

**ESTUDIO DE LOS INDICADORES HIDROLOGICOS DE LA CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO EN EL MUNICIPIO DE CHOCONTA - CUNDINAMARCA.**

**ANDRES FELIPE DELGADO QUINTERO**

**LINA MARÍA GAMBA VALENZUELA**

**OSCAR IVAN SALAMANCA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS**

**BOGOTÁ D.C – 2019**

**ESTUDIO DE LOS INDICADORES HIDROLOGICOS DE LA CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO EN EL MUNICIPIO DE CHOCONTA - CUNDINAMARCA.**

**ANDRES FELIPE DELGADO QUINTERO**

**LINA MARÍA GAMBA VALENZUELA**

**OSCAR IVAN SALAMANCA**

**Trabajo de grado para obtener el título de Especialista en Recursos Hídricos.**

**ASESOR: JESÚS HERNESTO TORRES**

**INGENIERO CIVIL, MSC.**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS**

**BOGOTÁ D.C – 2019**



La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución 2.5 Colombia (CC BY 2.5)**  
Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/co/>

**Usted es libre de:**

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas
- hacer un uso comercial de esta obra



**Bajo las condiciones siguientes:**



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

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios primeramente por regalarnos la vida y la sabiduría para la realización de todos nuestros proyectos, a nuestros familiares por su comprensión y a la Universidad Católica y docentes por brindarnos herramientas para lograr un desarrollo sostenible del recurso hídrico en nuestro país.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO .....</b>	<b>11</b>
1.1	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	11
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.2.1	<i>Antecedentes del problema</i> .....	11
1.2.2	<i>Pregunta de investigación</i> .....	11
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	12
1.4	OBJETIVOS .....	13
1.4.1	<i>Objetivo general</i> .....	13
1.4.2	<i>Objetivos específicos:</i> .....	13
<b>2</b>	<b>MARCOS DE REFERENCIA .....</b>	<b>14</b>
2.1	MARCO CONCEPTUAL .....	14
2.2	MARCO TEÓRICO .....	14
2.3	MARCO JURÍDICO.....	19
2.4	MARCO GEOGRÁFICO.....	20
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>26</b>
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
5.1	DELIMITACIÓN DE LA CUENCA.....	29
5.2	PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO.....	30
5.2.1	PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO SAN FRANCISCO .....	31
5.2.2	CURVA HIPSOMÉTRICA .....	31
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS HIDROLÓGICO .....</b>	<b>32</b>
6.1.1	HOMOGENEIDAD Y CONSISTENCIA.....	33
6.1.2	COMPLEMENTACIÓN DE DATOS .....	34
6.1.3	DETERMINACIÓN DE DATOS ATÍPICOS.....	35
6.2	OFERTA HÍDRICA .....	35
6.3	DEMANDA HÍDRICA.....	38
<b>6.4</b>	<b>INDICADORES HIDROLÓGICOS.....</b>	<b>40</b>
6.4.1	ÍNDICE DE REGULACIÓN HÍDRICA - IRH .....	40
6.4.2	ÍNDICE DEL USO DEL AGUA –IUA.....	41
6.4.3	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD HÍDRICA - IVH.....	42

6.4.4	ÍNDICE DE ARIDEZ – IA .....	43
7.	ALTERNATIVAS .....	46
8.	CONCLUSIONES .....	47
9.	RECOMENDACIONES .....	49
10.	REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	50
11.	BIBLIOGRAFÍA .....	55

## LISTA DE FIGURAS

<i>FIGURA 1. TEMÁTICA DEL PROYECTO. FUENTE: PROPIA.</i> .....	14
<i>FIGURA 2. TEMÁTICA DEL PROYECTO. ELABORACIÓN PROPIA 2019.</i> .....	19
<i>FIGURA 3. ÁREA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA 2019</i> .....	20
<i>FIGURA 4. RESUMEN METODOLOGÍA DEL PROYECTO. ELABORACIÓN PROPIA, 2019.</i> .....	28
<i>FIGURA 5. DELIMITACIÓN Y PENDIENTES DE LA CUENCA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA, 2019.</i> .....	29
<i>FIGURA 6. PERFIL LONGITUDINAL DE LA CUENCA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA, 2019</i> .....	31
<i>FIGURA 7. CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA, 2019</i> .....	31

## LISTAS DE TABLAS

TABLA 1. <i>CATÁLOGO DE LAS ESTACIONES PARA LA CUENCA DE ESTUDIO.</i> .....	21
TABLA 2. <i>INDICADORES HIDROLÓGICOS.</i> .....	27
TABLA 2. <i>PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS.</i> .....	30
TABLA 3. <i>REGISTROS ANALIZADOS.</i> .....	32
TABLA 5. <i>REGISTROS MENSUALES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.</i> .....	37
TABLA 6. RESULTADOS ÍNDICES DE REGULACIÓN HÍDRICA - IRH .....	40
TABLA 7. TABLA DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULACIÓN HÍDRICA - IRH .....	40
TABLA 8. RESULTADOS ÍNDICE DEL USO DEL AGUA IUA .....	41
TABLA 9. TABLA DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULACIÓN HÍDRICA - IRH .....	41
TABLA 10. TABLA DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULACIÓN HÍDRICA - IRH .....	42
TABLA 11. RESULTADOS ÍNDICE VULNERABILIDAD HÍDRICO -IVH.....	43
TABLA 12. TABLA DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ - IA .....	44
TABLA 13. TABLA DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ - IA .....	45

## LISTAS DE GRAFICAS

<i>GRÁFICA 1.</i> CURVA DE DOBLE MASA. ELABORACIÓN PROPIA, 2019.....	34
<i>GRÁFICA 2.</i> CAUDALES MEDIOS ANUALES DE LA CUENCA DE ESTUDIO – ESTACIÓN LA IBERIA. ELABORACIÓN PROPIA, 2019. ....	36
<i>GRÁFICA 3.</i> DEMANDA TOTAL DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO SAN FRANCISCO. ELABORACIÓN PROPIA, 2019. ....	39
<i>GRÁFICA 4.</i> DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ DE LA CUENCA DEL RÍO SAN FRANCISCO. ELABORACIÓN PROPIA, 2019. ....	44

## LISTA DE ECUACIONES

<i>ECUACIÓN 1.</i> COMPLEMENTACIÓN DE DATOS POR RAZONES DE PROMEDIO. (PIZARRO, AUSENSI, & ARAVENA, 2009).	34
<i>ECUACIÓN 2.</i> DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DEL RECURSO HÍDRICO IRH. (IDEAM, 2012). ....	40
<i>ECUACIÓN 3.</i> DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DEL USO DEL AGUA IUA. (IDEAM, 2012). ....	41
<i>ECUACIÓN 3.</i> DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ. (FERNANDEZ PRIAS, 2015).....	43
<i>ECUACIÓN 5.</i> DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ. (IDEAM, FORMATO COMÚN DE HOJA METODOLÓGICA DE INDICADORES AMBIENTALES, 2014).....	45

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. VISITA A LA CUENCA MEDIA DEL RIO SAN FRANCISCO. FUENTE AUTORES.....	50
FOTOGRAFÍA 2. INGRESO DEL AFLUENTE AL EMBALSE DEL SISGA.....	51
FOTOGRAFÍA 3. INGRESO DEL AFLUENTE AL EMBALSE DEL SISGA.....	51
FOTOGRAFÍA 4. INGRESO DEL AFLUENTE AL EMBALSE DEL SISGA.....	51
FOTOGRAFÍA 5. UBICACIÓN ESTACIÓN LIMNIMETRICA LA IBERIA - PRIVADA .....	52
FOTOGRAFÍA 6. UBICACIÓN ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA LA IBERIA - PRIVADA.....	52
FOTOGRAFÍA 7. UBICACIÓN ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL LA IBERIA .....	53
FOTOGRAFÍA 8. UBICACIÓN ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA - PANONIA .....	53
FOTOGRAFÍA 9. CUENCA BAJA, DESCARGA DEL RIO SAN FRANCISCO AL EMBALSE SISGA.....	54
FOTOGRAFÍA 10. CUENCA ALTA DEL RIO SAN FRANCISCO.....	54



## **RESUMEN**

El presente documento tiene como fin el estudio de los indicadores hidrológicos del afluente Rio San Francisco del Embalse Sisga del municipio de Chocontá, departamento de Cundinamarca. Para estos análisis, en lo posible, se utilizaron registros medios mensuales multianuales y totales multianuales de caudal, temperatura y precipitación; respectivamente, de cuatro estaciones ubicadas en el municipio de Chocontá y Sesquilé - Guatavita. Los resultados permiten concluir que se encuentra con poca demanda y gran oferta del recurso hídrico lo cual nos permite evidenciar que se debe proteger este recurso a nivel socio-ambiental para el desarrollo sustentable de la cuenca.

Palabras claves: Indicadores de Regulación, Caudal, Precipitación, Cuenca Hidrográfica, Rio San Francisco.

## **ABSTRACT**

This document aims to study the hydrological indicators of the San Francisco River affluent of Sisga's Reservoir in the municipality of Choconta, Department of Cundinamarca. For these analyses, as far as possible, were used: monthly and multi-year average and multi-year total records of volume, temperature and precipitation of four stations located in Choconta and Sesquile municipalities respectively of Guatavita. The results able to conclude that it is an abundant supply and low demand of water resources, which supports evidence that this resource must be protected in social and environmental factors for the sustainable development of the watershed.

Keywords: Regulation indicators, Flow (volume), precipitation, watershed, The San Francisco River

## **INTRODUCCIÓN**

Este proyecto tiene como objeto determinar los indicadores hidrológicos de la cuenca del río San Francisco localizado en el municipio de Chocontá, Cundinamarca, mediante la evaluación de diferentes componentes hídricos utilizando como insumos información de índole meteorológico, demanda y oferta de la cuenca de la zona de estudio, concesiones otorgadas por la autoridad ambiental, que en este caso corresponde a la provincial Almeidas – Guatavita en jurisdicción de la C.A.R. y la definición de diferentes parámetros obtenidos en el resultado propio del proyecto.

De acuerdo con los valores de los indicadores hidrológicos determinados y en relación a los aspectos ambientales característicos del área de estudio se procede a determinar el impacto sobre el recurso hídrico para definir alternativas de gestión y uso sostenible del recurso.

# **1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO**

## **1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Este proyecto corresponde a la línea de investigación de gestión y tecnología para la sustentabilidad de las comunidades: Saneamiento de comunidades (Aguas).

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Antecedentes del problema**

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, existe gran variedad de estudios hidrológicos sobre cuencas del departamento de Cundinamarca, sin embargo estudios referentes a la determinación de oferta y demanda sobre la cuenca en estudio es escaso. Se encuentra el análisis del río San Francisco como cuenca abastecedora del embalse del Sisga en el municipio de Chocontá, el cual determina el comportamiento hidrológico de la cuenca de estudio en función de las coberturas y tipo de suelo características de las zonas y su respuesta en diferentes escenarios del uso del suelo (Salinas A. , 2017).

No se encuentra información documentada de la cuenca del río San Francisco en la que indique la cuantificación actual de la oferta – demanda y su impacto en los aspectos socio-ambientales que permitan determinar gestiones de administración y uso sostenible del recurso hídrico.

### **1.2.2 Pregunta de investigación**

¿Se presenta sobreexplotación del recurso hídrico de la cuenca del río San Francisco actualmente?.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La escasez del recurso hídrico es una problemática que está enfrentado el siglo actual. Con el fin de contrarrestarla, es necesario implementar un uso racional del recurso hídrico, para lo cual es necesario determinar la oferta hídrica y demanda y así, lograr un balance entre estos factores. Esta importancia de la determinación de la oferta hídrica y demanda radica como tal en el hecho de que, como ya es de conocimiento, este río abastece a varios municipios, y por tal razón, se hace necesario una planificación y un manejo integral de este recurso hídrico, lo cual permitirá obtener información más precisa en cuanto a la cuantificación del recurso hídrico, para así realizar una proyección que permita estimar, no solo si este recurso hídrico satisface la presente, sino también la futura demanda para las diversas actividades socioeconómicas en las cuales se basa la economía de los municipios aledaños a la cuenca del río San Francisco.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Estudiar los indicadores hidrológicos de la cuenca del Rio San Francisco ubicado en el municipio de Chocontá – Cundinamarca.

### **1.4.2 Objetivos específicos:**

- Analizar los aspectos fisiográficos de la cuenca San Francisco.
- Determinar la oferta, demanda y aspectos hidrológicos más representativos de la cuenca del río San Francisco.
- Realizar la evaluación de los posibles indicadores ambientales obtenidos.
- Proponer alternativas, si es el caso, para el mejoramiento ambiental del recurso hídrico de la cuenca en estudio.

## 2 MARCOS DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO CONCEPTUAL

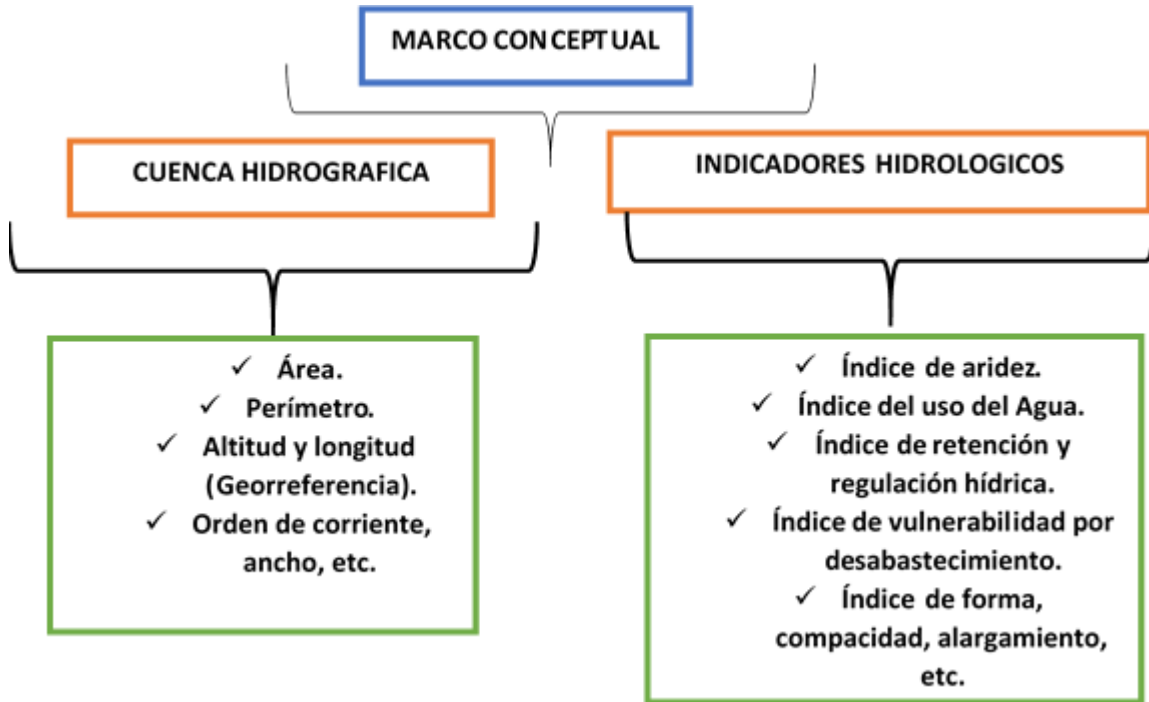


Figura 1. Temática del proyecto. Fuente: Propia.

### 2.2 MARCO TEÓRICO

El ciclo hidrológico consiste en el permanente movimiento del agua y su transformación de un estado a otro, dentro de la hidrosfera. (Ordoñez, 2011).

Como es un ciclo todo funciona de forma continua, es decir que no tiene principio ni fin, por lo tanto este proceso se puede comenzar explicando mediante las fuentes de agua más grandes del planeta, los océanos en donde gracias a la radiación del sol, el agua se evapora y pasa a ser parte de la atmósfera convirtiéndose en vapor de agua, la cual se condensa y vuelve a caer a la superficie terrestre o los océanos a través de la precipitación, cuando cae esta agua, pueden suceder dos procesos, primero que sea interceptada por la vegetación y se convierta en flujo superficial y descargar en los ríos como escorrentía o puede infiltrarse a través del suelo y convertirse en recarga de aguas subterráneas, iniciando el ciclo de nuevo. (CHOW, 1994)

Como se pudo observar en la definición anterior de ciclo hidrológico, hay dos tipos de forma en que se puede encontrar el agua en el planeta, de forma superficial y subterránea.

El agua superficial es producto de la precipitación que es transformada en escorrentía sobre la superficie del terreno y llega al sistema de drenaje. (Puyol, 2006).

Esta escorrentía superficial es una expresión material de la oferta hídrica, la cual consiste en el volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. Al cuantificar la escorrentía superficial a partir del balance hídrico de la cuenca, se está estimando la oferta de agua superficial de la misma. (IDEAM, 2014).

Para el cálculo de la oferta, existen tres aproximaciones basándose en la información disponible y las características físicas de la cuenca, el primero consiste en un balance hídrico, es decir igualar las entradas y las salidas del ciclo hidrológico ( $\text{Precipitación} = \text{Escorrentía}$ ), este método se aplica cuando hay registros mayores a 10 años. (IDEAM, 2004).

El segundo método consiste en la conversión de los caudales registrados en las estaciones limnimétricas en escorrentía mediante una relación caudal área y la aplicación del índice de variabilidad, el cual se define como el índice mediante el cual se relaciona la variación del caudal medio que presenta una cuenca hidrográfica, durante un periodo de tiempo y se aplica cuando los registros son menores a dos años y el último método consiste en la relación de la profundidad total de la precipitación con la escorrentía, teniendo en cuenta la clasificación hidrológica de los suelos. (IDEAM, 2014).

Así como existe una oferta del recurso hídrico, también existe una demanda, la cual se define como en la 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 (IDEAM, 2014).

Para la determinación de la demanda existen metodologías, según la disponibilidad de información, la primera es cuando existe información medida y consiste en la sumatoria de las demandas sectoriales.

La segunda metodología se emplea en el caso de que no exista información, para este escenario es necesario determinar el volumen de agua demandada mediante el volumen de la producción sectorial y un factor de consumo de agua, el último método se basa en el escenario de que existe información, pero no es suficiente, en este caso se implementa la información existente y la faltante es necesario estimarla. (IDEAM, 2004).

Para la comprensión del proyecto, se referencian a los principales conceptos y teorías relacionadas con el tema de estudio, correspondientes a las definiciones relacionadas con la cuenca hidrográfica, índice de aridez, índice de regulación hídrica, índice del uso del agua, sostenibilidad y recurso hídrico y finalmente sobre los sistemas de información geográfica, SIG.

**Hidrografía:** Identificación, descripción y especialización de la red hidrográfica de las subzonas hidrográficas y subcuencas (datos morfométricos por subcuencas), igualmente se deben caracterizar los sistemas de drenaje, a través de índices tales como jerarquización del drenaje, índice de drenaje y patrón de drenaje. (AMBIENTE, 2014).

**Cuenca hidrográfica:** Área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (Colombia. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.)

**El Índice de Aridez (IA):** es una característica cualitativa del clima, que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región (El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 2010).

**El Índice del Uso del Agua (IUA):** corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual) y por unidad espacial de subzona hidrográfica y cuencas abastecedoras de acueductos en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espaciales. (El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010).

**El Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH):** Este índice evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales por lo cual permite evaluar la capacidad de regulación del sistema en general. (Colombia, s.f.).



**Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento – IVH:** Grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno del Niño que podría generar riesgos de desabastecimiento. (Colombia, s.f.).

**Índice de Martonne - Aridez:** es igual a la Precipitación sobre la temperatura; este último más diez; para realizar el cálculo del índice de aridez anual. (FERNANDEZ PRIAS, 2015)

**Área (A):** Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; determinada como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. (RODRÍGUEZ AMAYA & NARVÁEZ SABOGAL, 2018).

**Perímetro (P):** El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea divisoria de la hoya es un parámetro importante, en conexión con el área, nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca. (RODRÍGUEZ AMAYA & NARVÁEZ SABOGAL, 2018).

**Altitud Media (H):** Este parámetro corresponde a la ponderación de las altitudes de la cuenca, enmarcadas por las áreas parciales entre curvas de nivel adyacentes obtenidas en la carta o mapa topográfico hasta cubrir la superficie total de la cuenca. (RODRÍGUEZ AMAYA & NARVÁEZ SABOGAL, 2018).

**Longitud del cauce principal (Lp):** Es la medida del cuerpo de agua principal que le da nombre a la cuenca de estudio normalmente expresado en Km, para la medida de este parámetro se toma como punto de partida la parte más alta hasta la salida. (RODRÍGUEZ AMAYA & NARVÁEZ SABOGAL, 2018).

**Orden de Corriente:** Este índice refleja el grado de bifurcación o ramificación de un cauce o como tal la estructura de la red de drenaje. (RODRÍGUEZ AMAYA & NARVÁEZ SABOGAL, 2018).

**Ancho de la cuenca:** el paramento que define el ancho de la cuenca está definido por la relación entre el área y la longitud del cauce mayor. (Colombia, s.f.).

**Índice de forma:** El índice de forma indica que tan alargada o que tan redondeada es una cuenca, para determinar este factor se analiza la relación entre el ancho de la cuenca y la longitud del cauce mayor. (Colombia, s.f.).

**Índice de compacidad:** El índice de compacidad es la relación que tiene el perímetro de la cuenca respecto al perímetro de un círculo que tiene la misma área de la cuenca de estudio, para encontrar este índice primero se calcula el radio de un círculo con igual área despejando este valor de la ecuación de área de un círculo y se compara con el perímetro de la cuenca. (Colombia, s.f.).

**Índice de alargamiento:** Se tiene que el índice de alargamiento es la relación entre la longitud máxima de la cuenca y el ancho máximo de la cuenca. (Colombia, s.f.).

**Coefficiente de compacidad (Gravelius):** Este valor adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de  $K_c$  nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea  $K_c$ , mayor será la concentración de agua.

Clase  $K_c1$ : Rango entre 1 y 1.25. Corresponde a forma redonda a oval redonda.

Clase  $K_c2$ : Rango entre 1.25 y 1.5. Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga.

Clase  $K_c3$ : Rango entre 1.5 y 1.75. Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.

Clase  $K_c4$ : Rango mayor a 1.75. Corresponde a forma rectangular oblonga.  $K_c$ : Coeficiente de compacidad de Gravelius.

**Curva hipsométrica:** la curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca y se obtiene a partir de un plano topográfico tomándose los valores en porcentaje del área que están por debajo de una determinada altura, que inicialmente será la del punto más bajo de la cuenca e ira aumentando de acuerdo a los valores de la cota de las curvas de nivel que encierra las franjas del terreno por ellas definidas y el punto de salida que es generalmente el sitio más bajo de la cuenca (villon,2002). Se divide en tres zonas como:

1. Zona donde predomina la producción de sedimentos (ríos jóvenes).
2. Zona donde predomina el transporte de ambos.
3. Zona caracterizada por la deposición de sedimentos (ríos en etapas de vejez).

## 2.3 MARCO JURÍDICO

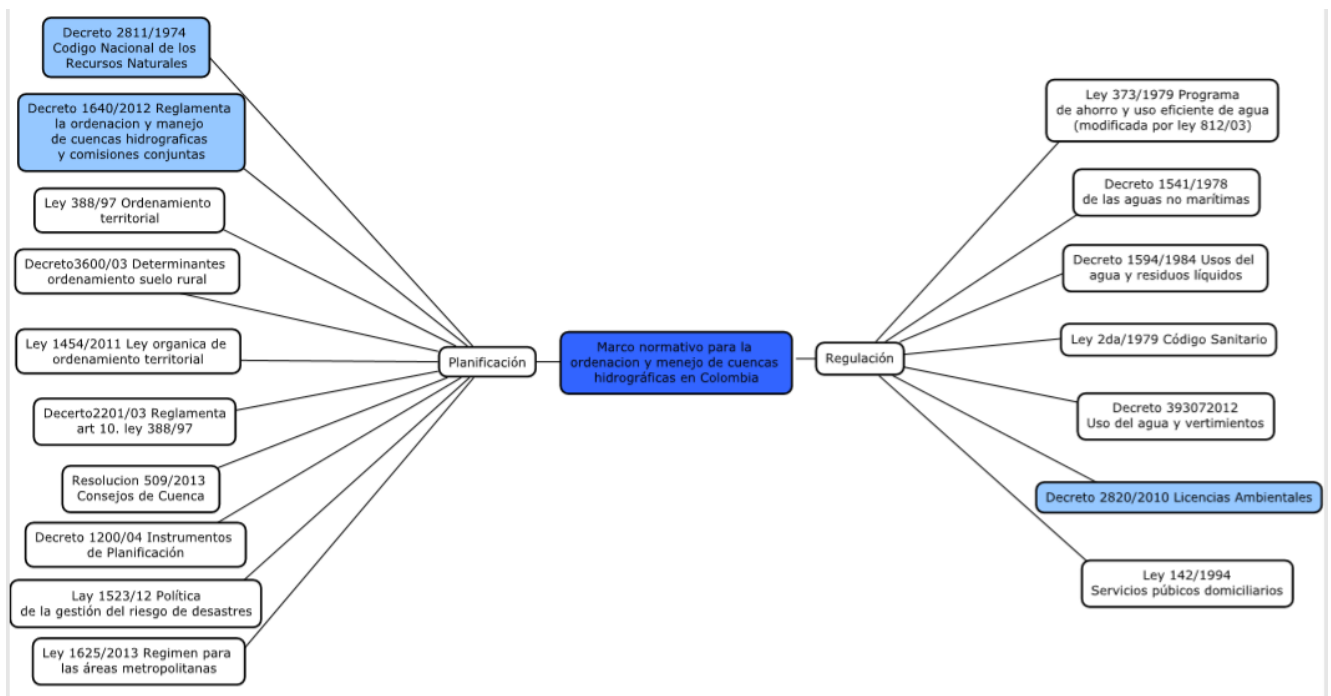


Figura 2. Temática del proyecto. Elaboración Propia 2019.

## 2.4 Marco geográfico

La cuenca en estudio pertenece al Rio San Francisco afluente del Embalse del Sisga, ubicada en el municipio de Chocontá departamento de Cundinamarca; donde tiene jurisdicción la provincial de Almeidas y Municipio de Guatavita perteneciente a la Corporación Autónoma de Cundinamarca – CAR y estaciones del IDEAM; referenciadas para la búsqueda de información de la cuenca en estudio. El rio San Francisco es el mayor aportante del embalse Sisga. (Salinas A. , 2017).

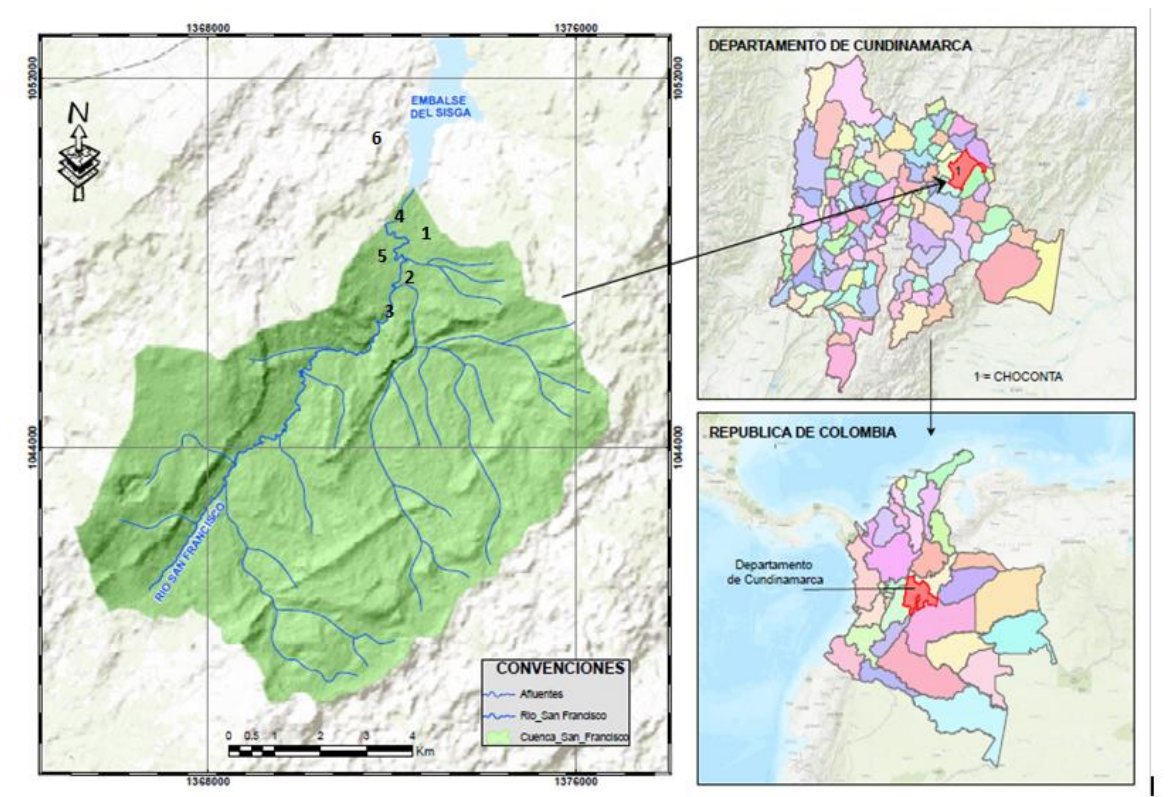


Figura 3. Área de estudio. Elaboración Propia 2019.

Se realizó la investigación del catálogo de las estaciones del IDEAM y CAR se realizó el filtro dentro de la jurisdicción de la cuenca en estudio identificando el grupo de estaciones pertinentes para el análisis:

Tabla 1. *Catálogo de las estaciones para la cuenca de estudio.*

N°	NOMBRE	CATEGORIA	LATITUD	LONGITUD	CODIGO	PROPIEDAD	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO
1	la iberia	Hidrometereologia	5°1'46,41	73°43'34,40	16007	PRIVADA	CHOCONTA	CUNDINAMARCA
2	la iberia	Climatologia Principal	5°03'3333	73°7'16667	2120548	CAR		
3	Cadillal	Limnigrafica	5°00	73°57	2120877	CAR		
4	Panonia	Pluviometrica	5°05'797222	73°73'433333	21200160	IDEAM		
5	la iberia	Limnigrafica	5°02'8611	73°72'6111	21207003	IDEAM		
6	Sisga	Climatologia Ordinaria	5°05	73°44	212659	CAR		

Fuente: Elaboración Propia 2019.

Con base a la Figura 3, se observa que en el área de estudio correspondiente a la cuenca alta del rio San Francisco no se encuentran estaciones de ningún tipo, sin embargo aguas abajo correspondiente a la cuenca media y baja se encuentran las diferentes estaciones caracterizadas en la Tabla 1.

### **3. ESTADO DEL ARTE**

#### **Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano.**

En este trabajo se presentan datos actualizados sobre la oferta hídrica Colombiana y la demanda potencial de agua por parte de los distintos sectores productivos. La relación demanda/oferta de agua es utilizada como indicador del nivel de presión sobre los recursos hídricos y es expresada, en forma porcentual, a través del Índice de Escasez de Agua Superficial. Este índice aplica reducciones sobre la oferta hídrica disponible para expresar los efectos restrictivos de la variabilidad temporal y de la severidad del periodo de estiaje en las corrientes superficiales de las distintas regiones naturales. Para caracterizar los años de humedad normal y baja se construyeron escenarios de oferta hídrica modal y de probabilidad de excedencia del 95%. También se proyectaron los niveles de demanda y oferta superficial de agua al año 2025. Los resultados obtenidos reorientan la atención sobre la problemática del recurso hídrico colombiano hacia los conflictos por uso del territorio ocasionados por la concentración poblacional y de los sectores productivos en sectores de baja oferta de agua. A la luz de este enfoque, los problemas de infraestructura para la gestión de un recurso escaso, altamente presionado y de fuerte variabilidad temporal, emergen como un factor clave para evitar una crisis latente en la gestión de los recursos hídricos. (Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano, 2008).

#### **Estudio hidrológico e hidráulico en la zona baja de la cuenca del río frío en el municipio de Chía.**

En este trabajo se desarrolló inicialmente el estudio de la hidrología de la subcuenca del río mencionado que abarca los municipios de Tabio, Cajicá y Chía, para conocer las características de la misma, en cuanto a forma, sistema de drenaje, precipitación media, pendiente de la cuenca y caudales. En segundo lugar se realizaron visitas de campo en las que se identificaron y levantaron topográficamente las estructuras construidas, que fueron analizadas mediante conceptos básicos de la ingeniería hidráulica. Una vez obtenida esta información se procesó en software especializado para el análisis hidrológico e hidráulico, como lo son SMADA y HEC-RAS, por medio de los cuales se obtuvieron caudales máximos y alturas de las láminas de agua en diferentes periodos de retorno para cada uno de los sitios analizados. Después de

realizar el procesamiento y análisis de la información se pudo determinar que las estructuras consideradas cumplen su función de contener el volumen de agua, en el caso de que se presentara una creciente de hasta 100 años; minimizando el riesgo de inundación en los sectores estudiados. (Pérez & Johanna, 2016).

### **Cálculo del índice de escasez de la cuenca del río Opía - departamento del Tolima**

El presente trabajo tiene como objetivo calcular el Índice de escasez de la cuenca del Río San Francisco ubicada en el departamento de Cundinamarca aplicando la metodología expuesta en la resolución 865 del 2004 por el Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, en la cual relaciona la oferta y demanda neta del agua, para lo cual se consideraron dos escenarios: el primero cuando hay información disponible de demanda hídrica con respecto a concesiones de agua; y el segundo cuando no se tiene esta información y es necesario ir a métodos indirectos utilizando información secundaria como lo es, cartografía de cobertura de la tierra, datos de precipitación, evapotranspiración (ETP) y coeficientes teóricos según la cobertura.

Estos Análisis muestran una alta presión sobre el recurso que evidencia la necesidad de una gestión urgente y efectiva sobre el mismo, en épocas donde los fenómenos de anomalía climática cada vez son más frecuentes afectando directamente la oferta del recurso y poniendo en riesgo la sostenibilidad del ecosistema y el desarrollo de la región; por otro lado también se evidenciaron limitaciones que normalmente se presentan en la cuantificación de la demanda generando así sesgos en los resultados. (Gutierrez, Mena, & Muñoz, 2015).

### **Linking the physical and the socio-economic compartments of an integrated water and land use management model on a river basin scale using an object-oriented water supply model.**

Este artículo desarrolla un modelo del sector de suministro de agua para los cambios a largo plazo en el ciclo del agua de la cuenca del río Alto Danubio a la luz del cambio global. Para este propósito, se ha desarrollado el sistema de apoyo a la decisión DANUBIA, que comprende 15 modelos completamente acoplados. Dentro de DANUBIA, el modelo de suministro de agua ('WaterSupply') forma el vínculo entre varios modelos físicos que determinan la calidad y disponibilidad del agua y varios modelos socioeconómicos que determinan el consumo y la demanda de agua. Con un enfoque central en el suministro público de agua potable, su propósito es simular correctamente el sistema actual de extracción y distribución de agua y los costos relacionados, pero también permitir una respuesta significativa a posibles

cambios futuros de las condiciones de la frontera, ante todo cambios en el agua Demanda o disponibilidad de agua y calidad. (Nikel, Meleg, Braun, & Trifkovic, 2005).

### **Proposing water balance method for water availability estimation in Indonesian regional spatial planning**

Este artículo revisa la literatura en métodos de estimación de estimación de agua que es descriptiva y presenta argumentos para afirmar que el método de balance de agua es una herramienta más fundamental y apropiada en el agua. Un mejor método de estimación de la disponibilidad de agua serviría para mejorar la práctica en la preparación de formulaciones del Plan espacial regional (RSP), así como para evaluar la capacidad de uso de la tierra para proporcionar recursos hídricos sostenibles. (Soeryantono, Sutjiningsih, & Kusratmoko, 2018).

### **Assessment of the wáter supply: demand ratios in a Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives**

El presente informe tiene como objetivo solucionar el problema del suministro de agua en la cuencas críticas de Colombia, el MINIAMBIETE y la Universidad Javeriana formularon las bases técnicas para la gestión del suministro del recurso, mediante la caracterización geofísica básica de las cuencas mediante el software GIS, para el balance hidrológico, se presentó el modelo de Thomas (abed). A demás se tiene en cuenta el caudal ecológicos mínimo y lo requisitos mínimos para el control de la calidad del agua en los arroyos. La demanda se calcula espacialmente para saber cómo debe distribuirse el recurso hídrico en las cuencas. Con los resultados del balance hídrico y la demanda del agua, se propone un sistema de apoyo a la decisión que uno tanto los resultados técnicos como el conocimiento experto de los habitantes

### **An integrated indicator base don basin hydrology environment, life, and policy: the watersehd sustainability index**

El presente informe expone una metodología basada en la presión-estado-respuesta como un indicador de sostenibilidad de cuencas hidrográficas (WSI). Este fue desarrollado a un cuenca de 2.200 Km<sup>2</sup> en Brasil, Al valor obtenido fue de 0,65 que representa un nivel intermedio de sostenibilidad de la cuenca. (Alipaz & Henrique, 2006).



## **Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin, North-Central Chile**

El índice WSI, desarrollado para estimar la sustentabilidad de una cuenca en forma integrada con énfasis en la gestión de recursos hídricos, fue determinado en la Cuenca del Río Elqui considerando un período de 5 años (2001-2005). La cuenca del Río Elqui se ubica en una región semiárida de Chile, y ha sido incorporada a la red de cuencas hidrográficas del programa HELP de la UNESCO. El resultado fue un valor global de 0.61 para el indicador WSI (en el rango de 0 a 1), calificando el nivel de sustentabilidad como “intermedio”. Las mayores fortalezas de la cuenca se relacionaron con los indicadores de Ambiente y de Políticas. Por otro lado, las mayores debilidades observadas en la cuenca se relacionaron con el indicador de Hidrología, debido principalmente a la situación de escasez hídrica. (Ana Elizabeth, y otros, 2012).

## **4. METODOLOGÍA**

La metodología del estudio de los indicadores hidrológicos de la cuenca del río San Francisco se va realizar en cuatro (4) etapas descritas a continuación:

### **Etapla 1: Información obtenida (Primaria y secundaria).**

Se realiza la investigación de primaria y secundaria de los estudios realizados a la cuenca en estudio, visitas a campo evidenciando el componente ambiental de la zona, gestión de información a las autoridades ambientales: IDEAM, CAR, y Privadas de información relevante para el desarrollo del proyecto e Investigar los posibles indicadores hidrológicos aplicables para la obtención de resultados apropiados del proyecto en curso.

### **Etapla 2: Análisis preliminar de los aspectos hidrológicos en estudio.**

Para efecto del cálculo de la oferta hídrica del río San Francisco se dispondrá de la metodología de caudal medio puntual en las corrientes de interés establecida por el IDEAM (2004). La elección de este método se debe a la información disponible, el cual se utiliza cuando los registros de caudal son series cortas o no confiables.

### **Definición de la oferta hídrica.**

Este método consiste en conocer el caudal disponible de utilización de una corriente, para lo cual es necesario conocer los caudales mínimos, medios y máximos de la subcuenca, los cuales serán obtenidos de la estación Limnimetricas. Posteriormente, con base en los caudales medios, se realizará la curva de duración de caudales medios diarios, la cual permite observar la variabilidad de los caudales en el tiempo y tener un mejor conocimiento en el manejo de la disponibilidad del agua, permitiendo explicar la relación demanda-oferta.

Para el cálculo del caudal de la oferta se toma el 50 % de frecuencia de la Curva de Duración de Caudales y el caudal ecológico el cual es el 25 % del caudal mínimo mensual de la cuenca.

## **Determinación de la demanda superficial hidrográfica del río San Francisco en Cundinamarca.**

Para la determinación de la demanda superficial de la subcuenca hidrográfica del río San Francisco se dispuso de la información ofrecida por el IDEAM (2004), el cual ofrece tres diferentes tipos de escenarios para el cálculo de la demanda según la existencia y confiabilidad de la información. Los resultados aquí obtenidos, se encuentran representados mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), específicamente ArcGis.

### **Relación Oferta – Demanda.**

Para realizar el análisis de la relación oferta – demanda implementaron dos metodologías, la primera consiste en un Balance Oferta- demanda y la segunda en la evaluación mediante el Índice de Escasez.

### **Indicadores en estudio con la metodología apropiada de los diferentes estudios nacionales y de entidades a ser evaluados y adoptados, si es el caso, a nuestra área de estudio:**

Tabla 2. *Indicadores Hidrológicos.*

<b>PERSPECTIVA ACTUAL DEL RECURSO HIDRICO</b>
Índice de Escasez.
Índice de Regulación Hídrica (IRH).
Índice de Aridez (IA).
Índice de Uso del Agua (IUA).
Índice de calidad del agua (ICA).
Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH).

Fuente: (Betancourt Lady, 2017).

### **Etapas 3: Análisis y cálculo de los posibles indicadores hidrológicos.**

Una vez obtenida la información procedemos mediante análisis y cálculos de los diferentes aspectos e indicadores obtenidos mediante programas de ARGIS y tablas dinámicas de Excel.

### **Etapas 4: Proponer alternativas - entrega de resultados.**

Se entregarán mediante gráficas, tablas e imágenes los resultados obtenidos del proyecto en curso con sus debidos análisis y conclusiones que se lograron en el desarrollo del proyecto.

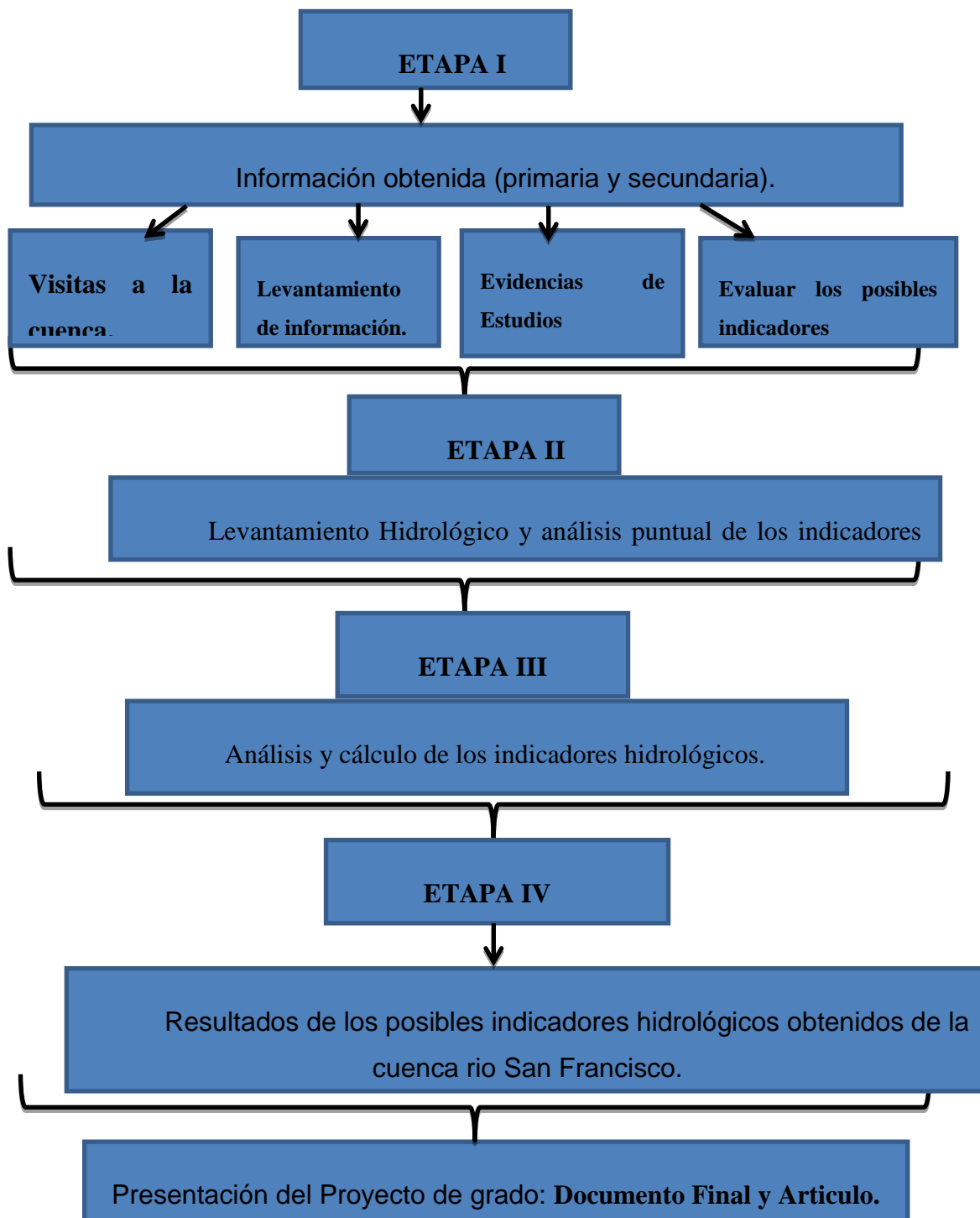


Figura 4. Resumen metodología del proyecto. Elaboración propia, 2019.

## 5. ANALISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Delimitación de la cuenca

Una vez determinada nuestra área de estudio y cartográfica pertinente se determinó que la cuenca del río San Francisco; presenta un área total de 73.48 Km<sup>2</sup>.

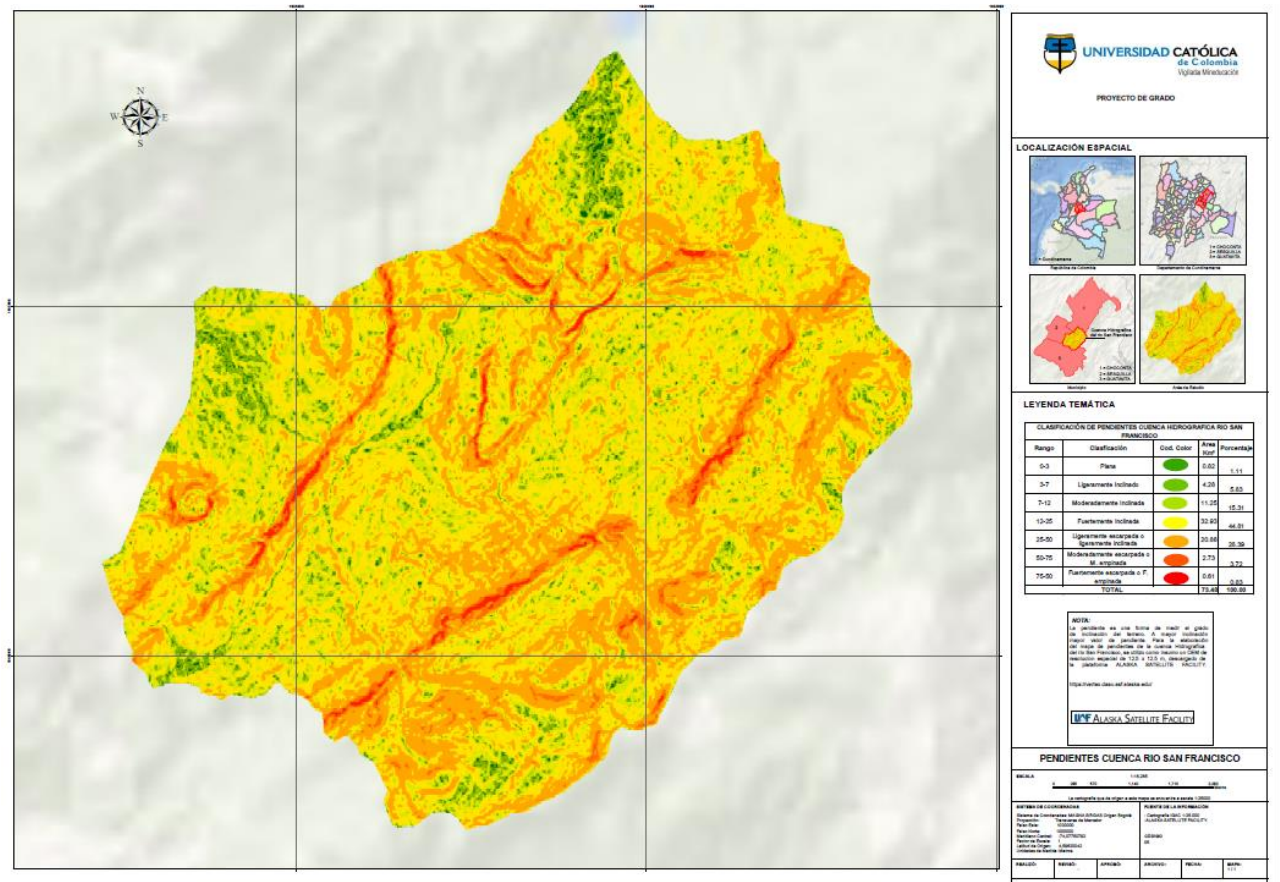


Figura 5. Delimitación y pendientes de la cuenca de estudio. Elaboración propia, 2019.

De acuerdo a la Figura 5 y en función a la clasificación de las pendientes de la cuenca se clasifica con un 44.81 % de su área fuertemente inclinada, seguido de un 28.39 % ligeramente escarpada o ligeramente inclinada, un 15.31 % moderadamente inclinada, un 5.83% ligeramente inclinada, un 3.72 % moderadamente escarpada, un 1.11 % plana y finalmente con 0.83 % fuertemente escarpada.

## 5.2 Parámetros morfométricos de la cuenca del río San Francisco

El área en estudio se caracteriza por poseer altas pendientes en la cuenca alta, el río San Francisco tiene una forma ensanchada, casi redonda a oval redonda; moderadamente alargada.

Tabla 3. *Parámetros morfométricos.*

CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS DE LA CUENCA			
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR	CLASIFICACION
Área (A)	km <sup>2</sup>	73.48	
Perímetro (P)	km	37.70	
Longitud axial (La)	km	16.88	
Longitud de Drenajes (Ln)	km	72,57	
Índice de Alargamiento		1,61	Moderadamente alargada
Pendiente media de la cuenca (Pm)	%	22.23	Fuerte
Factor de la forma kf		0.62	Ensanchada
Coefficiente de compacidad gravelius (Kc)		1.24	Casi redonda a Oval redonda
Tiempo de concentración (Tc)_Kirpich		1.61	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Con base a los resultados registrados en la Tabla 2, la cuenca del Río San Francisco presenta características de flujo moderado, donde el coeficiente de compacidad hallado presenta un valor de 1.24 lo que la caracteriza a la cuenca de forma redonda a oval redonda, lo que infiere que la cuenca tiene un baja probabilidad de presentar eventos de caudales de crecida; así mismo posee una forma alargada, indicando que la cuenca presenta concentraciones mínimas de volúmenes de escorrentía. Con respecto al tiempo de concentración determinado, se requiere 96.6 minutos para aportar agua de escorrentía al embalse del Sisga. En el Anexo 1, se describe los cálculos de los parámetros calculados.

Por otra parte la pendiente media corresponde a un valor del 22.23% que se según, (CORTOLIMA, s.f.) se clasifica como pendiente alta, la cual indica que la cuenca presenta procesos erosivos de la asociados al relieve pronunciado, lo que la hace altamente drenada. Por lo tanto, se puede inferir que la velocidad del agua es alta en épocas húmedas y secas.

### 5.2.1 Perfil longitudinal del rio san francisco

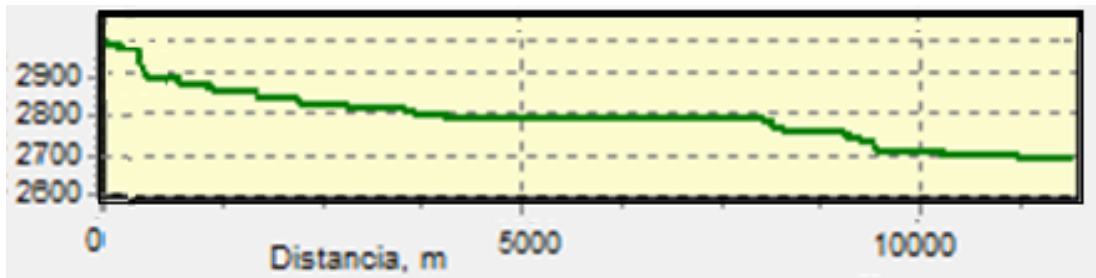


Figura 6. Perfil longitudinal de la cuenca de estudio. Elaboración propia, 2019.

De acuerdo a la Figura 6, se observa la relación entre altitud y las distancias de la cuenca de estudio. Lo cual se identifican altas pendientes en sus primeros kilómetros de recorrido y descensos hasta los 2700 m.s.n.m, cabe resaltar que presenta un trayecto plano de aproximadamente 350 m para una altitud de 280 m.s.n.m, lo cual infiere que para este trayecto hay disposición de sedimentos y existe una alta probabilidad de ocasionar crecientes durante las tiempos húmedos.

### 5.2.2 Curva hipsométrica

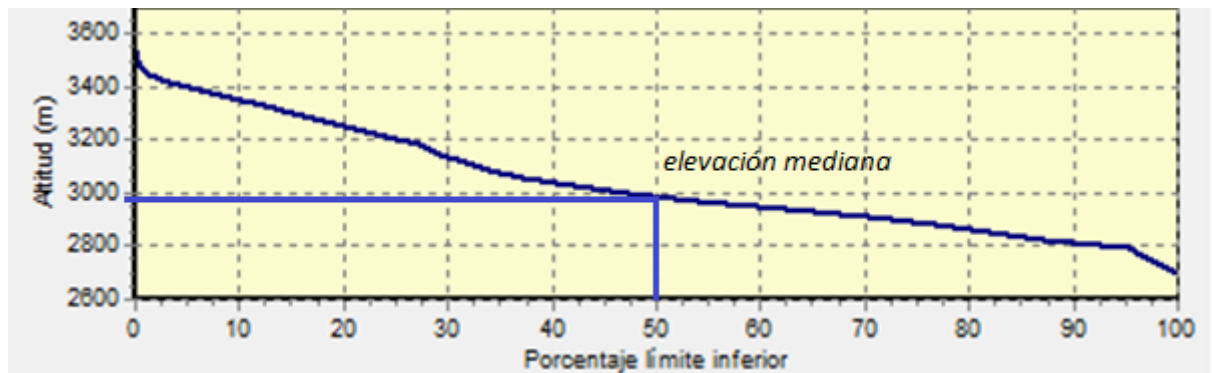


Figura 7. Curva Hipsométrica de la cuenca de estudio. Elaboración propia, 2019.

Con base a la Figura 7, se define que la cuenca de estudio es sedimentaria y se encuentra en una fase de vejez, así mismo se observa el punto de inflexión a la altura de los 2.900 m.s.n.m. en donde se alcanza el 50% del área de la cuenca.

## 6. ANALISIS HIDROLOGICO

Para determinar las características hidrológicas del río San Francisco, se procedió a identificar las estaciones hidrológicas establecidas en el área de estudio mediante la base de datos suministrada por el por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM, se verificó que las estaciones hidrológicas existentes corresponden a dos estaciones limnigráficas – LG identificadas como La Iberia y Cadillal y dos Climatológicas principales - CP identificadas como La Iberia y Panonia, las cuales se localizan en la *Figura 3*.

Las estaciones seleccionadas para determinar las características hidroclimáticas e hidrológicas del área de estudio cumplen con registros históricos homogéneos mayores a 15 años (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014b), de los cuales se utilizaron datos de caudal medio registrados en el período de 1993 a 2018, datos de temperatura media que abarcan el periodo de 1966 a 2015 y datos de precipitación correspondientes al año 1985 hasta el 2015 así mismo, las series de datos se encuentran por encima del 80% (Organización Meteorológica Mundial., 2011b). Con base lo anterior, se concluye que se cuenta con información suficiente de las estaciones con un rango de datos disponibles que varían entre 302 y 341 registros dependiendo de la estación como se indica en la Tabla 3, lo cual proporciona unos niveles altos de confiabilidad en la calidad de la información equivalente a un rango entre el 89% y 99% respectivamente. Los datos estaciones contempladas para el proyecto de investigación se encuentran en el Anexo 1.

Tabla 4. Registros analizados.

ESTACION	CATEGORIA	CAUDAL MEDIO		PRECIPITACION TOTAL MENSUAL		TEMPERATURA MEDIA	
		DATOS					
		D	F	D	F	D	F
La Iberia	HM						
La Iberia	CP			561	3		
La Iberia	LG	302	10			539	36
Cadillal	LG	341	7				
Panonia	PM			410	10		

D: Disponible; F: Faltante

Fuente: Elaboración propia, 2019.

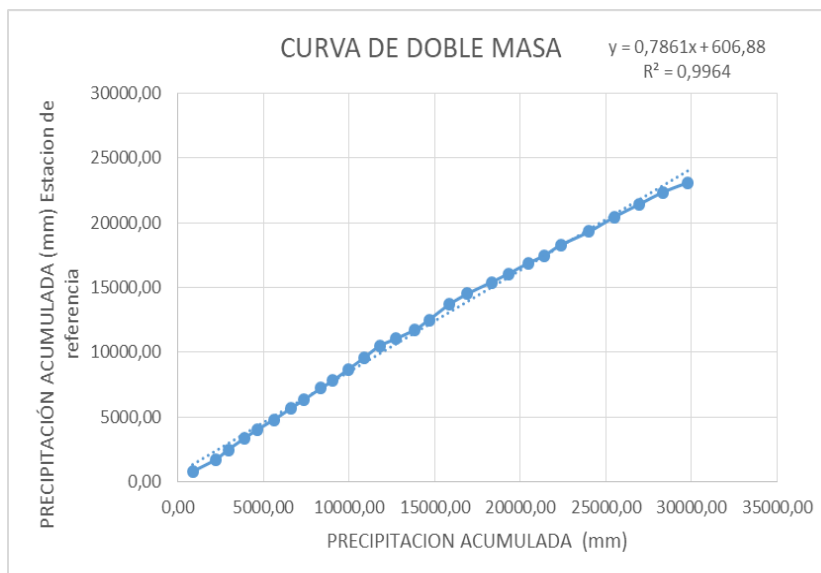


Para la selección de las estaciones CP, PM, que suministren datos de precipitación, se tuvo en cuenta las siguientes condiciones: la primera corresponde a su ubicación en el área de estudio descrita en la Figura 3 y la segunda condición se tuvo en cuenta el registro y almacenamiento de datos de precipitación empleado por cada estación.

Con base a la ubicación en el área de estudio se observó que dentro del área de estudio solo se encuentran estaciones en la cuenca baja del Rio San Francisco, en donde existen, una (1) estación Climatológica principal – CP y una (1) estación pluviométrica (localizadas aguas abajo de la cuenca del Rio San Francisco), las cuales condicionan la representatividad de los datos del área de estudio. Por otro lado, mediante visita técnica se inspeccionó el funcionamiento de cada una de estas dos estaciones en donde se encontró que en la estación La Iberia el registro y almacenamiento de datos se realiza de manera digital y en la estación Panonia el registro y almacenamiento de los datos se realiza de manera manual que de cierta manera y en comparación con las series de precipitación registradas por la estación CP de la Iberia difieren significativamente. Por lo anterior, se definió que la estación de influencia del área de estudio corresponde a la estación CP La Iberia.

### **6.1.1 Homogeneidad y consistencia**

Este análisis se realizó a las variables de precipitación total mensual en los períodos indicados en el Anexo 1 Curva de doble masa, aplicando la correlación lineal entre las dos (2) estaciones seleccionadas (análisis de dobles masas). En virtud de lo anterior, se obtuvo como resultado un valor de coeficiente de  $r$  cuadrado de 0.996, lo que permiten concluir el grado de proporcionalidad entre las series de datos, lo que da cuenta de la calidad y confiabilidad de los datos para generar un estimado aproximado de un eventual dato faltante. Los resultados obtenidos del análisis de dobles masas entre estaciones se presentan en la Grafica 1.



Gráfica 1. Curva de doble masa. Elaboración propia, 2019.

### 6.1.2 Complementación de datos

Para la complementación de los datos faltantes en un determinado mes de precipitación total mensual se empleó la complementación de datos por razones promedio por medio de la siguiente ecuación.

$$P_x = \frac{\bar{P}_x}{N} * \left[ \frac{P_A}{P_A} + \frac{P_B}{P_B} + \dots + \frac{P_N}{P_N} \right]$$

Ecuación 1. Complementación de datos por razones de promedio. (Pizarro, Ausensi, & Aravena, 2009).

Donde:

$P_x$ ... $P_A$ , $P_X$ , $P_N$ : corresponde al promedio normal de las precipitaciones anuales registradas en un período común para las N estaciones.

X;  $P_A$ ,  $P_B$ ,... $P_N$  = es la precipitación en las N estaciones durante el período que falta en X.

Con base a la ecuación anterior, esta permite realizar la estimación de datos de precipitación mensual filtrante en función de las precipitaciones de un periodo de estudio y precipitaciones (Pizarro et al, 1993).

Los resultados obtenidos de la complementación de datos faltantes se presentan en el Anexo 4.

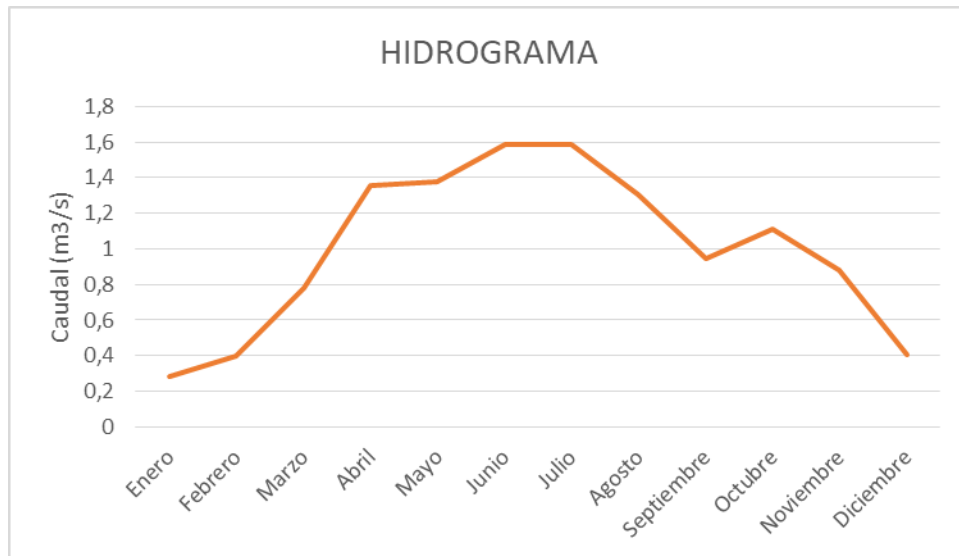
### **6.1.3 Determinación de datos atípicos**

Para la determinación de los datos atípicos de las variables de precipitación total mensual y temperatura media se realizaron los diagramas de cajas y bigotes, los cuales permiten identificar la dispersión o concentración de los datos analizados y así establecer que datos se encuentran por fuera de los límites calculados. Con base a los diagramas realizados, se puede inferir que la distribución mensual de datos se ubica proporcionalmente por encima y por debajo de la mediana (Quartil 2); no obstante se destaca que para el mes de junio los valores de precipitación mensual multianual registrados en la estación La Iberia oscilan entre 39 a 254 mm y para el mes de julio los valores de precipitación mensual multianual registrados en la estación Panonia varían entre 0 a 363,41 mm.

Así mismo, el diagrama describe un comportamiento monomodal, siendo junio - julio los meses más húmedos, registrando precipitaciones con valores de 363,41 mm y enero - febrero correspondientes a los meses más secos registrando valores de 67.80 mm en la cuenca del río San Francisco. Los diagramas de cajas y bigotes de las respectivas estaciones se presentan en el Anexo 5.

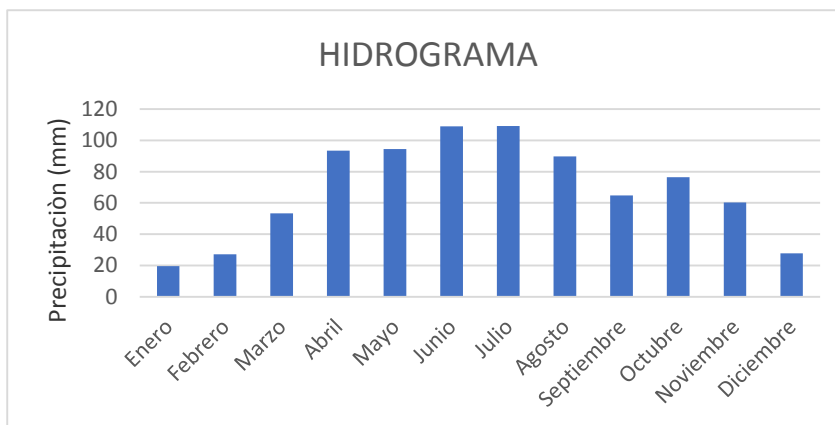
## **6.2 Oferta hídrica**

Para la estimación de la oferta hídrica total y disponible de la cuenca del río San Francisco, se emplearon los datos de caudales medios anuales de la cuenca de estudio, registrados para los periodos de 1993 A 2018. A continuación se presenta el hidrograma de la cuenca del río San francisco.



Gráfica 2. Caudales medios anuales de la cuenca de estudio – estación La Iberia. Elaboración propia, 2019.

Con base a la Grafica 2, se observa la variación del caudal medio anual de la cuenca del río San Francisco para un periodo de tiempo de 25 años, en donde se presenta un comportamiento monomodal influenciado por el régimen de precipitación del área de estudio, como se relaciona en la Grafica 3, evidenciándose que el caudal máximo de la cuenca corresponde a un valor de 1.586 m<sup>3</sup>/s para el mes de julio y un caudal mínimo de 0.285 para el mes de enero.



Gráfica 3. Régimen de precipitación de la cuenca de estudio - estación La Iberia Elaboración propia, 2019.

La metodología propuesta en el Estudio Nacional del Agua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Hidrología, 2014) para determinar la oferta hídrica total y disponible se realizó mediante la manipulación de los registros de caudales medios de la estación limnigráfica – LG La Iberia localizada aguas abajo en el cuenca principal del río San Francisco.

De acuerdo a lo anterior, se infiere que aproximadamente la oferta hídrica total de la cuenca del Río San Francisco corresponde a  $1,55\text{m}^3/\text{s}$ . Por otra parte, con la ecuación de la curva de duración de caudal elaborada se determinó el caudal ambiental de la cuenca de los río San Francisco como el 75% del volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio en la curva de duración de caudales que corresponde a un valor aproximado de 0,57, pudiendo concluir que al presentar la disponibilidad hídrica de la Cuenca de estudio aún no se pone en peligro el caudal ambiental.

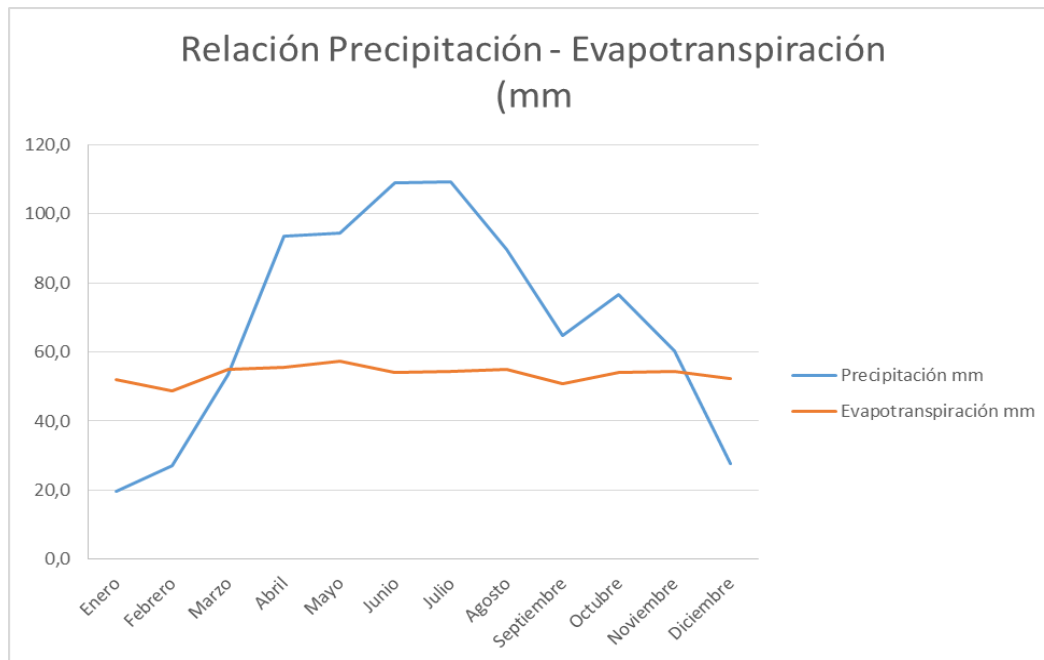
Posteriormente se calculó la oferta hídrica disponible, descontando el valor del caudal ambiental al valor de la oferta hídrica total del área de estudio. El valor de la oferta hídrica disponible corresponde a  $0,98\text{ m}^3/\text{s}$ . La elaboración de la curva de duración de caudal se presenta en el Anexo 6.

Adicionalmente se realizó el balance hidrológico de la cuenca de estudio por el método de Thornthwaite (Balance hidrico - Climatología 2014, s.f.), la cual contempla variables como la precipitación, temperatura media mensual, índice de calor anual, coeficiente a, evapotranspiración ETP sin ajustar, y el factor de corrección L. En donde se obtuvo un valor promedio 643,4 mm de evapotranspiración potencial. A continuación se presenta la evapotranspiración mensual determinada anteriormente.

Tabla 5. Registros mensuales de evapotranspiración potencial.

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
51,9	48,7	55,0	55,6	57,2	54,0	54,4	55,0	50,8	54,0	54,5	52,4	643,4

Elaboración propia, 2019.



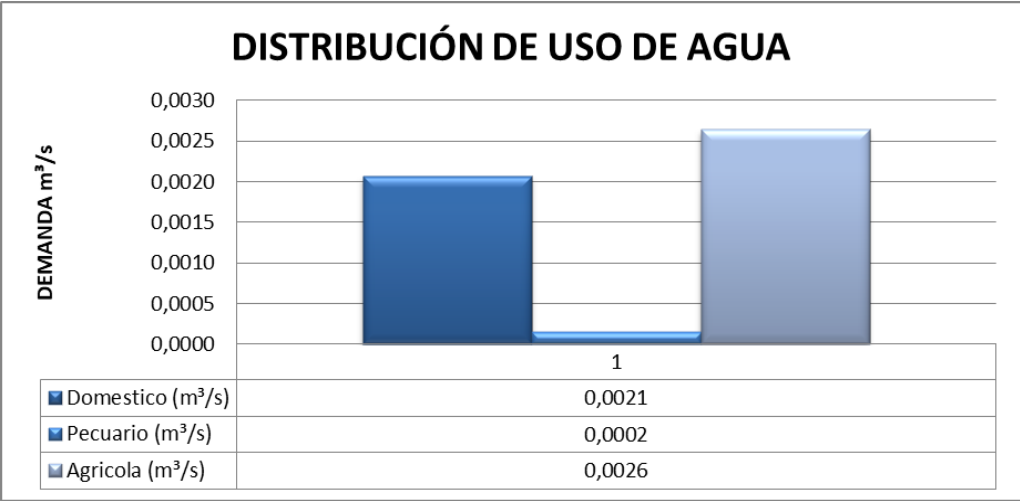
Gráfica 4. Relación de las variables de precipitación y evapotranspiración de la cuenca de estudio - estación La Iberia Elaboración propia, 2019.

Según la Gráfica 4, la evapotranspiración tiene una correlación alta, la cual tiende a ser constante durante el año. Sin embargo, existe dos épocas del año en que la evapotranspiración es mayor que la precipitación, presentándose un déficit en los meses de enero, febrero y diciembre.

### 6.3 Demanda hídrica

El análisis de la demanda se realizó obteniendo el listado de concesiones por la autoridad ambiental competente, específicamente la CAR – Provincial de Almeidas y Municipio de Guatavita, ubicada en Chocontá – Departamento de Cundinamarca. Posteriormente, se realizó la depuración de usuarios específicos de la cuenca en estudio. Se identificaron un total de 35 usuarios todos con otorgamiento de la concesión. Los datos de usuarios de la cuenca de estudio se registran en el Anexo 7.

Así mismo se estima que la demanda hídrica total es de 0.0049 m<sup>3</sup>/s (4.8581 L/s) con mayores requerimientos en el sector agrícola del 54.36 % con un caudal concesionado 0.0026 m<sup>3</sup>/s; seguido del sector doméstico con 42.52 % con un caudal concesionado de 0.0021 m<sup>3</sup>/s y finalmente con un 3.11 % el sector pecuario y un caudal concesionado del 0.0002 m<sup>3</sup>/s.



Gráfica 5. Demanda total del recurso hídrico en la cuenca del río San Francisco. Elaboración propia, 2019.

## 6.4 INDICADORES HIDROLOGICOS

### 6.4.1 Índice de regulación hídrica - IRH

El índice de regulación hídrica de la cuenca del río San Francisco se determinó mediante la relación de áreas definidas en la curva de duración de caudales medios, esta corresponde a la siguiente:

$$IRH = \frac{V_p}{V_t}$$

*Ecuación 2.* Determinación del Índice del Recurso Hídrico IRH. (IDEAM, 2012).

Donde:

$V_p$ : es el volumen parcial equivalente a la línea del caudal medio en la curva de duración de caudales medios diarios  $m^3$ .

$V_t$ : es el volumen total equivalente al área bajo la curva de duración de caudales medios diarios  $m^3$ .

Determinando las áreas en la curva de duración de caudales definida en el Anexo 6 y empleando la Ecuación 2, se calculó un valor de 0,507 que comparado con la tabla cualitativa establecida por el (IDEAM, 2016) (Tabla 7) se clasifica dentro de un rango de 0.50 a 0.65 que la categoriza como baja. Lo que indica que la cuenca de estudio posee una baja capacidad de retener y regular el agua, aspecto que obedece a la variabilidad de los caudales máximos y mínimos y que a su vez está en función del régimen hidrológico del área de estudio.

Tabla 6. Resultados Índices de Regulación Hídrica - IRH

AFLUENTE	$V_p$	$V_t$	INDICE DE REGULACIÓN HIDRICA
San Francisco	0,80	1,58	0,50

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 7. Tabla de clasificación del Índice de Regulación Hídrica - IRH

CATEGORIA ENA 2010 Y 2014	RANGO
Muy alta	> 0.85



Alta	0.75 -0.85
Moderada	0.65 - 0.75
Baja	0.50 - 0.65
Muy baja	<0.50

Fuente: (IDEAM, 2016).

#### 6.4.2 Índice del uso del agua –IUA

El Índice del Uso del Agua IUA, se determinó mediante la relación porcentual de la demanda del agua en relación a la oferta hídrica disponible (IDEAM, 2012), mediante la siguiente ecuación:

$$IUA = (Dh / Oh) * 100$$

*Ecuación 3.* Determinación del Índice del Uso del Agua IUA. (IDEAM, 2012).

Donde:

Dh: Es la demanda hídrica sectorial de la cuenca en un periodo de tiempo de determinado.

Oh: Es la oferta superficial disponible de la cuenca en un periodo de tiempo de determinado.

Tabla 8. Resultados Índice del Uso del Agua IUA

OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE (m <sup>3</sup> /s)	DEMANDA TOTAL (m <sup>3</sup> /s)	INDICE DE USO DEL AGUA - IUA
0,98	0,0049	0,005

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Con respecto a los resultados registrados en el Tabla 8 y de acuerdo a los rangos y categorías establecidas en la Tabla 9, en donde el IUA se clasifica con un valor  $\leq 1$ , categoría bajo. Lo que infiere que la cuenca de estudio no posee una presión significativa con respecto a la demanda disponible ya que el número de usuarios registrados por la autoridad ambiental es de 35, los cuales no extraen un caudal significativo y por tanto no afecta la disponibilidad hídrica de la cuenca.

Tabla 9. Tabla de clasificación del Índice de Regulación Hídrica - IRH

Rango Índice del Uso del Agua IUA	Categoría IUA	Significado
>50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible.

20.01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible.
10.01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible.
1.0 - 20	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, 2016).

### 6.4.3 Índice de vulnerabilidad hídrica - IVH

Para el cálculo de este índice, se relacionaron los resultados cualitativos de los Índices del Uso del Agua (IUA) (bajo) y el Índice de Regulación Hídrica (IRH) (bajo) mediante la Tabla 10 que corresponde a una matriz categórica cualitativa del IDEAM, en donde se establece una categoría de vulnerabilidad media debido a la baja capacidad de retención y regulación de la oferta hídrica a pesar de no poseer un riesgo significativo en cuanto a la presión del recurso.

Tabla 10. Tabla de clasificación del Índice de Regulación Hídrica - IRH

Categoría Índice de Vulnerabilidad hídrico		
Índice del Uso del Agua	Índice de Regulación	Categoría de Vulnerabilidad
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy alto

Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy bajo	Muy alto

Fuente: (IDEAM, 2016).

Tabla 11. Resultados Índice Vulnerabilidad Hídrico -IVH

AFLUENTE	IUA	IRH	IVH
San Francisco	Bajo	Bajo	Medio

Fuente: Elaboración propia, 2019.

#### 6.4.4 Índice de aridez – IA

Para el cálculo del índice de aridez se emplearon dos metodologías: Martonne y Índice de aridez IDEAM.

La metodología del índice de Martonne (IM) ((FERNANDEZ PRIAS, 2015) (IM) y del IDEAM. En la primera metodología, se utilizó la información anual de las dos variables, para el caso de la temperatura se realizó el promedio de los datos mensuales. Con la variable de la precipitación, el valor es el acumulado de cada uno de los meses, ambas variables se trataron para un periodo de 47 años en la siguiente ecuación.

$$IM = PP / (t + 10)$$

*Ecuación 4.* Determinación del Índice de Aridez. (FERNANDEZ PRIAS, 2015).

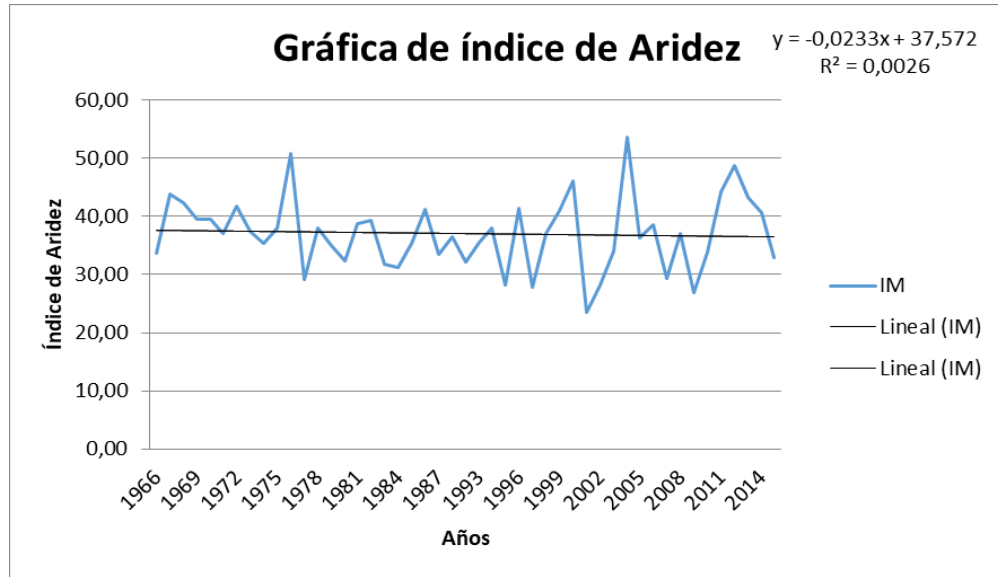
Donde:

PP: Es la precipitación mensual.

t: Es la temperatura media mensual.

Posteriormente, al calcular el índice de Martonne presentado en el anexo 8, se procede a graficar los datos para observar la variación de los puntos mínimos y máximos obtenidos para un periodo de 47 años y así definir su respectiva clasificación de acuerdo al rango en que se

encuentran los valores del IM hallados, a continuación se presenta la gráfica de los IM anuales determinados para los años de 1966 a 2015.



Gráfica 6. Determinación del Índice de Aridez de la cuenca del río San Francisco. Elaboración propia, 2019.

De acuerdo a la Gráfica 4, se observa la variación de los IM para un periodo comprendido de 1966 a 2015, destacando que el valor máximo corresponde al punto más lejano ubicado en la parte superior de la gráfica en referencia a la línea de tendencia y el valor mínimo definido como el punto más lejano ubicado en la parte inferior de la gráfica en referencia a la línea de tendencia. Estos puntos tienen un valor de 53,64 y 23,52 respectivamente.

Con base a los resultados obtenidos del índice de aridez y en relación a la Tabla 12, se deduce que su clasificación corresponde a una tendencia de húmeda y subhúmeda, lo que infiere que la cuenca cuenta con condiciones excedentes de agua superficial influenciado por las características hidrológicas enmarcadas por la precipitación y la temperatura, a continuación se presenta la gráfica del (IM) representativa para el área de estudio.

Tabla 12. Tabla de clasificación del Índice de Aridez - IA

CLASIFICACION IM	INTERVALO
Desiertos (hiperárido)	0 a 5
Semidesierto (árido)	5 a 10
Semiárido de tipo mediterráneo	10 a 20
Subhúmeda	20 a 30

Húmeda	30 a 60
Perhúmeda	>60

Fuente: (FERNANDEZ PRIAS, 2015).

Para la determinación del índice de Aridez por el método establecido por el IDEAM, se empleó la siguiente ecuación:

$$IA = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

*Ecuación 5.* Determinación del Índice de Aridez. (IDEAM, Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales, 2014).

Donde:

ETP: Es la evapotranspiración potencial del área de estudio (mm/año)

ETR. Es la evapotranspiración real del área de estudio. (mm/año).

IA: Es el Índice de Aridez (adimensional).

Para el cálculo de las variables de la ETP y ETR se realizó por medio del balance hidrológico establecido el ítem 6.2 de Oferta hídrica y sus cálculos se registran en el Anexo 1.

El valor promedio anual de 643,4 mm corresponde para ambas variables hidrológicas, asumiendo que las características en cuanto a la cantidad de humedad del suelo del área de estudio son las mismas para ambas variables. El valor del Índice de Aridez - IA obtenido corresponden a un valor menor de 0.15, lo que define que la cuenca del río San Francisco posee altos excedentes de agua.

Tabla 13. Tabla de clasificación del Índice de Aridez - IA

<b>CATEGORÍA ENA 2014</b>	<b>RANGO</b>
Altamente deficitario de agua	>0.60
Deficitario de agua	0.50 – 0.59
Moderado a deficitario de agua	0.40 – 0.49
Moderado	0.30 – 0.39
Moderado a excedentes de agua	0.15 – 0.19
Altos excedentes de agua	<0.15

Fuente: (IDEAM, Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales, 2014).

## **7. ALTERNATIVAS**

Una de las alternativas que contribuyen con el mejoramiento del recurso hídrico es la implementación eficiente de sistemas hidrológicos automáticos en la cuenca alta y media del río San Francisco, que permitan obtener información de las variables hidrológicas representativas en el contexto espacio - temporal y así formular con mayor precisión estudios hidrológicos que contribuyen a la Gestión Integral del Recurso Hídrico - GIRH.

De acuerdo a las visitas en campo, realizadas en las estaciones pluviométricas de Panonia y La Iberia las cuales se encuentran en jurisdicción de la CAR, se identificó que su operación es manual, es decir, el registro y almacenamiento de los datos reportados se realiza de manera manual, lo cual representa un grado de incertidumbre en cuanto a la precisión de los datos, esta desviación se evidencia en el diagrama de caja de bigotes de la estación Panonia y la estación de La Iberia presentadas en el anexo 5, que al compararlas describen un compartimiento monomodal pero su tendencia no es similar, lo que infiere a que estos equipos son obsoletos y no están a la vanguardia en la actualidad de estos tipos de mediciones; se recomienda en lo posible visitas a campo para determinar la operación propia de estas estaciones.

## 8. CONCLUSIONES

Con base a los parámetros morfométricos determinados se puede inferir que la cuenca del río San Francisco presenta características de flujo moderado, con baja probabilidad de presentar eventos de caudales de crecida debido a su forma a oval redonda alargada.

De acuerdo con el perfil longitudinal de la cuenca se determinó que la zona de recarga corresponde a la zona alta de la cuenca que se caracteriza por ser un área con un relieve abrupto, así mismo, a lo largo de su recorrido presenta un trayecto plano de aproximadamente 350 m para una altitud de 280 m.s.n.m, lo cual infiere que para este trayecto hay disposición de sedimentos, terminando se recorrido a una altitud de 2700 m.s.n.m en la zona de descarga determinada como el embalse del Sisga.

Se determinó la oferta hídrica disponible y demanda total de la cuenca de río San Francisco, correspondientes a un valor de 0,98 m<sup>3</sup>/s y 0,0049 m<sup>3</sup>/s respectivamente, lo cual infiere que actualmente la cuenca no posee una presión significativa sobre el recurso hídrico, sin embargo por ser un área con un desarrollo potencial en el sector agrícola, se estima que la presión sobre el recurso puede incrementar ocasionando un desabastecimiento mayor o igual a la oferta hídrica disponible de la cuenca.

La mayor demanda del recurso se encuentra en el sector agrícola siendo este afluente el aportante a las inmediaciones de la cuenca a la representación de cultivos representativos de la zona con es el caso de la papa y hortalizas.

En cuanto al comportamiento hidrológico, evidenciado en el hidrograma presentado en el Grafica 2, se determinó que la cuenca del río San Francisco tiene un régimen monomodal presentando caudales máximos para los meses de junio y julio definido como el período húmedo y caudales mínimos para el mes de enero como el periodo seco.

Según el balance hídrico realizado, se puede observar que los valores de ETP y ETR son equivalentes, lo cual indica que la cuenca de estudio no presenta condiciones de déficit y satisface las necesidades ecosistémicas y de demanda, clasificando a la cuenca como una zona húmeda.

Se estimaron los indicadores ambientales correspondientes al Índice de Regulación Hídrica (IRH) con un valor de 0,50, Índice del Uso del Agua (IUA) con valor de 0,005, Índice de Aridez (IA) de 23,52 a 53,64 (subhúmeda-húmeda) e Índice de Vulnerabilidad Hídrica medio. Los cuales definen que la cuenca de estudio posee una baja capacidad de regulación y retención hídrica con respecto a la oferta disponible, sin embargo, cuenta con condiciones excedentes de agua superficial influenciado por las características hidrológicas de área las cuales garantizan que el recurso hídrico no presente una presión hídrica significativa respecto a la demanda total.



## **9. RECOMENDACIONES**

Se recomienda la implementación eficiente de sistemas hidrológicos automáticos en la cuenca alta y media del río San Francisco, que permitan obtener información de las variables hidrológicas representativas en el contexto espacio - temporal y así formular con mayor precisión estudios hidrológicos que contribuyen a la Gestión Integral del Recurso Hídrico - GIRH. (Carmona, 2016).

Pese a que la cuenca del río San Francisco se encuentra enmarcada dentro de Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá (CAR, 2006), se recomienda a las entidades administradoras del recurso hídrico gestionar la instrumentación de cuencas de menor orden, en este caso el río San Francisco con el fin de poder efectuar un diagnóstico del contexto actual del recurso integrando aspectos hidrogeológicos de manera que fortalezca la gestión integral y sostenible del recurso hídrico en el área de estudio.

Se recomienda realizar el análisis de los indicadores hidrológicos en época seca y de invierno para evidenciar como es el comportamiento de los resultados en la cuenca frente a estos índices y determinar la afectación si se presenta de la misma.

## 10. REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Fotografía 1.** Visita a la cuenca media del río San Francisco. Fuente Autores.



Fotografía 2. Ingreso del afluente al embalse del Sisga.



Fotografía 3. Ingreso del afluente al embalse del Sisga.



Fotografía 4. Ingreso del afluente al embalse del Sisga.





Fotografía 5. Ubicación estación limnimetrica La Iberia - Privada



Fotografía 6. Ubicación estación pluviométrica La Iberia - Privada



Fotografía 7. Ubicación estación Climatológica principal La Iberia



Fotografía 8. Ubicación estación Pluviométrica - Panonia



Fotografía 9. Cuenca baja, descarga del rio San Francisco al embalse Sisga.



Fotografía 10. Cuenca alta del rio san Francisco.



## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Alipaz, S., & Henrique, L. (2006). An integrated indicator base don basin hydrology environment, life, and policy: the watersehd sustainability index. *Srpingerlink*, 2.
- AMBIENTE, M. (2014). Guia Tecnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrograficas - POMCAS.
- Ana Elizabeth, C., Oyarzún, R., Rötting, T., Kretschmer, N., Henrique, C., Soto, G., & Soto, M. (2012). Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin, North-Central Chile. *Universidad de La Serena*, 13.
- Balance hidrico - Climatología 2014*. (s.f.). Obtenido de [http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/practico\\_climatologia\\_2014/evapotranspiracion.pdf](http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/practico_climatologia_2014/evapotranspiracion.pdf)
- Betancourt Lady, G. C. (2017). ESTUDIO HIDROLÓGICO Y EVALUACIÓN DE DEMANDA EN LA CUENCA HIDROLOGICA DEL EMBALSE TOMINE. Bogota D.C.
- Boithias, L., & Vergoñós, L. (1 de Febrero de 2014). Assessment of the water supply:demand ratios in a Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives. *SciencieDirect*. Obtenido de <http://eds.a.ebscohost.com/hemeroteca.lasalle.edu.co/eds/detail/detail?vid=6&sid=c9020f22-2c48-41f2-93fc-4dd8de7f7855%40pdc-v-sessmgr03&bdata=JkF1dGhUeXBIPWlwLHVybCx1aWQmbGFuZz1lcyZzaXRIPWVkcylsaXZl#AN=S0048969713011479&db=edselp>
- Burbano, A., León, G., & Bustamante, G. (2008). *Estimación de la oferta hídirca con informacion escasa en ecosistemas estratégicos*. Medellín. Obtenido de <https://mail.google.com/mail/u/0/#search/af.planeta%40gmail.com/FMfcgxwCgzFTfXZbwjkhLPlhpjNFjfn?projector=1&messagePartId=0.3>
- CAR, C. A. (2006). *Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá*. Bogotá.
- Carmona, D. A. (2015). *PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LA OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL POR MÉTODO RELACIÓN LLUVIA-ESCORRENTÍA, CASO DE ESTUDIO CUENCA DE LA QUEBRADA APAUTA PARA EL AÑO 2015*. Bogotá D.C.
- CORTOLIMA. (s.f.). *Plan de oredenacion y manejo ambiental de la micorcuenca de las Quebradas las Panelas y la Balsa*. Obtenido de [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/estudios/cuenca\\_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS\\_BIOFISICOS.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS_BIOFISICOS.pdf)
- FERNANDEZ PRIAS, D. Y. (2015). *Calculo del indice de aridez como herramienta para el seguimeinto de la desertificación*. Bogotá.

- Gutierrez, C., Mena, C., & Muñoz, J. (2015). *CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ESCASEZ DE LA CUENCA DEL RÍO OPIA - DEPARTAMENTO DEL TOLIMA*. Bogotá D.C. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2727/1/PROYECTO%20%20INDICE%20DE%20ESCASEZ%20DEFINITIVO%2030.%20NOV.pdf>
- IDEAM. (18 de Septiembre de 2012). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/24155/123679/09-320+HM+Indice+uso+agua+3+FI.pdf/7b460e13-88c2-47c6-9cef-69468cf8bbd9>
- IDEAM. (27 de Septiembre de 2014). *Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales*. Obtenido de <file:///C:/Users/Lina%20María/Desktop/TESIS/V3.01%20HM%20Indice%20aridez.pdf>
- IDEAM. (01 de Noviembre de 2016). Obtenido de [file:///C:/Users/Lina%20María/Desktop/TESIS/3.01%20HM\\_Indice%20Uso%20Agua.pdf](file:///C:/Users/Lina%20María/Desktop/TESIS/3.01%20HM_Indice%20Uso%20Agua.pdf)
- IDEAM. (26 de Septiembre de 2016). *Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales*. Obtenido de <file:///C:/Users/Lina%20María/Desktop/TESIS/3.04%20HM%20Indice%20Regulacion%20hidrica.pdf>
- Nikel, D., Meleg, A., Braun, J., & Trifkovic, A. (2005). *Linking the physical and the socio-economic compartments of an integrated water and land use management model on a river basin scale using an object-oriented water supply model*. Institute of Hydraulic Engineering. Alemania: ScieDirect. Obtenido de <https://www-engineeringvillage-com.hemeroteca.lasalle.edu.co/search/quick.url?SEARCHID=d4e7342dM5fe2M4f98M80adM91427b6eaf30&COUNT=1&usageOrigin=&usageZone=>
- Pérez, A., & Johanna, S. (2016). *Estudio hidrológico e hidráulico en la zona baja de la cuenca del río frío en el municipio de Chía*. Bogotá D.C. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6166/4/Documento%20Trabajo%20de%20Grado.pdf>
- Pizarro, R., Ausensi, P., & Aravena, D. (19 de Agosto de 2009). *UNESCO*. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/images/AquaLAC2-Sep2009-web-86-98.pdf>
- (2008). *Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano*. Bogotá D.C. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/228463075\\_DEMANDA-OFERTA\\_DE\\_AGUA\\_Y\\_EL\\_INDICE\\_DE\\_ESCASEZ\\_DE\\_AGUA\\_COMO\\_HERRAMIENTAS\\_DE\\_EVALUACION\\_DEL\\_RECURSO\\_HIDRICO\\_COLOMBIANO](https://www.researchgate.net/publication/228463075_DEMANDA-OFERTA_DE_AGUA_Y_EL_INDICE_DE_ESCASEZ_DE_AGUA_COMO_HERRAMIENTAS_DE_EVALUACION_DEL_RECURSO_HIDRICO_COLOMBIANO)
- Rodriguez Benjamin, N. I. (01 de Febrero de 2018). *Mejoramiento de la red Hidrometrica existente en la Cuenca del Rio Siecha, Municipio de Guasca*.



- Salinas, A. (2017). *MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO SAN FRANCISCO EN LA CUENCA ABASTECEDORA AL EMBALSE EL SISGA EN EL MUNICIPIO DE CHOCONTÁ, CUNDINAMARCA*. Bogotá D.C. Obtenido de [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14552/1/Modelacion\\_Hidro\\_Rio\\_SFco.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14552/1/Modelacion_Hidro_Rio_SFco.pdf)
- Salinas, A. (2017). *MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO SAN FRANCISCO EN LA CUENCA ABASTECEDORA AL EMBALSE EL SISGA EN EL MUNICIPIO DE CHOCONTA, CUNDINAMARCA*.
- Soeryantono, Sutjiningsih, & Kusratmoko. (2018). *Proposing water balance method for water availability estimation in Indonesian regional spatial planning*. India. Obtenido de <https://www-scopus-com.hemeroteca.lasalle.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85042323546&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=determination+of+supply+and+demand&nlo=&nlr=&nls=&sid=47db4317cc0350bba34953c19ee0a254&sot=b&sdt=sisr&sl=49&s=TITLE-ABS-KEY%>