

**“ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE  
ACUEDUCTO DE LA VEREDA AGUA BONITA EN EL MUNICIPIO DE SAN  
JOSÉ DEL GUAVIARE DEPARTAMENTO DEL GUAVIARE”**

**ESTUDIO HIDROLÓGICO  
ING. FREDDY J. GARCÍA MURILLO  
ESP. SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**Junio de 2024  
San José del Guaviare**



(+57) 3108519270-3166345859

[vivienda@guaviare.gov.co](mailto:vivienda@guaviare.gov.co)

Carrera 24 N° 7 - 81 San José del Guaviare

[www.guaviare.gov.co](http://www.guaviare.gov.co)

## CONTENIDO

1. INTRODUCCION	4
2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	5
3. UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	6
4. MARCO TEÓRICO	7
4.1. CRITERIOS DE DISEÑO	7
4.1.1. CRITERIOS HIDROLÓGICOS	7
4.1.1.1. PERÍODOS DE RETORNO	8
4.1.1.2. RIESGO	8
4.2. CLIMATOLOGÍA	8
6.7.1. HUMEDAD RELATIVA	9
6.7.2. BRILLO SOLAR	10
6.7.3. TEMPERATURA MEDIA	12
6.7.4. PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS.	13
6.7.5. EVAPORACIÓN	15
6.7.6. ISOTERMAS	16
6.7.7. VIENTOS	17
6.7.8. ROSA DE VIENTOS	18
6.7.9. EVAPORACIÓN POTENCIAL	18
6.7.10. BALANCE HÍDRICO	19
4.3. RECOPIACION Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN	20
6.7.11. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN ESPACIAL	20
6.7.12. CARACTERIZACIÓN FISIOGRAFICA Y GEOMORFOLÓGICA	21
6.7.12.1. ÁREA DE LA CUENCA	21
6.7.12.2. PERÍMETRO	21
6.7.12.3. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	21
6.8.1. INTENSIDAD DE LA LLUVIA MÁXIMA	23
6.8.2. CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS	24
6.8.2.1. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	24
6.8.2.2. MÉTODO RACIONAL	25
6.8.2.3. MÉTODO EMPÍRICO	25
6.8.2.4. MÉTODO DE BURKLI –ZEGLER	26
5. ACTIVIDADES Y METODOLOGÍAS DESARROLLADAS	27
5.1. ACTIVIDADES PRELIMINARES	27

5.2. ACTIVIDADES GENERALES	27
6. ANALISIS HIDROLOGICO PARA CONSIDERACIONES DE DISEÑO	29
6.1. CAUDALES DE DISEÑO	29
6.2. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA O PERMEABILIDAD	31
6.3. INTENSIDAD DE LA LLUVIA: CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF)	32
6.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TEMPORAL	34
6.5. PERÍODO DE RETORNO	36
6.6. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN ESPACIAL	36
6.7. CÁLCULO DE CAUDALES DE LA CUENCA PARA CADA PERIODO DE RETORNO.	39
6.8. CÁLCULO DE CAUDALES HIDROLÓGICOS (MÁXIMO, MEDIO, MÍNIMO Y ECOLÓGICO) PARA UN PERIODO DE 100 AÑOS.	41
6.9. ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA.	45
6.10. MODELACIÓN DE LOS CAUDALES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL FLUJO (CAPTACIÓN) EN FUNCIÓN DE LOS PERIODOS DE RETORNO.	45
7. CONCLUSIONES	49

## 1. INTRODUCCION

Con información secundaria obtenida y el estudio de hidrología y meteorología para la población de la vereda de Agua Bonita, teniendo en cuenta que no existe estaciones hidrometereológicas que permitan realizar un estudio más preciso, se presenta un resumen del informe de hidrología.

Para el presente documento de diagnóstico se realizaron los cálculos de los caudales mínimos, medios y máximos en zonas cercanas con el ánimo de conocer sus características actuales del sistema de acueductos de forma integral. Obteniendo así un punto de partida para las actividades planteadas (alternativas y diseños) dentro del sistema de acueducto.

La cuenca se encuentra localizada al extremo sur-occidental de la jurisdicción de Cormacarena, abarcando una extensión superficial aproximada de 23.894 Km<sup>2</sup> - incluida la cuenca del Río Tunía, correspondientes al 27.9% del área departamental, abarcando la totalidad del territorio de los municipios de La Macarena y Uribe, y parte de los municipios de Mesetas, Vistahermosa, Puerto Rico y San José del Guaviare.

La hidrografía de esta cuenca está conformada por dos corrientes hídricas principales: ríos Duda y Guayabero, y las subcuencas que hacen parte de la misma son, entre otras: las de los ríos Losada, Santo Domingo, Leiva y Guape Sur, subdivididas a su vez en microcuencas de fuentes menores de caños y/o quebradas. El río Guayabero nace en el flanco oriental de la cordillera oriental, y más específicamente en el Parque Nacional Natural Cordillera de los Picachos, mientras que el río Duda nace en el Parque Nacional Natural Sumapaz, uniéndose al río Guayabero a la altura del sitio conocido como Bocas del Duda.

## 2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Consultar el comportamiento general que presenta la Circulación Atmosférica en el municipio de San José del Guaviare a nivel regional y local sobre su casco urbano.
- Elaborar la caracterización climatológica del sector urbano y rural del municipio de San José del Guaviare según los valores de los principales elementos meteorológicos observados en las estaciones activas.
- Calcular el Balance Hídrico Climático del sector agua bonita sector rural del municipio de San José del Guaviare con el fin de estimar el comportamiento temporal de la humedad en el perfil del suelo y los volúmenes de las aguas de escorrentía superficial que drenan en su sector.
- Elaborar las Curvas IDF para el municipio de San José del Guaviare y a sus alrededores con el fin de estimar las intensidades Máximas Horarias de las precipitaciones para diferentes Períodos de Retorno.
- Presentar las Conclusiones y algunas Recomendaciones técnicas que permitan optimizar las gestiones de cálculos y diseños de sistema individual de acueducto de la vereda de Agua Bonita en el municipio de San José del Guaviare.

### 3. UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

San José del Guaviare, la capital del departamento de Guaviare, se sitúa en la parte norte de esta división político-administrativa, en una extensión de 42 327 kilómetros cuadrados. La cabecera municipal está a 175 metros sobre el nivel del mar, aproximadamente a 400 km al sur de la ciudad de Bogotá, con coordenadas 2°34'15"N 72°38'25"O

Su terreno es principalmente plano, correspondientes a la transición entre la Orinoquía y la Amazonía, y regado por varios cursos de agua, entre los que destacan los ríos Guaviare y Guayabero, que además le sirven para comunicarse con las poblaciones cercanas, dentro y fuera del departamento. El río Inírida sirve para delimitar el sudeste del municipio.

La mayoría del territorio está constituido por selvas húmedas tropicales y bosques de galería, aunque en la parte norte se hallan sabanas naturales. En las áreas de influencia de las carreteras y trochas que parten de la cabecera municipal y en diversos puntos de colonización existen terrenos intervenidos donde los bosques han sido substituidos por diversos cultivos o por pastos.<sup>1</sup>

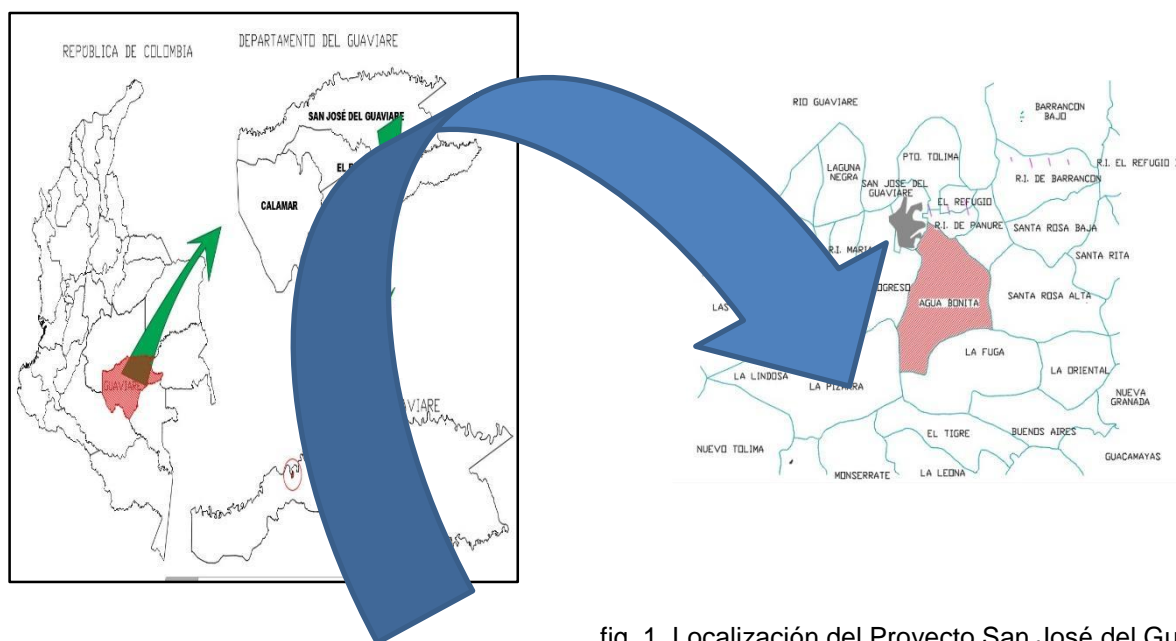


fig. 1. Localización del Proyecto San José del Guaviare.  
Fuente: Consultoría

<sup>1</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/San\\_Jos%C3%A9\\_del\\_Guaviare](https://es.wikipedia.org/wiki/San_Jos%C3%A9_del_Guaviare)

## 4. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen algunos aspectos metodológicos que se consideran relevantes dentro de todo estudio hidrológico e hidráulico para los proyectos de sistema individual de acueducto, que dada su complejidad requiere de criterios de diseño claro, métodos de recopilación y análisis de la información coherentes y representativos y un marco teórico que justifique claramente el uso de estas metodologías para cada caso.

### 4.1. CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño hidrológico son los que permiten determinar las metodologías más adecuadas según la información disponible, el objeto del estudio y los resultados esperados. Se deben definir criterios hidrológicos y criterios hidráulicos; los primeros se basan en la experiencia, en el riesgo y el costo asociado al proyecto, factores que permiten determinar las metodologías más adecuadas según la información disponible, el objeto del estudio y los resultados esperados. Los segundos se basan en la experiencia de los autores del presente diseño y en las propuestas técnicas de otros autores que se citan, en la normativa vigente aplicable a los diseños de obras hidráulicas y además en los materiales disponibles en la región, en aspectos constructivos y en la experiencia en proyectos similares que en esta actividad posea el equipo de diseño.

#### 4.1.1. Criterios hidrológicos

El principal criterio para el diseño hidrológico corresponde a la definición de los períodos de retorno, para los cuales no existe una normatividad suficientemente explícita, el período de retorno de la lluvia de diseño se debe seleccionar de acuerdo con la importancia de las áreas y los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones puedan ocasionar a los habitantes, el tráfico, el comercio, la industria y la infraestructura. En ningún caso podrán ser menores a los siguientes valores, de 10, 25, 50, 100 y 200 años.

Para el diseño hidrológico de obras mayores se propone emplear el período de retorno de 200 años, ya que cuando el costo de las obras es elevado se requiere una protección adecuada ante las posibles eventualidades máximas. Para las obras menores se proponen períodos de retorno de 25 años y para aquellas obras que no



sean típicas se les asigna un período de retorno acorde al costo y vida útil de la misma.

#### 4.1.1.1. Períodos de retorno

En la hidrología aplicada se utiliza indistintamente el concepto de probabilidad  $p(x)$  o de período de retorno  $T$ , entendido como un porcentaje de los años de ocurrencia de un evento extremo; por lo que si un suceso extraordinario se presenta (por término medio) cada  $T$  años, su probabilidad es de  $1/T$ . Análoga e inversamente, si la probabilidad de que algo suceda es de  $x\%$ , quiere decir que, en promedio, sucederá  $x$  veces en 100 años. Estos conceptos se relacionan mediante la expresión:

Ec. 1 
$$p(x) = \frac{1}{T}$$

En hidrología se utiliza más el periodo de retorno que la probabilidad.

#### 4.1.1.2. Riesgo

En el diseño de obras públicas, el riesgo de fallo ( $R$ ), es decir, la probabilidad de que se produzca alguna vez un suceso de periodo de retorno  $T$  a lo largo de un periodo de  $n$  años (vida útil), está dado por la expresión.

Ec. 2 
$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Si el encargado del proyecto acepta este riesgo, entonces se procede a trabajar con dicho período de retorno. En caso contrario se aumenta el período de retorno hasta que se alcance un nivel de riesgo acorde a las expectativas deseadas y a la vida útil de la obra.

## 4.2. CLIMATOLOGÍA

La climatología del Municipio de San José del Guaviare se presenta a continuación, para los parámetros de Temperatura Media ( $^{\circ}\text{C}$ ), Humedad Relativa (%), Evaporación (mms), Brillo solar (hrs), Precipitación Máxima en 24 horas (mms). Para los parámetros climatológicos analizados, se tomaron los valores

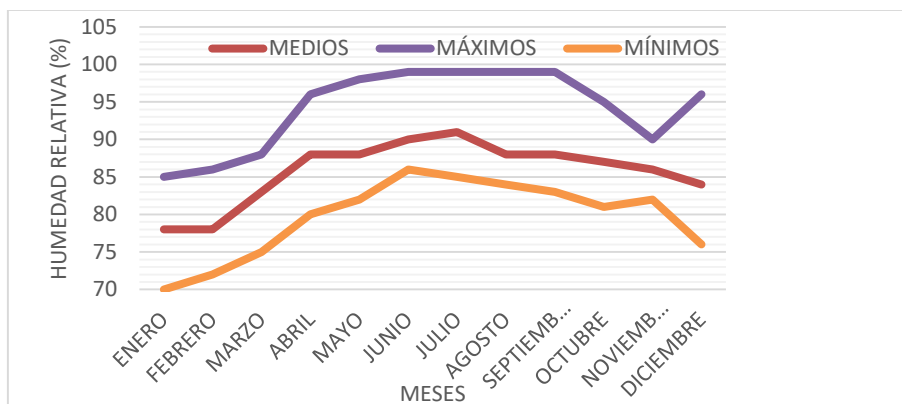


suministrados por el IDEAM, en las estaciones relacionadas en el numeral 6.3 tabla No. 6.2, con información disponible y más completa de climatología ordinaria, para la zona de influencia del proyecto. Los valores mensuales multianuales de los parámetros climatológicos están comprendidos en el periodo 1983 a 2016.

### 6.7.1. Humedad Relativa

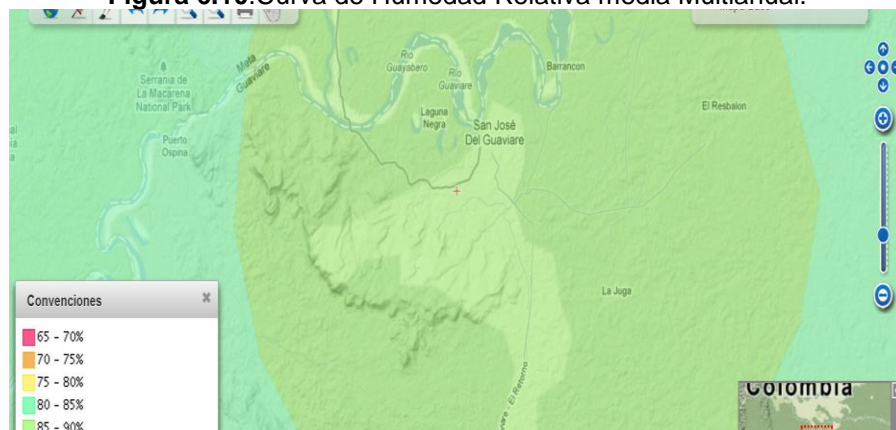
De acuerdo con los datos obtenidos, el contenido de vapor de agua en el aire que se registra, se evidencia que en los meses de enero y febrero del 2016 se presentan los promedios más bajos de humedad cercanos al 70%, en los meses de junio y Julio se presentan los promedios más altos de humedad, con un pico en los máximos del 99%, la humedad media anual en el área de la estación es de 88%.

**Figura 6.9.** Valores Medios, Mínimos y Máximos mensuales multianuales de Humedad Relativa (%).



Fuente: Esta consultoría con datos del IDEAM

**Figura 6.10.** Curva de Humedad Relativa media Multianual.

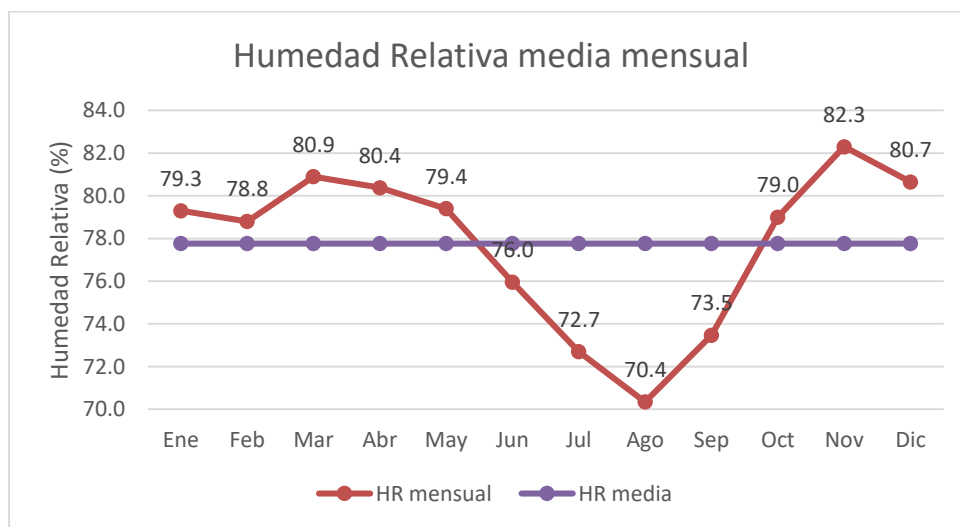


Fuente: IDEAM de la web: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>

En la anterior imagen se observa una variación de la humedad relativa media mensual multianual para la zona de estudio del 85 al 90 %, comprendida desde el año 1971 a 2000. Los altos valores de humedad relativa en la zona de estudio, se debe a que se encuentra ubicada cerca de la zona selvática del país en la Amazonía colombiana, donde se presentan valores de humedad mayores al 90%, lo cual sumado a altos índices de precipitación anual de 2000 mm y temperaturas medias de 25°C permiten un incremento en la evaporación del agua y por ende altos valores de humedad o agua presente en el aire.

En la siguiente figura muestra la humedad relativa registra una variación anual entre el 70.4% en agosto y 82.3% en noviembre del 2016, correspondientes a los meses más seco y lluviosos del año 2016, con un promedio anual de 77.8%.

**Figura 6.11.** Humedad relativa media mensual estación Demostración GJA.



Fuente: IDEAM Estación Demostración GJA.

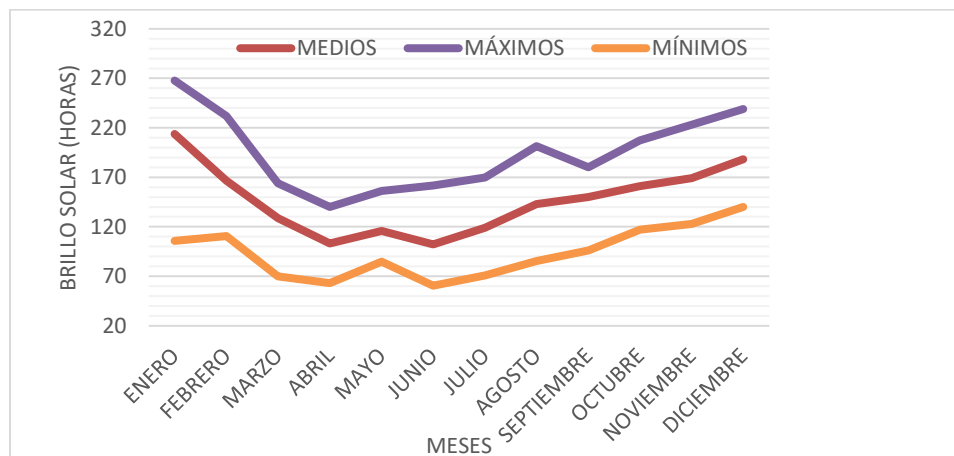
Se evidencia la correspondencia entre la humedad relativa y la precipitación, puesto que los meses en los que se registran los mayores niveles de precipitación serán meses en los que la humedad también sea superior y viceversa.

### 6.7.2. Brillo Solar

El gráfico sobre los valores totales mensuales de brillo solar nos permite identificar que en los meses de enero y diciembre del 2016 se presentan los valores más altos del tiempo durante el cual incide la luz solar directa sobre la estación, este valor está

cercano a 238,8 y 267,8 Hr entre el alba y el atardecer. En el mes de junio del 2016 se registra el valor más bajo de brillo solar cercanos a 60,5 Hr. El brillo solar medio que registra la estación es de 146,76 Hr.

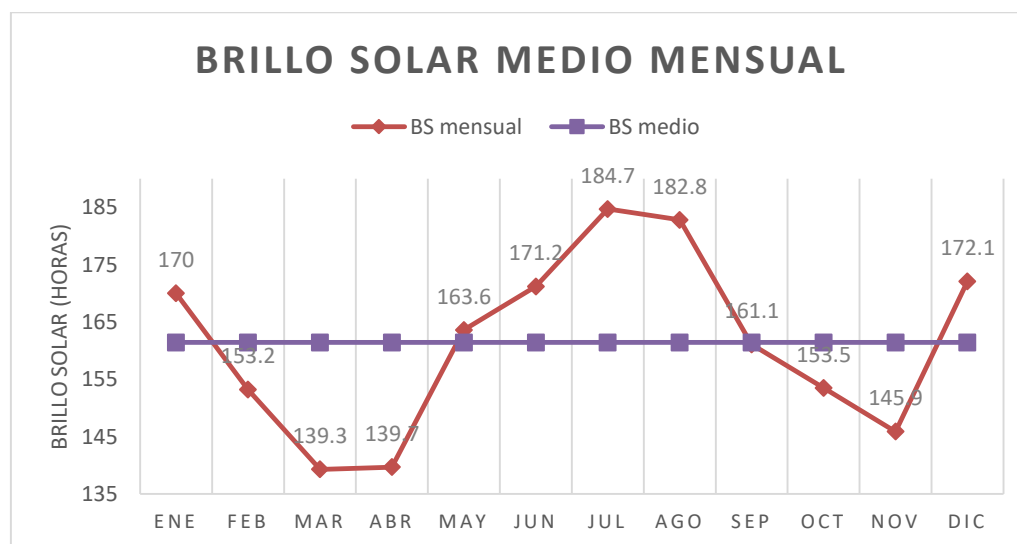
**Figura 6.11.** Valores Medios, Mínimos y Máximos mensuales multianuales de Brillo Solar (Horas).



Fuente: Esta consultoría con datos del IDEAM

El promedio mensual de brillo solar es igual a 161.4 horas, con un comportamiento anual inverso al de la precipitación y relativamente proporcional a la evaporación, fluctuando desde 184.7 horas en el mes de julio a 139.3 horas en el mes de marzo.

**Figura 6.12.** Evaporación media mensual estación Demostración GJA.

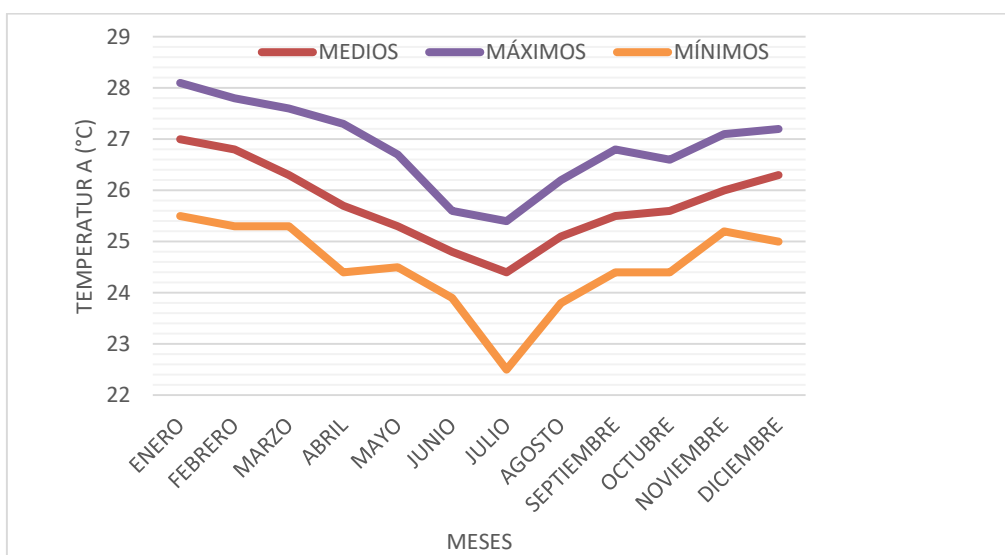


Fuente: IDEAM Estación Demostración GJA.

### 6.7.3. Temperatura Media

Efectuando un análisis a los valores registrados sobre la temperatura, se aprecia que la temperatura media anual es de 25,7°C y la máxima mensual es de 28,1°C, presentando valores mínimos de 22,5°C en el mes de Julio del 2016.

**Figura 6.13.** Valores Medios, Mínimos y Máximos medios mensuales multianuales de Temperatura (°C).

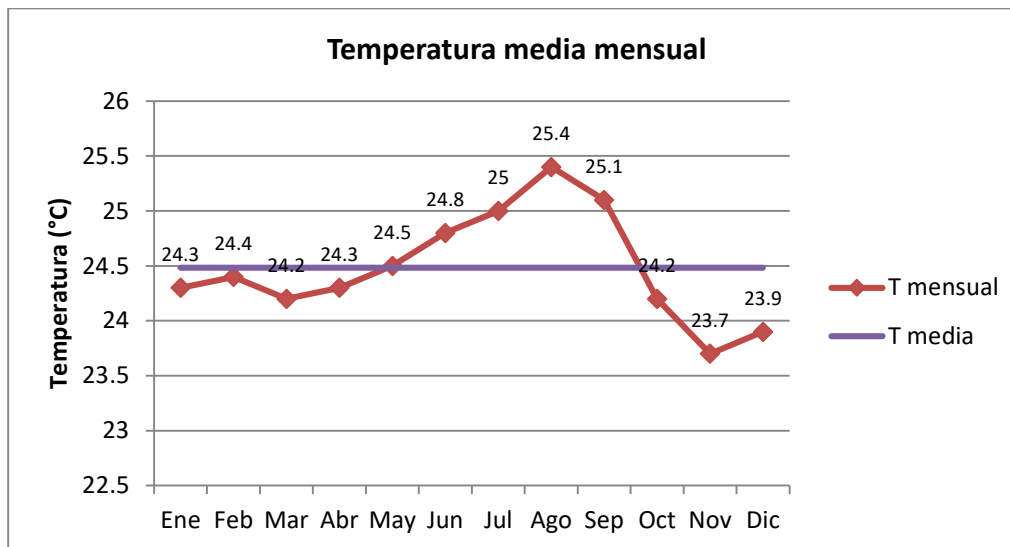


Fuente: Esta consultoría con datos del IDEAM

Según los registros de la estación Demostración GJA la temperatura media mensual multianual asciende a 24.5°C, y su comportamiento medio a lo largo de los meses oscila en el rango de 23.7°C a 25.4°C.

La época de mayores temperaturas se presenta en los meses de junio a septiembre del 2016, tal como se muestra en la siguiente gráfica.

**Figura 6.14.** Temperatura media mensual estación Demostración GJA.

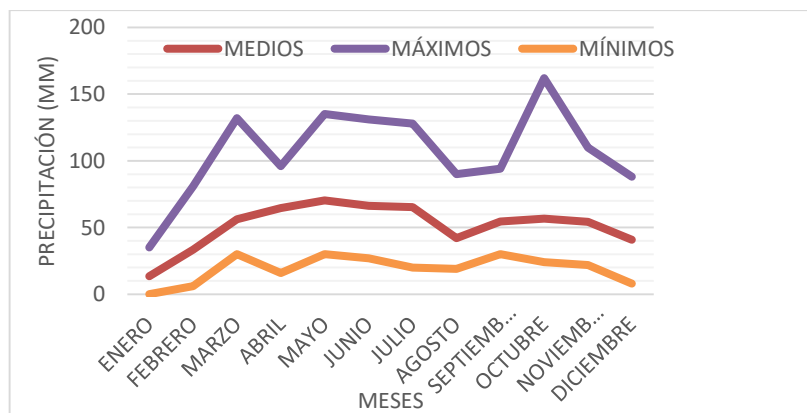


Fuente: IDEAM Estación Demostración GJA.

#### 6.7.4. Precipitación en 24 Horas.

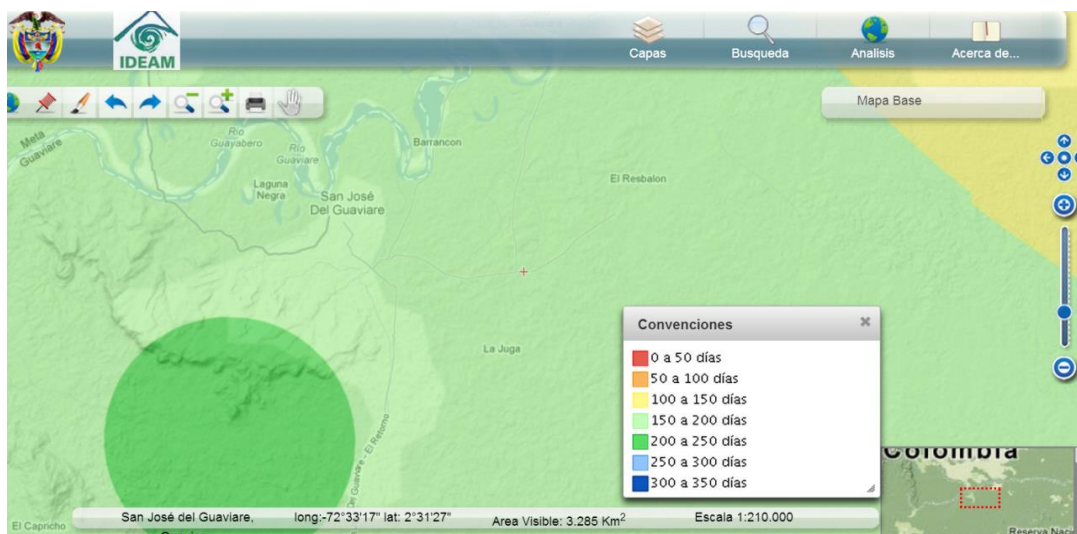
Efectuando un análisis a los valores máximos y mínimos de precipitación registrados en la estación, se pueden distinguir dos regímenes pluviométricos, el primer periodo lo comprende el mes de mayo con una precipitación máxima de 135 mm en 24 horas y el segundo periodo en el mes de octubre con su máxima precipitación de 162 mm en 24 horas. La mínima precipitación en 24 horas fue en el mes de febrero con 6 mm, la máxima en octubre con 162 mm y el valor medio de lluvia en 24 horas fue de 51,5 mm.

**Figura 6.15.** Valores Medios, Máximos y Mínimos mensuales multianuales de Precipitación (mm) en 24 Horas.



*Fuente: Esta consultoría con datos del IDEAM*

**Figura 6.16.** Número de días de lluvia promedio anual multianual.



**Fuente:** IDEAM de la web: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>

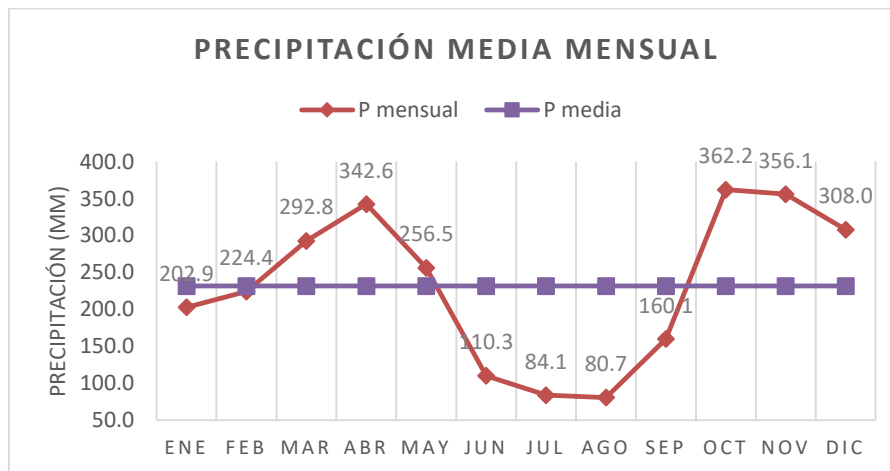
En el departamento del Guaviare se presentan entre 100 a 250 días de lluvia al año; debido a su ubicación, cerca de la segunda zona con más número de días de lluvias (Amazonas) después del Chocó en el Pacífico Colombiano. La serie analizada comprende el período desde 1971 a 2000 de series históricas de número de días con lluvia; para la zona de ubicación del proyecto en el Municipio de San José del Guaviare corresponden los valores entre 200 y 250 en verde claro, y en verde oscuro de 200 a 250 número de días con lluvia en promedio multianual.

El registro de precipitación total mensual de la zona tiene un comportamiento anual de tipo bimodal típico de la región andina, con un primer período lluvioso entre los meses de marzo a mayo del 2016 y un segundo periodo de octubre a diciembre del año ya mencionado, en los demás meses se presentan períodos secos, o al menos se registran lluvias por debajo del promedio mensual.

La precipitación media mensual multianual obtenida es de 247.76 mm, que se considera moderadamente alta. La precipitación media oscila entre 362.2mm en el mes de octubre del 2016 y 80.7mm en el mes de agosto del año ya mencionado, tal como se observa a continuación:



Figura 6.17. Precipitación media mensual estación Demostración GJA.



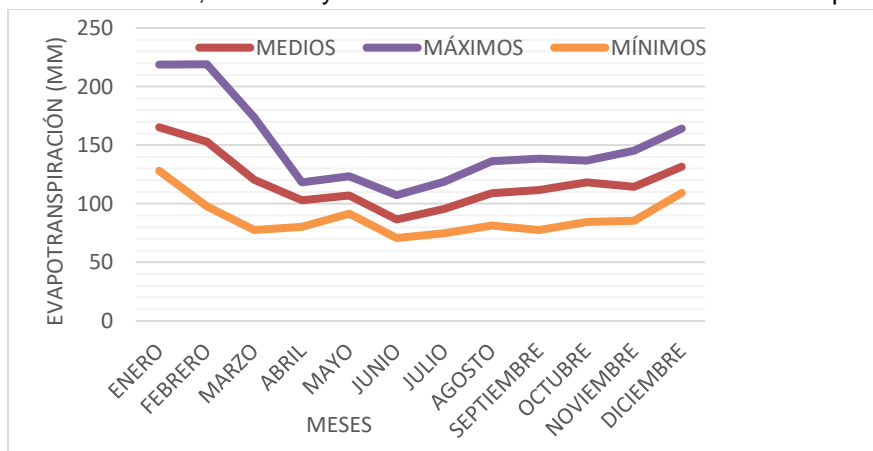
Fuente: IDEAM Estación Demostración GJA.

### 6.7.5. Evaporación

Los valores de Evaporación para la zona de estudio presentan máximos de evaporación en los meses de enero y diciembre del 2016, coincidiendo con los meses de mayor Brillo Solar, debido a que son factores directamente proporcionales. Se registran como máximo valor de radiación de 267,8 Horas en el mes de enero del 2016 y el mínimo de horas de radiación solar registradas es de 60,5 en el mes de junio año ya mencionado.

Su comportamiento no es muy fluctuante, tiene un comportamiento con tendencia decreciente a creciente.

Figura 6.18. Valores Medios, Mínimos y Máximos mensuales multianuales de Evapotranspiración.

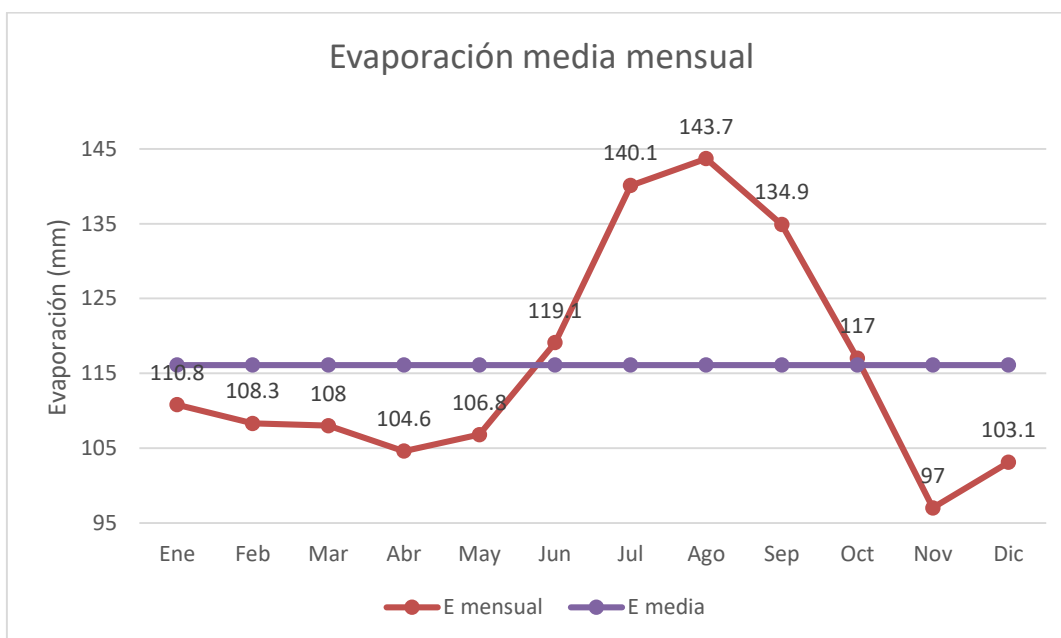




Fuente: Esta Consultoría con datos del IDEAM

La evaporación media mensual de la estación Demostración GJA es igual a 116.1mm. Los mayores valores se presentan durante los meses secos, que corresponden a su vez a las temperaturas más altas y las mayores horas de brillo solar. Así los mayores valores entre los meses de julio a septiembre del 2016. El menor promedio mensual obtenido se presentó en el mes de noviembre correspondiente a la temporada más húmeda

**Figura 6.19.** Evaporación media mensual estación Demostración GJA.

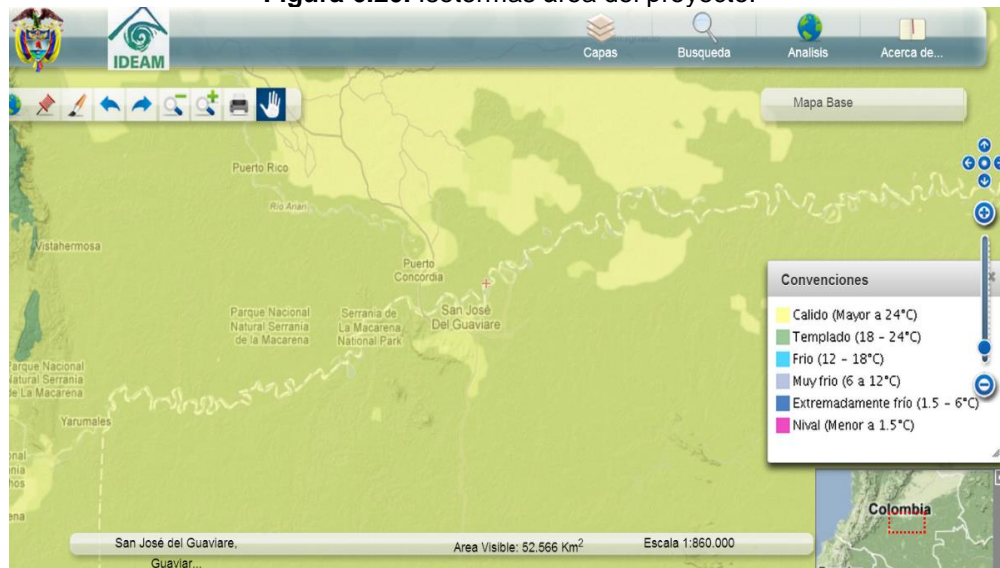


Fuente: IDEAM Estación Demostración GJA

### 6.7.6. Isotermas

Las isotermas son líneas que unen puntos de igual valor medio de temperatura en un mapa. El Municipio de San José del Guaviare según los datos arrojados por el IDEAM presenta una Temperatura media cálida y cuenta con una temperatura promedio de 25,7°C, como se observa en la siguiente imagen en color amarillo. Las isotermas están formadas con valores multianuales del año 1971 a 2000.

**Figura 6.20. Isotermas área del proyecto.**

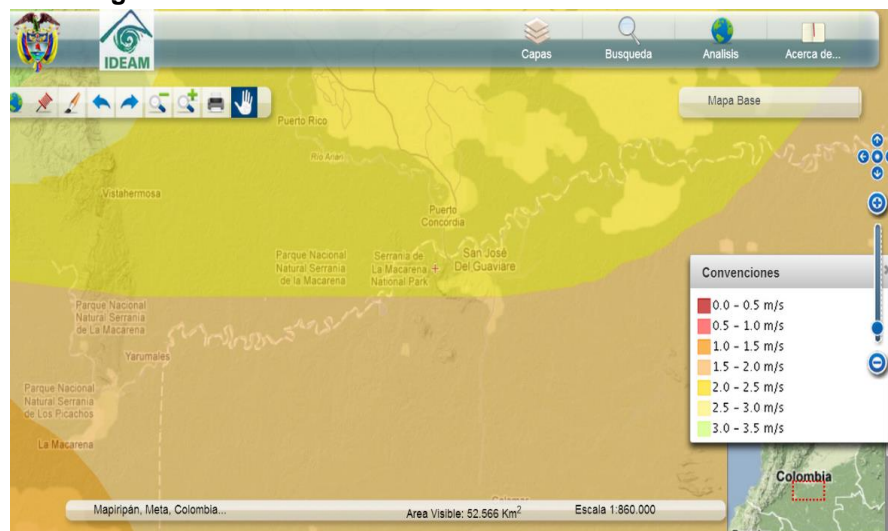


**Fuente:** IDEAM de la web: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>

### 6.7.7. Vientos

A continuación, se observan las curvas de velocidades de viento en m/s. El Municipio de San José del Guaviare se encuentra entre las curvas de color amarillo con valores entre 2,0 y 2,5 m/s.

**Figura 6.21. Velocidad media del Viento Promedio multianual.**

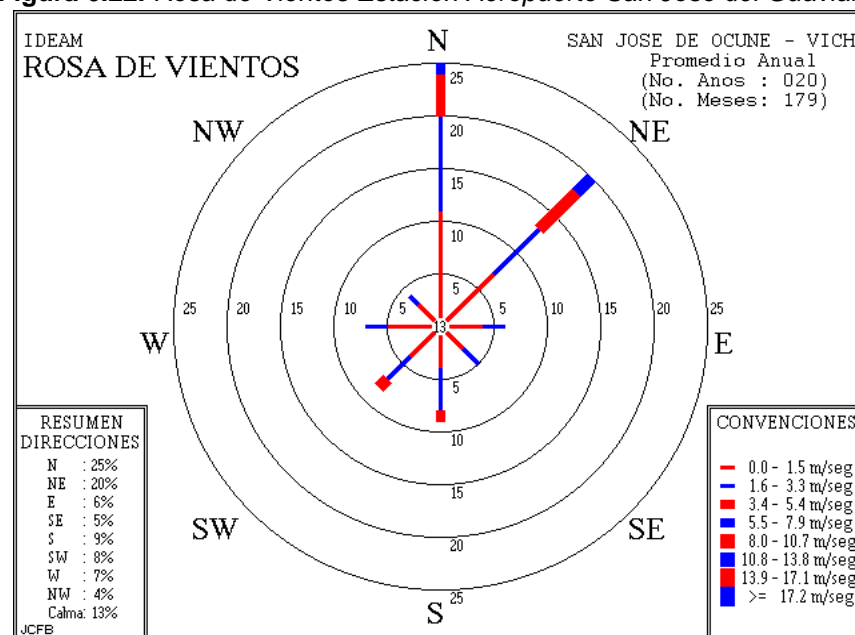


**Fuente:** IDEAM de la web: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>

### 6.7.8. Rosa de Vientos

La rosa de vientos corresponde a los datos registrados por el IDEAM durante 20 años en la estación ubicada en el Aeropuerto de San José de Guaviare, la cual determina que la dirección del viento en esta zona predomina en el Norte (N) – NorEste (NE) con velocidades entre 8,0 m/s hasta 13,8 m/s. En el sentido Norte el 25% del tiempo el viento sopla en este sentido, mientras que el 4% del tiempo el viento sopla en dirección Noroeste. Con relación a la dirección del viento se puede determinar que la zona se caracteriza por presentar Brisas Frescas y Fuertes que permiten el movimiento y dispersión de las partículas presentes en el aire.

**Figura 6.22. Rosa de Vientos Estación Aeropuerto San José del Guaviare.**



**Fuente:** IDEAM. 1999. En la web: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

### 6.7.9. Evaporación Potencial

A partir de las variables anteriores se calculó la evapotranspiración por el método de Thornthwaite, el cual está basado en la determinación de la ETP en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes. La ecuación para su cálculo es la siguiente:

(mm/mes)

$$Etp = 16 \left[ \frac{I}{12} \right] \left[ \frac{N}{30} \right] \left[ \frac{10Ta}{I} \right]^a$$

donde:

I = duración del día (hs)

N = n° días en un mes

Ta = temperatura del aire media mensual (°C)

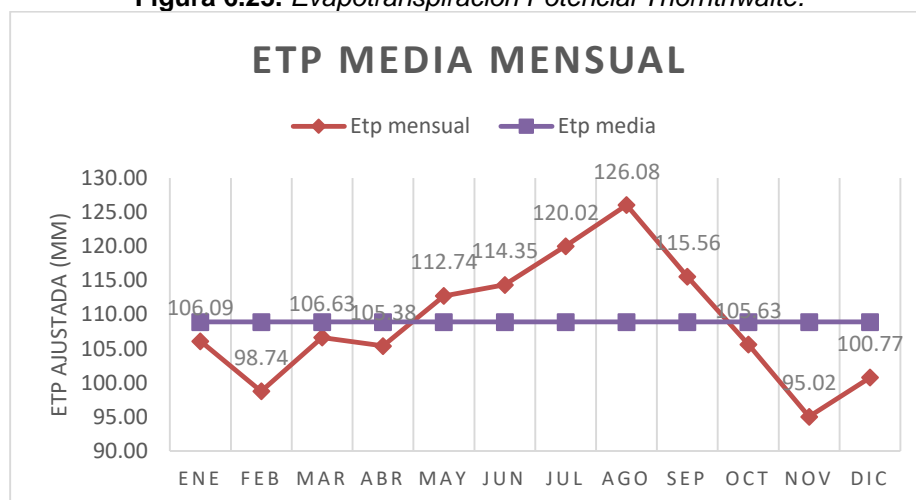
$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,49$

donde  $I = \sum_{i=1}^{12} i$  para los 12 meses

$$i = \left[ \frac{Ta}{5} \right]^{1,514}$$

A partir de lo anterior, empleando los datos de temperatura media, se procedió a realizar el cálculo de la ETP para la estación Demostración GJA, los resultados del comportamiento de este parámetro se presentan a continuación:

**Figura 6.23. Evapotranspiración Potencial Thornthwaite.**



Fuente: IDEAM Estación Demostración GJA.

### 6.7.10. Balance Hídrico

Una vez calculados los parámetros de precipitación y evapotranspiración con la información de la estación Demostración GJA y sin considerar la reserva de humedad del suelo. La diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial es negativa solo en los meses de junio a agosto, en tanto que hay sobreoferta hídrica el resto del año. Se debe aclarar que los excedentes de agua no

necesariamente indican escorrentía, pues estos suplirán en primera instancia el déficit en la capacidad de almacenamiento del suelo.

### **4.3. RECOPIACION Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN**

Para el desarrollo de los estudios hidrológicos e hidráulicos se debe recopilar la información de tipo espacial proveniente de mapas disponibles en diversas fuentes, e información temporal basada en series de tiempo de datos pluviométricos, hidrométricos y climatológicos. Como paso previo a la adquisición de información es necesario realizar un inventario de la información disponible para el estudio, consultando las diferentes fuentes, evaluando el tipo de datos con los que cuentan y estableciendo la necesidad o no de la misma.

Para este proyecto se recopiló la información proveniente de las agencias ambientales, como el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia (IDEAM), también de los estudios realizados como el de suelos, el de impacto ambiental, los levantamientos topográficos e información del instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Toda la información adquirida requiere ser evaluada en su cantidad, calidad y habilidad, para establecer la conveniencia o no de su adquisición y aplicación en los diferentes estudios hidrológicos e hidráulicos.

#### **6.7.11. Análisis de la información espacial**

La información de tipo espacial contempla la información topográfica y toda la información que es posible extraer de ella, como son la pendiente, la red de drenaje, las áreas acumuladas, la dirección de drenaje, las distancias hasta el punto de desagüe y el índice topográfico. Esta información espacial también incluye las representaciones de la variabilidad espacial de variables como son la geología y las propiedades del suelo.

Para este estudio la principal fuente de información espacial fue el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC); el IGAC cuenta con restitutiones topográficas con escalas de 1:10.000 y 1:25.000, las cuales han sido la base para los estudios de tipo espacial. Además, se realizaron los levantamientos topográficos detallados

en las zonas de interés, estos levantamientos topográficos son información suministrada por el interesado.

### **6.7.12. Caracterización fisiográfica y geomorfológica**

#### **6.7.12.1. Área de la cuenca**

Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro se expresa normalmente en  $\text{km}^2$ . Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para tener total confianza en este valor.

#### **6.7.12.2. Perímetro**

Se puede considerar como la línea formada por la divisoria de la cuenca de estudio; este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros. Esta característica se relaciona con otras morfométricas.

#### **6.7.12.3. Tiempo de concentración**

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo se pueden emplear diferentes fórmulas que se relacionan con otros parámetros propios de la cuenca. Para la estimación del tiempo de concentración se recomienda emplear varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica, se considera apropiado incluir al menos cinco estimaciones diferentes,



(Chow *et al.* 1994: Smith y Vélez, 1997; Linsley *et al.*, 1990, Viessman y Lewis, 2003, Vélez y Botero, 2011):

Donde,  $t_c$  es el tiempo de concentración (min),  $T_c$  es el tiempo de concentración (horas),  $L$  es la longitud del curso de agua más largo (km),  $H$  es la diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m),  $S$  es la pendiente promedio del cauce principal (m/m),  $A$  es el área de la cuenca (km<sup>2</sup>),  $L_p$  es la longitud del cauce (mt),  $L_{cg}$  es la distancia desde la salida hasta el centro de gravedad de la cuenca (mi),  $N_c$

California Culvert Practice - 1942:	Ec. 2.3	$t_c = 60 \cdot \left[ \frac{0,87075 \cdot L^3}{H} \right]^{0,385}$
California U.S.B.R:	Ec. 2.4	$T_c = 0,066 \cdot \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0,77}$
Clark:	Ec. 2.5	$T_c = 0,335 \cdot \left[ \frac{A}{S^{0,5}} \right]^{0,593}$
Federal Aviation Agency -1970:	Ec. 2.6	$t_c = 3,26 \cdot (1,1 - C) \cdot \frac{(L \cdot 1000)^{0,5}}{(S \cdot 100)^{0,333}}$
George Rivero:	Ec. 2.7	$t_c = \frac{16 \cdot L}{\left[ (1,05 - 0,2 \cdot p) \cdot (100 \cdot S)^{0,04} \right]}$
Giandotti:	Ec. 2.8	$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{25,3 \cdot \sqrt{S \cdot L}}$
Johnstone Cross - 1949:	Ec. 2.9	$T_c = 5 \cdot \left( \frac{L_m}{\sqrt{S}} \right)^{0,3}$
Kerby -1959 / Hathaway - 1945:	Ec. 2.10	$t_c = \left[ \frac{0,67 \cdot n \cdot L_p}{\sqrt{S}} \right]^{0,467}$

es el número de curva,  $C$  es el coeficiente de escorrentía del método racional,  $p$  es la relación entre el área cubierta de vegetación y el área de la cuenca,  $L_m$  es la longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (mi),  $s$  es la pendiente promedio de la cuenca (pies/mi),  $n$  es el coeficiente de rugosidad del cauce,  $P_2$  es la precipitación con un período de retorno de 2 años para una lluvia de duración de



Kirpich - 1940:	Ec. 2.11	$t_e = 0,0078 \cdot L_p^{0,77} \cdot S^{-0,385}$
Método racional generalizado:	Ec. 2.12	$t_e = \left[ \frac{60 \cdot n \cdot L}{H^{0,5}} \right]$
Morgali y Linsley 1965:	Ec. 2.13	$t_e = \frac{0,933 \cdot L_p^{0,6} \cdot n^{0,6}}{i^{0,1} S^{0,3}}$
Passini:	Ec. 2.14	$T_e = \frac{0,108 \cdot (A \cdot L)^{0,5}}{S^{0,5}}$
Pilgrim:	Ec. 2.15	$T_e = 0,76 \cdot A^{0,38}$
SCS Ranser:	Ec. 2.16	$T_e = 0,947 \cdot \left( \frac{L^2}{H} \right)^{0,285}$
Témez - 1978:	Ec. 2.17	$T_e = 0,3 \cdot \left[ \frac{L}{S^{0,25}} \right]^{0,76}$
Ventura-Heras:	Ec. 2.18	$T_e = \alpha \cdot \frac{A^{0,5}}{S} \quad 0,04 < \alpha < 0,13$

24 horas (m),  $i$  es la intensidad de la lluvia (mm/s),  $\alpha$  es un parámetro que depende de la pendiente.

## 6.8. MARCO TEÓRICO DEL DISEÑO HIDROLÓGICO

La hipótesis fundamental para el diseño hidrológico, cuando no se dispone de suficiente información de caudales en la zona del proyecto, se basa en la relación lluvia - escorrentía que existe en la naturaleza y menciona que una lluvia máxima estimada para un período de retorno dado produce un caudal máximo para ese mismo período de retorno. Esta hipótesis se acepta aun siendo conscientes de la no linealidad existente entre la lluvia y la escorrentía. Una vez se acepta esta hipótesis es posible acudir a la aplicación de diferentes métodos hidrológicos lluvia-escorrentía, que en la literatura científica son numerosos y todos ellos arrojan resultados muy diferentes, por lo que se recomienda emplear varios modelos hidrológicos con el fin de contrastar los resultados y reducir la incertidumbre asociada a la estimación de los caudales máximos.

### 6.8.1. Intensidad de la lluvia máxima

La intensidad de la lluvia máxima se puede calcular con base en las curvas Intensidad -Duración - Frecuencia (IDF) disponibles de estaciones ubicadas en la zona de estudio. Estaciones con información temporal inferior a la diaria y con un registro suficientemente largo normalmente disponen de las curvas IDF, en caso contrario es posible calcularlas mediante diferentes metodologías clásicas (Chow et al., 1994).

### 6.8.2. Cálculo de caudales máximos

Para la determinación de caudales máximos en una cuenca existen numerosas metodologías, algunas de las cuales emplean registros hidrométricos históricos y otros, más comúnmente utilizados, parten de la información de lluvias para la obtención de caudales máximos; dichos métodos son denominados normalmente, lluvia-caudal o lluvia - escorrentía.

Para la estimación de los caudales máximos para los diferentes períodos de retorno se emplearon diversas metodologías las cuales se describen a continuación (Segura y Reyes, 1992; Chow et al., 1994; Suárez, 2001; Linsley et al., 1990; Viessman y Lewis, 2003).

En aquellos casos en los que la información es escasa, comúnmente se recurre a los métodos empíricos, sin embargo, los resultados que estos métodos arrojan deben ser mirados con cuidado ya que el nivel de incertidumbre pudiera ser superior al aceptable para un objetivo determinado. Es necesario definir, en principio, si la cuenca a la que se está aplicando un método específico tiene características similares a las de la cuenca para la cual fue desarrollada dicha ecuación.

Algunos de estos métodos requieren de unos datos adicionales a los ya calculados, éstos se presentan a continuación:

#### 6.8.2.1. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía  $C$  es la relación entre el volumen de la escorrentía superficial total  $E_{sc}$ , y el volumen de agua precipitado para un mismo período de tiempo,  $P_{pt}$ .

$$C = \frac{E_{sc}}{E_{pt}}$$

Es una tarea difícil determinar este parámetro a partir de información observada; por tanto, normalmente se recurre a estimativos a través de tablas. El parámetro C es estimado por muchos autores mediante tablas que dependen del tipo y usos del suelo, asignando un valor de C a cada unidad. Sin embargo, Suárez (2001) propone una metodología que tiene en cuenta además del tipo y uso de suelo, el período de retorno  $T_r$  y la pendiente del terreno S, tal y como se presenta en la Tabla 4.2; donde cada unidad de suelo tiene dos tipos de pendientes y cada uno de estos tiene valores de C para diferentes  $T_r$ .

#### 6.8.2.2. Método racional

Este método se aplica normalmente a cuencas pequeñas y los resultados obtenidos así son aceptables para dichos casos. Sin embargo, también es empleado en cuencas de tamaño medio si se hacen las hipótesis mínimas requeridas. Para estimar caudales máximos a través del método racional se considera que la lluvia cae con una intensidad uniforme en toda la cuenca y que el valor del coeficiente de escorrentía representa toda el área de la cuenca. Una vez estimados todos los parámetros necesarios para el cálculo de los caudales máximos, se procede a su estimación a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_p = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Donde  $Q_p$  es el caudal máximo en  $m^3/s$  para el periodo de retorno  $T_r$  dado, C es el coeficiente de escorrentía, I es la intensidad en  $mm/h$ , A es el área que está dada en  $km^2$ .

#### 6.8.2.3. Método empírico

Emplea una ecuación sencilla para la estimación del caudal máximo en  $m^3/s$ , en la que se relaciona la lluvia con un período de retorno de 10 años,  $P_{10}$ , el periodo de retorno  $T_r$  y el área de la cuenca A en  $km^2$ :

$$Q = 0,06 \cdot P_{10} \cdot \text{Log}(T_r) \cdot A^{0.75}$$

Los métodos empíricos sólo sirven para dar una idea sobre el orden de magnitud de los caudales máximos.

#### 6.8.2.4. Método de Burkli –Zegler

Este método emplea la siguiente ecuación propuesta por estos autores para la estimación de caudales:

$$Q = 27,78 \cdot C \cdot I \cdot S^{1/4} \cdot A^{3/4}$$

Donde C es el coeficiente de escorrentía I es la intensidad de la lluvia (mm/h), S es la pendiente media de la cuenca (mm/m) y A es el área (km<sup>2</sup>)

## 5. ACTIVIDADES Y METODOLOGÍAS DESARROLLADAS

Las gestiones para elaborar el estudio de caracterización del sector de influencia del municipio de San José del Guaviare, elaborar la caracterización climática del área urbana y rural, estimar y construir las Curvas IDF para la zona del proyecto, estimar la Ecuación Racional que permita calcular los caudales para el diseño de algunas estructuras hidráulicas si se necesitaran, y presentar las recomendaciones que se entregan al final del documento, demanda la ejecución y aplicación de las siguientes actividades y metodologías pertinentes a los objetivos y los presupuestos del Estudio:

### 5.1. ACTIVIDADES PRELIMINARES

- Compilación y evaluación de información bibliográfica disponible y pertinente para la elaboración del estudio. Se realiza mediante una revisión bibliográfica de documentos con información técnica de interés para el estudio.
- Selección de información climatológica y pluviométrica de la estación de Puerto Concordia, la Macarena requerida para elaborar el estudio. Se realiza mediante análisis cartográfico de las planchas de ubicación de estaciones del IDEAM y con la aplicación de algunos métodos para generar información meteorológica como ecuaciones de regresión o uso de las isolíneas para el sector de análisis y estudio.

Como resultados de estas Actividades, se obtuvieron los siguientes insumos:

- Caracterización climática y pluviométrica del sector del municipio y comparativo de la distribución y comportamiento de las lluvias en las dos estaciones consultadas a nivel mensual y anual en cuanto el total anual de la precipitación, el número de días con lluvias al año, el promedio de lluvias máximas en 24 horas y las lluvias máximas absolutas que se han presentado en las dos estaciones para 24 horas.

### 5.2. ACTIVIDADES GENERALES

- Estimación de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo en el sector (de acuerdo a la tabla de texturas del departamento de suelo de los EEUU), de

la Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (según el nomograma de densidades y fracciones volumétricas de agua aprovechable por el suelo de la FAO), y de la Evapotranspiración Potencial del sector urbana del (mediante la fórmula de Penman-Montheau; modificada y consultada en la página Web del IDEAM).

- Elaboración del Balance Hídrico Climático Promedio del sector (mediante la aplicación del método de balance hídrico por Thornthwaite y análisis de los Parámetros Derivados y de Salida de acuerdo a los índices del método).
- Elaboración de las Curvas IDF para la zona del municipio de San José del Guaviare y estimación de las Intensidades Máximas Horarias para diferentes Períodos de Retorno (mediante el análisis y la estimación de los valores pluviales para diferentes períodos de tiempo).
- Estimación de los Caudales de Diseño para algunas obras hidráulicas en área de zona aledañas del municipio de San José del Guaviare, si lo requiere, (mediante la aplicación de la Ecuación Racional o de Ramser).

De acuerdo a la agenda de estas Actividades realizadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Estimación mensual del gradiente y el porcentaje de humedad en el perfil del suelo y de los volúmenes de agua de escorrentía que se generan en el sector urbano rural del municipio.
- Valores de las precipitaciones máximas y construcción de las Curvas IDF para diferentes Períodos de Retorno para el casco urbano del municipio de San José del Guaviare.
- Aproximación a la Ecuación Racional o de Ramser aplicada en los cálculos de los Caudales de Diseño para las estructuras hidráulicas en el sector urbano del municipio de San José.
- Elaboración de las principales Conclusiones y presentación de algunas Recomendaciones Técnicas para tener en cuenta y considerar en los cálculos,

diseño y construcción de las gestiones para el sistema de acueducto, sistema de alcantarillado sanitario.

## 6. ANALISIS HIDROLOGICO PARA CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Una de las principales aplicaciones hidrológicas es la estimación de caudales para determinados periodos de retorno, para el dimensionamiento de obras por ejemplo de control y evacuación como alcantarillados pluviales, cunetas, box culverts, alcantarillas, pontones y puentes entre otros.

Para la estimación de estos caudales de diseño existen diversos procedimientos de cálculo, sin que ninguno de ellos se adopte unánimemente, a su vez por la aplicabilidad que cada uno de ellos tiene en condiciones particulares.

### 6.1. CAUDALES DE DISEÑO

Independiente del método de cálculo, estos están en función del evento de precipitación y las condiciones de la cuenca, con las siguientes características:

- ❖ Intensidad de la precipitación
- ❖ Duración del evento de lluvia
- ❖ Ocurrencia del evento
- ❖ Topografía
- ❖ Suelos
- ❖ Geomorfológicos
- ❖ Cobertura vegetal

Uno de los métodos utilizados es la ecuación del método racional, dicho método a pesar de presentar la estimación del caudal como una relación lineal con el área de la cuenca, es uno de los métodos más aplicados en drenaje de cuencas con áreas pequeñas. Para la estimación del caudal de diseño de aguas lluvias, uno de los métodos más aplicados para diseño de drenaje urbano, es el Método Racional, el cual calcula el caudal pico de aguas lluvias con base en la intensidad media del evento de precipitación, con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escurrimiento (Literal D.4.3.2. – RAS 2000). La ecuación del método racional es:



$$Q = 2.78 * (C \times I \times A) \text{ ecuación}$$

Donde:

Q = Caudal pico en m<sup>3</sup>/s,

I = Intensidad de la lluvia para un periodo de retorno específico y está dada en mm/h y es determinada a partir de las curvas IDF.

C = Coeficiente de escorrentía, el cual depende del uso del suelo y las condiciones topográficas del terreno.

A = Área de drenaje en Km<sup>2</sup>

2.78 = Factor de conversión de unidades

Otra de las metodologías que permite calcular el caudal de la cuenca se basa en la hidrología de cuencas pequeñas y con escasa información como la que se presenta en la zona en estudio. Para este método “método del hidrograma unitario triangular del SCS para cuencas pequeñas menores a 100km<sup>2</sup>” se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{P * A}{5,4 t_c}$$

En donde:

- P= Precipitación medida en milímetros obtenida de un histograma triangular.
- A= Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>
- Tc: tiempo de concentración en horas.

Para poder llevar a cabo el calculo de la precipitación se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = t_c * C * I$$

En donde:

- Tc= tiempo de concentración en horas.
- C= coeficiente de reducción.
- I= intensidad de lluvia de diseño (mm/h).

## 6.2. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA O PERMEABILIDAD

El coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo. El valor del coeficiente C debe ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del periodo de diseño.

Para áreas de drenaje que incluyan sub-áreas con coeficientes de escorrentía diferentes, el valor de C representativo del área debe calcularse como el promedio ponderado con las respectivas áreas.

$$C = \frac{\sum (C.A)}{\sum A}$$

Para la estimación de C existen tablas de valores y fórmulas, algunas de las cuales se presentan en la tabla 6.1 como guía para su selección. La adopción de determinados valores debe estar justificada.

Tabla 6.1 Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0.75-0.95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70-0,95
Vías adoquinadas	0.70-0.85
Zonas comerciales o industriales	0.60-0.95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0.75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0.60-0.75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0.40-0.60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0.45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques cementerios	0.3
Laderas sin vegetación	0.6
<b>Laderas con vegetación</b>	<b>0.3</b>
Parques recreacionales	0.20-0.35

### 6.3. INTENSIDAD DE LA LLUVIA: CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF)

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. **(Ver anexo 2).**

Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos.

Es necesario verificar la existencia de curvas IDF para la localidad. Si no existen, es necesario obtenerlas a partir de información existente de lluvias con información pluviográfica de estaciones ubicadas próximas a la localidad. La generación de las curvas intensidad-duración-frecuencia, permite evaluar las intensidades asociadas a un fenómeno de precipitación, para un periodo de retorno dado. De esta forma, se puede calcular el caudal de escorrentía asociado a un fenómeno de precipitación con un periodo de retorno adecuado para el dimensionamiento de una estructura.

Las curvas IDF son las herramientas típicas para el cálculo de la intensidad de la lluvia en un punto asociada a diferentes periodos de retorno y a una duración de tormenta determinada. Para la construcción de las curvas IDF, se recurrió a la metodología de escalamiento múltiple de tormentas máximas de una duración determinada (Wilches, 2001; UNALMED & CTA, 2001). A partir de intensidades máximas anuales de 24 horas como referencia, se construyeron entonces las curvas IDF teniendo en cuenta los valores presentados.

En la Tabla 6.2 se muestra un listado de las estaciones disponibles para el estudio hidrológico e hidráulico en la zona de estudio seleccionada.

Tabla 6.2. Generalidades de las estaciones climatológicas utilizadas

Nombre	Código	Municipio	Tip o	Año de Instalació n	Entida d	Corriente	Latitud	Longitud	Altitud
Isla del Muerto	3204002 0	San José del Guaviare	PM	06-1983	IDEAM	Guayaber o	0222 N	-7309W	184m.s.n. m

\*PM: PLUVIOMÉTRICA

## Estadísticos de las intensidades multianuales

IDF PRECIPITACIONES MÁXIMA PROMEDIO MULTIANUAL						
DURACIÓN (min)	Periodo de retorno en años					
	2	5	10	20	25	50
10	252,72	295,31	332,25	373,80	388,25	436,80
15	195,75	228,74	257,35	289,53	300,73	338,33
20	163,30	190,82	214,69	241,54	250,88	282,25
30	126,49	147,81	166,29	187,09	194,32	218,62
40	105,52	123,31	138,73	156,08	162,11	182,38
50	91,68	107,14	120,53	135,61	140,85	158,46
60	81,73	95,51	107,45	120,89	125,57	141,27
70	74,17	86,67	97,51	109,70	113,95	128,20
80	68,18	79,68	89,64	100,85	104,75	117,85
90	63,31	73,98	83,23	93,64	97,26	109,42
100	59,24	69,23	77,89	87,63	91,01	102,40

A partir de los registros diarios de precipitación se obtienen ecuaciones de la forma:

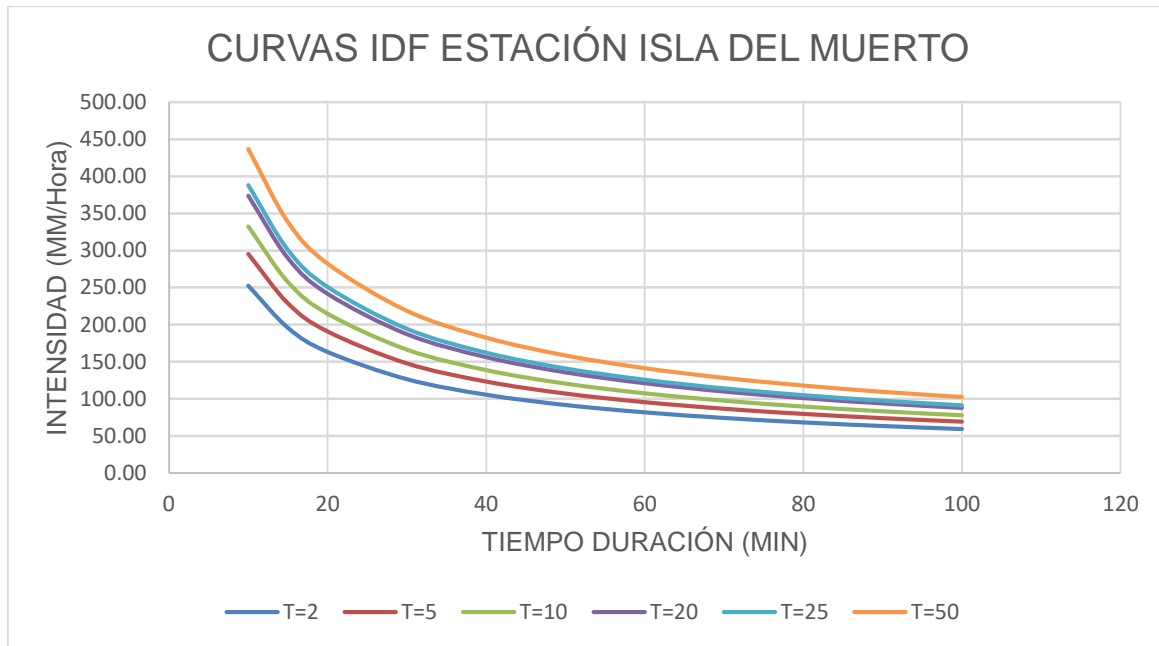
$$\frac{I_T^d}{I_T^{105}} = \frac{46.2}{d^{0.75}} - \frac{43.05}{d} \quad 5 \leq d \leq 105$$

$$I_{d,q} = \frac{E[I_{24}]^2}{\sqrt{E[I_{24}^2]}} E \left[ \phi_q \sqrt{\ln \left( \frac{E[I_{24}^2]}{E[I_{24}]^2} \right)} \right] \left( \frac{d}{1440} \right)^{-\theta} \quad 105 \leq d \leq 1440$$

Donde, d es la duración de la lluvia en minutos, q es la probabilidad de no excedencia con la distribución normal estándar,  $E[I_{24}]$  es el valor esperado de la intensidad máxima anual de 24 horas de duración,  $E[I_{24}^2]$  es el valor esperado del cuadrado de las intensidades máximas anuales para una duración de 24 horas,  $\phi_q$  es el valor de la distribución normal acumulada estándar inversa para una probabilidad de no excedencia q,  $\theta$  es un coeficiente de escalamiento igual a -0.85 (Wilches, 2001). A continuación, se presentan las curvas IDF para las estaciones localizadas en el municipio de San José del Guaviare.

Por lo tanto, tenemos las curvas IDF:

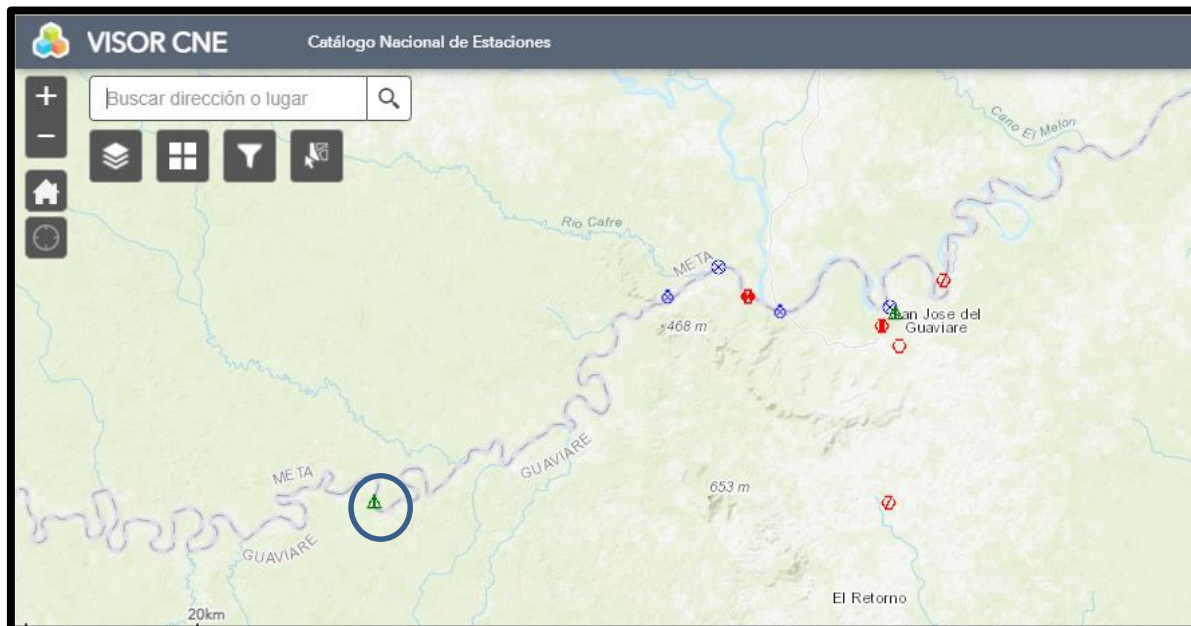
**Figura 6.2 ESTACIÓN ISLA DEL MUERTO**



***CURVA IDF PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROMEDIO MULTIANUAL***

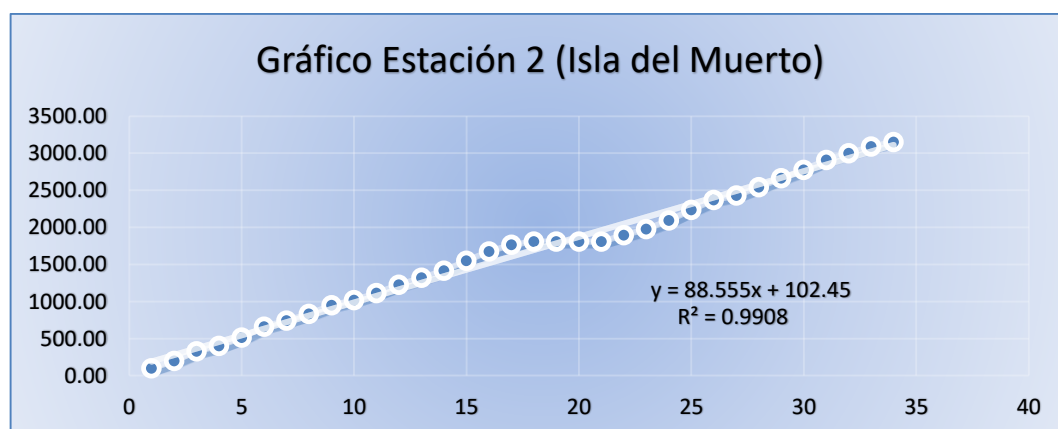
#### 6.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TEMPORAL

Para el caso de aplicación no se realizó relleno de datos faltantes dado que se contaba con suficiente información que permita dar confianza a los resultados obtenidos. La Figura 6.3 muestra la localización de la estación seleccionada para el estudio con registros superiores a 15 años.



**Figura 6.3.** Mapa de localización de estaciones para la zona de estudio (fuente IDEAM)

A partir de las series hidroclimatológicas de la zona se llevó a cabo un análisis de frecuencias de eventos máximos. En la figura 6.5 se muestran los resultados del modelo para la estación empleando las funciones de distribución de probabilidad disponibles en el programa, Este análisis se realizó a todas las estaciones para la información de lluvia diaria disponible en la zona del proyecto y se escogió la función de mejor ajuste para realizar los demás cálculos.



**Figura 6.5.** Homogeneidad de los datos análisis de doubles masas - pruebas de bondad para la estación de Isla del Muerto.



## 6.5. PERÍODO DE RETORNO

El periodo de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, tráfico vehicular, comercio, industria, etc. La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado. En la tabla 6.3 se establecen valores de periodos de retorno o grado de protección.

Tabla 6.3 Períodos de retorno o grado de protección

Características del área de drenaje	Mínimo (años)	Aceptable (años)	Recomendado (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha	2	2	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 ha	5	5	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores de 1000 ha *	10	25	25
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha	25	25	50

Parte revestida a 10 años, más borde libre a 100 años

## 6.6. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN ESPACIAL

Los elementos geomorfológicos del relieve tales como procesos exógenos (clima, vegetación, actividad antrópica), procesos morfogenéticos como la erosión, transporte y sedimentación y procesos endógenos como los tectónicos (orogenia) que ayudan de manera constructiva a modelar el paisaje.

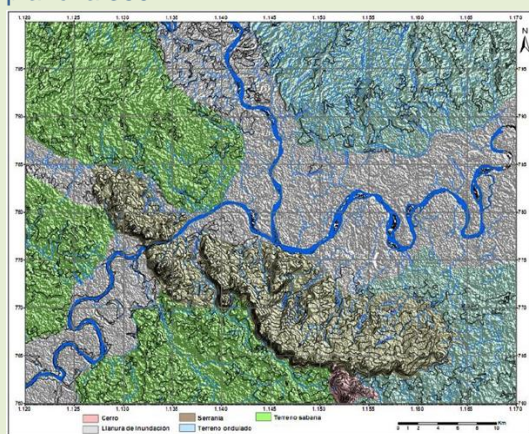
Teniendo en cuenta las diferencias en composición litológica y resistencia a la erosión de los materiales se permite identificar cinco (5) unidades para la plancha



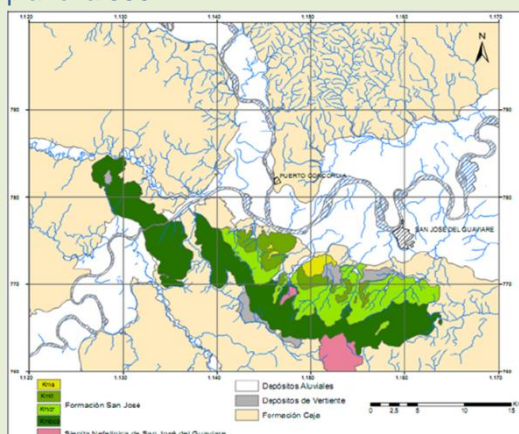
350 San José del Guaviare: cerros, serranías, terrenos ondulados, terrenos de sabana y terrazas aluviales incluidas a nivel general en la provincia geomorfológica de peneplanicies y llanuras de la Orinoquía.

En las imágenes que se muestran entre la Figura 6.6 y la Figura 6.7 se observa el análisis la información espacial. Durante el análisis y recopilación de la información espacial se realizó un análisis de la intensidad de la lluvia de la zona de estudio, partiendo de las curvas IDF.

**Figura 6.6.** Unidades geomorfológicas en la plancha 350



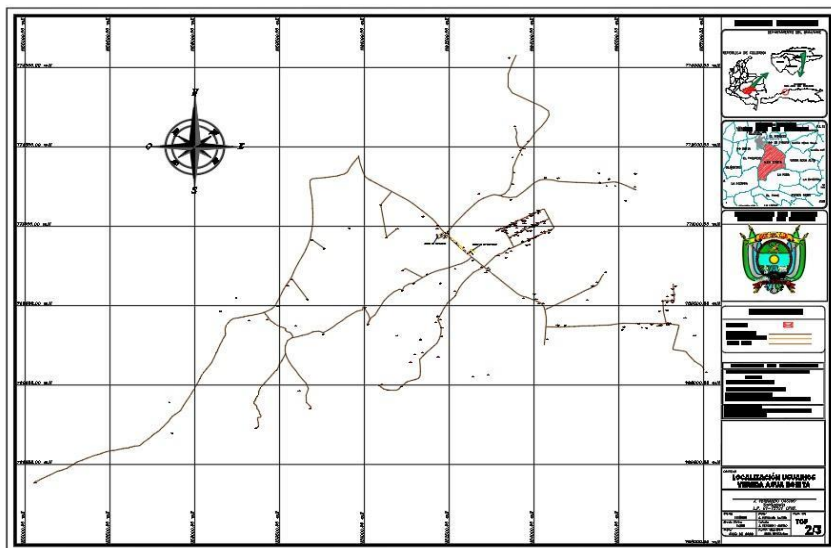
**Figura 6.7.** Unidades geomorfológicas en la plancha 350.



Desde el punto de vista geológico estas unidades son las más jóvenes (Holoceno), pertenecen al Cuaternario y representa los sedimentos no consolidados de diferente granulometría (limo, arcilla, grava) que han sido transportados por los ríos (de origen fluvial) y depositados en sus riberas. Estos se extienden a lo largo de los principales ríos como el Guaviare e Inírida.

Esta unidad ocupa el 18.5% del territorio, equivalentes a 247.600 has aproximadamente. Desde el punto de vista estructural<sup>1</sup>, el Municipio San José del Guaviare y el Departamento es atravesado por un fallamiento E.W (falla Carurú) que se desprende desde la Serranía de La Macarena en dirección a Mitú, el cual divide al Departamento en dos terrenos geológicos, la parte norte Terreno Meta – Vichada – Guaviare y la parte sur Terreno Caquetá – Amazonas. La zona norte, correspondiente al Municipio presenta un estilo estructural de fallamiento Proterozoico NNE – SSW y del Paleozoico NE – SW, con reactivación postcretácica rumbo deslizante.

**Figura 6.8. Plano topográfico georreferenciado.**



A partir de la georreferenciación global, se procede a estimar el área de la cuenta mediante un análisis de acumulación de flujo, a partir del cual se obtuvo la siguiente cuenta perteneciente al flujo de captación.



## 6.7. CÁLCULO DE CAUDALES DE LA CUENCA PARA CADA PERIODO DE RETORNO.

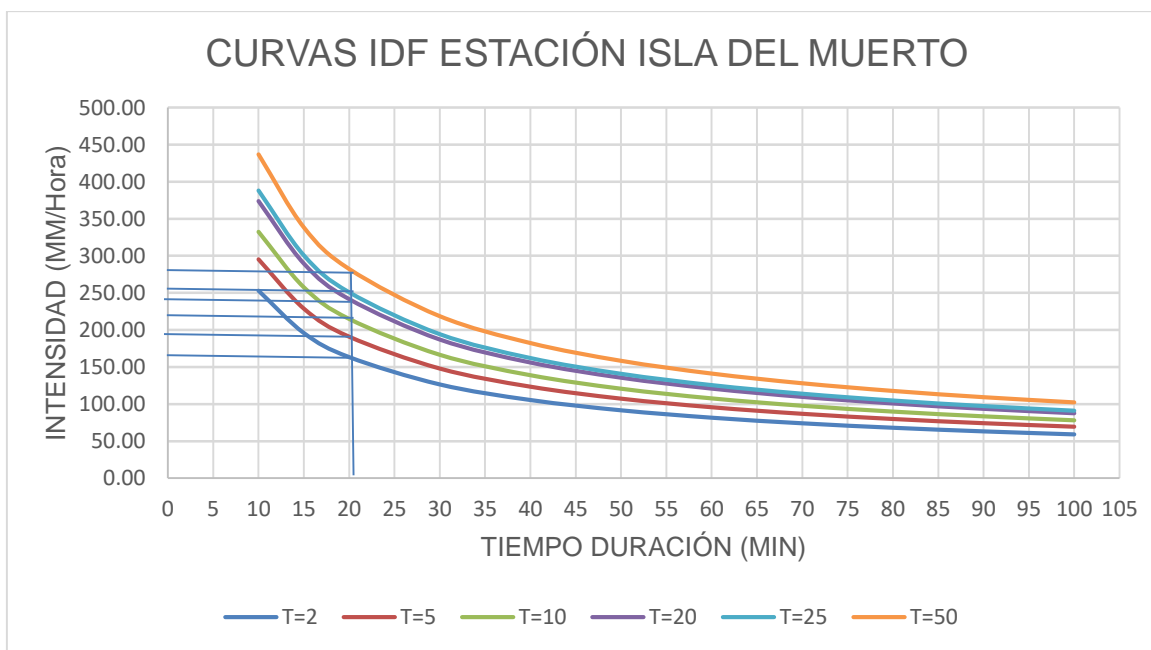
Teniendo en cuenta la metodología planteada anteriormente para el cálculo de caudales en cuencas pequeñas y con poca información, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Cálculo de tiempos de concentración por diferentes métodos:**

NÚMERO	CUENCA	LONG CAUCE (Km)	pendiente media (mm/mm)	Area cuenca (km <sup>2</sup> )	Tc (Kirpich)(min)	Tc (Bransby-Williams)(min)	Tc (US Corps of engineers)(min)	Tc (Temez)(min)	Promedio
1	CAÑO AGUA BONITA	1,16	0,015	0,77	22,46	24,55	18,65	18,66	21,08

Una vez realizado el calculo de los tiempos de concentración, para este estudio será utilizado el promedio de dichos métodos que en este caso es igual a **21.08 minutos** o **0.35 horas**.

- Determinación de intensidades para cada periodo de retorno a partir de las curvas IDF:**



Tc=21.08min		
PERIODO DE RETORNO	DE	INTENSIDAD (mm/h)
2		162.50



5	187.50
10	219.00
20	240.00
25	250.00
50	275.00

### ● Cálculo de la precipitación P

Una vez obtenidos los valores de la intensidad para cada periodo de retorno con un tiempo de concentración de **21.08 min**, se realiza el calculo de la precipitación de diseño mediante la siguiente expresión:

$$P = tc * C * I$$

- Tc= tiempo de concentración en horas.
- C= coeficiente de reducción.
- I= intensidad de lluvia de diseño (mm/h).

El coeficiente de reducción C varia entre 0.15 y 1 según el tiepo de cuenca en estudio, si la cuenta tiene un área menor a 25km<sup>2</sup> y pendientes fuertes, el coeficiente es próximo a 1, mientras que, para cuencas planas de gran área este coeficiente está en el orden de 0.15. Para este estudio será tomado un valor de **C=0.8**.

A partir de este procedimiento fueron obtenidos los siguientes resultados:

PERIODO DE RETORNO	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (h)	C	Intensidad (mm/h)	PRECIPITACIÓN DE DISEÑO (mm)
2	0.35	0.8	162.50	45.50
5	0.35	0.8	187.50	52.50
10	0.35	0.8	219.00	61.32
20	0.35	0.8	240.00	67.20
25	0.35	0.8	250.00	70.00
50	0.35	0.8	275.00	77.00

### ● Cálculo de los caudales de diseño para cada periodo de retorno:

Una vez obtenidas las precipitaciones de diseño, se calculan los caudales de diseño para cada periodo de retorno a partir de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{P * A}{5,4 \text{ } t c}$$

En donde:

- P= Precipitación medida en milímetros obtenida de un histograma triangular.
- A= Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>
- Tc: tiempo de concentración en horas.

Para un área de **0.77km<sup>2</sup>** y un tiempo de concentración de **21.08 minutos** o **0.35 horas**, se obtuvieron los siguientes caudales de diseño.

PERIODO DE RETORNO	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (h)	PRECIPITACIÓN DE DISEÑO (mm)	AREA DE LA CUENCA (km <sup>2</sup> )	CAUDAL DE DISEÑO (m <sup>3</sup> /s)
2	0.35	45.50	0.77	18.54
5	0.35	52.50	0.77	21.39
10	0.35	61.32	0.77	24.98
20	0.35	67.20	0.77	27.38
25	0.35	70.00	0.77	28.52
50	0.35	77.00	0.77	31.37

Una vez obtenidos los caudales de diseño, se procede a realizar su modelación en la sección transversal del flujo en donde estará localizada la captación, esto mediante el uso del software HEC RAS.

#### 6.8. CÁLCULO DE CAUDALES HIDROLÓGICOS (máximo, medio, mínimo y ecológico) para un periodo de 100 años.

**Curva de duración de caudales:** La curva de duración de caudales es una gráfica de frecuencia acumulada que presenta los valores de caudales que son igualados o excedidos en un determinado periodo tiempo para una estación de medición o sitio de análisis. A través de estas curvas se pueden estimar los caudales mínimos

representativos de las épocas de estiaje en las corrientes analizadas, condición que puede considerarse como crítica para la modelación de calidad del agua.

Para su construcción se requiere necesariamente de los registros diarios de estaciones de caudal en las corrientes de estudio. En caso de no disponer de suficiente información en las estaciones recopiladas, se podrá optar por la construcción de series de caudales simuladas mediante modelos lluvia–escorrentía aplicable a períodos continuos, o en su defecto, la regionalización de los datos desde los puntos de medición hacia las cuencas no monitoreadas.

El resumen de pasos para construcción de las curvas de duración es:

1. Seleccionar las series de caudales diarios en las estaciones de análisis, en lo posible utilizar series con longitud mayor o igual a 30 años para garantizar que se cubren distintos ciclos de humedad y variabilidad climática.
2. Tabular y ordenar los datos en orden descendente.
3. Estimar para cada dato la frecuencia de excedencia mediante la ecuación:

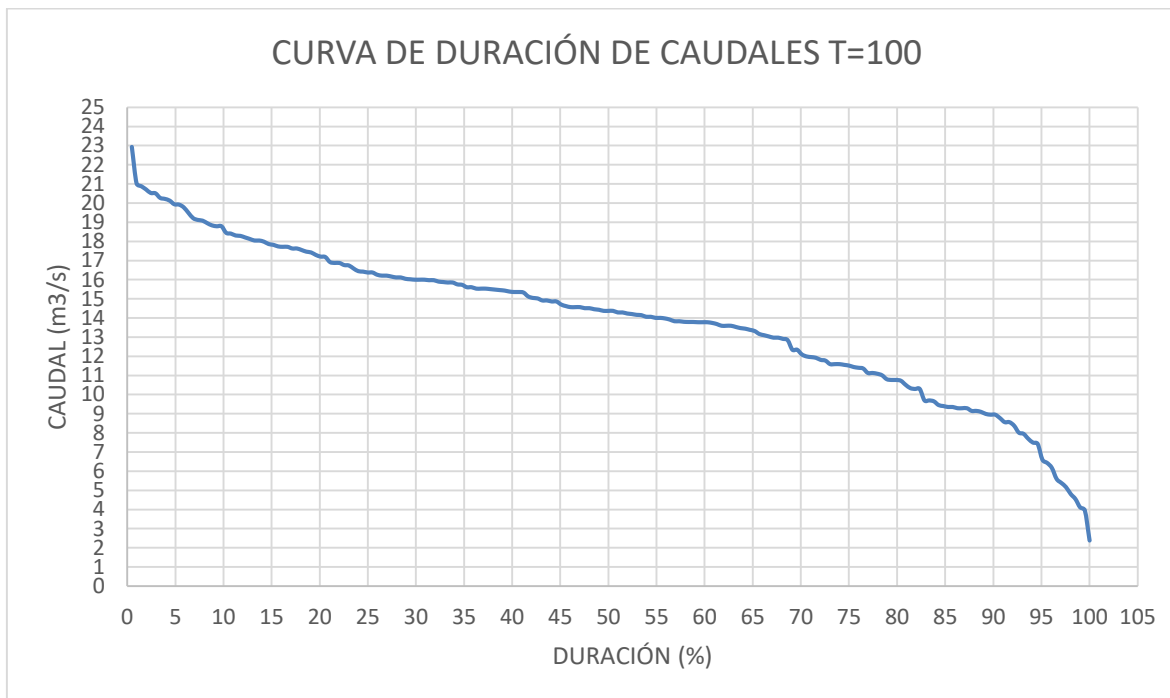
$$f = \frac{r}{n + 1}$$

Donde:

f es la frecuencia de excedencia del dato; r es el ranking o posición del dato en la lista ordenada, y n es el número total de datos de la serie.

4. Construir la gráfica de frecuencia de excedencia acumulada contra los valores de caudales de los datos de la serie.
5. A partir de la figura se pueden determinar los valores de caudales correspondientes a las distintas probabilidades de excedencia (99%, 97.5%, 95%, 90%, 75%, 50%, etc.), es decir los caudales mínimos que son superados para distintos porcentajes del tiempo.

Para el presente estudio se contempla la construcción de curvas de duración de caudales a resoluciones diarias y mensuales para las series de caudales producto de la modelación lluvia escorrentía.



Una vez realizada la curva de duración de caudales se obtuvo los siguientes resultados:

SITIO	EXTREMOS ALTOS		ALTOS		ESTACIONALES		BAJOS		EXTREMOS BAJOS	
% PROBABILIDAD DE FRECUENCIA DE EXCEDENCIA	0	5	5	10	10	75	75	95	95	100
CAUCE SITIO DE INTERÉS (m³/s)	22,93	19,90	19,90	18,43	18,43	11,50	11,50	6,72	6,72	2,38

- **Caudal ecológico**

El incremento del uso de los recursos hídricos producido por el desarrollo económico de las naciones ha ocasionado una alteración del régimen natural de los ríos, los ecosistemas fluviales y limitado los bienes y servicios provistos por los ecosistemas de agua dulce. Por esta razón, muchos países han empezado a abordar el tema de los recursos hídricos por medio de estudios multidisciplinarios en la cuenca hidrográfica con el fin de garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales y de los bienes que ellos proveen. La determinación de un río saludable incluye medidas tales como: la protección de suelos, la prevención de la contaminación, el control en el aprovechamiento, la protección y restauración de hábitats, entre otras.



Se define como caudal ambiental a aquel que mantiene el funcionamiento composición y estructura del ecosistema fluvial que el cauce contiene en condiciones naturales, preservando los valores ecológicos, el hábitat natural y funciones ambientales tales como purificación de aguas, amortiguación de extremos hidrológicos, recreación, pesca, etcétera.

A partir de 1970 se ha evolucionado en las metodologías para determinar los requerimientos de caudal ambiental de los ecosistemas fluviales. El enfoque para valorar el caudal ambiental ha sido el de mantener la pesca en agua dulce debido a su importancia para la economía de algunas regiones. En Norteamérica se desarrollaron metodologías que definían los caudales necesarios para el mantenimiento, el desove y la cría de especies objeto. La suposición inherente en las primeras metodologías desarrolladas era que el caudal que mantiene la población, hábitat y actividades del pez objeto, mantendría todo el ecosistema fluvial. Sin embargo, el campo se ha expandido e incluye la valoración de otras necesidades de la diversidad biótica, aspectos de la estructura del ecosistema, tales como la forma del canal, la vegetación riparia, los humedales y las llanuras aluviales. La metodología para la estimación del caudal ecológico de cuencas en Colombia, se encuentra definida en la Resolución No. 0865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Esta Resolución define que el caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua.

Para el Estudio Hidrológico y de Disponibilidad del Recurso Hídrico Existen dos aproximaciones más aceptadas a la definición del caudal ecológico.

La metodología que el IDEAM ha utilizado para determinar el caudal ecológico, según la cual el caudal ecológico corresponde a un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

La ANLA 2013, propone que el caudal ambiental sea el mínimo entre 7Q10% y el Q95%.

Teniendo en cuenta esta última metodología se puede concluir que teniendo en cuenta la curva de duraciones presentada anteriormente el caudal ecológico es **2.10 m<sup>3</sup>/s**.

Tabla 1 Caudales estimados

CAUDAL AMBIENTAL					Caudal mínimo Q95 (m3/s)	Caudal medio Q50 (m3/s)	Caudal máximo T=100
ANLA 2013			IDEAM (Dec,155 de 2004)				
Q amb (m3/s)	129,04	6,72	Q ecológico (m3/s)	2,10	6,72	14,37	22,93
	6,72						

## 6.9. ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA.

Definidos el caudal mínimo y el caudal ecológico correspondiente, se puede establecer cuál es el caudal firme que puede ofrecer la fuente para realizar el abastecimiento del acueducto veredal.

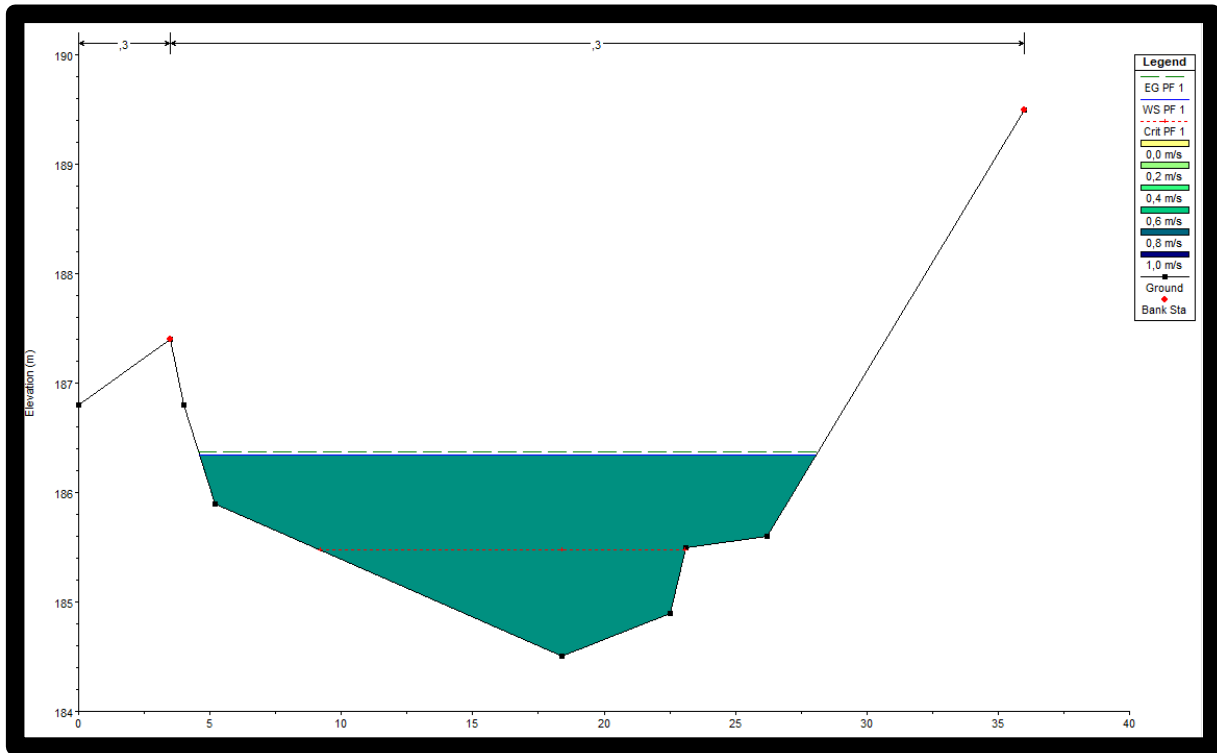
$$Q_{disponible} = Q_{min} - Q_{ecol}$$

$$Q_{disponible} = 22.93 \frac{m^3}{s} - 2.10 \frac{m^3}{s} = 20.83 \frac{m^3}{s}$$

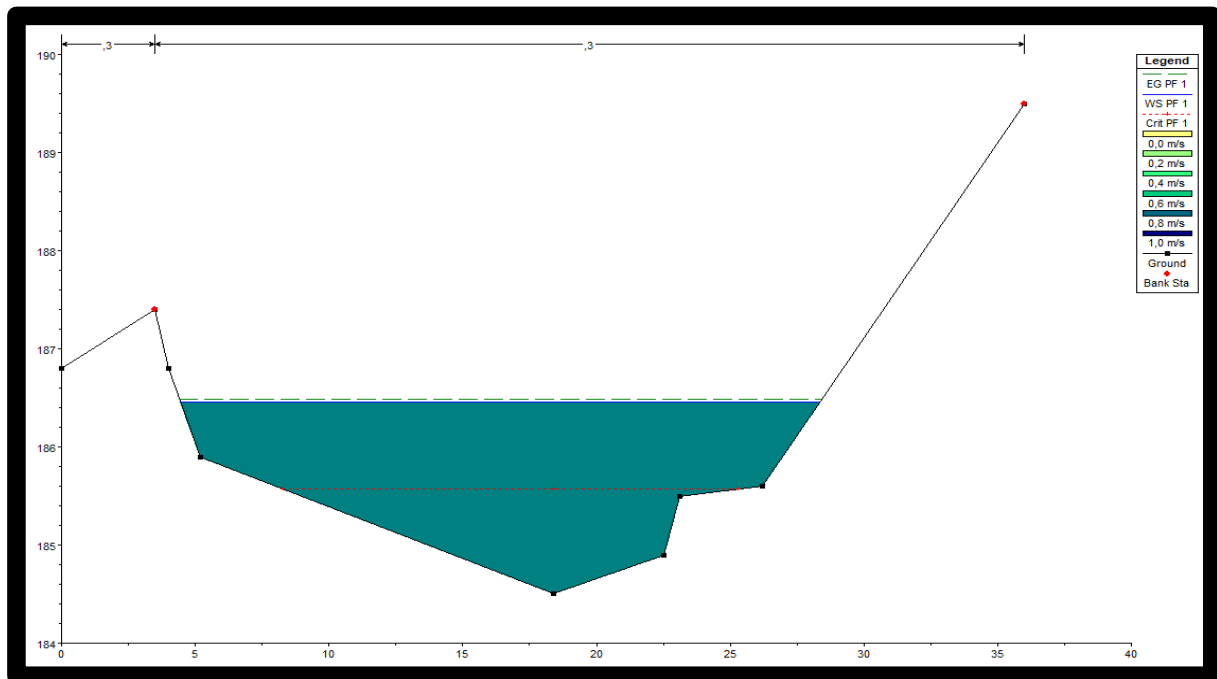
Se puede observar que el caudal disponible es mayor al caudal concesionado por la corporación, el cual equivale a **2.83 l/s**. A su vez, de acuerdo con el estudio de población y demanda el caudal de diseño futuro QMD **2046** es **2.83 l/s**, por lo cual se puede concluir que la fuente es suficiente para la demanda requerida para el año de proyección y está dentro del caudal concesionado por la corporación.

## 6.10. MODELACIÓN DE LOS CAUDALES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL FLUJO (CAPTACIÓN) EN FUNCIÓN DE LOS PERIODOS DE RETORNO.

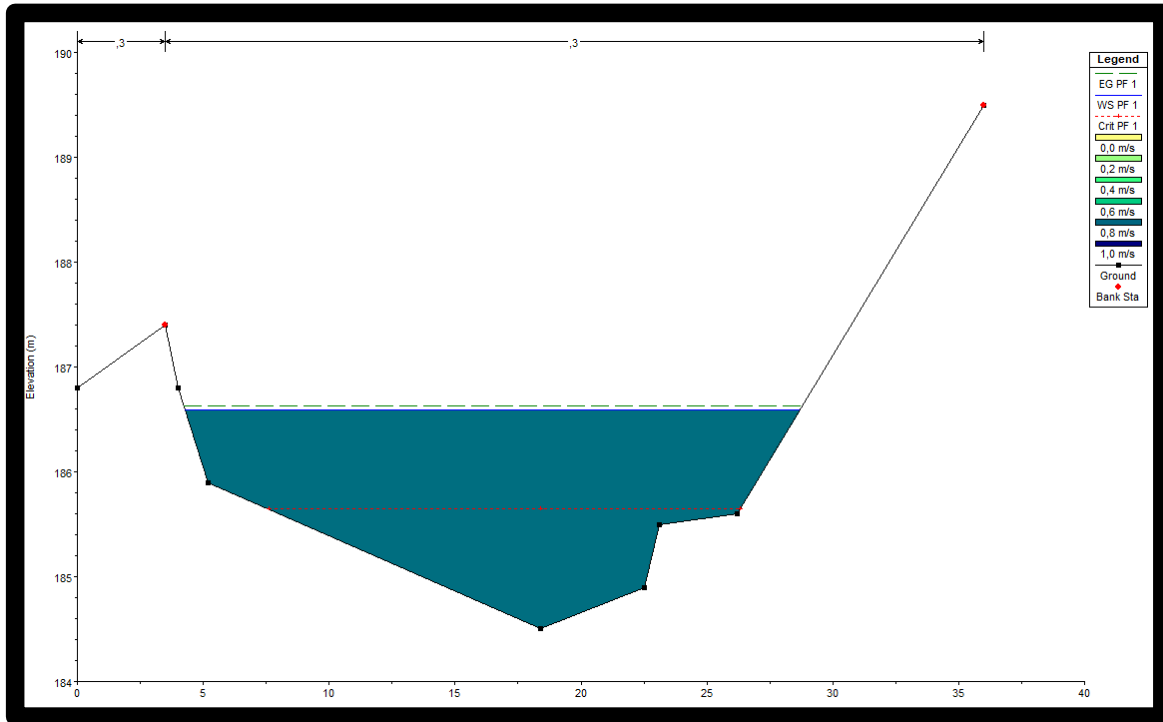
- Periodo de retorno T=2 años.



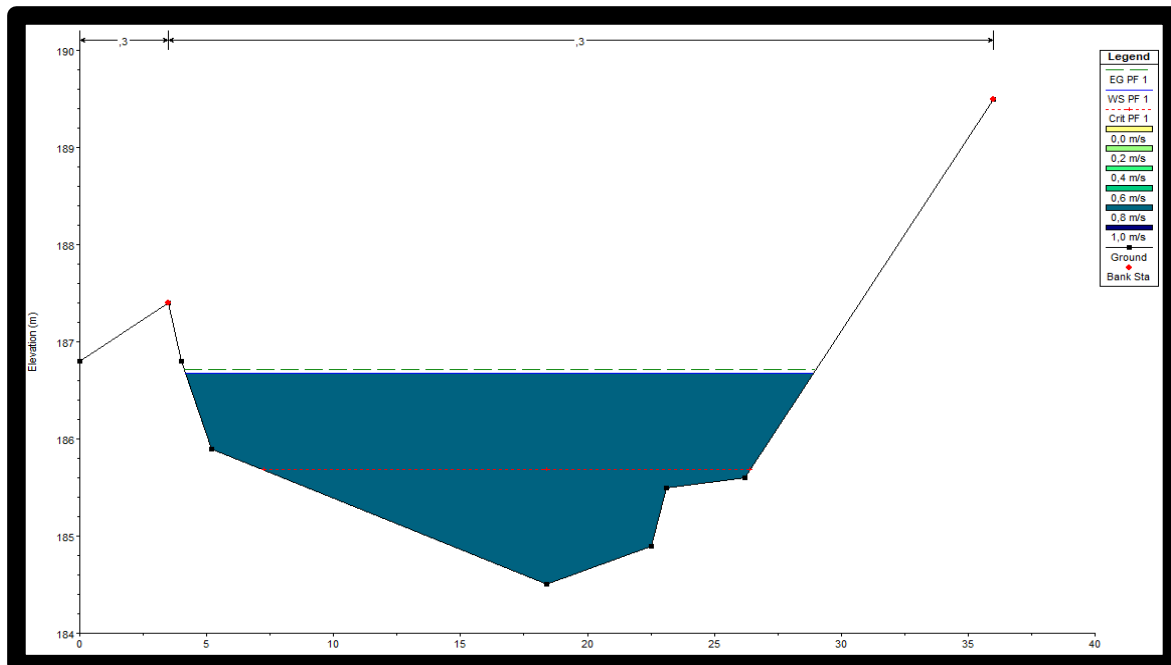
- Periodo de retorno T=5 años.



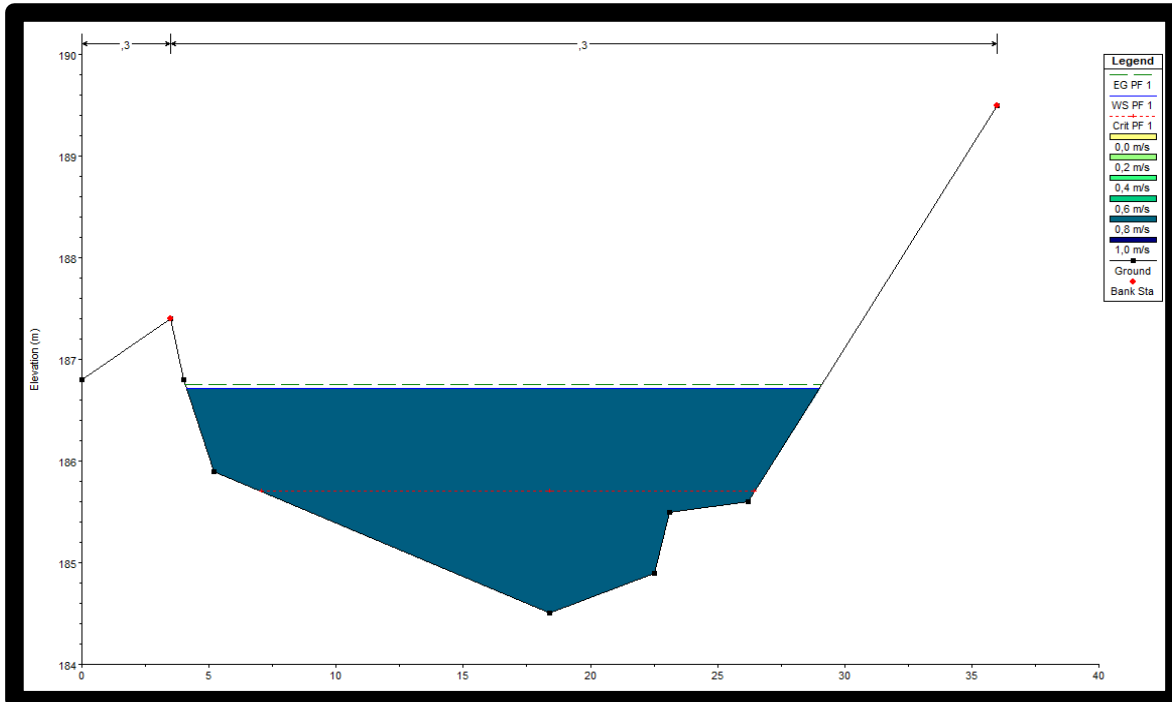
- Periodo de retorno T=10 años.



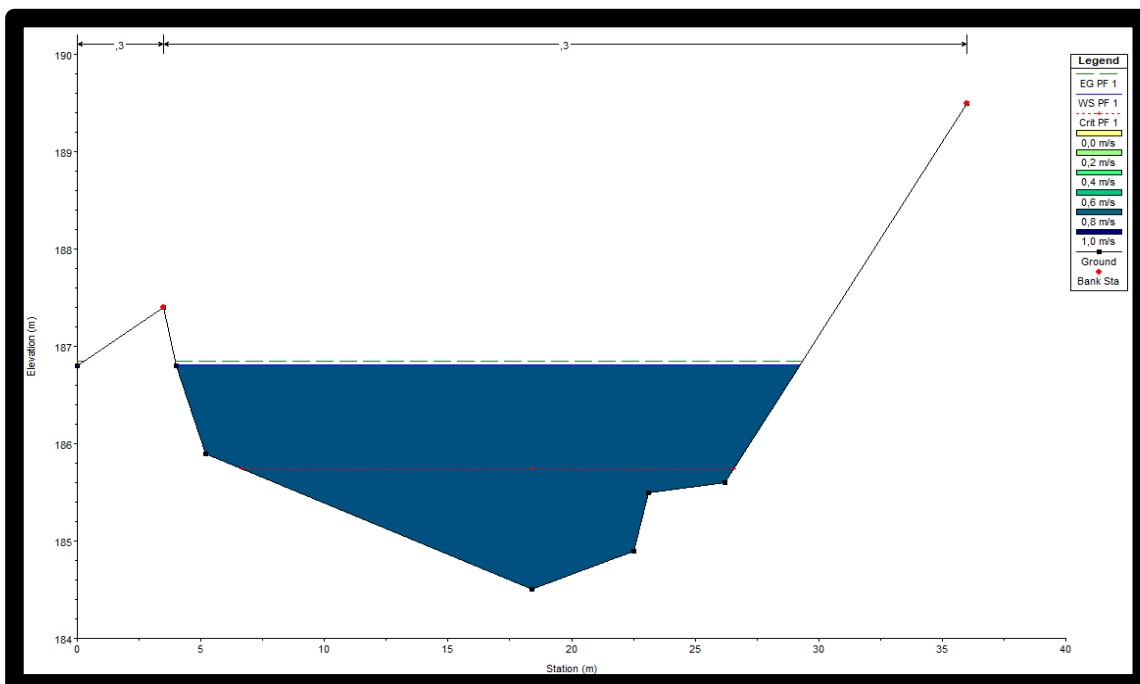
- Periodo de retorno T=20 años



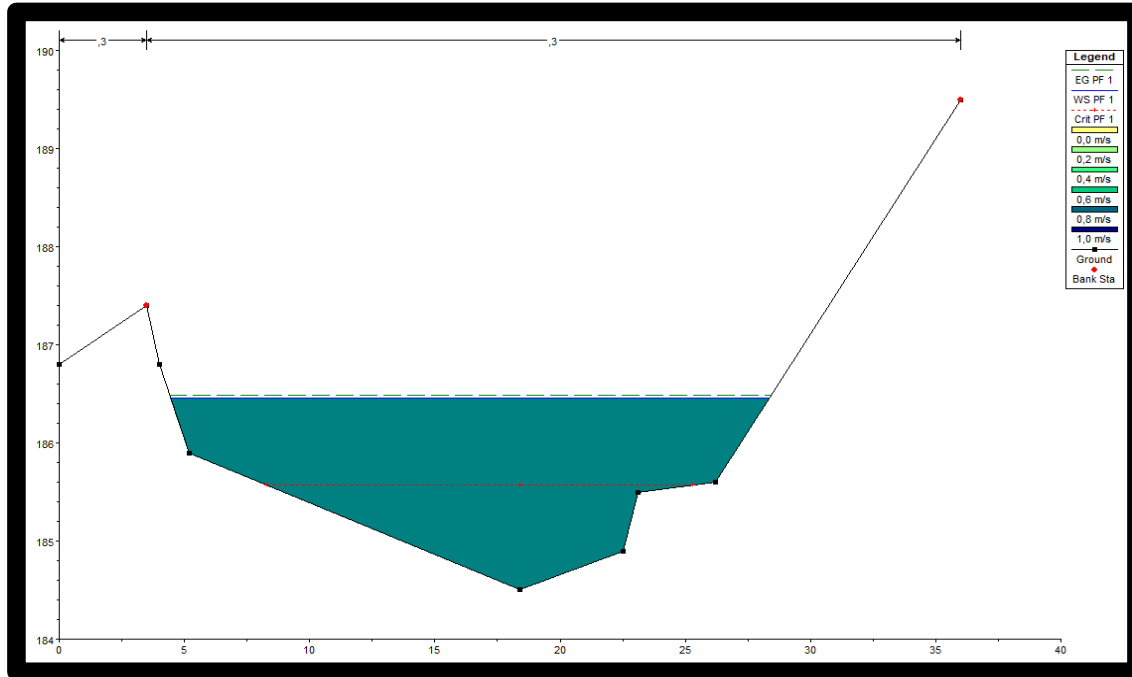
- Periodo de retorno T=25 años.



- Periodo de retorno T=50 años.



- Caudal disponible T=100 años



## 7. CONCLUSIONES

- ✓ La metodología para el estudio hidrológico propuesto involucra diferentes variables que la hidrología moderna considera relevantes: es el caso el mapa de uso del suelo y de la geología, variables que permiten extraer otras igualmente importantes para los estudios hidrológicos. La utilización de estas metodologías de diseño permite incluir información disponible, y por tanto se hace posible reducir la incertidumbre asociada a las estimaciones de los caudales que rigen los resultados finales de los diseños, ya que al realizar las estimaciones mediante diferentes modelos se eliminan aquellas que presentan valores más extremos y se deja el valor medio como el caudal de diseño.
- ✓ Se ha elaborado una rigurosa recopilación de información hidrológica y climatológica y se han calculado datos hidrológicos para la zona, como son las curvas IDF, los cuales constituyen un insumo para otros estudios hidrológicos que se requieran en la zona.

- ✓ El balance hídrico permitió visualizar sobre la zona de estudio, la disponibilidad del recurso hídrico y su variabilidad espacial. El comportamiento que se observa para la precipitación tiene un carácter bimodal, típico de las zonas de confluencia intertropical, cuyos valores máximos de precipitación se observan en octubre (362.2mm), mientras que los períodos secos ocurren en agosto (80.7mm). Además, se observa que la variabilidad espacial y temporal es importante dentro de la cuenca y debe ser tomada en cuenta dentro de cualquier estudio que contemple el uso o gestión del recurso hídrico. Este comportamiento bimodal no puede generalizarse, como bien es sabido, a todo el territorio nacional
- ✓ el caudal disponible es mayor al caudal concesionado por la corporación, el cual equivale a **2.83 l/s**. A su vez, de acuerdo con el estudio de población y demanda el caudal de diseño futuro QMD **2046** es **2.83 l/s**, por lo cual se puede concluir que la fuente es suficiente para la demanda requerida para el año de proyección y está dentro del caudal concesionado por la corporación.
- ✓ Teniendo en cuenta las modelaciones realizadas, los niveles del agua no llegan a ser suficientes para representar peligro de inundación para la zona en estudio.

Firma

**FREDDY J. GARCÍA MURILLO**  
Ingeniero Civil / Esp. Saneamiento ambiental  
Matricula Profesional 25202-145859 CND  
C.C. 93`133.146 de Espinal Tolima



# ANEXOS

# Anexo – 1

## Cartas Publiográficas

# Anexo – 2

## Curvas IDF