tiene una alta capacidad para depurar la materia orgánica presente en el agua. Es importante tener en cuenta que esta subcuenca abastece a una pequeña parte de la población de Popayán y a su población aledaña, por lo que debe garantizar los parámetros mínimos de calidad permisibles para ser tratada y posteriormente consumida.

Respecto al Índice de Contaminación (ICO) se obtuvo lo siguiente:

Teniendo en cuenta el índice ICOMI, el cual evalúa los parámetros de conductividad, dureza y alcalinidad, al obtener un valor de ICO Muy Bajo (0.05) en la Bocatoma, se podría relacionar con bajas concentraciones de sales de magnesio y calcio que son responsables de un incremento en la dureza de un determinado cuerpo de agua. También es importante anotar que el fenómeno de mineralización está ampliamente ligado a la capacidad del cuerpo de agua para disolver cationes y aniones, lo cual se ve reflejado en la cantidad de sólidos disueltos presentes que incrementan o disminuyen de acuerdo con el valor obtenido en el Índice de Contaminación por Mineralización.

Para el índice ICOMO, se evaluó la demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno que, en conjunto, manifiestan distintos efectos de la contaminación por materia orgánica. En el resultado obtenido para la Bocatoma se hace evidente un grado de contaminación Bajo, ocasionado por la cantidad de coliformes totales reportadas. Esta clasificación permite que haya una suficiente capacidad de dilución y autodepuración en la subcuenca del río Molino.

En el Índice de Contaminación ICOSUS, se trabaja únicamente con el parámetro de sólidos suspendidos totales, obteniendo para la Bocatoma un grado de contaminación Muy Bajo. Esta clasificación demuestra que el recurso hídrico de la subcuenca no presenta altas concentraciones de dichos sólidos, por lo que no genera problemas que afecten la salud de quienes hacen uso de esta agua. Si se tiene en cuenta que cerca de la Bocatoma hay extracción de material de arrastre y se relaciona con el resultado del índice, se observa que el muestreo de sólidos suspendidos se realizaba cuando cesaba dicha actividad. Por otro lado, la distancia entre la zona de extracción de material y el punto de toma de muestra puede ser considerable entre ambos puntos, por lo tanto, es posible que los sólidos suspendidos generados por esta actividad se precipiten antes de llegar al punto de muestreo.

Cabe aclarar que en referencia al Índice de Contaminación por Trofia (ICOTRO) que depende básicamente de los compuestos de fósforo y nitrógeno, no se realiza ningún tipo de cálculo debido a la inexistencia de datos referentes a la concentración de fósforo que incluye ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico.

Por último, se recalca que los resultados obtenidos para los índices hídricos de calidad no tienen en cuenta descargas importantes de vertimiento de aguas residuales debido a que la estación Bocatoma (Figura 23) se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca, antes de la zona urbana y por ello la calidad del agua se considera aceptable.

### **6.3 ANÁLISIS CAUDAL AMBIENTAL**

El caudal ambiental obtenido para la subcuenca del río Molino es de 0.50 m<sup>3</sup>/s, lo que indica el régimen hídrico necesario para preservar los ecosistemas aguas abajo y para mantener los beneficios en términos de bienes y servicios arraigados al uso del recurso.

Durante la determinación de los índices a lo largo de la investigación se obtuvo que hay una buena disposición y estado de la subcuenca, lo cual muestra que el caudal ambiental obtenido puede mantenerse para los siguientes años con una adecuada planificación del recurso, esto con el fin de asegurar una cantidad de agua con parámetros fisicoquímicos y biológicos suficientes para mantener poblaciones

bióticas que contribuyan a los procesos ecológicos en beneficio de estos mismos y de la sociedad en general.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

Conforme a los objetivos y resultados obtenidos en este trabajo, se concluye para la subcuenca del río Molino que:

- El Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) depende de las condiciones climatológicas, además, tiene en cuenta la retención de agua que precipita sobre el área y la distribución espacial de la misma. Este índice presenta baja retención y regulación de humedad.
- El Índice del Uso del Agua (IUA) con reducciones tiende a ser alto si se tiene en cuenta los diferentes tipos de demandas además de la considerada para este trabajo.
- Los resultados obtenidos en el Índice del Uso del Agua y el Índice de Vulnerabilidad deben ser tomados con precaución ya que podrían ser mayores a lo encontrado, esto debido a que en el cálculo de la demanda hídrica solo se tuvo en cuenta el agua facturada para uso doméstico.
- El Índice de Aridez (IA) depende de las condiciones climáticas, muestra los excedentes naturales que se puede tener del recurso hídrico y depende de la precisión de los métodos para el cálculo de la evapotranspiración.
- El Índice de Vulnerabilidad (IV), tiende a ser alto en épocas de verano porque se presenta peligro por desabastecimiento.
- El Índice de Disponibilidad Per cápita (IDP) indica que hay disponibilidad del recurso para la población actual, si la población aumenta se deben tomar medidas para la regulación de la demanda del agua.
- El Índice del Uso del Agua sin reducciones es el que más se ajusta a la realidad, puesto que la población hace uso del agua sin considerar alguna restricción.
- La subcuenca del río Molino presenta bajas precipitaciones en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, lo cual convierte todo este período en crítico respecto a la disponibilidad del agua.

- Comparando los caudales medios estimados (Tabla 15) con el caudal ambiental determinado ( $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), se observa que durante los meses de julio y agosto el caudal histórico del río es menor al caudal ambiental. Por lo anterior, en estos dos meses debe ser planificada la demanda tal que se cumpla por lo menos con el caudal ecológico. La planificación podría consistir en hacer reservorios para ser utilizados en estos meses críticos en las diferentes demandas. También se podría recurrir al agua subterránea, entre otras medidas.
- Los índices ICA e ICO arrojan resultados congruentes entre sí, mostrando que la calidad del agua es aceptable.
- Teniendo en cuenta los índices hídricos de calidad, la subcuenca del río Molino presenta una buena calidad del agua, arrojando como resultado altos niveles de oxígeno disuelto y bajos niveles de contaminación por sólidos. Lo anterior da un indicativo de la buena disponibilidad del recurso para determinados usos como lo son la agricultura, el uso del agua para fines pecuarios y para el uso doméstico con el debido tratamiento para consumo humano.
- Los índices de cantidad y calidad determinados en el presente trabajo pueden ser usados como un primer paso a una adecuada planificación del recurso hídrico de la subcuenca del río Molino.

## 7.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo con lo aprendido en el desarrollo de este trabajo se recomienda:

- Es pertinente continuar con la investigación en la subcuenca del río Molino, esto debido a la necesidad de información más detallada a fin de mejorar todos los elementos necesarios para la planificación del recurso.
- El desarrollo de un trabajo específico que tenga en cuenta parámetros fisicoquímicos diarios, que contribuyan a una mejor interpretación sobre el estado de la subcuenca del río Molino en la actualidad y que permita futuras planificaciones del recurso.
- Para preservar el caudal ambiental, debe haber una participación de todos los sectores involucrados e interesados en la oferta y demanda del recurso hídrico,

ya que es aquí donde se tiene en cuenta el mínimo caudal que permite la sostenibilidad de los ecosistemas y los diferentes usos que requiere el hombre.

- Ampliar la información para el desarrollo de trabajos posteriores, como el tipo del suelo presente en la subcuenca y las diferentes demandas de agua, como lo es la agrícola, pecuaria, entre otras, estos son objetos de estudio que requieren tiempo y que serían eficientes para la adecuada planificación del recurso hídrico de la subcuenca.
- Para posteriores trabajos se requiere la implementación de estaciones de aforo en la subcuenca del río Molino con el fin de tomar datos históricos que permitan la elaboración precisa de la curva de duración de caudales y por tanto de los índices hídricos de cantidad.
- Ampliar las medidas de adaptación y adecuar dispositivos para el aprovechamiento del recurso hídrico.
- Para una planificación preliminar del recurso hídrico de la subcuenca del río Molino se recomienda trabajar el Índice del Uso del Agua (IUA) teniendo en cuenta las reducciones.
- Probar diferentes métodos para el cálculo de la evapotranspiración potencial para el cálculo del índice de aridez (IA).
- Se recomienda a la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) mejorar el manejo, organización y actualización de la información de la subcuenca del río Molino.

## BIBLIOGRAFÍA

ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A E.S.P. (2017). Cuenca Molino. [En línea]. Disponible en: <http://www.acueductopopayan.com.co/gestion-ambiental/fundacion-procuenca-rio-las-piedras/fuentes-de-abastecimiento/cuenca-molino/>. [Consultado el 12 de febrero de 2018].

AGUIRRE, N. Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas. Universidad Nacional de Loja, 2007.

AVILES B., TOVAR L. (2017). Estudio para la determinación de caudales ambientales en la cuenca hidrográfica del río las Piedras.

CAÑAS, J. (2014). Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOS) en cuerpos de agua. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10901/1/articulo%20final.pdf>. [Consultado el 9 de marzo de 2018].

CASANOVA J., FIGUEROA A. (2014). Determinación del caudal ambiental y su relación con variables indicadoras de calidad del recurso hídrico. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n40/n40a02.pdf>. [Consultado el 14 de abril de 2018].

CETESB. (2006). Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo, Anexo V, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

CONVENIO 20131800008927 ALCALDÍA – UNICAUCA. (2015). Estudio preliminar (afectación y daños) asociados a fenómenos de inundación lenta y súbita (avenida torrencial) en la zona urbana y rural el municipio de Popayán.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, CRC. (2006). Plan de ordenación y manejo de la subcuenca del río Molino - Quebrada Pubús. [En línea]. Disponible en: <http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POMCH/Rio%20Molino-Pubus/Plan%20de%20Ordenacion%20y%20Manejo.pdf>. [Consultado el 12 de febrero de 2018].

DIAZ A., MOLANO L. (2009). Diseño metodológico para determinar índices de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación del agua (ICO) en fuentes superficiales, su implementación y despliegue en un sistema de información geográfica (SIG).

EMERSON A. PARRA RODRÍGUEZ I.A. (2012). Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales ambientales. Universidad Nacional de Colombia. [En línea]. Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/9163/1/71194057.2013.\\_Parte1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/9163/1/71194057.2013._Parte1.pdf). [Consultado el 22 de octubre del 2018].

HIMAT – INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. (1978). Resolución número 00337 de 1978. [En línea]. Disponible en: [http://www.ideam.gov.co/documents/14691/16498/Resolucion+337\\_1978.pdf/f17e6dfa-794c-40ca-90d3-e1c9ec1edf42](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/16498/Resolucion+337_1978.pdf/f17e6dfa-794c-40ca-90d3-e1c9ec1edf42). [Consultado el 5 de marzo de 2019].

IDROBO, V. (2010). Monitoreo de la calidad y cantidad del agua captada de la cuenca del río las Piedras para potabilización por parte del acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. comportamiento hidrológico de la cuenca en la última década.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. [En línea]. Disponible en: [http://siatac.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561-fc16b8037522&groupId=762](http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561-fc16b8037522&groupId=762). [Consultado el 23 de mayo de 2018].

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. (2012). Indicadores Ambientales Clasificados por Temáticas Ambientales. [En línea]. Disponible en: [http://www.ideam.gov.co/documents/14691/16404/Indicadores+Tem%C3%A1ticas+Ambientales\\_Publicados\\_2013\\_v1.pdf/3c5e8960-9593-471b-a22a-fa8c35cf397b](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/16404/Indicadores+Tem%C3%A1ticas+Ambientales_Publicados_2013_v1.pdf/3c5e8960-9593-471b-a22a-fa8c35cf397b). [Consultado el 15 de febrero de 2018].

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. (2013). Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia. [En línea]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/MEMORIASMAPAZONIFICACIONHIDROGRAFICA.pdf>. [Consultado el 11 de marzo de 2019].

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. (2015). ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2014, ENA.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINAMBIENTE. (2014) Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico, PORH. [En línea]. Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/GUIA\\_TECNICA\\_PORH.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/GUIA_TECNICA_PORH.pdf). [Consultado el 4 de marzo de 2019].

MONSALVE D., BURBANO L. (2010). Estimación del caudal ambiental del río Ovejas para su trasvase al embalse la salvajina en Suárez.

MUÑOZ S., CERON R. (2017). Aplicación de los índices hídricos para la planificación del recurso hídrico en la subcuenca del río Las Piedras.

OCAMPO, O. (2012). Análisis de vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. [En línea]. Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/6100/6/8109507.2012\\_Parte2.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/6100/6/8109507.2012_Parte2.pdf). [Consultado el 8 de abril de 2018].

ORDOÑEZ M., ENRIQUEZ D. (2009). Instrumentación y estudio de parámetros para el cálculo de los índices de escasez a usar en el ordenamiento de las cuencas de los ríos Molino y Pisojé.

PARRA, E. (2012). Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales

ambientales. [En línea]. Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/9163/1/71194057.2013.\\_Parte1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/9163/1/71194057.2013._Parte1.pdf). [Consultado el 15 de enero de 2018].

RAMIREZ A., RESTREPO R., VIÑA G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-53831997000100009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009). [Consultado el 14 de marzo de 2018].

RECALDE, R. (2016). Estimación de la curva de gastos para el río Molino y actualización del índice de escasez para la subcuenca hidrográfica del río Pisojé.

SABAJ V., RODRÍGUEZ L., CHRETIES C., CRISCI M., et al. (2014). Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe (phi-LAC). Qué son los Caudales Ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay. [En línea]. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002277/227701S.pdf>. [Consultado el 12 de marzo de 2018].

TORRES, P.; CRUZ, C. H. & PATIÑO, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano una revisión crítica. Revista Ingenierías.

TORRES P, HERNÁN C, PATIÑO P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Colombia. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>. [Consultado el 12 de abril de 2018].

VERNIER SOFTWARE Y TECHNOLOGY. (2017). Ciencias con lo mejor de Vernier. Experimento 41 Oxígeno Disuelto. EE.UU. [En línea]. Disponible en: [http://www2.vernier.com/sample\\_labs/CMV-41-oxigeno\\_disuelto.pdf](http://www2.vernier.com/sample_labs/CMV-41-oxigeno_disuelto.pdf) [Consultado el 13 de julio del 2018].

ZUÑIGA V., VIQUEZ H. (2011). Análisis de la oferta hídrica de la subcuenca del río Las Piedras y su afectación por el fenómeno de El Niño.

## ANEXOS

**ANEXO A.** Precipitación promedio mensual periodo 2013 - 2017.

Organización	Estación	Subcuenca	Elevación msnm	Latitud Y	Longitud X	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
El Hogar	Elena Mapallo	Río Molino	2047	2,43775	- 76,5648	189	229	308	201	225	81	20	31	87	219	463	470	2523
	Marcelina Lame		2057	2,43377 8	- 76,5577	213	153	268	175	187	79	13	26	67	186	321	285	1973
Santa Elena	Carlos León	Río Molino	2525	2,37586 1	- 76,5253	162	147	234	134	157	40	14	20	39	156	260	184	1547

Organización	Estación	Subcuenca	Elevación msnm	Latitud Y	Longitud X	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Acueducto	Narcisca Bonilla	Río Molino	2308	2,394	- 76,5295	153	167	293	233	100	25	8	15	35	194	271	213	1707
	Saúl Bonilla		2539	2,38397 2	-76,514	207	145	237	146	185	45	15	27	36	167	309	257	1776
Bocatona Molino			1834	2,43972 5	- 76,5738	207	161	302	233	211	78	17	25	80	215	351	290	2170

Organización	Estación	Subcuenca	Elevación msnm	Latitud Y	Longitud X	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
UNICAUCA	Santa Bárbara		1907	2,42812 8	- 76,5688	165	172	245	190	135	34	28	35	89	219	350	228	1890
	El Umuy		2525	2,39002 8	- 76,5106	164	167	241	166	130	96	20	32	52	125	285	255	1733
	Arrayanes		2308	2,394	- 76,5295	133	139	292	205	147	38	23	25	29	186	296	242	1755
FIC UNICAUCA	Río Molino		1728	2,44687 5	- 76,5972	163	150	188	153	143	32	17	17	78	194	343	227	1705

<b>Organización</b>	<b>Estación</b>	<b>Subcuena</b>	<b>Elevación msnm</b>	<b>Latitud Y</b>	<b>Longitud X</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Anual</b>
ASOCAMPO	Evelio Campo	Río Las Palacé	2090	2,45861 4	- 76,5152	209	164	249	173	167	53	17	19	77	198	266	240	1832
	César Hidalgo	Cuenca Cauca	2044	2,45071 4	- 76,5216	192	166	254	196	177	59	10	18	61	165	262	253	1813
IDEAM	Aeropuerto GLV	Río Molino	1752	2,45243 9	- 76,6114	188	212	279	204	201	69	18	32	86	265	310	273	2137

Organización	Estación	Subcuenca	Elevación msnm	Latitud Y	Longitud X	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
	Manuel Gurrute	Río Las Piedras	2135	2,44457 2	- 76,4959	149	118	202	146	125	46	6	13	67	162	187	182	1403
	Deyanira Conejo		2151	2,45315 3	- 76,4728	105	174	209	114	124	13	10	15	47	187	352	206	1556
	Octaviano Lame		2447	2,43848 9	- 76,4499	171	147	232	139	127	31	18	26	50	145	241	198	1525

<b>Organización</b>	<b>Estación</b>	<b>Subcuena</b>	<b>Elevación msnm</b>	<b>Latitud Y</b>	<b>Longitud X</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Anual</b>
	Nicanor Santiago		2514	2,458658	-76,456	190	168	212	124	114	19	7	27	38	206	143	81	1329
Asoproquintana	Aquileo Ortega	Río Las Piedras	2545	2,444231	-76,4465	183	164	224	140	169	53	18	25	43	160	302	198	1679
Resguardo	Carlos Mariaca	Río Las Piedras	2240	2,432611	-76,5196	151	117	375	185	267	90	0	34	79	204	283	268	2053

<b>Organización</b>	<b>Estación</b>	<b>Subcuena</b>	<b>Elevación msnm</b>	<b>Latitud Y</b>	<b>Longitud X</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Anual</b>
	Sandra Sánchez		2272	2,45655 6	- 76,4974	232	171	262	169	193	57	21	21	76	201	369	272	2044
	Alberto Sánchez	Río Palacé	2344	2,46625	- 76,4521	246	261	229	97	193	53	19	71	66	192	332	346	2105
	Adriana Mariaca	Río Las Piedras	2389	2,45275	- 76,4666	154	170	182	97	115	25	6	32	87	161	305	194	1528

Organización	Estación	Subcuena	Elevación msnm	Latitud Y	Longitud X	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Pisoje Alto	Felipe Beccerra	Río Pisoje	1804	2,44278 6	- 76,5269	132	110	212	82	118	68	19	14	73	174	266	281	1549
	Fernando Gurrute		2610	2,46480 6	- 76,4409	159	178	175	124	157	25	7	21	14	197	322	202	1581
	Héctor Arias		2488	2,42236 1	- 76,4721	188	165	252	171	179	28	13	19	64	166	346	284	1875

Organización	Estación	Subcuena	Elevación msnm	Latitud Y	Longitud X	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
	Alejandro Jojoa		1850	2,46840 6	- 76,5579	118	167	171	119	128	35	20	80	100	192	239	244	1613
Pisojé Bajo	Mirian Escobar	Río Pisojé	2110	2,41227 8	- 76,5361	213	149	338	253	189	80	49	45	55	210	282	323	2186
R. Puracé	Lucina Caldón	Río San	2318	2,39691 1	- 76,4802	118	81	177	71	96	27	3	1	16	81	203	64	938

Organización	Estación	Subcuenca	Elevación msnm	Latitud Y	Longitud X	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
	Rubén Delio		2811	2,38241 7	- 76,4415	173	103	129	155	78	16	16	16	23	100	184	126	1119
	Julio Guaña		2944	2,36633 3	- 76,4524	134	115	131	145	127	54	24	35	28	105	189	124	1211
	Absalon Escobar		3134	2,37458 3	- 76,4229	148	110	165	130	138	91	96	65	35	138	262	145	1523

Organización	Estación	Subcuena	Elevación msnm	Latitud Y	Longitud X	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
	Isabel Iziquita		3330	2,36958 3	- 76,4003	125	75	141	103	125	134	135	90	56	105	218	124	1431
R. Poblazón	Carlos Maca	Río Hondo	2270	2,39136 1	- 76,5501	169	169	167	194	164	35	19	65	57	121	294	351	1805
	Alfonso Hinga		2460	2,36441 7	- 76,5621	194	165	353	204	191	47	40	46	55	204	341	236	2076
Acueduct	El lago	Río	2020	2,44888 9	- 76,5217	232	175	312	219	196	62	9	18	68	212	327	371	2201

Organización	Estación	Subcuena	Elevación msnm	Latitud Y	Longitud X	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
	El diviso		2264	2,44333 3	- 76,4633	173	124	230	119	154	28	12	33	48	132	265	259	1577
	Pisoje alto	Río Pisoje	1830	2,46912 8	- 76,5584	241	156	251	190	185	80	66	20	70	173	319	234	1985
IDEAM	Arrayanales	Río Piedras	2563	2,44783 3	- 76,4359	148	83	140	103	109	40	4	10	26	86	184	137	1070
	Puracé	Río San Francisco	2608	2,38052 2	- 76,4562	184	151	204	172	149	49	16	29	42	143	310	219	1668

<b>Organización</b>	<b>Estación</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Elevación msnm</b>	<b>Latitud Y</b>	<b>Longitud X</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Anual</b>
	Polindara	Río Palacé	2733	2,5	- 76,4167	146	136	179	104	124	34	33	2	29	162	298	165	1412

**ANEXO B.** Clasificación por categoría del uso del suelo. (Mapa base “Uso del suelo”, Corporación Autónoma Regional del Cauca)

<b>SCS</b>	<b>Usos del suelo</b>	<b>Area (Km2)</b>	<b>Area (Km2)</b>
Tierra cultivada	Cultivos	0,035	10,229
	Mosaico de cultivos	0,040	
	Mosaico de pastos y cultivos	0,113	
	Vegetación secundaria alta	0,745	
	Vegetación secundaria baja	0,625	
	Vegetación secundaria baja	2,232	
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	6,439	
Pastizales	Mosaico de pastos con espacios naturales	0,730	18,992
	Pastos arbolados	2,143	
	Pastos degradados	7,481	
	Pastos enmalezados	1,728	
	Pastos limpios	6,911	
Vegas de ríos	Ríos	0,037	0,072
	Humedal	0,035	
Bosques	Bosque abierto alto de tierra firme	0,308	14,973
	Bosque abierto bajo de tierra firme	0,026	
	Bosque de galería y/o ripario	9,398	
	Bosque denso alto de tierra firme	0,112	
	Bosque denso bajo de tierra firme	0,082	
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	0,326	
	Bosque plantado	2,692	
	Arbustal abierto de tierra firme	1,376	
	Arbustal denso de tierra firme	0,050	
	Herbazal denso de tierra firme	0,407	
	Tierras desnudas	0,196	
Residencial	Vivienda rural	0,185	11,295

<b>SCS</b>	<b>Usos del suelo</b>	<b>Area (Km2)</b>	<b>Area (Km2)</b>
	Vivienda rural	0,069	
	Zonas urbanizadas	11,041	
Distritos industriales	Aeropuertos con infraestructura	0,077	0,077

**ANEXO C.** Tabla de valores de números de curva CN.

<b>Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana condiciones antecedentes de humedad II, <math>I_a = 0.2S</math>)</b>						
<b>Descripción del uso de la tierra</b>			<b>Grupo hidrológico del suelo</b>			
			<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Tierra cultivada <sup>1</sup>	Sin tratamientos de conservación		72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación		62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres		68	79	86	89
	Condiciones óptimas		39	61	74	80
Vegas de ríos	Condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas.		45	66	77	83
	Cubierta buena <sup>2</sup>		25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75 % o más		39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75 %		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)			89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeables)			81	88	91	93
Residencial <sup>3</sup>	Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>				
	1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
	1/4 acre	38	61	75	83	87
	1/3 acre	30	57	75	81	86
	1/2 acre	25	54	70	80	85
	1 acre	20	51	68	79	84

Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>		98	98	98	98
Calles y carreteras	Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
	Grava				
	Tierra				

1 Para una descripción más detallada de los números de curva para los usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap. 9

2 Una buena cubierta será protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.

3 Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

4 Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.

5 En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

**ANEXO D.** Datos de caudales medios y mínimos de las subcuencas de referencia.

**Anexo D.1** Datos de caudales medios de la Subcuenca del río Las Piedras.

<b>VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO LAS PIEDRAS (m<sup>3</sup>/s)</b>													
<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ANUAL</b>
1965	3,000	2,200	1,600	2,500	2,400	1,100	1,000	0,6	0,9	1,300	3,500	5,100	2,1
1966	2,500	1,500	1,700	1,800	2,100	1,400	1,500	1,000	1,000	1,700	4,800	17,8	3,23
1967	3,600	4,500	3,900	2,600	2,300	1,900	1,800	1,300	0,9	1,000	4,200	2,500	2,54
1968	2,300	3,400	2,800	3,400	2,100	1,600	2,100	0,9	1,000	2,400	3,400	2,300	2,31
1969	2,396	1,786	1,139	3,521	2,199	1,586	0,948	0,865	0,954	2,711	4,372	3,946	2,2
1970	1,242	2,876	2,319	1,008	2,049	1,331	1,071	1,033	1,072	1,974	4,749	3,339	2,01
1971	4,835	4,462	3,301	2,721	2,866	1,900	1,483	1,242	1,144	2,221	4,045	3,135	2,78
1972	4,219	4,859	3,871	4,203	2,584	2,180	1,535	1,265	1,130	1,116	1,980	2,413	2,61
1973	1,374	1,211	1,468	2,153	1,411	1,430	1,261	1,377	1,633	4,897	3,383	4,758	2,2
1974	6,048	8,104	4,200	3,830	5,852	1,645	1,390	1,152	1,167	1,545	2,890	4,200	3,5
1975	3,530	3,795	3,826	2,536	2,756	1,775	2,302	1,592	1,431	2,351	5,300	13,04	3,69
1976	3,934	6,311	4,751	4,174	2,003	1,440	1,213	0,861	0,875	1,553	2,617	2,556	2,69
1977	1,452	1,095	1,009	1,405	1,745	1,119	0,902	0,743	0,823	1,206	2,855	1,801	1,35
1978	3,115	1,317	1,341	2,243	1,629	1,243	1,103	0,997	1,031	1,387	2,086	3,350	1,74
1979	1,924	1,381	3,760	1,791	1,660	1,917	1,065	0,988	1,054	1,598	4,058	2,454	1,97
1980	2,609	4,742	2,713	1,811	1,455	1,228	0,977	0,904	0,883	1,136	1,421	1,798	1,81

VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO LAS PIEDRAS (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1981	1,690	1,960	2,043	3,277	4,595	2,057	1,059	0,858	0,686	0,711	2,513	2,242	1,97
1982	4,396	4,105	4,383	4,821	3,462	2,103	1,612	1,282	1,248	1,576	2,442	4,300	2,98
1983	2,129	2,288	2,515	3,308	3,622	1,714	1,236	1,041	0,988	1,257	1,565	2,688	2,03
1984	3,747	2,483	2,334	3,755	3,390	2,403	1,558	1,389	1,457	3,030	5,314	4,353	2,93
1985	3,191	2,215	1,635	2,202	2,592	1,559	1,332	1,170	1,135	3,781	2,882	3,194	2,24
1986	3,299	2,709	3,178	1,860	1,519	1,362	0,862	0,703	0,689	1,207	2,131	1,923	1,79
1987	1,341	1,063	0,98	1,403	1,820	1,102	0,917	0,891	0,825	1,648	2,195	1,791	1,33
1988	1,150	1,110	1,280	1,380	1,370	1,430	1,420	0,97	1,060	1,580	7,060	4,820	2,05
1989	4,044	3,172	4,323	2,248	2,267	1,429	1,240	0,958	0,967	1,495	1,903	2,337	2,2
1990	2,540	2,090	1,760	2,400	1,940	1,150	0,91	1,440	0,74	1,130	2,170	2,510	1,73
1991	3,060	2,190	3,610	2,820	2,240	1,680	1,410	1,300	1,200	1,130	2,780	4,770	2,35
1992	3,357	3,483	1,718	1,499	1,288	1,047	1,052	0,897	1,000	0,87	2,595	3,662	1,87
1993	3,263	2,593	3,576	4,201	3,788	2,311	1,752	1,485	1,395	1,568	2,845	4,979	2,81
1994	5,160	3,790	4,750	5,220	3,080	2,700	2,35	2,000	1,920	3,030	4,770	5,400	3,68
1995	3,530	3,070	4,310	4,710	3,990	2,370	2,00	1,880	1,550	2,390	3,850	6,310	3,33
1996	3,752	4,013	<b>3,890</b>	<b>3,891</b>	4,693	<b>3,168</b>	<b>2,187</b>	<b>2,304</b>	0,745	2,331	2,326	2,774	2,95
1997	7,631	3,835	3,614	2,864	1,794	1,664	1,515	1,166	1,137	1,354	2,528	1,745	2,57
1998	1,196	1,303	1,250	1,836	2,788	2,095	1,338	1,142	1,044	1,813	4,292	5,471	2,13
1999	5,910	6,400	5,270	4,960	4,330	2,740	1,900	2,350	2,010	2,810	7,350	8,670	4,56

VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO LAS PIEDRAS (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2000	9,020	6,330	4,450	3,770	2,080	1,480	1,570	1,390	1,270	1,400	4,390	2,400	3,3
2001	2,200	1,660	1,640	1,390	1,380	1,250	1,170	1,060	1,160	1,320	1,790	2,700	1,56
2002	2,350	1,640	1,760	3,200	2,040	2,210	1,450	1,310	1,200	1,550	1,480	3,050	1,94
2003	1,490	1,470	6,130	6,420	1,850	1,620	1,290	1,180	1,060	1,640	2,270	2,990	2,45
2004	3,471	1,736	1,368	3,598	1,875	1,365	1,180	0,898	0,903	1,290	5,371	3,078	2,18
2005	3,510	3,435	2,250	1,917	2,111	1,285	1,092	0,982	0,994	1,669	2,809	4,954	2,25
2006	3,869	2,973	3,331	3,905	3,152	2,321	1,466	1,199	1,106	1,338	2,616	3,677	2,58
2007	1,992	1,402	1,181	2,702	2,114	1,832	1,098	0,957	0,881	2,718	3,635	6,333	2,24
2008	5,231	6,875	4,770	3,034	3,732	2,179	1,357	1,642	1,070	1,186	5,675	11,59	4,03
2009	4,492	4,550	6,008	5,642	2,572	1,482	1,256	1,100	0,952	1,444	2,460	3,336	2,94
2010	1,587	1,605	1,079	2,188	3,166	2,052	<b>1,475</b>	<b>1,554</b>	<b>0,992</b>	<b>0,372</b>	<b>0,977</b>	<b>1,033</b>	1,95
2011	3,393	7,323	9,126	9,128	5,820	3,384	1,656	1,254	1,023	1,253	7,050	11,22	5,14
2012	6,204	3,393	1,972	2,763	1,220	0,885	0,693	0,598	0,56	0,72	0,874	2,052	1,83
2013	0,988	1,147	1,085	1,228	1,430	0,924	0,706	0,674	0,599	0,654	4,096	5,421	1,58
2014	2,739	3,828	6,249	1,682	2,439	1,447	1,229	0,984	1,046	1,295	3,010	5,231	2,6
2015	1,524	2,652	2,009	1,649	1,204	1,057	0,849	0,717	0,644	0,652	1,132	0,682	1,23
□	3,265	3,126	3,030	3,031	2,546	1,719	1,350	1,168	1,064	1,673	3,310	4,278	2,47

**Anexo D.2** Datos de caudales mínimos de la Subcuenca del río Las Piedras.

<b>VALORES MÍNIMOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO LAS PIEDRAS (m<sup>3</sup>/s)</b>													
<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ANUAL</b>
1969	0,9	0,79	0,9	0,99	0,99	0,9	0,79	0,67	0,53	1,47	2,92	2,64	0,53
1970	0,65	0,74	0,88	0,81	0,88	1,16	0,95	1,02	0,84	1,05	2,15	2,2	0,65
1971	2,15	2,82	1,81	1,23	1,19	1,62	1,26	1,12	0,99	1,03	1,62	1,8	0,99
1972	2,1	2,8	2,1	2,1	1,8	1,5	1,3	1,1	1,1	1	1,2	1,6	1
1973	1,2	1,1	1,1	0,8	1,1	1,1	1	1	1	1,3	2	3,1	0,8
1974	2,4	3,2	2,18	2,5	1,8	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1	1,5	<b>2,279</b>	1,1
1975	1,8	1,94	2,36	1,8	1,8	1,62	1,62	1,53	1,35	1,3	<b>1,599</b>	3,96	1,3
1976	2,78	2,92	2,36	2,91	1,57	1,25	0,97	0,82	0,67	0,86	1,68	1,78	0,67
1977	1,208	0,966	0,818	1,04	1,124	0,966	0,818	0,67	0,62	0,892	1,418	1,334	0,62
1978	1,57	1,15	1,114	1,525	1,348	1,114	1,042	0,97	0,932	0,932	1,15	1,66	0,93
1979	1,546	1,16	1,265	1,16	1,3	1,3	0,95	0,85	0,875	0,785	1,505	1,546	0,79
1980	1,628	2,7	1,628	1,546	1,23	1,02	0,95	0,85	0,85	0,85	0,95	1,16	0,85
1981	1,3	1,23	1,546	1,71	2,78	1,09	0,85	0,785	0,6	0,6	0,685	1,628	0,6
1982	2,01	2,3	3,02	2,86	2,06	1,67	1,46	1,23	1,16	1,23	1,3	2,01	1,16
1983	1,431	0,97	1,584	1,947	2,232	1,38	1,13	0,97	0,913	0,913	1,13	1,635	0,91
1984	2,4	2,06	1,74	2	2,4	1,69	1,38	1,24	1,21	1,38	2,66	1,79	1,21
1985	1,79	1,58	1,38	1,38	1,84	1,3	1,21	1,05	0,97	1,01	1,86	1,74	0,97
1986	1,3	1,48	1,95	1,34	0,97	0,97	0,68	0,63	0,59	0,68	1,17	1,21	0,59

VALORES MÍNIMOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO LAS PIEDRAS (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1987	1,096	0,92	0,77	1,052	1,151	0,92	0,87	0,82	0,77	0,87	1,184	1,052	0,77
1988	1,1	0,93	0,93	0,93	1,1	1,14	1,06	0,93	0,93	0,93	1,63	2,37	0,93
1989	2,09	2,09	1,9	1,7	1,55	1,32	1,1	0,93	0,79	0,84	1,4	1,32	0,79
1990	1,42	1,33	1,33	1,18	1,42	0,92	0,8	0,77	0,72	0,72	1,05	1,18	0,72
1991	2,13	1,77	1,95	1,71	1,65	1,45	1,25	1,15	1,15	0,86	0,99	1,83	0,86
1992	1,83	2,39	1,35	1,35	1,11	0,99	0,78	0,83	0,83	0,75	0,91	2,25	0,75
1993	2,19	2,13	1,64	3,33	2,81	1,89	1,55	1,35	1	1,15	2,2	3,52	1
1994	3,03	2,81	3,33	3,14	2,46	2,39	2,13	1,89	1,77	1,71	2,46	3,24	1,71
1995	2,67	2,25	2,81	2,81	2,46	2,07	1,89	1,4	1,55	1,55	2,07	3,24	1,4
1996	1,62	1,8	<b>1,699</b>	<b>1,776</b>	2,43	<b>1,987</b>	<b>1,660</b>	<b>1,490</b>	0,68	0,68	1,44	1,62	0,68
1997	4,18	2,47	1,96	2,3	1,55	1,48	1,3	1,12	1,04	1,04	1,04	1,33	1,04
1998	1,04	1,04	1,12	1,55	1,55	1,55	1,19	1,12	0,97	0,97	1,55	3,93	0,97
1999	3,76	4,18	3,76	3,67	3,33	2,22	1,62	1,48	1,48	1,79	3,84	5,94	1,48
2000	4,18	3,5	3,07	3,16	1,4	1,33	1,26	1,33	1,19	1,19	1,37	1,62	1,19
2001	1,62	1,48	1,48	1,26	1,26	1,12	1,12	1,04	1,04	1,19	1,19	1,62	1,04
2002	1,55	1,33	1,37	1,62	1,48	1,62	1,33	1,19	1,12	1,04	1,19	1,19	1,04
2003	1,33	1,33	1,33	3,76	1,48	1,33	1,19	1,04	1,04	1,04	1,44	1,62	1,04
2004	1,62	1,48	1,19	1,33	1,51	1,26	1,04	0,83	0,83	0,83	1,26	2,13	0,83
2005	1,63	2,34	1,42	1,19	1,56	1,11	1,03	0,96	0,88	0,96	1,19	2,69	0,88

VALORES MÍNIMOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO LAS PIEDRAS (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2006	2,552	2,269	2,128	2,694	2,128	1,844	1,343	1,112	1,035	1,035	1,382	1,703	1,04
2007	1,304	1,189	1,112	1,266	1,343	1,266	0,958	0,881	0,881	0,881	1,382	2,977	0,88
2008	2,694	2,906	2,057	2,128	2,269	1,42	1,189	1,112	0,958	0,919	1,42	3,967	0,92
2009	3,401	2,694	2,694	2,623	1,703	1,343	1,112	1,035	0,881	0,804	1,227	1,632	0,8
2010	1,189	1,112	0,958	0,958	1,42	1,561	<b>0,970</b>	<b>0,871</b>	<b>0,80</b>	<b>0,846</b>	<b>1,262</b>	<b>1,798</b>	0,96
2011	2,269	2,269	4,109	3,684	3,543	1,986	1,304	1,112	0,958	1,112	1,703	3,896	0,96
2012	3,26	1,915	1,266	1,304	0,958	0,804	0,65	0,56	0,56	0,56	0,515	0,958	0,52
2013	0,65	0,804	0,727	0,65	0,996	0,682	0,56	0,605	0,56	0,56	0,958	1,42	0
2014	1,703	2,128	2,198	1,42	1,343	1,189	0,958	0,881	0,881	0,881	1,189	1,561	0,88
2015	1,189	0,881	1,343	1,266	1,035	0,881	0,804	0,65	0,56	0,605	0,727	0,605	0,56
□	1,925	1,865	1,760	1,840	1,668	1,364	1,140	1,023	0,939	0,994	1,482	2,112	1,51

**Anexo D.3** Datos de caudales medios de la Subcuenca del río Negro.

<b>VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO NEGRO (m<sup>3</sup>/s)</b>													
<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ANUAL</b>
1965	2,5	0,9	0,4	1,3	3,8	4,1	3,6	2,5	0,8	1,8	6,3	2,4	2,53
1966	0,2	0,05	0,5	0,5	0,3	0,8	2,8	3,5	2,3	0,9	3,5	4	1,61
1967	1	0,6	0,7	1,3	1	7,7	6,8	6,4	1,1	0,8	2,1	0,9	2,53
1968	0,4	0,5	0,5	1,6	2,3	9,3	10,1	10	0,9	1,1	2,2	2,1	3,42
1969	0,7	0,3	0,1	3,4	2	3,7	6,4	2,2	0,8	2,5	1,1	0,3	1,96
1970	0,09	1,2	0,4	1	1,8	2,7	3,3	6,1	2,7	1,7	4,5	2,1	2,3
1971	2,806	1,584	0,703	1,531	2,404	2,162	7,328	2,999	1,66	1,529	1,14	0,763	2,22
1972	2,065	1,539	0,956	1,992	2,69	3,053	5,925	2,579	2,688	0,927	1,302	1,021	2,23
1973	0,402	0,481	0,529	0,689	1,259	0,79	2,371	2,48	1,646	1,795	1,143	0,783	1,2
1974	0,791	1,096	0,826	0,956	1,382	1,664	3,547	2,7	1,543	1,667	2,239	1,181	1,63
1975	0,5	1,376	0,858	0,941	1,63	4,065	2,635	4,435	3,371	2,303	2,519	2,765	2,28
1976	0,874	0,677	0,885	1,408	2,15	5,376	9,405	4,564	3,062	1,783	1,344	0,681	2,68
1977	0,398	0,435	0,523	0,922	1,675	3,243	3,282	2,949	3,12	1,5	1,165	0,498	1,64
1978	0,65	0,39	0,39	1,422	0,878	3,599	2,112	3,955	1,644	1,479	0,675	0,749	1,5
1979	0,295	0,203	0,683	2,002	1,37	3,961	3,402	2,197	1,443	1,345	1,412	1,288	1,63
1980	0,582	0,674	1,204	2,481	2,191	3,634	4,052	3,097	2,672	1,914	0,772	0,469	1,98
1981	0,287	0,338	0,457	0,85	1,231	1,499	3,374	1,596	1,673	1,008	1,409	0,87	1,22
1982	0,66	0,26	0,702	1,399	1,512	2,275	6,235	4,878	2,69	1,807	0,896	1,021	2,03

VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO NEGRO (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1983	0,678	0,781	1,296	2,973	2,145	1,267	3,089	5,53	2,532	2,502	1,35	1,713	2,16
1984	1,406	0,982	0,734	1,164	1,562	2,582	3,517	2,395	1,631	2,576	1,967	0,797	1,78
1985	0,641	0,449	0,351	0,354	1,956	3,941	5,702	4,123	2,094	1,548	1,087	0,703	1,91
1986	0,509	0,647	1,242	1,559	0,885	5,418	6,659	2,484	2,133	2,231	1,286	0,796	2,15
1987	0,34	0,667	0,442	1,868	2,042	2,881	3,755	3,901	1,638	1,851	0,902	0,662	1,75
1988	0,32	0,31	0,18	0,55	1,04	3,18	6,51	2,62	1,72	1,29	1,86	1,32	1,74
1989	0,643	0,779	1,596	0,7	3,477	3,222	5,015	2,547	1,885	1,932	1,3	0,649	1,98
1990	0,79	0,76	1,32	0,88	5,56	4,49	4,61	4,7	2,18	1,45	1,16	1,1	2,42
1991	0,58	0,41	0,67	1,17	1,31	2,56	6,52	5,85	2,78	1,49	1,57	1,16	2,17
1992	0,66	0,57	0,61	1,79	1,23	2,13	6,59	4,69	1,55	0,95	0,98	1,46	1,93
1993	0,7	0,76	1,2	1,45	1,81	3,64	4,74	3,38	2,55	1,35	1,78	0,94	2,03
1994	0,621	0,668	0,679	1,708	2,404	4,552	5,526	5,614	3,107	2,409	1,761	1,894	2,58
1995	0,484	0,333	0,75	1,247	1,348	1,499	2,83	1,203	1,005	1,354	0,779	0,478	1,11
1996	0,789	1,138	0,989	1,032	1,813	2,619	6,49	2,294	1,669	1,822	1,095	1,06	1,9
1997	2,364	1,41	0,98	1,111	3,591	1,246	<b>3,555</b>	<b>2,95</b>	<b>2,471</b>	<b>1,263</b>	<b>4,93</b>	0,647	1,62
1998	0,294	0,627	0,608	1,011	1,737	6,621	4,57	2,905	1,986	2,044	2,139	1,233	2,15
1999	1,23	2,06	1,33	2,35	1,5	1,98	2,72	2,96	2,44	2,16	2,25	2,28	2,11
2000	1,65	1,36	1,65	1,33	3,29	2,19	3,38	5,95	3,65	2,23	1,47	0,99	2,43
2001	0,68	0,61	0,62	1,26	1,29	5,27	3,07	5,98	2,14	0,96	0,86	0,97	1,98

VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO NEGRO (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2002	0,56	0,53	0,5	1,36	1,51	4,76	3,84	5,4	1,3	1,22	1,24	1,43	1,97
2003	0,527	0,57	1,206	1,152	3,166	1,857	<b>3,686</b>	<b>3,058</b>	<b>3,04</b>	<b>1,31</b>	0,951	1,636	1,38
2004	1,044	0,72	0,943	0,889	1,718	4,447	3,032	4,772	1,731	<b>1,011</b>	2,065	1,579	2,09
2005	0,775	0,953	0,66	2,832	2,691	2,463	2,931	3,835	3,021	2,142	1,713	2,519	2,21
2006	1,431	1,549	2,409	2,409	2,776	4,531	4,753	3,904	2,602	1,628	1,918	<b>2,607</b>	2,72
2007	0,917	0,791	1,017	1,232	1,875	5,373	1,735	3,303	2,172	2,245	2,119	1,749	2,04
2008	0,875	1,466	1,362	0,856	1,657	3,044	4,969	2,822	1,917	1,686	2,395	<b>2,467</b>	2,1
2009	0,689	0,654	0,562	0,709	0,762	6,537	0	2,761	2,32	1,056	0,679	0,487	1,44
2010	0,427	0,305	0,394	1,811	<b>1,006</b>	1,544	2,824	1,944	1,399	0,919	<b>0,89</b>	<b>0,513</b>	1,29
2011	1,197	0,614	1,091	1,474	3,233	4,028	<b>4,717</b>	2,065	2,261	1,148	2,064	2,611	1,98
2012	1,204	1,159	1,31	1,721	<b>2,837</b>	1,892	4,255	3,585	2,43	1,315	1,612	1,085	1,96
2013	0,711	1,132	1,244	1,036	<b>1,676</b>	<b>3,438</b>	4,833	3,69	2,858	1,133	1,395	1,301	1,93
2014	0,775	0,548	0,782	1,363	<b>1,826</b>	3,086	7,055	<b>3,619</b>	<b>1,972</b>	<b>1,55</b>	1,696	0,766	2,01
□	0,834	0,778	0,841	1,401	1,966	3,438	4,483	3,719	2,120	1,593	1,740	1,310	2,02

**Anexo D.4** Datos de caudales mínimos de la Subcuenca del río Negro.

<b>VALORES MÍNIMOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO NEGRO (m<sup>3</sup>/s)</b>													
<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ANUAL</b>
1971	1,57	0,37	0,37	0,26	0,37	1,57	0,79	1,57	0,53	0,48	0,37	0,21	0,21
1972	0,61	0,48	0,38	0,48	0,91	1,12	1,86	1,05	0,84	0,64	0,64	0,45	0,38
1973	0,26	0,32	0,26	0,35	0,38	0,38	0,48	1,03	0,64	0,48	0,48	0,38	0,26
1974	0,35	0,45	0,45	0,48	0,58	0,45	0,7	0,97	0,86	1,08	0,97	0,54	0,35
1975	0,26	0,29	0,45	0,48	0,64	0,97	1,31	1,75	1,64	1,31	1,14	1,36	0,26
1976	0,48	0,48	0,45	0,51	0,42	1,58	3,65	1,77	1,19	1,19	0,61	0,51	0,42
1977	0,28	0,24	0,28	0,38	0,38	0,917	1,694	1,472	1,25	0,695	0,55	0,28	0,24
1978	0,28	0,16	0,12	0,5	0,42	0,38	0,64	1,14	1,03	0,55	0,38	0,33	0,12
1979	0,12	0,12	0,28	0,2	0,7	0,97	1,53	0,97	0,97	0,75	0,46	0,55	0,12
1980	0,28	0,28	0,28	0,46	0,97	0,97	1,31	1,03	0,86	0,38	0,38	0,28	0,28
1981	0,12	0	0,12	0	0,39	0,28	1	0,68	0,68	0,46	0,5	0,34	0
1982	0,2	0,12	0,24	0,38	0,46	0,68	1,27	2,11	0,89	0,79	0,55	0,38	0,12
1983	0,28	0,23	0,42	0,38	0,4	0,55	1,32	2,18	1,48	1,11	0,84	0,45	0,23
1984	0,5	0,46	0,38	0,55	0,61	0,89	1,029	1,27	1,11	1,27	1,11	0,5	0,38
1985	0,38	0,28	0,2	0,12	0,28	1,32	1,48	1,59	0,89	0,68	0,5	0,38	0,12
1986	0,28	0,28	0,55	0,73	0,38	0,73	1,64	1,22	1	1,11	0,79	0,38	0,28
1987	0,2	0,2	0,24	0,42	0,89	0,89	1,11	1,59	0,89	0,79	0,46	0,28	0,2
1988	0,2	0,2	0,12	0,28	0,38	0,89	1,7	1,22	1	0,68	0,68	0,55	0,12

VALORES MÍNIMOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO NEGRO (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1989	0,28	0,38	0,55	0,38	0,61	1,05	1,54	1,43	1	1,11	0,79	0,28	0,28
1990	0,46	0,38	0,62	0,38	0,95	1,5	1,75	1,9	1,22	1	0,84	0,55	0,38
1991	0,2	0,12	0,38	0,46	0,68	0,89	2,19	1,27	1,54	0,79	0,79	0,68	0,12
1992	0,46	0,38	0,38	0,57	0,68	0,79	1	1,75	1	0,68	0,68	0,55	0,38
1993	0,55	0,46	0,28	0,46	0,89	1,48	1,43	1,54	1,11	0,89	1	0,46	0,28
1994	0,42	0,46	0,46	0,68	1,11	1,11	2,04	2,19	1,75	0,68	1,43	0,46	0,42
1995	0,25	0,2	0,38	0,38	0,55	0,28	1,001	0,68	0,55	0,68	0,46	0,28	0,2
1996	0,12	0,55	0,38	0,28	0,68	1	1,43	1,54	0,89	1,11	0,46	0,42	0,12
1997	0,68	0,68	0,28	0,38	0,68	0,68	<b>0,907</b>	<b>0,877</b>	<b>0,691</b>	<b>0,576</b>	<b>0,583</b>	0,38	0,28
1998	0,2	0,2	0,28	0,55	0,68	2,04	1,89	1,48	1,22	1,11	1,54	0,38	0,2
1999	0,38	1	0,46	0,62	0,38	0,38	1,05	0,48	0,79	1,3	0,89	0,89	0,38
2000	0,79	0,61	0,95	0,68	0,84	1	0,89	1,38	1,55	1,11	0,68	0,54	0,54
2001	0,54	0,48	0,48	0,48	0,61	1,05	1,43	1,43	1,27	0,68	0,54	0,54	0,48
2002	0,48	0,41	0,41	0,48	0,61	0,89	1,11	1,54	0,68	0,68	0,61	0,54	0,41
2003	0,408	0,476	0,544	0,544	0,787	0,68	<b>1,762</b>	<b>1,704</b>	<b>1,343</b>	<b>1,118</b>	0,68	0,68	0,41
2004	0,68	0,68	0,68	0,54	0,68	1,75	1,54	2,04	1,11	<b>1,398</b>	1,54	1,11	0,54
2005	0,68	0,54	0,54	0,68	0,89	1,32	1,11	1,32	1,64	1,32	1,11	0,89	0,54
2006	1,001	0,894	0,894	1,215	1,322	1,75	2,91	1,895	1,536	1,215	1,215	<b>1,124</b>	0,89
2007	0,787	0,68	0,68	0,612	1,001	1,536	0,894	0,787	1,108	1,215	1,001	0,894	0,61

VALORES MÍNIMOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO NEGRO (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2008	0,612	0,612	0,544	0,68	0,68	1,001	1,375	1,429	0,894	1,215	1,108	<b>0,684</b>	0,54
2009	0,612	0,612	0,476	0,544	0,612	0,68	0	0,578	0,68	0,612	0,544	0,408	0
2010	0,34	0,272	0,272	1,215	<b>1,68</b>	0,947	1,055	0,787	0,68	0,68	<b>1,865</b>	<b>0,342</b>	0,27
2011	0,544	0,408	0,68	0,68	1,108	1,643	<b>2,203</b>	0,894	1,215	0,894	0,84	0,894	0,41
2012	0,68	0,612	0,84	1,108	<b>1,532</b>	1,108	1,429	1,322	1,108	1,001	0,68	0,68	0,61
2013	0,408	0,68	0,544	0,68	<b>0,94</b>	<b>0,915</b>	1,108	1,322	1,536	0,68	0,894	0,68	0,41
2014	0,544	0,476	0,544	0,68	<b>0,94</b>	1,322	2,368	<b>1,704</b>	<b>1,343</b>	<b>1,118</b>	1,001	0,544	0,48
□	0,449	0,414	0,435	0,521	0,72	1,007	1,407	1,361	1,073	0,893	0,800	0,546	0,79

**Anexo D.5** Datos de caudales medios de la Subcuenca del río Palacé.

<b>VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO PALACÉ (m<sup>3</sup>/s)</b>													
<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ANUAL</b>
1965	6,6	9,1	5,6	7,5	10,4	8,8	7,7	8	5,8	6,2	10,3	7,6	7,8
1966	5,2	4,9	7	6,7	5,5	5,8	7,6	6,5	6	6,4	9,1	19,6	7,53
1967	8,4	8,7	8,1	7	6,1	10,7	7,5	6,8	5,9	6,6	10,7	8,3	7,9
1968	6,2	7,5	6,8	6,8	5,5	7,6	9,6	5,4	5,4	8,2	11,2	7,1	7,28
1969	8,6	9,5	6,2	10,4	7,6	10,1	14	8,3	7,8	10,4	9,7	8,5	9,26
1970	5,199	10,79	5,37	4,958	9,163	16,45	6,817	9,846	7,611	9,483	15,85	6,93	9,04
1971	12,24	8,745	8,991	11,72	9,87	5,788	12,97	7,531	5,921	6,786	8,897	7,058	8,88
1972	8,616	8,509	7,061	8,609	7,686	6,743	10,02	6,308	5,868	5,5	5,388	6,189	7,21
1973	3,157	2,699	3,973	4,481	7,136	4,17	7,453	8,45	7,71	6,327	6,506	8,978	5,92
1974	7,644	10,15	10,9	7,687	8,714	6,037	9,372	7,787	6,288	7,536	8,111	6,35	8,05
1975	5,383	8,219	8,335	6,47	11,32	11,03	6,863	10,93	7,505	9,595	14,06	19,65	9,95
1976	6,265	9,353	9,105	8,842	9,541	8,857	13,18	9,241	7,493	7,951	7,676	7,231	8,73
1977	3,639	3,004	2,923	5,352	5,546	7,479	7,169	6,106	6,87	5,392	6,691	4,67	5,4
1978	7,736	4,754	4,844	5,96	6,436	9,283	6,768	6,193	5,392	7,745	5,305	6,766	6,43
1979	4,454	4,005	4,565	7,38	5,686	7,638	7,3	6	5,6	5,645	10,14	7,215	6,3
1980	6,308	8,574	5,977	8,209	5,289	8,18	8,149	6,25	5,7	8,031	4,514	5,942	6,76
1981	4,459	4,18	5,497	7,036	9,954	7,053	9,235	8,044	7,308	8,04	7,929	8,199	7,25
1982	9,2	7,2	7,69	8,949	8,334	8,768	10,9	9,561	6,639	5,609	7,745	7,593	8,18

VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO PALACÉ (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1983	4,324	8,19	6,921	15,6	5,076	4,372	9,066	11,78	4,523	8,011	6,168	8,688	7,73
1984	11,42	6,014	6,402	6,867	11,53	10,17	7,555	6,388	6,062	13,6	14,12	8,125	9,02
1985	8,541	4,285	5,998	5,999	8,931	12,89	13,04	9,35	6,547	8,388	10,78	10	8,73
1986	7,27	8,085	11,37	6,327	4,526	11,03	14,74	5,973	5,965	7,128	5,829	5,39	7,8
1987	3,648	4,096	4,198	6,788	5,918	6,203	8,635	8,91	5,731	5,061	5,082	3,695	5,66
1988	3,583	3,24	3,19	3,93	5,35	9,03	12,69	4,31	5,6	5,32	9,64	8,66	6,21
1989	4,883	5,758	10,24	5,122	8,898	5,789	10,04	5,898	4,508	4,929	4,825	5,551	6,37
1990	5,227	5,538	5,472	6,33	6,5	6,959	7,104	7,751	4,003	4,775	5,191	6,949	5,98
1991	5,266	3,861	5,872	5,803	6,563	5,703	12,52	9,213	6,034	4,206	6,9	5,314	6,44
1992	4,8	5,689	4,22	7,13	4,58	6,3	11,8	7,4	2,78	2,378	4,282	5,306	5,56
1993	4,45	3,56	5,77	6,47	7,24	8,91	8,8	6,11	4,28	3,52	7,68	3,99	5,9
1994	4,87	4,22	4,63	8,22	9,24	10,33	8,41	8,81	5,46	7,17	9,18	6,02	7,21
1995	2,26	3,55	7,15	6,43	5,4	3,83	5,9	3,1	2,63	3,81	4,6	3,42	4,34
1996	5,186	5,493	8,124	5,164	3,683	7,146	11,33	9,269	4,591	5,93	5,714	6,146	6,48
1997	12,39	7,408	6,437	6,418	11,18	8,001	13,61	7,418	4,047	3,014	3,908	3,43	7,27
1998	2,436	3,026	2,203	4,548	5,042	10,46	8,957	5,036	3,82	5,232	7,792	6,065	5,39
1999	8,9	10,36	7,39	10,55	9,79	5,52	6,72	5,6	6,1	5,94	8,94	10,66	8,04
2000	10,59	7,51	6,89	5,91	7,38	5,61	5,7	8,1	5,49	3,77	<b>7,953</b>	2,16	6,28
2001	1,84	1,91	3,93	4,88	4,99	9,18	6,58	7,55	5,04	3,79	3,82	6,12	4,97

VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO PALACÉ (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2002	4,54	5,29	2,93	5,76	5,49	10,45	7,53	8,33	3,4	4,28	3,89	4,79	5,56
2003	1,94	3,11	5,54	8,34	8,78	6,27	7,51	3,95	2,91	3,53	5,86	4,51	5,19
2004	4,3	2,529	2,97	7,091	4,21	7,153	5,543	7,503	3,237	4,894	8,004	6,217	5,3
2005	7,931	6,331	4,599	7,237	6,923	6,541	6,554	7,007	5,64	7,594	7,623	8,984	6,91
2006	6,414	5,803	7,727	8,192	7,491	9,489	7,709	5,329	4,337	4,923	7,034	6,001	6,7
2007	3,26	2,946	4,032	5,594	6,038	11,4	5,136	5,844	3,602	7,204	6,979	8,587	5,89
2008	6,091	7,74	8,38	7,19	9,001	10,25	11,33	7,626	5,35	4,803	8,622	8,513	7,91
2009	5,535	5,793	6,878	6,17	5,314	5,077	6,436	5,551	3,305	3,934	4,378	2,779	5,1
2010	2,483	2,86	2,677	5,436	6,452	6,562	6,718	4,756	4,333	6,335	14,22	12,09	6,24
2011	7,226	10,89	16,17	14,23	14,95	11,77	11,77	6,556	6,776	8,987	13,39	21,25	12
2012	<b>4,814</b>	<b>4,903</b>	<b>5,121</b>	<b>5,805</b>	5,947	7,121	6,854	6,759	4,643	5,174	4,443	5,614	5,82
2013	3,481	4,655	5,293	5,139	5,075	5,298	8,51	5,664	5,057	3,567	8,323	8,548	5,72
□	5,902	6,011	6,279	7,117	7,291	8,067	8,926	7,145	5,359	6,176	7,857	7,499	6,98

Anexo D.6 Datos de caudales mínimos de la Subcuenca del río Palacé.

VALORES MÍNIMOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO PALACÉ (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	3,6	5,88	3,6	3,65	3,7	6,3	4,54	4,3	4,48	4,3	8,1	4,54	3,6
1971	4,78	5,18	4,78	5,04	5,32	4,78	4,54	4,78	4,06	4,18	4,44	3,82	3,82
1972	3,7	4,85	3	3,65	5,6	4,62	1,88	4,04	4,62	3,65	3,65	2,35	1,88
1973	2,35	1,92	2,35	3	2,67	3,65	3	3,65	3,65	1,67	3,65	1,5	1,5
1974	1,5	4,94	3,39	3,65	4,14	3,65	1,97	3	3,65	4,14	3,65	4,33	1,5
1975	3,52	3,65	3,84	3,65	3,65	5,6	3,65	5,5	3,65	3,65	7,35	13,44	3,52
1976	3,6	5,4	5,4	3,6	4,5	4,5	5,4	5,87	3,6	4,05	5,04	4,5	3,6
1977	2,4	2,4	2,4	3,6	3,6	3,6	4,5	3,6	3,6	3	3,6	3,3	2,4
1978	3,6	2,4	2,7	2,4	4,59	3,78	2,28	2,4	2,4	3	2,76	3,36	2,28
1979	2,98	2,55	2,77	3,1	4,13	3,73	<b>3,626</b>	<b>3,277</b>	<b>2,884</b>	2,97	3,84	3,4	2,55
1980	3,89	4,13	3,4	3,95	3,4	3,4	3,67	3,67	3,4	3,95	3,4	3,4	3,4
1981	3,4	3,05	3,2	3,2	4,97	3,67	3,2	3,97	3,95	3,95	4,31	3,67	3,05
1982	4,2	3,7	4,55	5,67	4,55	4,55	4,55	6,3	3,95	3,4	3,4	3,4	3,4
1983	3,4	3,2	3,4	4,97	3,4	3,4	3,4	4,8	3,4	3,4	3,4	4,25	3,2
1984	4,55	4,37	3,95	4,07	5,94	5,4	4,55	3,95	3,25	7	8,45	4,97	3,25
1985	4,55	3,4	3,62	3,4	3,95	6,3	4,55	3,42	3,84	3,67	3,97	3,4	3,4
1986	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,19	3,62	3,51	3,4	3,4	3,4	3,4
1987	3,1	3,15	2,3	3,4	4,13	3,35	3,84	3,3	3,05	3,3	2,62	2,55	2,3

VALORES MÍNIMOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO PALACÉ (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1988	3,11	2,93	2,84	3,02	4,2	4,75	4,91	3,6	4,05	3,7	4,22	4,2	2,84
1989	3,7	4,2	4,42	4	4,1	4,53	4,91	3,2	3,3	3,5	3,3	3,3	3,2
1990	2,45	2,3	3,05	3,05	5	3,65	3,05	3,23	2,45	2,3	2,68	3,28	2,3
1991	3,05	2,3	3,5	3,05	3,65	3,05	5,6	3,98	3,65	3,28	3,5	3,6	2,3
1992	3,3	3,99	3,77	3,77	1,99	3,77	3,99	3,8	1,99	1,69	0,5	0,5	0,5
1993	1,25	1,47	1,69	1,99	2,21	4,21	3,1	1,99	1,39	0,8	3,77	0,5	0,5
1994	1,25	1,39	1,25	3,77	3,1	4,21	3,77	3,99	2,43	2,21	3,54	2,88	1,25
1995	0,5	0,3	0,5	0,5	2,55	1,54	3,43	1,54	1,32	1,54	1,25	1,39	0,3
1996	1,1	1,54	4,21	1,69	1,39	1,54	5,99	2,43	1,84	2,21	1,99	2,21	1,1
1997	6,69	3,77	2,88	3,99	5,99	4,43	5,99	4,21	1,25	1,25	1,32	1,69	1,25
1998	1,39	0,5	1,25	2,43	1,69	4,21	4,43	3,1	1,69	1,99	3,1	4,21	0,5
1999	3,99	5,99	4,65	2,43	6,43	3,99	3,1	1,99	1,69	3,77	4,21	7,46	1,69
2000	6,21	3,88	4,21	4,21	4,21	3,32	2,43	3,77	2,43	1,99	<b>2,365</b>	1,39	1,39
2001	0,8	0,65	3,32	2,88	3,32	4,21	4,21	3,99	3,21	2,1	1,99	3,32	0,65
2002	1,99	1,99	1,32	1,69	3,32	3,77	4,21	3,77	1,99	1,99	1,99	1,99	1,32
2003	1,1	1,99	2,21	3,1	4,21	3,77	3,99	1,84	1,69	2,43	3,77	1,99	1,1
2004	2,43	1,99	1,39	3,1	2,21	4,21	3,77	3,99	1,99	1,99	3,77	4,65	1,39
2005	4,02	4,02	3,45	2,88	4,4	4,02	2,88	3,45	3,45	4,9	4,4	4,4	2,88
2006	4,02	3,64	3,45	4,4	4,4	4,4	4,4	2,5	3,45	2,88	3,45	2,88	2,5

VALORES MÍNIMOS MENSUALES DE CAUDALES SUBCUENCA DEL RÍO PALACÉ (m <sup>3</sup> /s)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2007	2,88	1,94	2,817	3,26	4,02	4,65	3,26	3,26	3,26	3,26	4,02	4,4	1,94
2008	3,26	4,21	4,4	4,4	4,65	6,9	6,9	4,4	3	3,36	3,54	4,8	3
2009	4,71	3,72	3,72	3,81	3,54	3	3,45	3,09	2,44	2,44	2,16	2,16	2,16
2010	2,3	2,16	2,44	2,3	3	4,35	4,26	3,36	3,09	3,54	7,385	7,515	2,16
2011	5,704	5,318	8,033	7,644	8,551	6,997	6,479	5,125	4,739	5,318	5,511	8,292	4,74
2012	<b>3,7</b>	<b>3,701</b>	<b>3,799</b>	<b>3,996</b>	4,642	4,16	3,916	3,672	3,428	3,672	3,428	3,733	3,43
2013	3,192	3,192	3,759	3,129	4,011	3,507	3,948	3,885	3,57	2,94	3,507	3,948	2,94
$\bar{x}$	3,196	3,197	3,281	3,452	4,010	4,155	4,039	3,650	3,039	3,130	3,720	3,733	3,55

**Nota:** Los datos faltantes (datos en negrilla) se obtuvieron por medio del método de los promedios.

**ANEXO E.** Datos para la elaboración de la curva de duración de caudales.

**Anexo E.1** Curva de duración de caudales medios.

Información	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	Intervalos	Frecuencia	%	% Acumulado
<b>No Datos</b>	2,322	5,66	0	0%	0%
12	2,303	5,16	1	8%	8%
<b>Máximo</b>	3,868	4,67	0	0%	8%
5,165	2,543	4,18	2	17%	25%
<b>Mínimo</b>	2,267	3,69	0	0%	25%
0,250	0,502	3,20	0	0%	25%
<b>Rango</b>	0,250	2,71	5	42%	67%
4,915	0,274	2,22	0	0%	67%
<b>No. Intervalos</b>	0,581	1,72	0	0%	67%
10	2,655	1,23	0	0%	67%
<b>Incrementos</b>	5,165	0,74	4	33%	100%
0,49	4,006	0,25	0	0%	100%
			12		

**Anexo E.2** Curva de duración de caudales mínimos.

Información	Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Intervalos	Frecuencia	%	% Acumulado
<b>No Datos</b>	1,292	2,602	0	0%	0%
12	1,275	2,378	1	8%	8%
<b>Máximo</b>	2,089	2,153	1	8%	17%

Información	Caudal mínimo (m³/s)	Intervalos	Frecuencia	%	% Acumulado
2,378	1,241	1,929	1	8%	25%
<b>Mínimo</b>	1,188	1,705	0	0%	25%
0,134	0,268	1,480	3	25%	50%
<b>Rango</b>	0,134	1,256	2	17%	67%
2,243	0,173	1,032	0	0%	67%
<b>No. Intervalos</b>	0,379	0,807	0	0%	67%
10	1,470	0,583	1	8%	75%
<b>Incrementos</b>	2,378	0,359	2	17%	92%
0,224	1,880	0,134	1	8%	100%
		0	0	0%	100%
			12		

**ANEXO F.** Estaciones pluviométricas ubicadas en la subcuenca del río Molino.

Organización	Estación	Elevación msnm	Latitud Y	Longitud X
Acueducto Popayan	Santa Barbara	1907	2,428128	-76,5688
Santa Elena	Arrayanes	2308	2,394	-76,5295
UNICAUCA	FIC UNICAUCA	1728	2,446875	-76,5972
Acueducto Popayan	Bocatoma Molino	1834	2,439725	-76,5738
Acueducto Popayan	El Umuy	2525	2,390028	-76,5106
IDEAM	Aeropuerto GLV	1752	2,452439	-76,6114

**ANEXO G.** Precipitación mensual en la subcuenca del río Molino en el periodo 2009 – 2018

**Anexo G.1** Precipitación mensual en la subcuenca del río Molino en el año 2009.

<b>Estación</b>	<b>En e</b>	<b>Fe b</b>	<b>Ma r</b>	<b>Ab r</b>	<b>Ma y</b>	<b>Ju n</b>	<b>Jul</b>	<b>Ag o</b>	<b>Se p</b>	<b>Oc t</b>	<b>No v</b>	<b>Dic</b>
Santa Barbara	112	131	137	119	132	106	137	72	76	52	75	3
Arrayanes	103	119	102	117	72	70	32	72	6	120	47	174
UNICAUCA	82	100	83	113	89	94	80	75	74	80	197	87
Bocatoma Molino	107	129	121	104	118	114	68	73	90	34	79	160
El Umuy	88	107	94	91	121	53	108	78	13	10	9	104
Aeropuerto	95	121	118	111	106	90	89	90	86	135	128	110

**Anexo G.2** Precipitación mensual en la subcuenca del río Molino en el año 2010.

<b>Estación</b>	<b>En e</b>	<b>Fe b</b>	<b>Ma r</b>	<b>Ab r</b>	<b>Ma y</b>	<b>Ju n</b>	<b>Jul</b>	<b>Ag o</b>	<b>Se p</b>	<b>Oc t</b>	<b>No v</b>	<b>Dic</b>
Santa Barbara	91	127	43	41	63	108	95	122	86	85	144	132
Arrayanes	88	145	67	85	68	80	87	0	96	51	212	129
UNICAUCA	98	11	70	103	102	89	102	111	111	37	54	130
Bocatoma Molino	98	63	66	114	118	96	97	95	107	126	136	115
El Umuy	63	59	234	100	78	70	80	132	0	228	103	114

<b>Estación</b>	<b>En e</b>	<b>Fe b</b>	<b>Ma r</b>	<b>Ab r</b>	<b>Ma y</b>	<b>Ju n</b>	<b>Jul</b>	<b>Ag o</b>	<b>Se p</b>	<b>Oc t</b>	<b>No v</b>	<b>Dic</b>
Aeropuerto	122	123	102	121	143	108	81	114	123	115	73	144

**Anexo G.3** Precipitación mensual en la subcuenca del río Molino en el año 2011.

<b>Estación</b>	<b>En e</b>	<b>Fe b</b>	<b>Ma r</b>	<b>Ab r</b>	<b>Ma y</b>	<b>Ju n</b>	<b>Jul</b>	<b>Ag o</b>	<b>Se p</b>	<b>Oc t</b>	<b>No v</b>	<b>Dic</b>
Santa Barbara	126	63	184	145	11	74	99	104	87	109	183	154
Arrayanes	102	127	179	173	130	122	81	77	39	54	150	110
UNICAUC A	118	126	84	80	194	100	89	72	96	113	100	135
Bocatoma Molino	123	148	177	199	208	109	98	79	103	132	132	212
El Umuy	92	144	77	61	68	153	90	86	72	36	73	146
Aeropuerto	74	152	143	119	167	116	109	76	89	175	65	230

**Anexo G.4** Precipitación mensual en la subcuenca del río Molino en el año 2012.

<b>Estación</b>	<b>En e</b>	<b>Fe b</b>	<b>Ma r</b>	<b>Ab r</b>	<b>Ma y</b>	<b>Ju n</b>	<b>Jul</b>	<b>Ag o</b>	<b>Se p</b>	<b>Oc t</b>	<b>No v</b>	<b>Dic</b>
Santa Barbara	107	167	113	96	43	68	100	135	105	133	125	82
Arrayanes	153	63	127	155	104	80	77	42	49	35	33	120
UNICAUC A	151	106	86	63	101	54	79	63	63	50	52	116
Bocatoma Molino	179	124	157	175	157	112	67	67	37	88	138	118

<b>Estación</b>	<b>En e</b>	<b>Fe b</b>	<b>Ma r</b>	<b>Ab r</b>	<b>Ma y</b>	<b>Ju n</b>	<b>Jul</b>	<b>Ag o</b>	<b>Se p</b>	<b>Oc t</b>	<b>No v</b>	<b>Dic</b>
El Umuy	120	156	51	103	88	198	95	54	116	11	53	135
Aeropuerto	110	143	86	92	127	76	84	86	79	150	134	129

**Anexo G.5** Precipitación mensual en la subcuenca del río Molino en el año 2013.

<b>Estación</b>	<b>En e</b>	<b>Fe b</b>	<b>Ma r</b>	<b>Ab r</b>	<b>Ma y</b>	<b>Ju n</b>	<b>Jul</b>	<b>Ag o</b>	<b>Se p</b>	<b>Oc t</b>	<b>No v</b>	<b>Dic</b>
Santa Barbara	113	105	117	113	144	68	116	125	119	80	127	
Arrayanes	104	116	94	79	102	79	104	26	63	156	99	
UNICAUC A	92	97	71	68	45	92	58	48	75	51	32	112
Bocatoma Molino	107	76	88	124	126	123	79	77	114	34	128	208
El Umuy	93	101	80	58	25	135	93	83	12	132	209	114
Aeropuerto	105	114	102	87	113	118	74	54	88	89	27	172

**Anexo G.6** Precipitación mensual en la subcuenca del río Molino en el año 2014.

<b>Estación</b>	<b>ene</b>	<b>feb</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>may</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>sep</b>	<b>oct</b>	<b>nov</b>	<b>dic</b>
Santa Barbara	201	225	361	113	212	61	20	12	86	182	315	243
Arrayanes	216	234	258	149	152	24	0	12	16	265	287	403
UNICAUCA	224	260	303	112	159	45	4	13	81	210	737	317
Bocatoma Molino	330	213	398	151	190	68	2	13	99	164	319	390
El Umuy	185	229	278	158	201	7	9	13	22	29	179	334

<b>Estación</b>	<b>ene</b>	<b>feb</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>may</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>sep</b>	<b>oct</b>	<b>nov</b>	<b>dic</b>
Aeropuerto	262	329	411	147	176	44	8	20	96	277	362	340

**Anexo G.7** Precipitación mensual en la subcuenca del río Molino en el año 2015.

<b>Estación</b>	<b>ene</b>	<b>feb</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>may</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>sep</b>	<b>oct</b>	<b>nov</b>	<b>dic</b>
Santa Barbara	80	247	173	91	13	28	15	2	6	155	204	18
Arrayanes	77	265	197	144	18	0	7	0	16	121	272	15
UNICAUCA	87	105	200	153	52	15	18	1	19	107	114	16
Bocatoma Molino	87	183	186	164	72	16	17	5	27	196	196	1
El Umuy	52	179	364	150	38	0	0	12	0	328	163	0
Aeropuerto	111	242	220	171	103	37	0	6	42	184	123	27

**Anexo G.8** Precipitación mensual en la subcuenca del río Molino en el año 2016.

<b>Estación</b>	<b>ene</b>	<b>feb</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>may</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>sep</b>	<b>oct</b>	<b>nov</b>	<b>dic</b>
Santa Barbara	196	23	204	310	11	3	24	20	102	299	299	273
Arrayanes	165	87	209	338	130	51	17	10	54	254	150	222
UNICAUCA	178	86	124	235	194	29	24	5	111	313	200	259
Bocatoma Molino	193	108	197	359	208	38	33	11	118	332	232	336
El Umuy	152	104	97	216	68	82	25	12	90	226	173	270
Aeropuerto	135	115	162	283	167	48	36	8	104	368	164	354

**Anexo G.9** Precipitación mensual en la subcuenca del río Molino en el año 2017.

<b>Estación</b>	<b>ene</b>	<b>feb</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>may</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>sep</b>	<b>oct</b>	<b>nov</b>	<b>dic</b>
Santa Barbara	229	192	459	296	115	58	27	132	110	285	564	314
Arrayanes	275	83	506	301	304	160	11	37	54	135	374	352
UNICAUCA	273	126	455	263	301	154	13	60	68	202	494	348

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Bocatoma Molino	301	144	556	323	357	190	1	64	38	240	588	349
El Umuy	242	176	351	203	288	298	29	51	121	132	414	357
Aeropuerto	245	162	456	284	326	169	18	76	78	324	588	350

**Anexo G.10** Precipitación mensual en la subcuenca del río Molino en el año 2018.

Estación	en e	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Santa Barbara	118	283	231	227	409	145	46	10	213	576	649	136
Arrayanes	161	335	110	247	199	113	57	0	108	315	271	116
UNICAUC A	142	327	113	125	124	62	42	12	78	342	313	95
Bocatoma Molino	103	393	210	260	240	35	102	2	90	333	410	106
El Umuy	173	284	174	358	321	45	104	0	110	355	464	109
Aeropuerto	139	324	168	243	259	80	70	5	120	384	421	112

**ANEXO H.** Precipitación ponderada en el periodo 2009 – 2018.

Precipitación ponderada/estación = Pestación

**Anexo H.1** Precipitación ponderada del año 2009.

Mes	Santa B.	Arrayanes	Unicauca	Bocatoma	El Umuy	GLV	$\Sigma$
Ene	2659	1819	1601	2061	842	973	9955
Feb	3111	2101	1952	2485	1024	1240	11915
Mar	3253	1801	1620	2330	900	1209	11116
Abr	2826	2066	2206	2003	871	1137	11103

<b>Mes</b>	<b>Santa B.</b>	<b>Arrayanes</b>	<b>Unicauca</b>	<b>Bocatoma</b>	<b>EI Umuy</b>	<b>GLV</b>	$\Sigma$
May	3134	1271	1737	2273	1158	1086	10661
Jun	2517	1236	1835	2196	507	922	9215
Jul	3253	565	1562	1310	1033	912	8633
Ago	1710	1271	1464	1406	746	922	7521
Sep	1805	106	1445	1733	124	881	6090
Oct	1235	2119	1562	655	96	1383	7048
Nov	1781	830	3846	1522	86	1312	9372
Dic	71	3072	1698	3082	995	1127	10047

### Anexo H.2 Precipitación ponderada del año 2010.

<b>Mes</b>	<b>Santa B.</b>	<b>Arrayanes</b>	<b>Unicauca</b>	<b>Bocatoma</b>	<b>EI Umuy</b>	<b>GLV</b>	$\Sigma$
Ene	2161	1554	1913	1887	603	1250	9372
Feb	3016	2560	215	1213	565	1260	8832
Mar	1021	1183	1366	1271	2239	1045	8123
Abr	974	1501	2011	2196	957	1240	8881
May	1496	1201	1991	2273	746	1465	9174
Jun	2564	1413	1737	1849	670	1107	9338
Jul	2256	1536	1991	1868	766	830	9249
Ago	2897	0	2167	1830	1263	1168	9331
Sep	2042	1695	2167	2061	0	1260	9229
Oct	2018	901	722	2427	2182	1178	9427
Nov	3419	3743	1054	2619	986	748	12575
Dic	3134	2278	2538	2215	1091	1475	12734

### Anexo H.3 Precipitación ponderada del año 2011.

<b>Mes</b>	<b>Santa B.</b>	<b>Arrayanes</b>	<b>Unicauca</b>	<b>Bocatoma</b>	<b>EI Umuy</b>	<b>GLV</b>	$\Sigma$
Ene	2992	1801	2303	2369	880	758	11109
Feb	1496	2243	2460	2850	1378	1557	11988
Mar	4369	3161	1640	3409	737	1465	14782

<b>Mes</b>	<b>Santa B.</b>	<b>Arrayanes</b>	<b>Unicauca</b>	<b>Bocatoma</b>	<b>EI Umuy</b>	<b>GLV</b>	$\Sigma$
Abr	3443	3055	1562	3833	584	1219	13694
May	261	2296	3787	4006	651	1711	12711
Jun	1757	2154	1952	2099	1464	1189	10617
Jul	2351	1430	1737	1887	861	1117	9386
Ago	2470	1360	1406	1522	823	779	8366
Sep	2066	689	1874	1984	689	912	8220
Oct	2588	954	2206	2542	344	1793	10431
Nov	4345	2649	1952	2542	699	666	12852
Dic	3657	1942	2635	4083	1397	2357	16079

#### **Anexo H.4** Precipitación ponderada del año 2012.

<b>Mes</b>	<b>Santa B.</b>	<b>Arrayanes</b>	<b>Unicauca</b>	<b>Bocatoma</b>	<b>EI Umuy</b>	<b>GLV</b>	$\Sigma$
Ene	2541	2702	2948	3448	1148	1127	13917
Feb	3965	1112	2069	2388	1493	1465	12491
Mar	2683	2243	1679	3024	488	881	10997
Abr	2280	2737	1230	3371	986	943	11549
May	1021	1836	1972	3024	842	1301	9995
Jun	1615	1413	1054	2157	1895	779	8916
Jul	2375	1360	1542	1290	909	861	8337
Ago	3206	742	1230	1290	517	881	7868
Sep	2493	865	1230	713	1110	809	7219
Oct	3158	618	976	1695	105	1537	8094
Nov	2968	583	1015	2658	507	1373	9104
Dic	1947	2119	2264	2273	1292	1322	11215

#### **Anexo H.5** Precipitación ponderada del año 2013.

<b>Mes</b>	<b>Santa B.</b>	<b>Arrayanes</b>	<b>Unicauca</b>	<b>Bocatoma</b>	<b>EI Umuy</b>	<b>GLV</b>	$\Sigma$
Ene	2683	1836	1796	2061	890	1076	10340
Feb	2493	2048	1894	1464	967	1168	10034

<b>Mes</b>	<b>Santa B.</b>	<b>Arrayanes</b>	<b>Unicauca</b>	<b>Bocatoma</b>	<b>EI Umuy</b>	<b>GLV</b>	$\Sigma$
Mar	2778	1660	1386	1695	766	1045	9331
Abr	2683	1395	1327	2388	555	891	9242
May	3419	1801	878	2427	239	1158	9922
Jun	1615	1395	1796	2369	1292	1209	9676
Jul	2754	1836	1132	1522	890	758	8895
Ago	2754	1836	937	1483	794	553	8366
Sep	2968	459	1464	2196	115	902	8101
Oct	2826	1112	996	655	1263	912	7762
Nov	1900	2755	625	2465	2000	277	10021
Dic	3016	1748	2186	4006	1091	1762	13815

**Anexo H.6** Precipitación ponderada del año 2014.

<b>Mes</b>	<b>Santa B.</b>	<b>Arrayanes</b>	<b>Unicauca</b>	<b>Bocatoma</b>	<b>EI Umuy</b>	<b>GLV</b>	$\Sigma$
Ene	4773	3814	4373	6356	1770	2685	23770
Feb	5343	4132	5075	4102	2191	3371	24215
Mar	8572	4556	5915	7666	2660	4211	33580
Abr	2683	2631	2186	2908	1512	1506	13427
May	5034	2684	3104	3659	1923	1803	18208
Jun	1448	424	878	1310	67	451	4578
Jul	475	0	78	39	86	82	760
Ago	285	212	254	250	124	205	1330
Sep	2042	283	1581	1907	211	984	7007
Oct	4322	4679	4099	3159	278	2838	19375
Nov	7480	5068	14387	6144	1713	3709	38501
Dic	5770	7116	6188	7511	3196	3484	33266

**Anexo H.7** Precipitación ponderada del año 2015.

<b>Mes</b>	<b>Santa B.</b>	<b>Arrayanes</b>	<b>Unicauca</b>	<b>Bocatoma</b>	<b>El Umuy</b>	<b>GLV</b>	$\Sigma$
Ene	1900	1360	1698	1676	498	1137	8268
Feb	5865	4679	2050	3525	1713	2480	20311
Mar	4108	3479	3904	3582	3483	2254	20811
Abr	2161	2543	2987	3159	1435	1752	14036
May	309	318	1015	1387	364	1055	4447
Jun	665	0	293	308	0	379	1645
Jul	356	124	351	327	0	0	1159
Ago	47	0	20	96	115	61	340
Sep	142	283	371	520	0	430	1746
Oct	3681	2137	2089	3775	3139	1885	16705
Nov	4844	4803	2225	3775	1560	1260	18467
Dic	427	265	312	19	0	277	1301

**Anexo H.8** Precipitación ponderada del año 2016.

<b>Mes</b>	<b>Santa B.</b>	<b>Arrayanes</b>	<b>Unicauca</b>	<b>Bocatoma</b>	<b>El Umuy</b>	<b>GLV</b>	$\Sigma$
Ene	4654	2914	3475	3717	1455	1383	17597
Feb	546	1536	1679	2080	995	1178	8015
Mar	4844	3690	2421	3794	928	1660	17338
Abr	7361	5968	4587	6914	2067	2900	29798
May	261	2296	3787	4006	651	1711	12712
Jun	71	901	566	732	785	492	3546
Jul	570	300	469	636	239	369	2582
Ago	475	177	98	212	115	82	1158
Sep	2422	954	2167	2273	861	1066	9742
Oct	7100	4485	6110	6394	2163	3771	30023
Nov	7100	2649	3904	4468	1655	1680	21457
Dic	6482	3920	5056	6471	2584	3627	28141

**Anexo H.9** Precipitación ponderada del año 2017.

<b>Mes</b>	<b>Santa B.</b>	<b>Arrayanes</b>	<b>Unicauca</b>	<b>Bocatoma</b>	<b>EI Umuy</b>	<b>GLV</b>	<b>Σ</b>
Ene	5438	4856	5329	5797	2316	2510	26246
Feb	4559	1466	2460	2773	1684	1660	14602
Mar	10899	8935	8882	10709	3359	4672	47456
Abr	7029	5315	5134	6221	1943	2910	28551
May	2731	5368	5876	6876	2756	3340	26947
Jun	1377	2825	3006	3659	2852	1732	15451
Jul	641	194	254	19	278	184	1570
Ago	3134	653	1171	1233	488	779	7458
Sep	2612	954	1327	732	1158	799	7582
Oct	6767	2384	3943	4622	1263	3320	22300
Nov	7456	6216	6793	6722	3416	3586	34189
Dic	6482	3920	5056	6471	2584	3627	28141

**Anexo H.10** Precipitación ponderada del año 2018.

<b>Mes</b>	<b>Santa B.</b>	<b>Arrayanes</b>	<b>Unicauca</b>	<b>Bocatoma</b>	<b>EI Umuy</b>	<b>GLV</b>	<b>Σ</b>
Ene	2802	2843	2772	1984	1655	1424	13480
Feb	6720	5915	6383	7569	2718	3320	32625
Mar	5485	1942	2206	4045	1665	1721	17064
Abr	5390	4361	2440	5008	3426	2490	23115
May	9712	3514	2421	4622	3072	2654	25994
Jun	3443	1995	1210	674	431	820	8573
Jul	1092	1006	820	1965	995	717	6596
Ago	237	0	234	39	0	51	561
Sep	5058	1907	1523	1733	1053	1230	12503
Oct	13677	5562	6676	6414	3397	3935	39661
Nov	15411	4785	6110	7897	4440	4314	42957
Dic	3229	2048	1855	2042	1043	1148	11364

**ANEXO I.** Datos para la elaboración de la curva de duración de caudales medios multianuales para el periodo 2009 – 2018.

<b>Mínimo:</b>	0,252	
	<b>Decimal</b>	<b>Entero</b>
<b>Número de clase:</b>	7,861	8
<b>Rango:</b>	1,034	

<b>Nº</b>	<b>Clases</b>			<b>Marca de clase</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frec. Relativa</b>	<b>Frec. Acumulada</b>	<b>%Tot. Tiempo</b>
1	0,252	-	1,286	0,769	71,000	0,592	1,000	100,000
2	1,286	-	2,320	1,803	22,000	0,183	0,408	40,833
3	2,320	-	3,354	2,837	8,000	0,067	0,225	22,500
4	3,354	-	4,388	3,871	6,000	0,050	0,158	15,833
5	4,388	-	5,422	4,905	6,000	0,050	0,108	10,833
6	5,422	-	6,456	5,939	3,000	0,025	0,058	5,833
7	6,456	-	7,490	6,973	2,000	0,017	0,033	3,333
8	7,490	-	8,524	8,007	2,000	0,017	0,017	1,667
9	8,530							0

**ANEXO J.** Temperatura mínima y máxima mensual, periodo 2013 – 2017.

**Anexo J.1** Temperatura mínima y máxima mensual (Enero – Junio), periodo 2013 – 2017.

		Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
ORG	EST	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx
Asocampo	(*)Cesar Hidalgo	12	25	12	25	12	24	11	24	11	23	11	24
Asocampo	(*)Evelio Campo	11	22	11	23	11	22	12	21	11	20	11	21
Asocampo	(*)Deyanira Conejo	8	22	8	21	10	21	9	21	9	21	10	21
Asocampo	(*)Octaviano Lame	10	21	11	21	11	20	11	21	11	20	11	21
Asoproquintana	(*)Aquileo Ortega	11	22	11	22	11	21	12	22	11	22	10	23
Resguardo Quintana	(*)Sandra Sanchez	11	21	11	22	11	21	11	22	11	22	11	23
Resguardo Quintana	(*)Hector Arias	13	21	13	21	13	20	14	21	14	22	14	21
Resguardo Quintana	(*)Fernando Gurrute	11	20	11	21	11	20	11	22	11	21	11	21
El Hogar	(*)Elena Mapallo	12	25	11	24	12	24	12	24	11	24	11	24

		Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
ORG	EST	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx
El Hogar	(*)Marcelina Lame	13	27	12	26	12	25	12	24	12	24	11	25
Santa Elena	(*)Narcisa Bonilla - ARRAYANES	12	24	12	24	12	22	13	23	13	25	13	25
Santa Elena	(*)Carlos A. León	10	23	11	22	11	21	11	23	11	23	11	23
Santa Elena	(*)Saúl Bonilla	10	20	11	20	11	20	10	19	10	20	10	19
Pisojé Alto	(*)Felipe Beccerra	13	24	13	24	12	23	12	24	12	23	12	24
Pisojé Alto	(*)Alejandro Jojoa	13	27	14	26	12	22	14	26	13	24	13	26
Pisojé Bajo	(*)Mirian Escobar	12	24	12	24	12	23	12	23	12	24	12	24
Resguardo Puracé	(*)Lucina Caldón	9	24	9	24	9	23	10	23	11	23	11	23
Resguardo Puracé	(*)Rubén Delio	8	21	8	21	8	20	9	21	10	21	10	22
Resguardo Puracé	(*)Julio Guauña	7	18	7	18	7	17	8	19	8	19	8	20
Resguardo Puracé	(*)Isabel Iziquita	6	13	6	12	6	12	7	13	7	13	6	12

		Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
ORG	EST	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx
AAPSA	EL DIVISO	10	21	10	21	10	20	10	21	10	20	10	20
AAPSA	BOCATOMA MOLINO	17	22	17	23	17	22	17	23	17	23	17	24
UNICAUCA	FIC UNICAUCA	12	24	12	24	12	25	13	25	12	24	12	25
AAPSA	ARRAYANALES	10	20	10	19	10	20	10	20	10	20	10	19
x̄		11	22	11	22	11	21	11	22	11	22	11	22

**Anexo J.2** Temperatura mínima y máxima mensual (Julio – Diciembre), período 2013 – 2017.

		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
ORG	EST	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx
Asocampo	(*)César Hidalgo	11	25	11	26	11	24	11	23	11	22	10	23
Asocampo	(*)Evelio Campo	11	22	11	22	11	21	11	21	11	20	11	21
Asocampo	(*)Deyanira Conejo	10	21	9	21	9	21	10	21	10	20	9	21
Asocampo	(*)Octaviano Lame	11	22	12	21	11	21	12	21	11	20	11	20
Asoproquintana	(*)Aquileo Ortega	11	23	11	23	11	23	11	22	11	22	11	25

		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
ORG	EST	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx
Resguardo Quintana	(*)Sandra Sánchez	10	21	10	21	11	22	11	21	11	21	11	22
Resguardo Quintana	(*)Héctor Arias	14	23	14	23	14	22	13	21	13	21	12	21
Resguardo Quintana	(*)Fernando Gurrute	11	22	11	21	11	21	11	21	10	19	10	20
El Hogar	(*)Elena Mapallo	11	25	11	25	11	24	11	24	11	23	10	24
El Hogar	(*)Marcelina Lame	12	25	11	26	12	25	11	24	11	24	11	25
Santa Elena	(*)Narcisa Bonilla - ARRAYANES	13	25	13	25	13	25	12	24	12	23	12	25
Santa Elena	(*)Carlos A. León	11	24	11	23	11	23	11	22	11	21	10	23
Santa Elena	(*)Saúl Bonilla	10	19	10	20	10	19	10	19	10	18	10	19
Pisojé Alto	(*)Felipe Beccerra	12	24	12	24	12	24	12	24	12	23	12	23
Pisojé Alto	(*)Alejandro Jojoa	13	25	13	25	13	25	13	24	13	24	13	25
Pisojé Bajo	(*)Mirian Escobar	12	25	12	26	12	24	11	23	11	22	10	23

		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
ORG	EST	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx
Resguardo Puracé	(*)Lucina Caldón	10	22	11	23	10	23	10	23	10	23	11	23
Resguardo Puracé	(*)Rubén Delio	9	21	9	21	9	21	9	20	8	19	7	20
Resguardo Puracé	(*)Julio Guauña	8	20	8	20	8	20	8	19	8	19	8	19
Resguardo Puracé	(*)Isabel Iziquita	9	14	8	12	7	13	8	14	7	14	7	13
AAPSA	EL DIVISO	11	20	10	22	10	20	10	21	10	20	11	20
AAPSA	BOCATOMA MOLINO	17	26	16	25	17	24	17	23	17	22	16	23
UNICAUCA	FIC UNICAUCA	12	25	12	26	12	25	13	27	13	26	13	28
AAPSA	ARRAYANALES	10	20	10	19	10	19	10	19	10	19	10	18
x̄		11	22	11	22	11	22	11	22	11	21	11	22

**ANEXO K.** Evapotranspiración sin corregir y corregida.

Mes	Temperatura media (°C)	i	I	a	ETP sin corregir	N (Latitud=2)	d	ETP corregida
Enero	16	5,818	72,616	1,646	59	12	31	61
Febrero	16	5,818			59	12,1	28	55
Marzo	16	5,818			59	12,1	31	61
Abril	17	6,378			65	12,2	30	66
Mayo	16	5,818			59	12,2	31	62
Junio	17	6,378			65	12,2	30	66
Julio	17	6,378			65	12,2	31	68
Agosto	17	6,378			65	12,2	31	68
Septiembre	17	6,378			65	12,1	30	65
Octubre	16	5,818			59	12,1	31	61
Noviembre	16	5,818			59	12	30	59
Diciembre	16	5,818			59	12	31	61

**ANEXO L.** Número máximo de horas de sol dependiendo del mes y de la latitud.

Lat. N	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
2	12	12,1	12,1	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,1	12,1	12	12
4	11,9	12	12,1	12,2	12,3	12,4	12,3	12,3	12,1	12	11,9	11,9
6	11,8	11,9	12,1	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,2	12	11,9	11,8

Lat. N	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
8	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6	12,5	12,4	12,2	12	11,8	11,7
10	11,6	11,8	12,1	12,3	12,6	12,7	12,7	12,5	12,2	11,9	11,2	11,5

**ANEXO M.** Parámetros fisicoquímicos del punto de muestreo Bocatoma.

Parámetro	2013	2014	2015	2016	2017	$\bar{x}$
Conductividad Eléctrica	63,44	63,44	77,15	79,81	54,14	67,60
pH	7,15	7,22	7,76	7,37	7,38	7,38
Alcalinidad Total	22,14	26,23	24,30	28,21	24,34	25,04
Dureza Total	21,36	25,96	23,43	35,50	16,90	24,63
DQO 5	1,95	1,47	51,59	33,68	2,10	18,16
DBO 5	1,29	0,97				1,13
Oxígeno Disuelto	6,94	7,16	7,48	7,48	7,83	7,38
Coliformes Totales en 100 mL	1662,00	2744,35	3136,87	4393,58	10044,31	4396,22
Coli Fecal en 100 ml			226,71	283,08	1035,90	515,23
Turbiedad	3,4090909	64,127273	9,0425	5,86	13,7257143	19,232916
Nitratos	1,576	3,450	11,34	1,20	1,335	3,7798
SDT	31,718182	32,34	39,945455	39,77	26,9714286	34,148346
Temperatura	21,309091	18,472727	20,6	19,15	16,5142857	19,209221
Fosfatos (2005)	2,8					2,8
SST (2005)	28,041667					28,041667

