

CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 MEDIO ABIÓTICO

5.1.6 HIDROLOGÍA



Transmisora Colombiana
de Energía S.A.S. E.S.P.



COMPLEMENTO DEL ESTUDIO DE
IMPACTO AMBIENTAL- MODIFICACIÓN 2
LICENCIA AMBIENTAL RESOLUCIÓN No.
170 / 2021- INFORMACIÓN ADICIONAL

Proyecto Segundo refuerzo de red
en el área oriental: Línea de transmisión
La Virginia – Nueva Esperanza 500 kV

UPME 07 2016

TCE-ET2W-GPB00-0003-1

Control de Cambios SMAYD LTDA

FECHA	VERSIÓN	DESCRIPCIÓN
31/01/2022	V0	Versión inicial
16/04/2022	VF	Versión Final
02/10/2022	VF2	Versión Final
ELABORADO POR: Grupo interdisciplinario SMAYD LTDA	REVISADO POR: A. Fajardo	APROBADO POR:

Control de Revisiones TCE

FECHA	VERSIÓN	DESCRIPCIÓN
03/10/2022	Vf	Aprobado
ELABORADO POR: SMAYD LTDA	REVISADO POR: L. Montenegro	APROBADO POR: E. Bordignon

CONTENIDO

5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	7
5.1. Medio Abiótico	7
5.1.6. Hidrología	7
5.1.6.1. Área de influencia del proyecto centro de zonificación hidrográfica nacional	7
5.1.6.2. Recopilación de información meteorológica existente	10
5.1.6.3. Calidad y consistencia de los datos meteorológicos obtenidos	14
5.1.6.5.1 Caracterización estadística y análisis de calidad de datos	15
5.1.6.4. Fenómenos macroclimáticos con influencia en la hidroclimatología colombiana	19
5.1.6.5. Análisis temporal y espacial de variables	19
5.1.6.5.2 Precipitación	20
5.1.6.5.3 Temperatura	25
5.1.6.5.4 Humedad relativa	31
5.1.6.5.5 Brillo solar	32
5.1.6.5.6 Radiación Solar	33
5.1.6.5.7 Evaporación	33
5.1.6.5.8 Viento	34
5.1.6.5.9 Nubosidad	34
5.1.6.5.10 Punto de rocío	35
5.1.6.5.11 Tensión de vapor	36
5.1.6.5.12 Balance hídrico	37
5.1.6.6. Características morfométricas de las unidades de análisis hidrográficas	41
5.1.6.7. Parámetros morfométricos	42
5.1.6.6.1 Forma de la cuenca	43
5.1.6.6.2 Relieve y altitud de la cuenca	45
5.1.6.6.2.1 Relación de relieve	45
5.1.6.6.2.2 Pendiente de la cuenca	45
5.1.6.6.2.3 Orientación de la cuenca	45
5.1.6.6.2.4 Pendiente del cauce	45
5.1.6.6.2.5 Densidad de los drenajes (d)	46
5.1.6.6.2.6 Constante de estabilidad de un río	46

5.1.6.6.2.7 Densidad hidrográfica (f)	46
5.1.6.6.2.8 Estructura de la red de drenaje	46
5.1.6.6.2.9 Patrones de drenaje y ocupación del cauce.	47
5.1.6.8. Régimen hidrológico	48
5.1.6.9. Obtención de caudales.....	48
5.1.6.10. Rendimientos (l/s/km ²) de las cuencas.....	55
5.1.6.11. Series sintéticas de caudales	55
5.1.6.12. Indicadores hidroclimáticos - IDEAM.....	56
5.1.6.13. Índice de escasez.....	58
5.1.6.14. Caudal Ambiental	59
5.1.6.15. Oferta hídrica.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1 Códigos de áreas hidrográficas.....	8
Tabla 5-2 Códigos de zonas hidrográficas.....	8
Tabla 5-3 Códigos de las subzonas hidrográficas.....	9
Tabla 5-4 Zonificación hidrográfica del área de influencia de la Modificación No. 2.....	9
Tabla 5-5 Características meteorológicas de las estaciones de la zona.....	13
Tabla 5-6 Episodios fríos y cálidos por temporada.....	19
Tabla 5-7 Evapotranspiración potencial.....	39
Tabla 5-8 Balance hídrico cuenca: 2120-04-016-001.....	41
Tabla 5-9 Parámetros morfométricos de las cuencas.....	43
Tabla 5-10 Coeficiente de compacidad (Kc).....	43
Tabla 5-11 Coeficiente de compacidad (Kc).....	44
Tabla 5-12 Índice de sinuosidad.....	45
Tabla 5-13 Patrones de drenaje locales predominantes.....	48
Tabla 5-14 Coeficientes de escorrentía.....	49
Tabla 5-15 Parámetros región Andina.....	53
Tabla 5-16 Resumen de rendimientos cuencas.....	55
Tabla 5-17 Categorización e interpretación del Índice de Escasez.....	58
Tabla 5-18 Resumen índice de escasez cuencas.....	59
Tabla 5-19 Oferta hídrica cuenca:2120-04-016-001.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5-1 Sistema de codificación unidades hidrográficas.....	8
Figura 5-2 Área de influencia del proyecto dentro de la zonificación hidrológica Nacional y Regional	10
Figura 5-3 Localización – inventario general de estaciones cercanas al proyecto.	11
Figura 5-4 Inventario de PPT mensual	12
Figura 5-5 Estaciones meteorológicas para modelamiento.....	14
Figura 5-6 Significado de la división de una muestra en cuartiles.....	17
Figura 5-7 Valores totales mensuales de precipitación	20
Figura 5-8 Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas.....	21
Figura 5-9 Valores de números de días mensuales de precipitación	23
Figura 5-10 Valores medios mensuales de temperatura	26
Figura 5-11 Valores mínimos mensuales de temperatura	27
Figura 5-12 Valores máximos mensuales de temperatura	28
Figura 5-13 Valores medios anuales de temperatura.....	28
Figura 5-14 Valores mínimos anuales de temperatura.....	30
Figura 5-15 Valores máximos anuales de temperatura.....	30
Figura 5-16 Valores máximos anuales de temperatura.....	31
Figura 5-17 Brillo total mensual.....	32
Figura 5-18 Evaporación total mensual	33
Figura 5-19 Dirección predominante mensual del viento.....	34
Figura 5-20 Dirección predominante mensual de la nubosidad.....	35
Figura 5-21 Punto de Rocío	36
Figura 5-22 Tensión de Vapor.....	37
Figura 5-23 Evapotranspiración potencial	39
Figura 5-24 Delimitación cuencas hidrográficas	42
Figura 5-25 Drenajes de cuencas hidrográficas	47
Figura 5-26 Influencia de las estaciones en el trazado de la Modificación No. 2	51
Figura 5-27 Curvas IDF de estaciones meteorológicas.....	53
Figura 5-28 Categorías del índice de aridez.....	56
Figura 5-29 Categorías del índice de retención o regulación hídrica.....	57
Figura 5-30 Balance hídrico 2120-04-016-001.....	61

ANEXOS

- A0 - Inventario disponibilidad de datos PPT
- A1 - Características Estaciones Meteorológicas
- A2 - Análisis de consistencia de datos VTMP
- A3 - Análisis de consistencia de datos VMMP
- A4 - Valores totales mensuales de precipitación
- A5 - Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas
- A6 - Valores N° días mensuales de precipitación
- A7 - Valores medios mensuales de temperatura
- A8 - Valores mínimos mensuales de temperatura
- A9 - Valores máximos mensuales de temperatura
- A10 - Variables adicionales
- A11 - Parámetros Morfométricos
- A12 - Tiempos de Concentración
- A13 - Balance hídrico
- A14 - Estimación de Caudales
- A15 - Curvas IDF
- A16 - Rendimientos Cuencas
- A17 - Índice de escasez de las cuencas
- A18 - Índice de aridez

5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1. Medio Abiótico

5.1.6. Hidrología

En el presente numeral se compila el análisis en materia de hidrología del área de influencia de la Modificación No. 2 de la licencia Ambiental otorgada mediante Resolución No. 170 de 2021. Con el fin de determinar las características hidroclimatológicas del área de estudio se elaboró un inventario y análisis de la información obtenida de entidades como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER).

5.1.6.1. Área de influencia del proyecto centro de zonificación hidrográfica nacional

El IDEAM desarrolló la zonificación y codificación de las cuencas hidrográficas del país permitiendo conocer la delimitación, distribución y jerarquización de las cuencas en el territorio colombiano. Su propósito o fin, es la gestión del recurso hídrico, así como también la implementación y aplicación de políticas y planes de ordenación y manejo de cuencas. Estas, entendidas como “el 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” (IDEAM, 2013).

Para dicha zonificación y codificación, el IDEAM asignó a los cuerpos de agua, tanto lénticos como lóticos, los nombres correspondientes a la toponimia oficial de la base cartográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC.

La jerarquización de la zonificación de cuencas hidrográficas se da en tres niveles, de la siguiente forma:

Áreas hidrográficas: Regiones hidrográficas o vertientes que, en sentido estricto, son las grandes cuencas que agrupan un conjunto de ríos con sus afluentes que desembocan en un mismo mar.

Zonas hidrográficas: Cuencas hidrográficas que entregan o desembocan sus aguas superficiales directamente de un área hidrográfica.

Subzonas hidrográficas: Cuencas que tributan sus aguas a su vez a las zonas hidrográficas.

A las zonas y subzonas hidrográficas, la toponimia asignada se otorga de acuerdo con el nombre del río principal o al espacio geográfico o región en la cual drenan las aguas superficiales.

La codificación para la identificación de unidades hidrográficas lo conforma un consecutivo numérico compuesto por diez (10) dígitos con el fin de ser registradas en el Sistema de Información de Recurso Hídrico (SIRH), que forma parte del Sistema de Información Ambiental del Colombia (SIAC), y está reglamentado por los decretos 1323 de 2007 y 312 de 2012. En la Figura 5-1, se expone el sistema de codificación.

Figura 5-1 Sistema de codificación unidades hidrográficas



Fuente: (IDEAM, 2013)

La zonificación hidrográfica nacional se da en los cuatro (4) primeros dígitos. Los siguientes seis (6) son asignados por la corporación autónoma, la cual debe realizar la zonificación hidrográfica regional. En la Tabla 5-1 se dan a conocer los códigos de las áreas hidrográficas y en la Tabla 5-2 los códigos de las zonas hidrográficas.

Tabla 5-1 Códigos de áreas hidrográficas

ID	ÁREA HIDROGRÁFICA
1	Caribe
2	Magdalena – Cauca
3	Orinoco
4	Amazonas
5	Pacífico

Fuente: (IDEAM, 2013)

Tabla 5-2 Códigos de zonas hidrográficas

ZH	CARIBE (1)	MAGDALENA-CAUCA (2)	ORINOCO (3)	AMAZONAS (4)	PACÍFICO (5)
1	Atrato-Darién	Alto Magdalena	Inírida	Guainía	Mira
2	Caribe-Litoral	Saldaña	Guaviare	Vaupés	Patía
3	Sinú	Medio Magdalena	Vichada	Apaporis	Tapaje Amarales-Dagua-directos
4	Caribe-Urabá	Sogamoso	Tomo	Caquetá	San Juan
5	Caribe-La Guajira	Bajo Magdalena-Cauca-San Jorge	Meta	Yarí	Baudó-directos Pacífico
6	Catatumbo	Cauca	Casanare	Caguán	Pacífico-directos
7	Caribe Islas (San Andrés, Providencia, Santa Catalina)	Nechí	Arauca	Putumayo	Pacifico Islas
8		Cesar	Orinoco-directos	Amazonas-directos	
9		Bajo Magdalena	Apure	Napo	

Fuente: (IDEAM, 2013)

Las subzonas hidrográficas, correspondientes a los dígitos 3 y 4 del código, son 311 y se enumeran iniciando en 01 en cada zona hidrográfica; en el interior de cada zona se encuentran hasta 34 subzonas.

De acuerdo con lo anterior, el área de influencia objeto de estudio se encuentra dentro de la siguiente zonificación hidrográfica nacional (Tabla 5-3).

Tabla 5-3 Códigos de las subzonas hidrográficas

AH / ZH / SZH	CÓDIGO	NOMBRE
Área hidrográfica:	2	Magdalena - Cauca
Zona hidrográfica:	21	Alto Magdalena
Subzona hidrográfica:	2120	Río Bogotá

Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) con base en el IDEAM (2013)

La zonificación hidrográfica regional se encuentra a cargo de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) cuyo territorio está conformado por nueve (9) cuencas hidrográficas de segundo orden, siendo estas Sumapaz, Bogotá, Vertiente Oriental de los ríos Magdalena, Negro, Minero, Ubaté y Suárez, Blanco, Gachetá y Machetá.

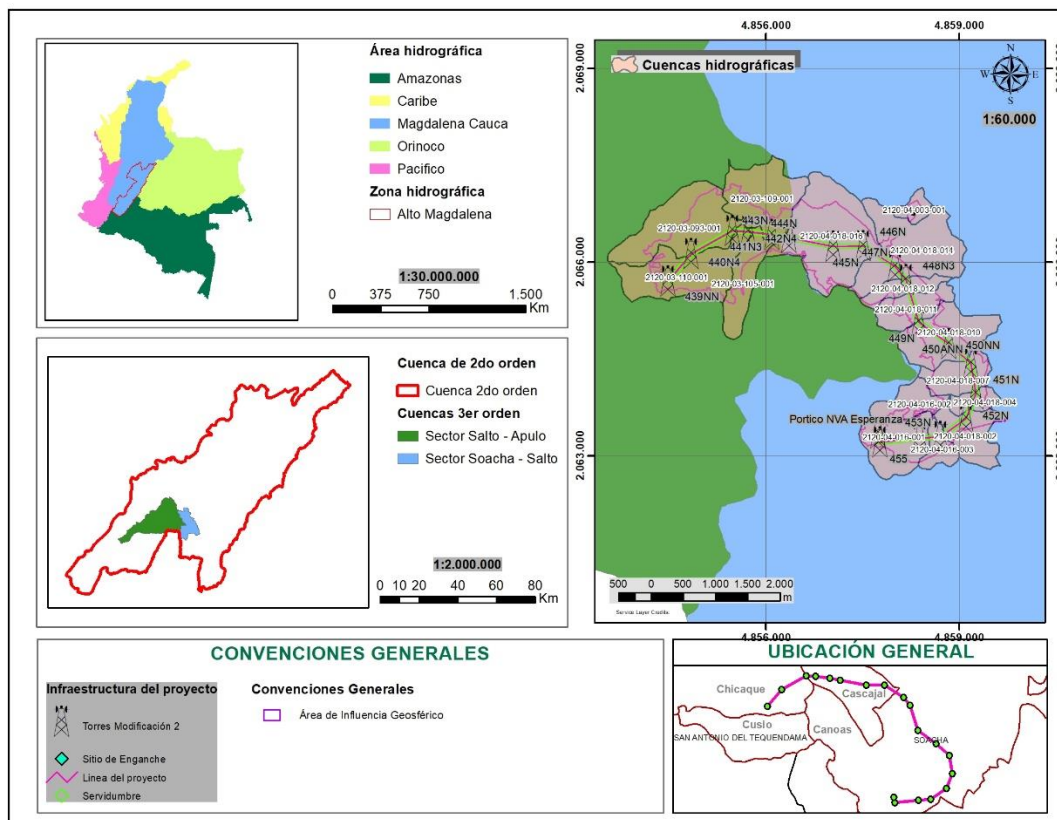
En la Figura 5-2 se señala el área de influencia y la localización de la Modificación No. 2 dentro de la zonificación hidrográfica, y en la Tabla 5-4 se indica la zonificación hidrográfica a nivel regional.

Tabla 5-4 Zonificación hidrográfica del área de influencia de la Modificación No. 2

NIVELES	CODIGO	NOMBRE
Área hidrográfica:	2	Magdalena - Cauca
Zona hidrográfica:	21	Alto Magdalena
Subzona hidrográfica:	2120	Río Bogotá
NIVEL I	2120-03	Sector Salto - Apulo
NIVEL I	2120-04	Sector Soacha - Salto
NIVEL II	2120-03-093	Sin Nombre
NIVEL II	2120-03-105	Sin Nombre
NIVEL II	2120-03-109	Sin Nombre
NIVEL II	2120-03-110	Sin Nombre
NIVEL II	2120-04-003	Sin Nombre
NIVEL II	2120-04-016	Sin Nombre
NIVEL II	2120-04-018	Sin Nombre
NIVEL III	2120-03-093-001	Sin Nombre
NIVEL III	2120-03-105-001	Sin Nombre
NIVEL III	2120-03-109-001	Sin Nombre
NIVEL III	2120-03-110-001	Sin Nombre
NIVEL III	2120-04-003-001	Sin Nombre
NIVEL III	2120-04-016-001	Sin Nombre
NIVEL III	2120-04-016-002	Sin Nombre
NIVEL III	2120-04-016-003	Sin Nombre
NIVEL III	2120-04-018-002	Sin Nombre
NIVEL III	2120-04-018-004	Sin Nombre
NIVEL III	2120-04-018-007	Sin Nombre
NIVEL III	2120-04-018-010	Sin Nombre
NIVEL III	2120-04-018-011	Sin Nombre
NIVEL III	2120-04-018-012	Sin Nombre
NIVEL III	2120-04-018-014	Sin Nombre
NIVEL III	2120-04-018-016	Sin Nombre

Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) con base en el IDEAM (2013)

Figura 5-2 Área de influencia del proyecto dentro de la zonificación hidrológica Nacional y Regional



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) con base en cartografía IDEAM y CAR

Sistemas lénticos y lóticos

Los sistemas lénticos son cuerpos de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr ni fluir. Comprenden todas las aguas interiores que no presentan corriente continua; es decir, aguas estancadas sin ningún flujo de corriente, como los lagos, las lagunas, los esteros y los pantanos. Un sistema lótico es un cuerpo de agua (río, arroyo o manantial) en el cual el movimiento del agua es predominantemente en una dirección, siguiendo el curso que tenga el cuerpo, afectado por factores físicos como: la pendiente, el caudal, la profundidad, la sinuosidad, entre otros.

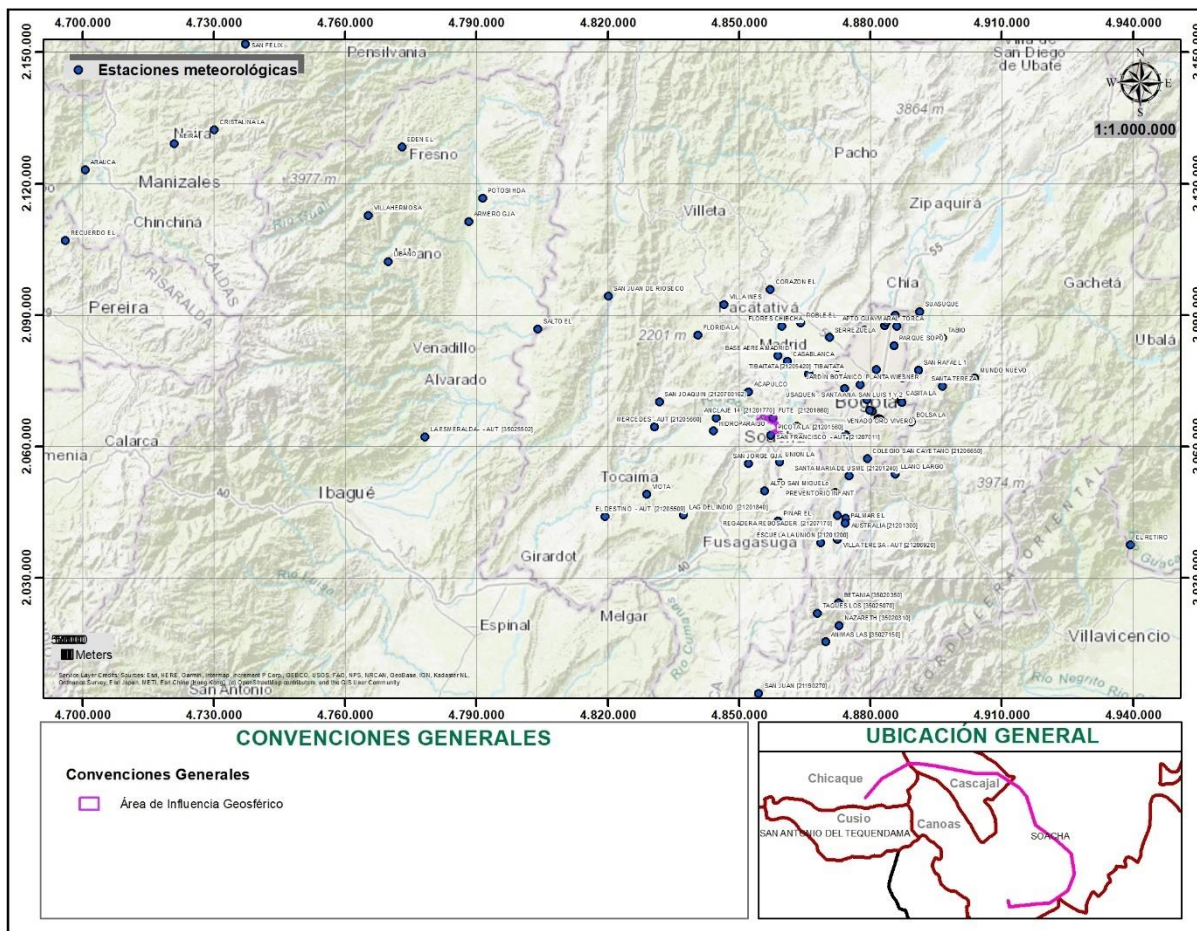
En el área de estudio no se han identificado sistemas lénticos ni sistemas lóticos que sean afectados de forma directa por el desarrollo de la infraestructura, obras y/o actividades objeto de la modificación No. 2 de la Licencia Ambiental.

5.1.6.2. Recopilación de información meteorológica existente

Con el fin de realizar un análisis de las condiciones meteorológicas de la zona de estudio, se recopiló información secundaria de las estaciones climatológicas e hidrométricas localizadas cerca al área de influencia del proyecto y zonas vecinas con el objeto de lograr una descripción adecuada de las características hidrológicas de las unidades hidrográficas involucradas. En la Figura 5-3 se encuentra la totalidad de las estaciones revisadas.

Las estaciones cercanas son operadas por entidades tales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR y La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB.

Figura 5-3 Localización – inventario general de estaciones cercanas al proyecto.

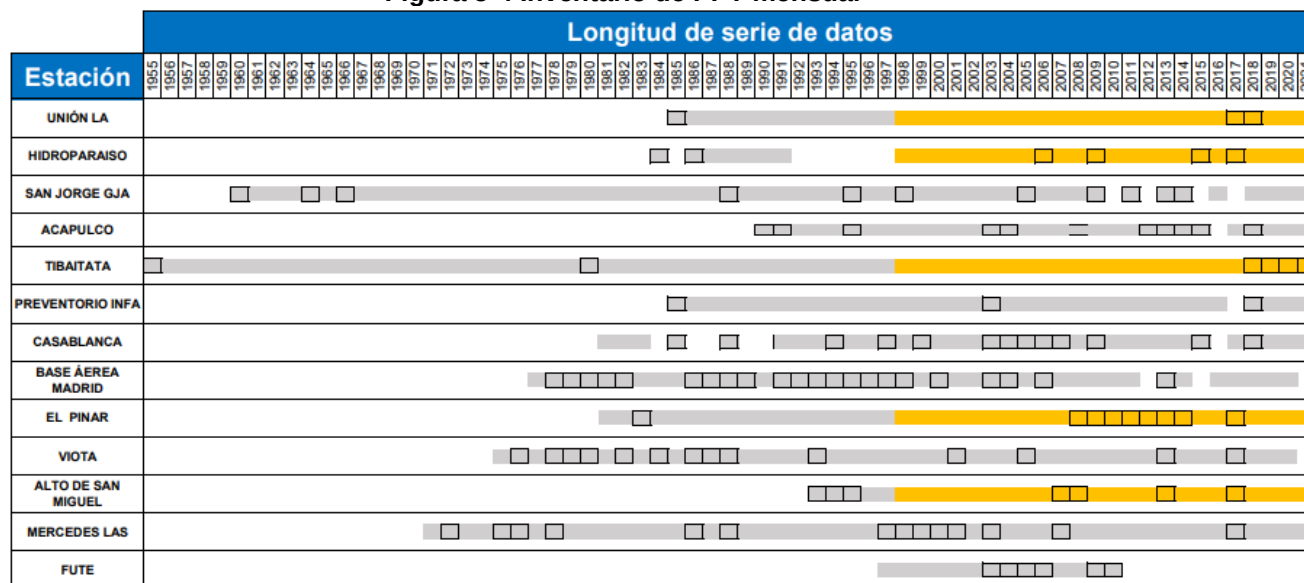


Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) con base en el (IDEAM, 2017)

Después de realizar un barrido de la zona, evaluando los datos disponibles en la red nacional de referencia del IDEAM, así como de otras redes existentes en el ámbito regional como la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y la Empresa de Acueductos y Alcantarillados de Bogotá (EAAB). Se seleccionaron un total de 18 estaciones que se encuentran en funcionamiento y de las que fue posible obtener información.

Con el fin de determinar la longitud de la serie de datos a escoger, se realizó un inventario de los datos respecto al parámetro de precipitación total mensual para las diferentes estaciones evaluadas, el cual se muestra la Figura 5-4 y en anexos (Ver Anexo A0-Inventario disponibilidad de datos PPT).

Figura 5-4 Inventario de PPT mensual



CONVENCIONES

-  Año con información completa
-  Año con datos incompletos
-  Serie de datos de estaciones con mayor cantidad de datos disponibles

Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)a partir de datos de IDEAM

Luego de la revisión y depuración de las estaciones cercanas a la zona de estudio, descartando las estaciones suspendidas cuyo período de funcionamiento no es representativo en los años recientes, aquellas que poseen registros menores a 10 años (Vélez & Smith, 1997) y las estaciones cuyos datos no son de acceso público o no fue posible realizar la descarga de estos, se seleccionan estaciones con un período de registro mayor a 10 años para realizar el análisis de precipitación.

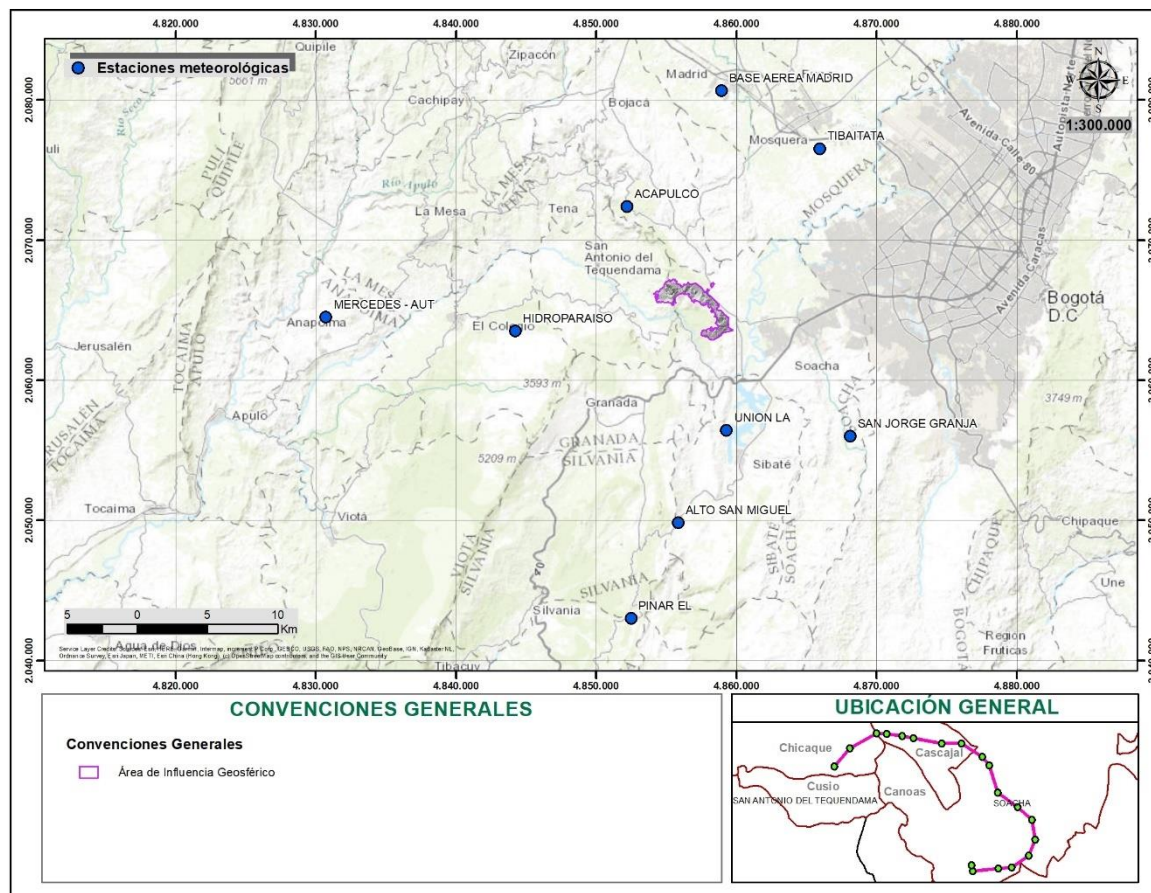
En la Tabla 5-5 que se muestra a continuación se dan a conocer las características de las estaciones con datos, que se encuentran dispuestas cercanas a la zona (Ver en A1-Características Estaciones Meteorológicas).

Tabla 5-5 Características meteorológicas de las estaciones de la zona

DATOS ESTACIONES						
NO	NOMBRE ESTACIÓN	CÓDIGO	ENTIDAD	TIPO DE ESTACIÓN	COORDENADAS	ALTURA (MSNM)
1	ACAPULCO	21206280	IDEAM	CO	Latitud: 2072382,967 N Longitud: 4852196 W	2650
2	ALTO SAN MIGUEL	21201920	IDEAM	PM	Latitud: 2049811,361 N Longitud: 4855851,879 W	2750
3	BASE AEREA MADRID	21205770	IDEAM	CO	Latitud: 2080656,535 N Longitud: 4858926,34 W	2550
4	CASABLANCA	21206060	IDEAM	ME	Latitud: 2079360,194 N Longitud: 4861049,233W	2575
5	HIDROPARAISO	21202160	IDEAM	PM	Latitud: 2063482,642 N Longitud: 4844218,431 W	1600
6	LAG DEL INDIO	21201840	CAR	PM	Latitud: 2044356,474 N Longitud: 4837321,955 W	2050
7	MERCEDES LAS	21205660	IDEAM	CO	Latitud: 2064474,28 N Longitud: 4830713,526 W	810
8	PREVENTORIO INFAT	21201310	IDEAM	PM	Latitud: 2051548,849 N Longitud: 4859429,131 W	2650
9	SAN JOAQUIN	2120700162	IDEAM	PM	Latitud: 2070157,862 N Longitud: 4831828,619 W	614
10	SAN JORGE GJA	21205720	IDEAM	CO	Latitud: 2055988,833 N Longitud: 4868112,803 W	2900
11	TIBAITATA	21205420	IDEAM	AM	Latitud: 2076511,83 N Longitud: 4865960,069 W	2543
12	UNION LA	21201320	IDEAM	PM	Latitud: 2056402,803 N Longitud: 4859292,722 W	2640
13	VIOTA	21201090	IDEAM	PM	Latitud: 2049092,434 N Longitud: 4828946,32 W	567
14	FUTE	21201660	CAR	PM	Latitud: 2062711,112N Longitud: 4874328,226W	2633
15	PICOTA	2120156	CAR	PG	Latitud: 2066447,36743 N Longitud: 4844760,29 W	2580
16	ANCLAJE	2120177	CAR	PG	Latitud: 2064571,28585 N Longitud: 4863241,106 W	1110
17	HUERTAS LAS	21202110	EAAB	PG	Latitud: 2042987,66106 N. Longitud: 4858859,840 W.	2572
18	PINAR EL	21190310.	IDEAM	PM	Latitud: 2042998,73 N. Longitud: 4852490,32 W.	1900

Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

Figura 5-5 Estaciones meteorológicas para modelamiento



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) con base en el (IDEAM, 2017)

5.1.6.3. Calidad y consistencia de los datos meteorológicos obtenidos

Inicialmente se realizó la recopilación y organización de la información disponible de las estaciones hidrometeorológicas cercanas a la zona de estudio. Posteriormente, se procedió a realizar un procesamiento de los datos crudos para considerar sus efectos dentro del análisis hidrológico definitivo del sitio de interés, para ello, se escogieron periodos cortos para cada una de las estaciones de por los menos 10 años de extensión en los cuales se garantizará la continuidad en las series de datos tomados y sin considerar un periodo similar para todas las estaciones. A dichas estaciones se les realizaron curvas de intensidad-duración-Frecuencia-IDF y se obtuvieron los caudales a partir de estas.

Dentro de los parámetros obtenidos para dicho análisis se encontraron promedios de precipitación máxima diaria anual entre 11.2 y 37.3 mm y entre 9 y 18 días con precipitación al mes en promedio; adicionalmente se calcularon caudales para periodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 25, 50 y 100 años que oscilaron entre 0.841 y 12.938 m³/s. Dichos análisis se realizaron con el fin de conocer el comportamiento general de los datos obtenidos y obtener una base de comparación o validación del conjunto de datos a utilizar, permitiendo esto evaluar la existencia de datos anómalos y evaluar su posterior tratamiento, para garantizar la confiabilidad de los datos y de los procedimientos derivados de su uso. Adicionalmente, es

de gran importancia conocer el comportamiento general de la zona de estudio y la influencia de las estaciones aledañas, para tener una base comparativa y una visión general sobre ellas.

5.1.6.5.1 Caracterización estadística y análisis de calidad de datos

Para determinar la calidad y consistencia de los datos, se realizó la caracterización estadística de estos en las estaciones seleccionadas, influyentes en el sitio de estudio. El cálculo de las estadísticas comprende media, desviación estándar, mínimos, máximos, rango, coeficiente de variación, coeficiente de asimetría y curtosis. La finalidad de realizar un análisis estadístico es confirmar que los datos se encuentran dentro de un intervalo lógico. La metodología para calcular cada uno de estos parámetros se describe a continuación:

a. Media

Es una medida de tendencia central, por tanto, se ve atraída por los valores más representativos de la muestra. Es de gran importancia para determinar que una serie de datos es homogénea y por ende las condiciones de la cuenca evaluadas son similares. Este parámetro se ve afectado por el tamaño de la muestra, por lo tanto, mientras mayor sea el número de datos a evaluar, mayor es la exactitud de dicha medida. La media está representada por la siguiente expresión:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Dónde:

n: Cantidad de datos

xi: Dato de medición tomado para cada variable

b. Mediana

Al igual que la media, este estimador, es una medida de tendencia central, y de igual manera sirve para evaluar el comportamiento central de la distribución de la serie. Para determinarla, es necesario ordenar los datos de la serie ascendente y posteriormente dividirlos en dos partes iguales, aquel valor que se encuentre en el centro de la muestra corresponderá a la mediana en el caso de tener una muestra impar; en caso de esta ser par, el valor corresponde al promedio de los dos datos intermedios.

c. Rango

Es una medida de dispersión o variabilidad de los datos, representa la amplitud de la muestra, y está dado por la resta entre el valor máximo y el valor mínimo de la serie.

d. Desviación

La desviación representa cuánto se alejan los datos de la media o del promedio, y está dada por la siguiente expresión:

$$D = |x_i - \bar{x}|$$

Dónde:

D: Desviación

$\bar{x}$: Media

x_i : Dato de medición tomado para cada variable

e. Varianza

La varianza es el promedio del cuadrado de las distancias entre cada observación y la media del conjunto de observaciones. Esta, es una medida buena de variabilidad pues representa de manera concreta el comportamiento de los datos, así, si muchas de las diferencias entre estos tienden a ser grandes, la varianza también lo será, sin embargo, esta medida se ve altamente afectada por la existencia de valores extremos. Está dada por la siguiente expresión:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Dónde:

S^2 : Varianza

$\bar{x}$: Media

x_i : Dato de medición tomado para cada variable

n : Cantidad de datos evaluados

f. Desviación estándar

La desviación estándar sirve para medir la dispersión de una serie de datos, de igual manera que la varianza, sin embargo, la desviación estándar se utiliza con mayor frecuencia porque está expresada en las mismas unidades físicas de las observaciones. Entre más alto sea el valor de la desviación estándar calculada, mayor será la dispersión de la serie. Este valor no puede ser negativo, y mientras más cercano sea el valor a cero, significará que más cerca se encuentra de la media y, por ende, menos dispersos están los datos. Este estimador se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Dónde:

S : Desviación estándar

$\bar{x}$: Media

x_i : Dato de medición tomado para cada variable

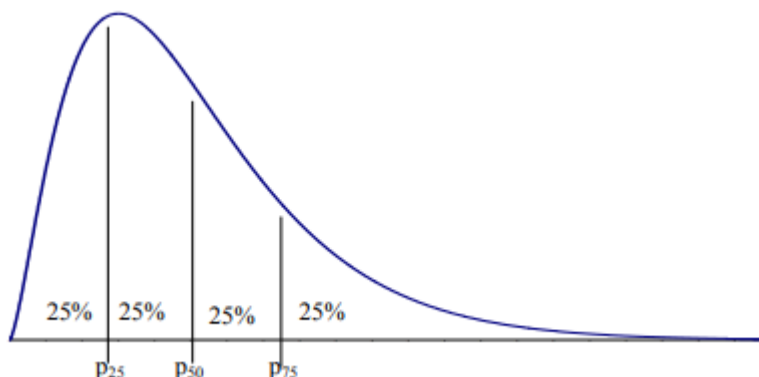
n : Cantidad de datos evaluados

Es de gran importancia realizar el cálculo de varios parámetros estadísticos, porque según las mediciones, algunos podrían ser más relevantes y aplicables que otros.

g. Cuartiles

Los cuartiles son tres valores que sirven para dividir un conjunto de datos en cuatro partes iguales. Son otra forma de resumir la distribución de los datos tomados. Los cuartiles son denominados como: cuartil inferior, Q1, mediana o segundo cuartil, Q2, y cuartil superior, Q3; Dichas medidas determinan el 25%, 50% y 75% de la muestra respectivamente, como se muestra en la Figura 5-6.

Figura 5-6 Significado de la división de una muestra en cuartiles.



Son determinados de la siguiente manera:

$$Q_1 = \frac{(n+1)}{4} \quad Q_2 = \frac{(n+1)}{2} \quad Q_3 = \frac{3 * (n+1)}{4}$$

Dónde, Q₁, Q₂ y Q₃ representan las posiciones de los valores dentro de la serie ordenada ascendentemente. Estos datos son considerados, junto con el máximo y mínimo de la serie, medidas de resumen fundamentales para determinar existencia de datos anómalos y comportamiento global de la serie de datos seleccionada.

h. Coeficiente de variación

Representa las distancias de los datos respecto al centro. Puede calcularse como porcentaje o simplemente como un valor. Dicho estimador permite determinar o evaluar la homogeneidad de la serie de datos. Cuando el valor del coeficiente de variación obtenido es igual o menor a 30% se considera que la serie es homogénea; por otro lado, valores mayores a 30% determinan series heterogéneas. Este parámetro está dado por la siguiente expresión:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100\%$$

i. Coeficiente de asimetría

Se concluye a partir de la media, mediana y la moda. Según la forma derivada de su gráfico se determina si la serie es de factor positivo, negativo o neutro. Se define por medio de la siguiente expresión:

$$Sk = \frac{\bar{X} - Mo}{S}$$

j. Curtosis

Representa el grado de concentración que presentan los datos en la región central de la distribución. Mientras más se acerca dicho valor a cero, indica más concentración de los datos. Estos se grafican para determinar tal distribución, que puede ser leptocúrtica cuando los valores son mayores que 3, mesocúrtica cuando los valores son muy cercanos a cero y platicúrtica cuando los valores son menores a -3. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{(n-1) * S^4} - 3$$

Tras realizar la caracterización estadística descrita, para los datos de cada una de las estaciones, se observó que, a grandes rasgos, los datos cumplen los criterios mencionados y su uso para el análisis posterior es adecuado; para aquellos datos que se consideraron anómalos y para los datos faltantes se procedió de la siguiente manera

Manejo de datos faltantes y outliers

La serie seleccionada contaba, a diferencia de otras series, con una buena cantidad de datos, sin embargo, existieron algunas estaciones en las cuales las mediciones mensuales no se encontraban completas, en este caso, se realizaron los siguientes análisis:

- ✓ Los años con 3 o más meses faltantes no fueron tenidos en cuenta al momento de realizar el promedio de la precipitación total anual, debido a que el total anual de dicho año no representaría de una manera confiable el comportamiento de la precipitación durante todo el año y por lo tanto se consideraría como un dato anómalo, permitiendo así, ser descartado para el análisis.
- ✓ Las series cuyos años presentaron pocos vacíos, fueron completadas siguiendo el método de las proporciones descrito en (HIMAT, 1990), en el cual la serie sirve como referencia para el relleno de datos faltantes de sí misma, y se establece la razón de proporcionalidad entre la lluvia mensual y anual, así:

$$x = \left(\frac{P_f}{P_a - \bar{x}} \right) \bar{x}$$

Dónde:

x: Lluvia del mes faltante

$\bar{x}$: Lluvia promedio del mes faltante

P_f: Total anual (de mes faltante)

P_a: Total anual promedio

Es importante mencionar que tras llevar a cabo dichas técnicas se verificó que los resultados con y sin los datos estimados fueran concordantes y no se presentaron alteraciones relevantes en la serie seleccionada, verificando que dichos datos fueran cercanos a la realidad.

La existencia de datos anómalos o outliers es inherente a las mediciones realizadas, puesto que estas se pueden ver afectadas por muchos motivos, como error humano al momento de la toma de datos, al momento de su digitalización o simplemente fallos en las estaciones de medición; por esta razón, como fue mencionado, el manejo dado a las datos que presentaban una gran desviación respecto a la media, observados en el análisis estadístico y en el análisis gráfico, fue descartarlos para los procedimientos a seguir en el presente proyecto. (Ver anexo A2 y A3, Análisis de consistencia de datos VTMP y Análisis de consistencia de datos VMMP, respectivamente)

5.1.6.4. Fenómenos macroclimáticos con influencia en la hidroclimatología colombiana

El ENSO se conoce como una oscilación de un año, con frecuencia cada cuatro años del sistema Océano – Atmósfera en el pacífico tropical. Su influencia sobre las componentes meteorológicas en Colombia, tales como precipitación y temperatura, es bien sabida. Dicha influencia no se comporta de manera lineal ni homogénea en todas las partes del país, razón por la cual, realizar predicciones basadas en ella es bastante complicado. Por lo anterior, para cada sitio de interés, se requiere realizar una correlación respecto a los indicadores mundiales y con ella determinar cuál de los indicadores se ajusta de una manera más confiable a las variables analizadas.

Para el caso del presente informe, se realizó una correlación respecto al índice oceánico del Niño (ONI), pues se observó que era uno de los índices que más se ajustaba a las condiciones climáticas de la región Andina Colombiana. Para ello se buscaron anomalías dentro de la precipitación promedio trimestral, por medio de la relación entre cada dato y el promedio mensual multianual, posteriormente se asignaron valores categóricos entre -2 y 2, donde el límite inferior muestra condiciones de fuertes lluvias o periodos húmedos conocidos como Niña, los valores medios entre -0.5 y 0.5 muestran condiciones normales y el límite superior muestra condiciones secas o más conocidas como fenómeno del Niño.

En la Tabla 5-6 se muestran los valores del ONI, en la cual, como es sabido históricamente, los periodos de SST inferiores y superiores a los normales se muestran en azul (periodos fríos o de Niño) y rojo (periodos calientes o de Niña).

Tabla 5-6 Episodios fríos y cálidos por temporada

	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1	-1	-1	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1	1.3	1.6
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1	0.5	0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	0.8

Fuente: (National Weather Service, 2022)

5.1.6.5. Análisis temporal y espacial de variables

Las variaciones climáticas más relevantes se dan principalmente por el ciclo estacional, en donde la fluctuación del clima a escala mensual determina el ciclo anual de los elementos climáticos (precipitación, temperatura, humedad, vientos, etc.). La migración de la ZCIT o principal sistema de nubes que rige la precipitación en Colombia es considerada como la fluctuación más importante de esta escala temporal; este ciclo permite distinguir los períodos secos de los períodos lluviosos dentro del año. Sin embargo, es normal que las estaciones lluviosas o secas se prolonguen durante decenas de días o persistan por casi

uno o dos meses más. Esto es debido a que existe una variabilidad entre las estaciones -lluviosas o secas- denominada variabilidad intraestacional. Dentro de las oscilaciones intraestacionales se destaca una señal de tipo ondulatorio en la alta atmósfera con una duración entre 30 y 60 días, conocida como “Ondas Madden & Julián” (IDEAM, 2012). Estas ondas revisten gran importancia ya que pueden amortiguar o intensificar los procesos propios de la escala interanual.

Con el fin de realizar un análisis temporal de las diferentes variables climáticas, se realizaron gráficas para las diferentes estaciones seleccionadas. En este apartado, se mencionan y se muestran a grandes rasgos los resultados de dichos análisis.

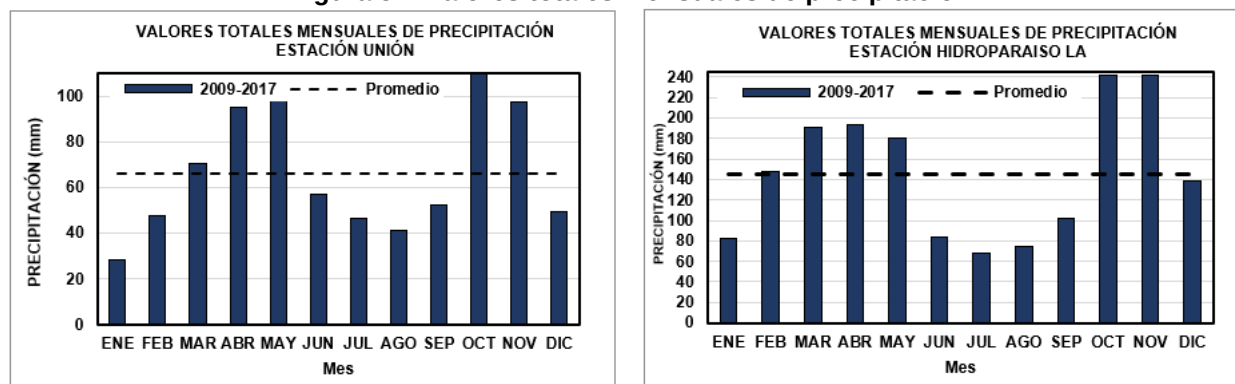
5.1.6.5.2 Precipitación

La precipitación guía el modelado de una cuenca y puede ser descrita en los términos: intensidad, duración, profundidad, frecuencia, distribución temporal y espacial (Ponce, 1989). Comprender el comportamiento y los patrones es esencial para el estudio hidrológico. La precipitación abarca todas las formas de humedad emanadas de la atmósfera y depositadas en la superficie terrestre como lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o helada. Los elementos necesarios para la formación de las precipitaciones involucran la humedad atmosférica, la radiación solar, los mecanismos de enfriamiento del aire, la presencia de núcleos higroscópicos para la condensación y el mecanismo de crecimiento de las partículas (Monsalve, 1999). Localmente, la cantidad de precipitación está determinada por los sistemas de nubosidad condicionados por la altitud, la orientación de las montañas y la actividad convectiva del lugar (Jaramillo, 2005).

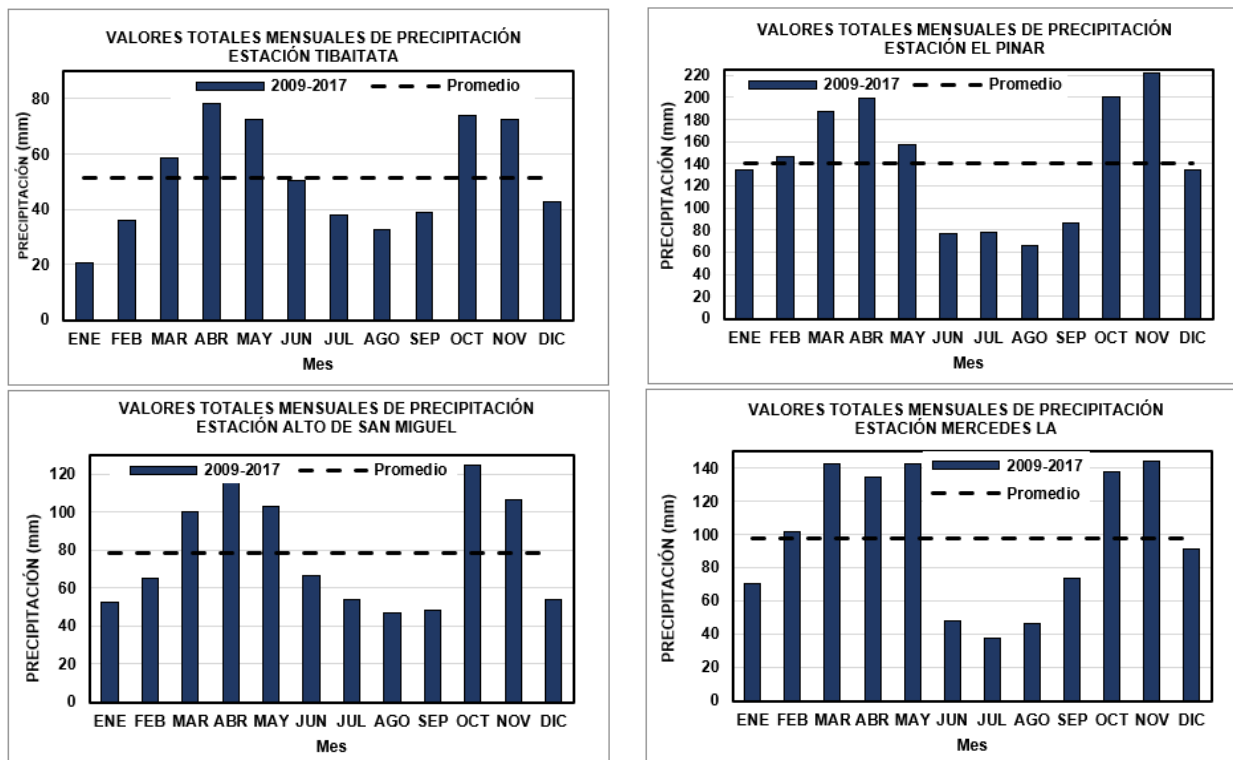
Dentro de las estaciones seleccionadas, cercanas al sitio de estudio, cuya información fue recopilada de bases de datos e indicadores del IDEAM, se evalúan las siguientes variables: Precipitación total mensual (Ver anexo A4 – Valores Totales mensuales de precipitación), Valores de precipitación máxima mensual para 24 horas (Ver anexo A5 – Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas) y el número de días mensuales de precipitación (Ver anexo A6 – Valores de números de días mensuales de precipitación).

De las gráficas presentadas en la Figura 5-7, se puede observar que los meses de octubre y noviembre son los más lluviosos, mientras los meses de enero, julio, agosto y septiembre son los meses con menor precipitación registrada. La precipitación más baja registrada es de 20 mm, la más alta 240 mm y valores promedios se encuentran en un rango de 60 a 80 mm.

Figura 5-7 Valores totales mensuales de precipitación



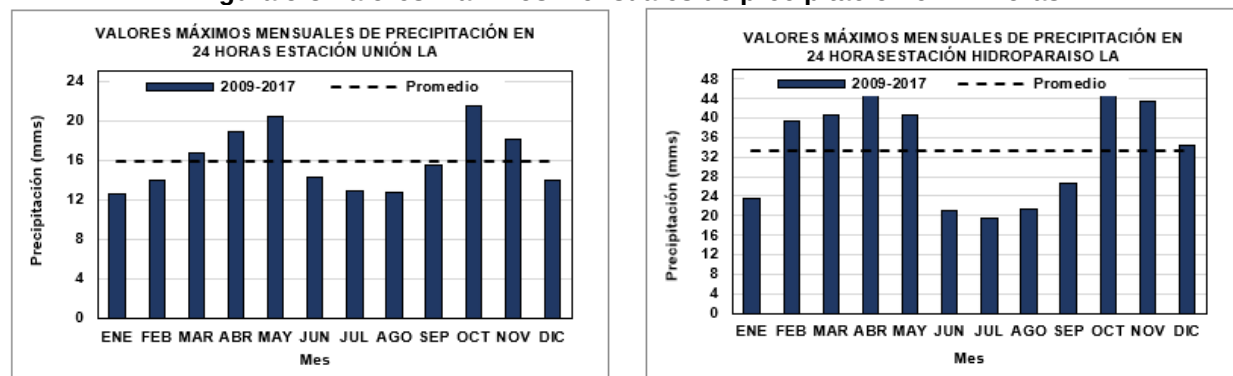
Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La
Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016



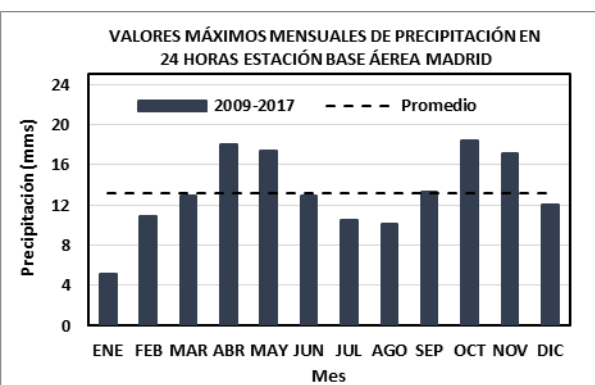
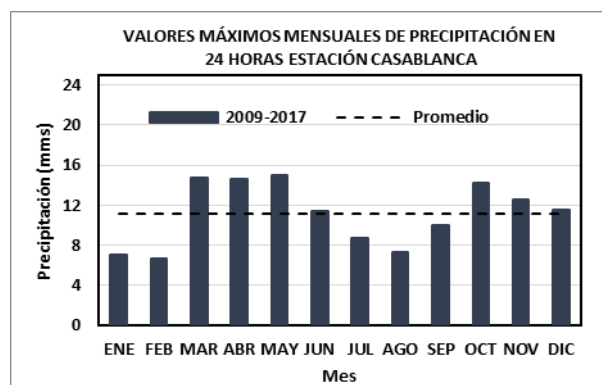
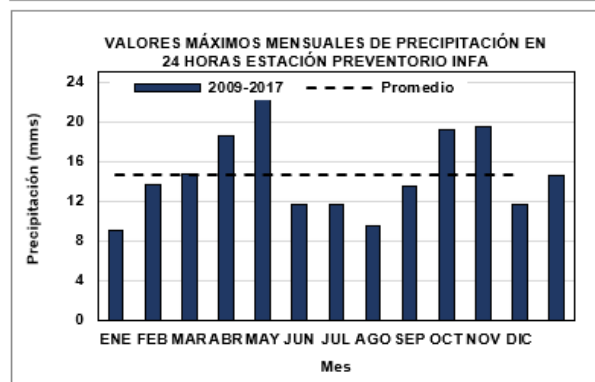
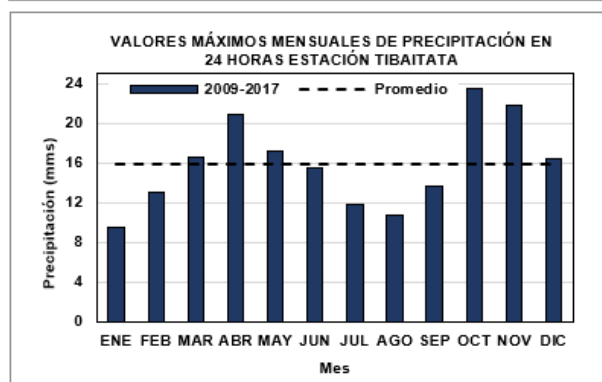
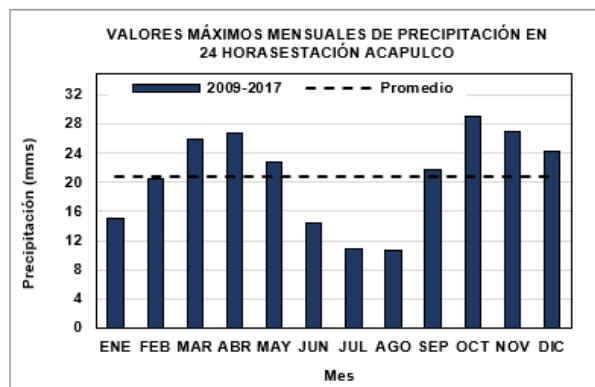
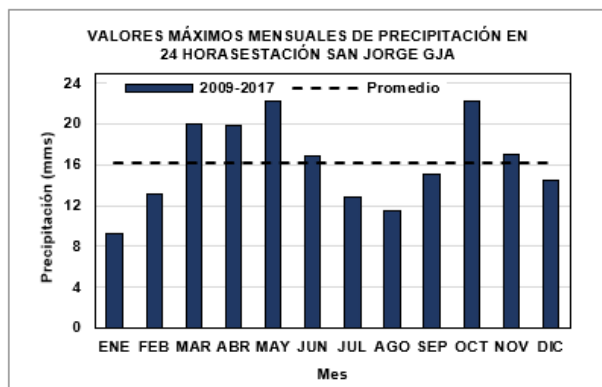
Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) a partir de datos IDEAM

De acuerdo con los gráficos mostrados en las Figura 5-8 el promedio de máximos mensuales de precipitación en 24 horas de las estaciones señaladas la precipitación oscila entre 15 y 16 mm.

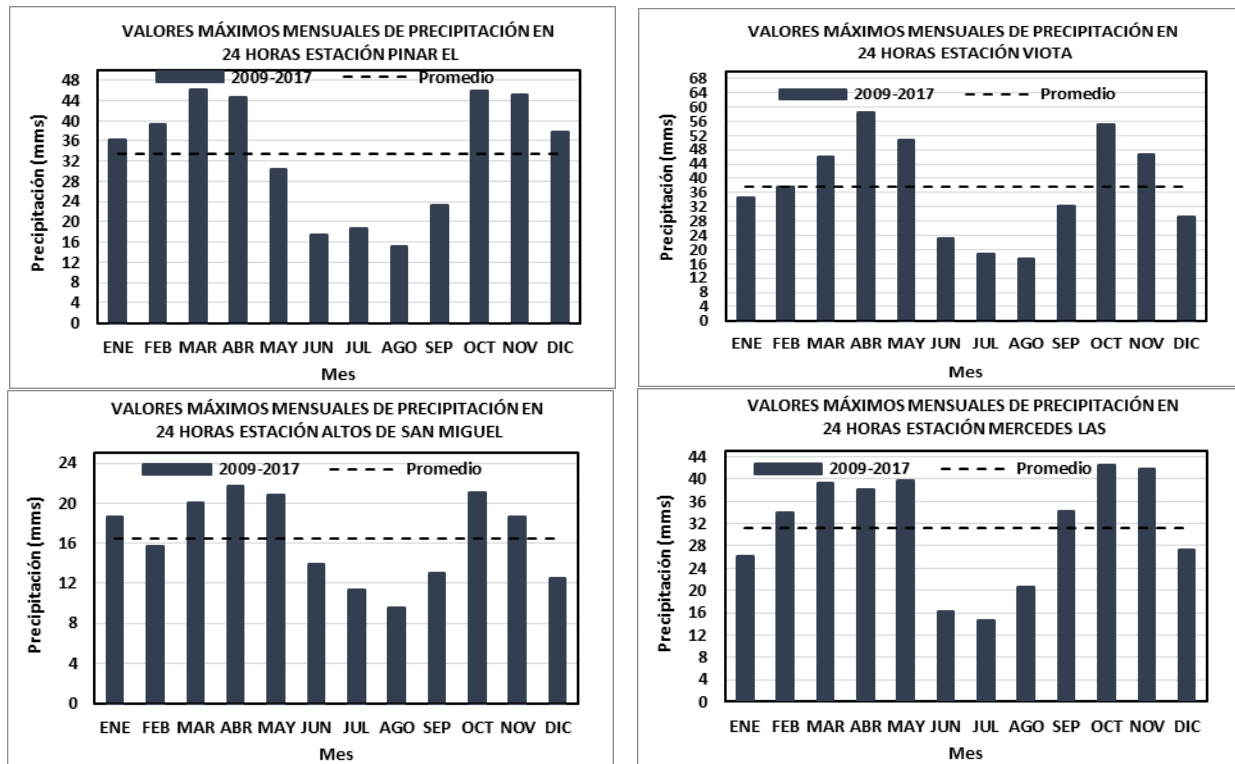
Figura 5-8 Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas



Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La
Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016



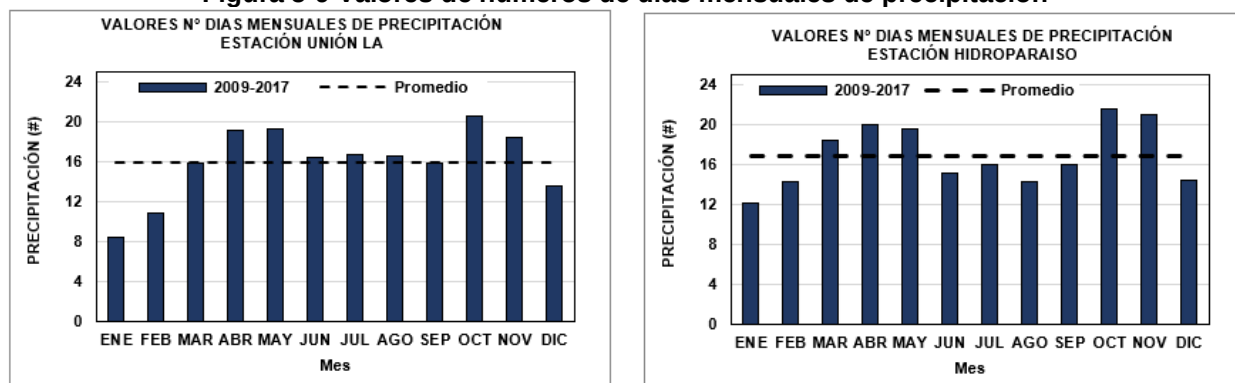
Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016



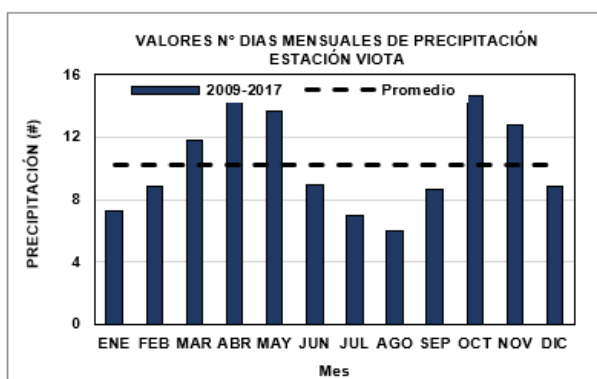
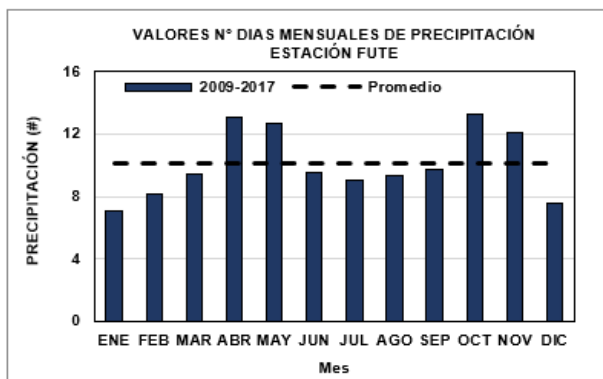
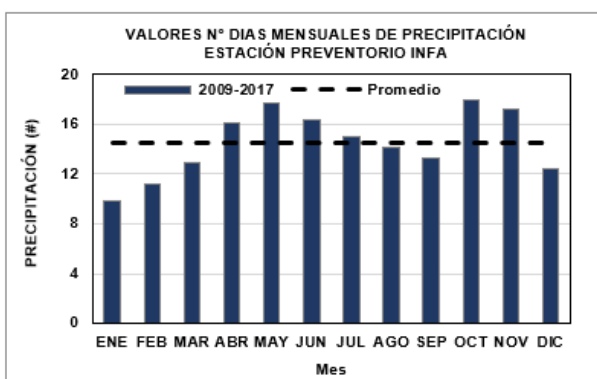
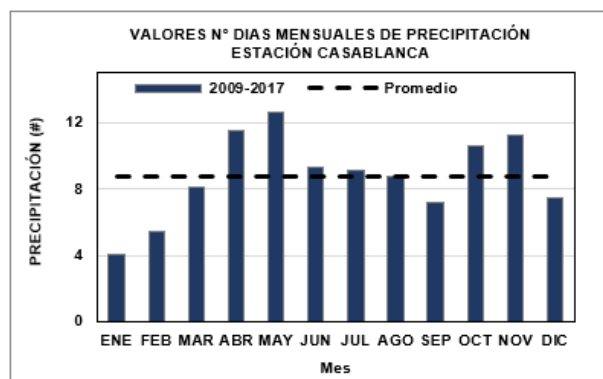
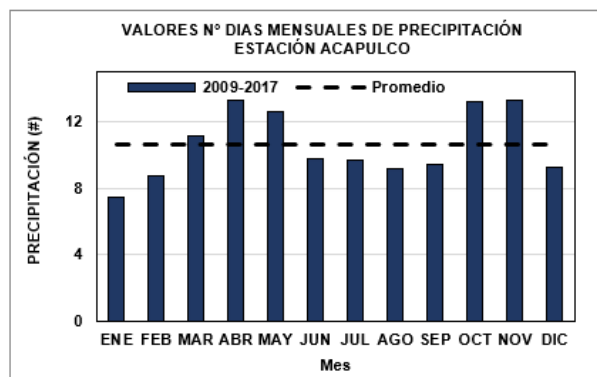
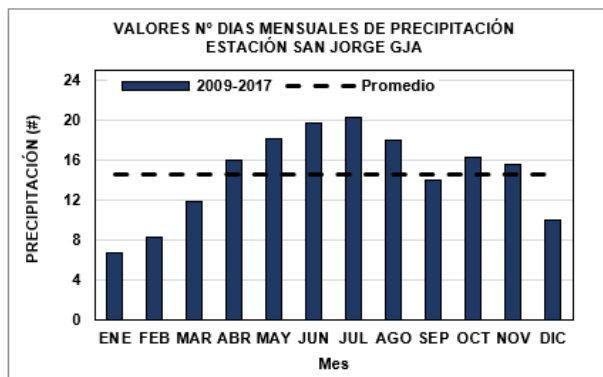
Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)a partir de datos IDEAM

En la Figura 5-9, el mes de enero corresponde al mes con el menor número de días de lluvia mientras que para los meses de abril, mayo, octubre y noviembre son los que registran el mayor números de días de precipitación.

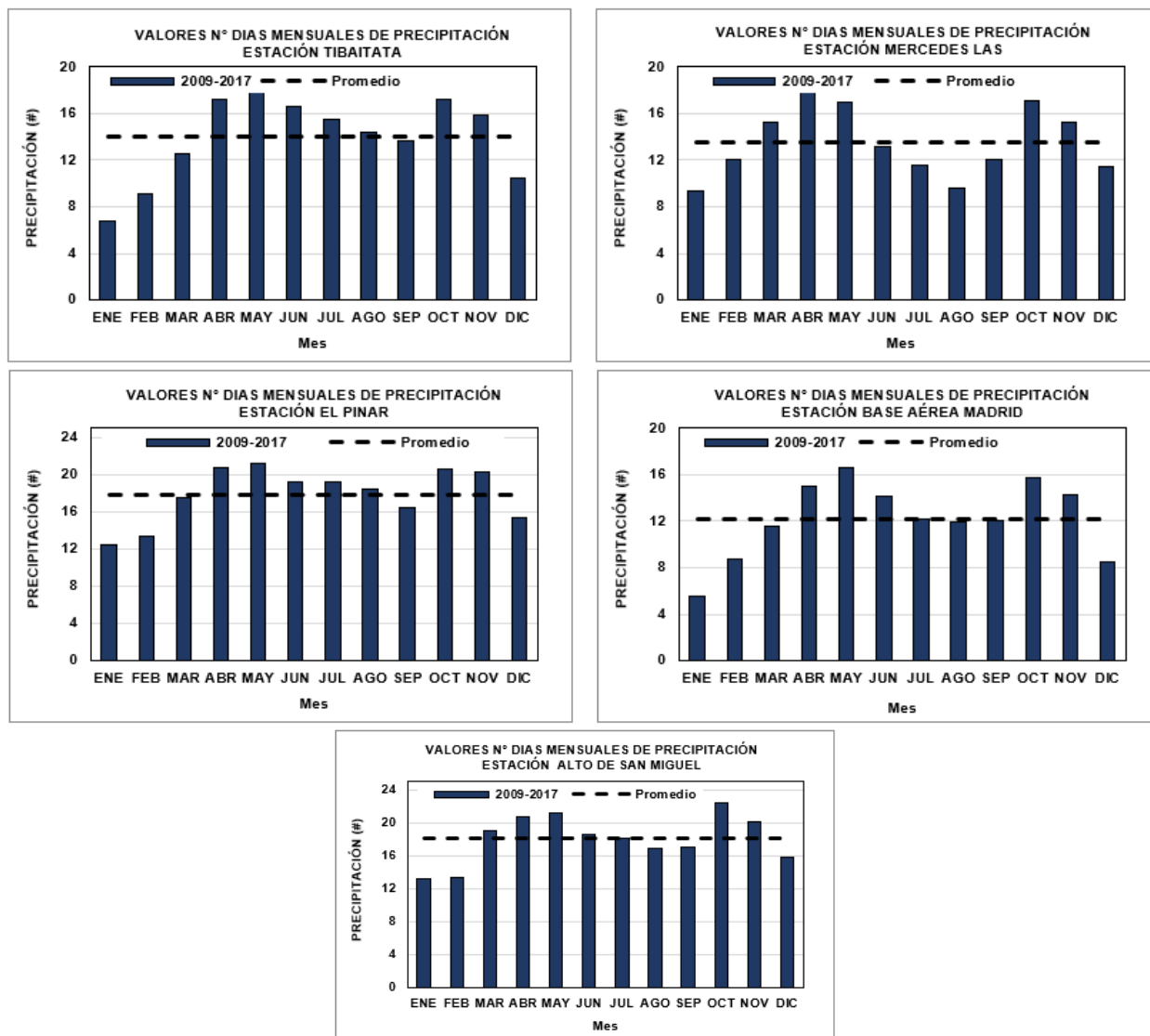
Figura 5-9 Valores de números de días mensuales de precipitación



Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La
Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016



Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) a partir de datos IDEAM

5.1.6.5.3 Temperatura

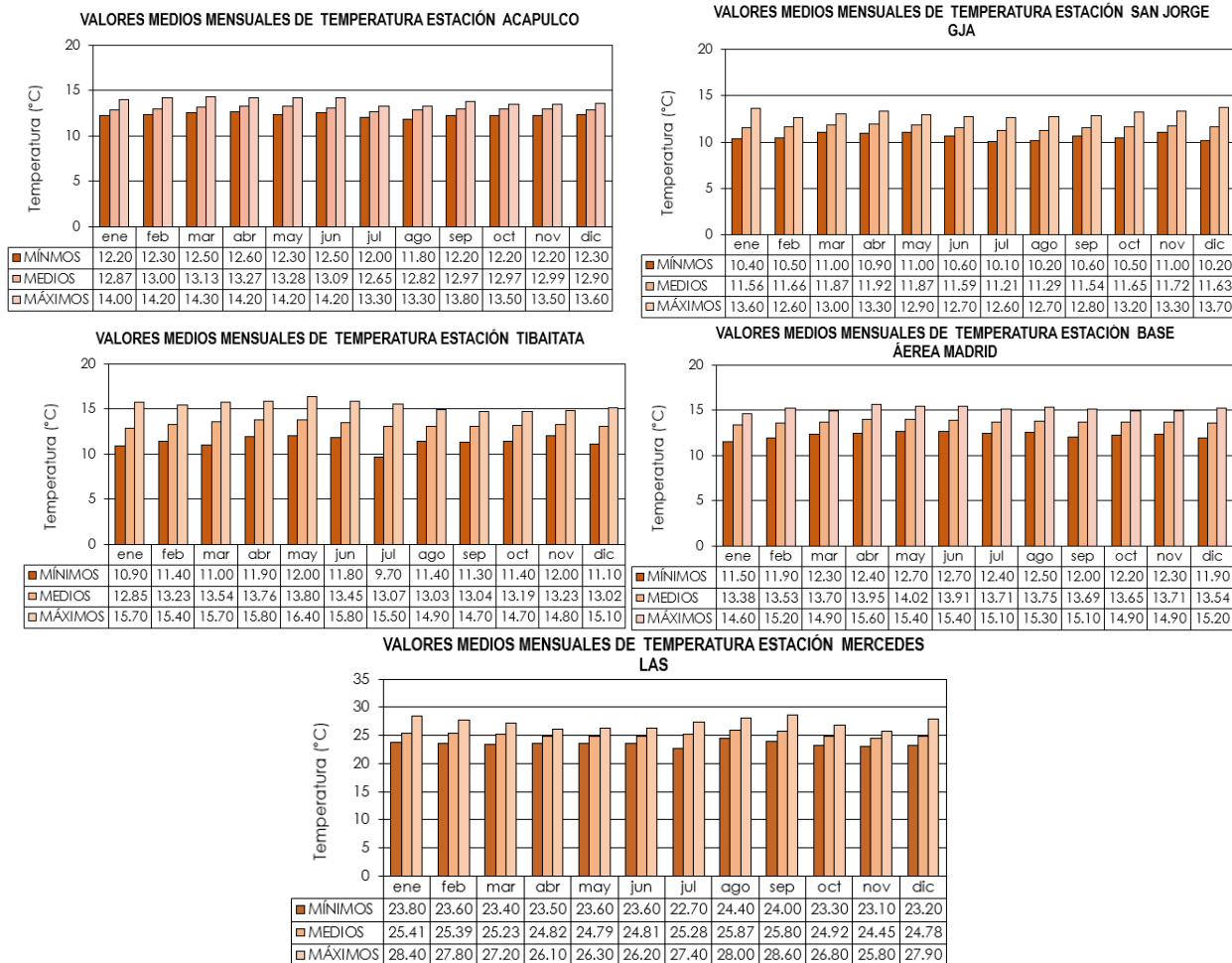
La temperatura es un carácter climatológico muy importante, por su influencia en los factores hidrológicos, biológicos y económicos de una región. El comportamiento de este elemento está condicionado por la presión atmosférica, lo cual se traduce en una variación inversa en función de la altura sobre el nivel del mar.

A continuación, se presentan gráficas de las estaciones cercanas que contaban con información de valores medios mensuales, valores mínimos mensuales y valores máximos mensuales para dicha variable, cuyos cálculos se muestran en los anexos A7, A8 y A9, respectivamente (Figura 5-10, Figura 5-11 y Figura 5-12).

La temperatura media mensual oscila por los valores de 11.6°C a 25.1°C aproximadamente.

Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La
Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

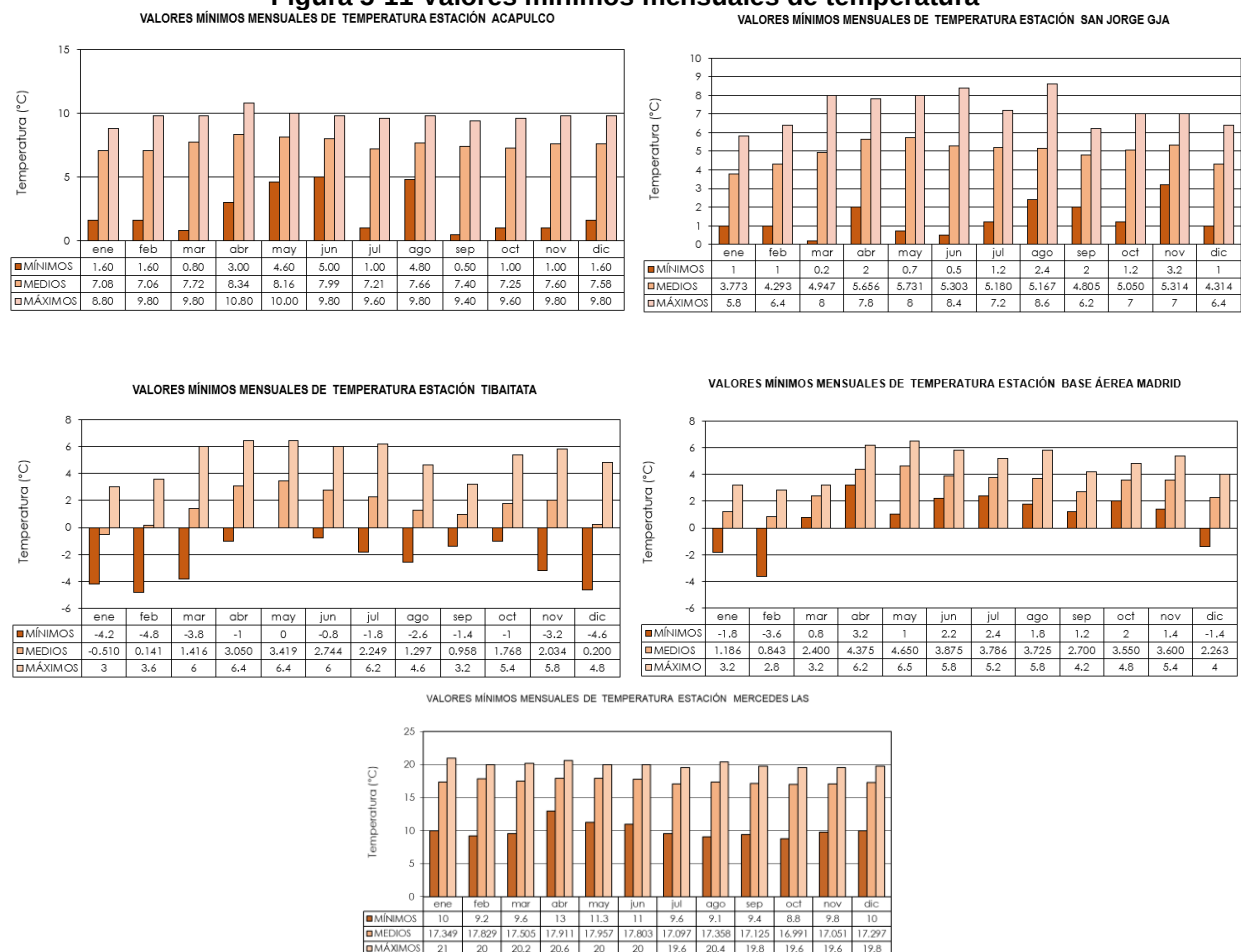
Figura 5-10 Valores medios mensuales de temperatura



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) a partir de datos IDEAM

Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La
Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

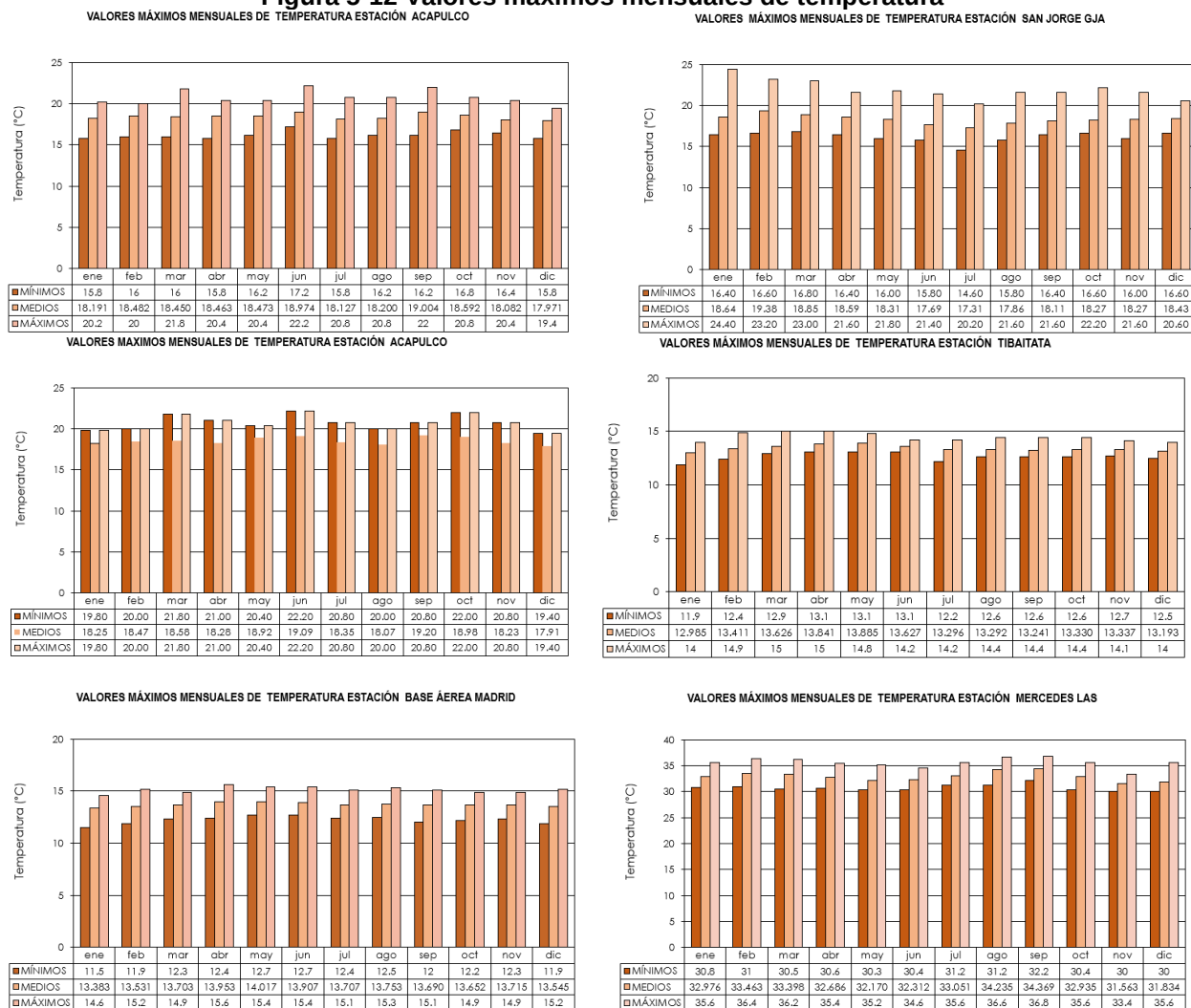
Figura 5-11 Valores mínimos mensuales de temperatura



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)a partir de datos IDEAM

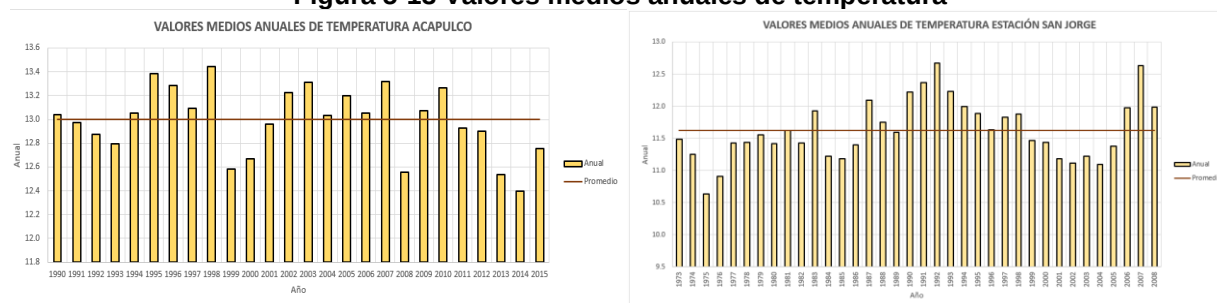
Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La
Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

Figura 5-12 Valores máximos mensuales de temperatura

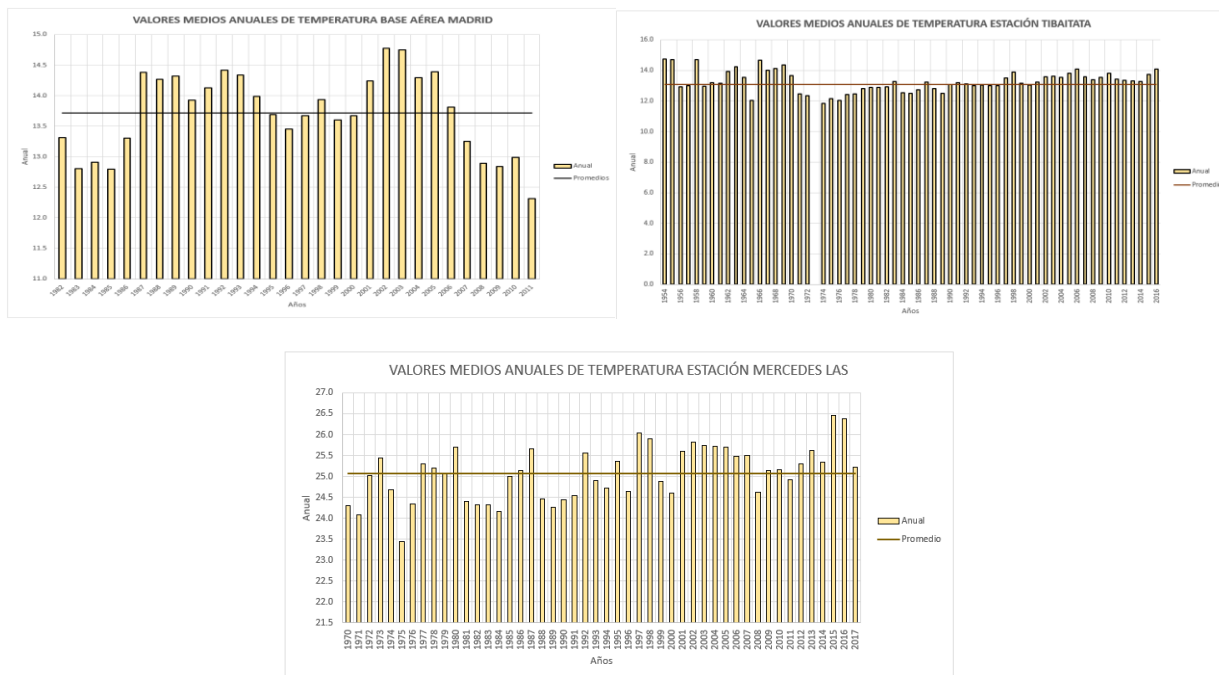


Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)a partir de datos IDEAM

Figura 5-13 Valores medios anuales de temperatura



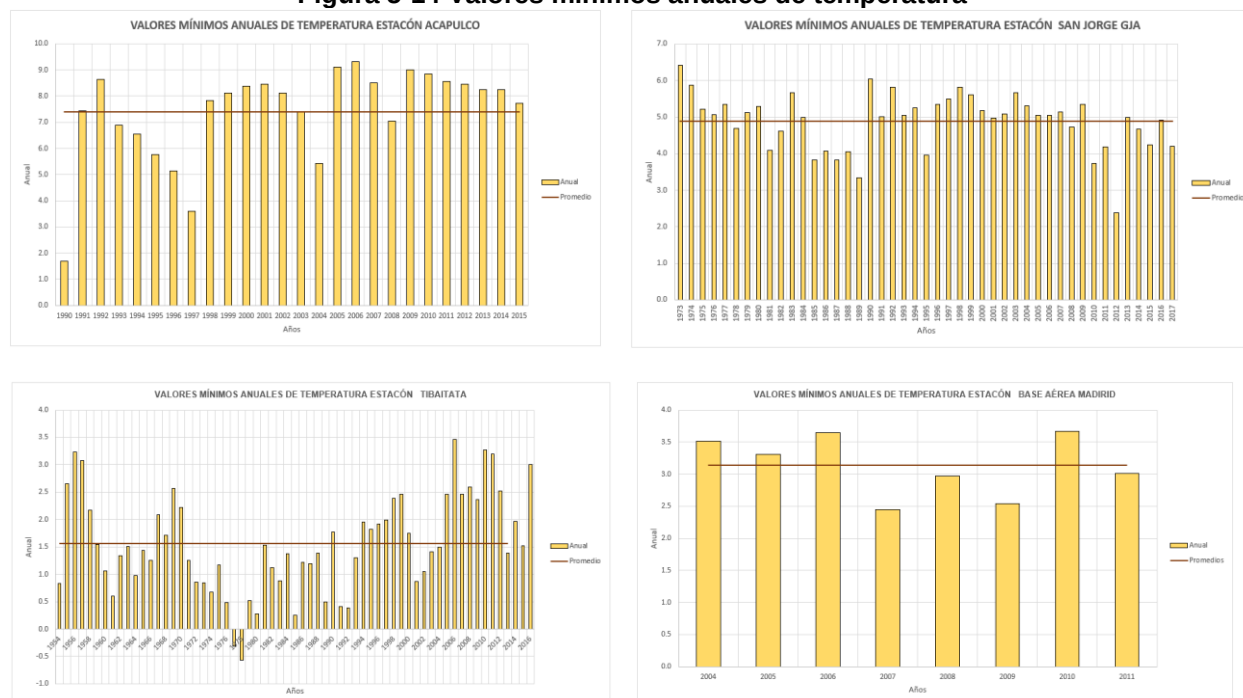
Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) a partir de datos IDEAM

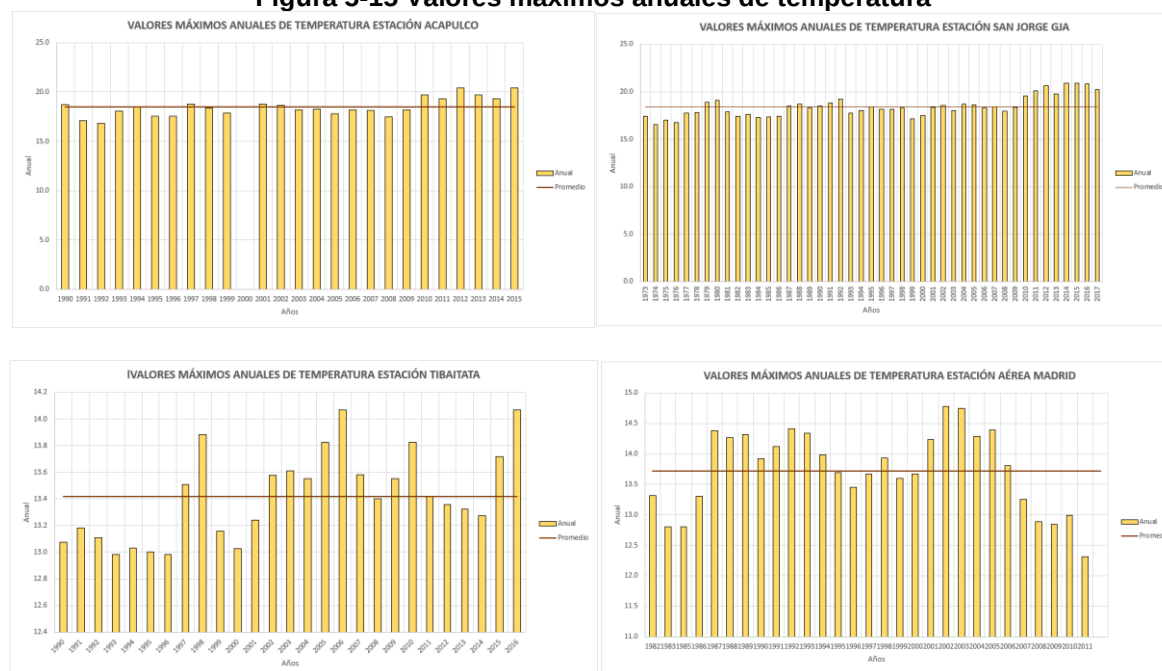
Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

Figura 5-14 Valores mínimos anuales de temperatura



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)a partir de datos IDEAM

Figura 5-15 Valores máximos anuales de temperatura



Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La
Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

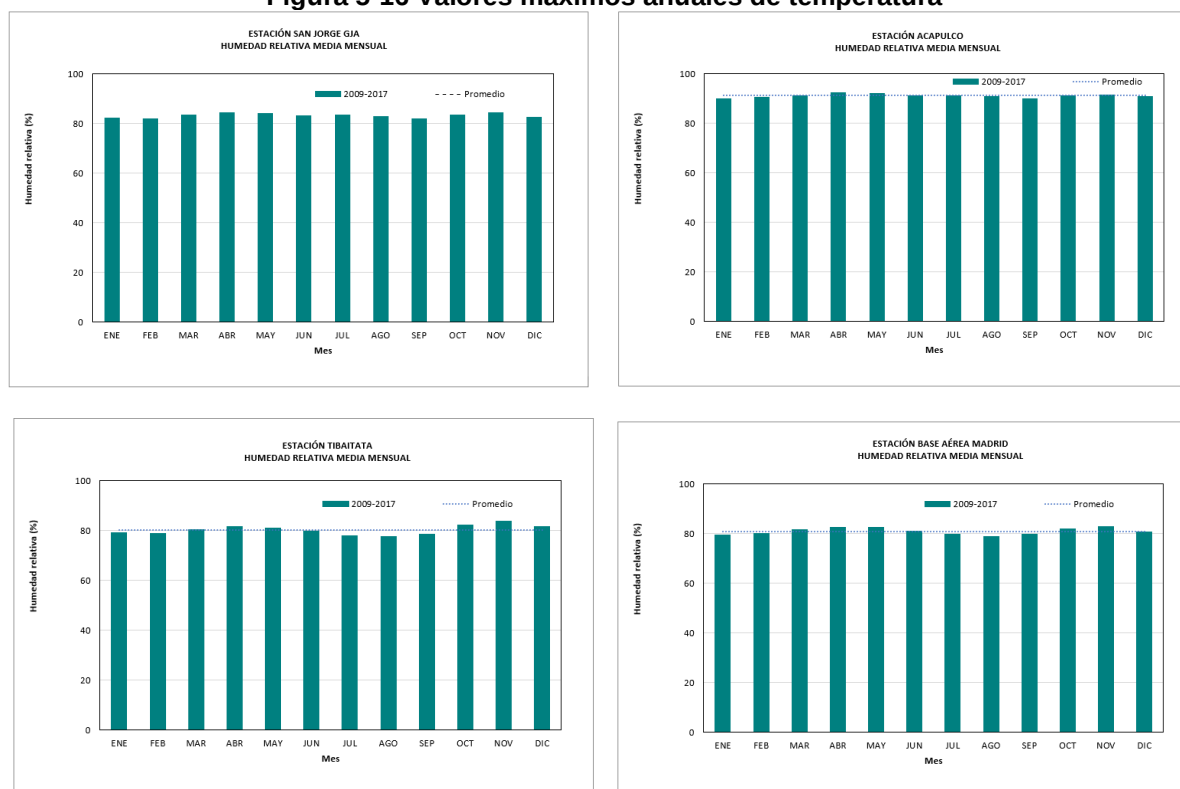


Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) a partir de datos IDEAM

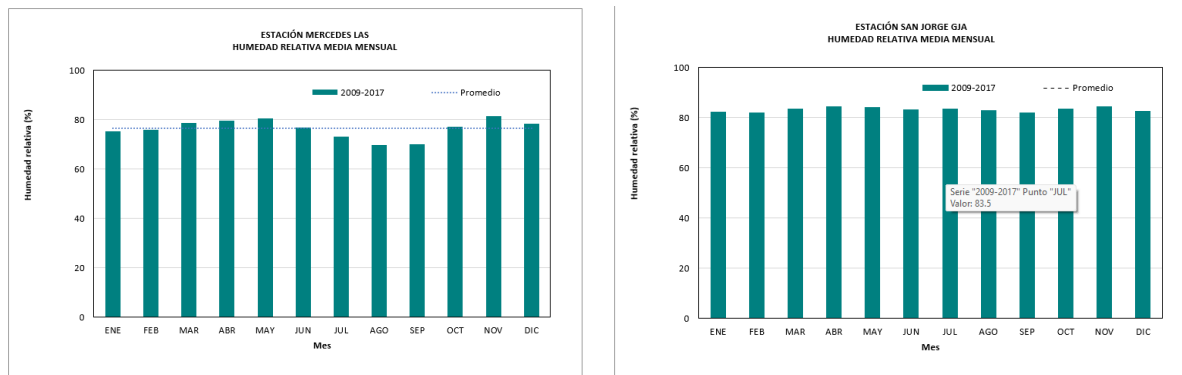
5.1.6.5.4 Humedad relativa

La medida de la cantidad de agua presente en el aire en forma de vapor, comparado con la cantidad máxima de agua que puede ser mantenida a una temperatura dada se conoce como Humedad Relativa. Este parámetro influye en la evaporación, pues al ser menor la humedad relativa, la evaporación se realizará con mayor facilidad. A continuación, se muestran las gráficas obtenidas para esta variable, en las estaciones que presentaban serie de datos, en las cuales se observa que la humedad relativa media de la zona conserva un valor aproximado de 80% (Figura 5-16) (Ver anexo A10 – Variables adicionales).

Figura 5-16 Valores máximos anuales de temperatura



Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016



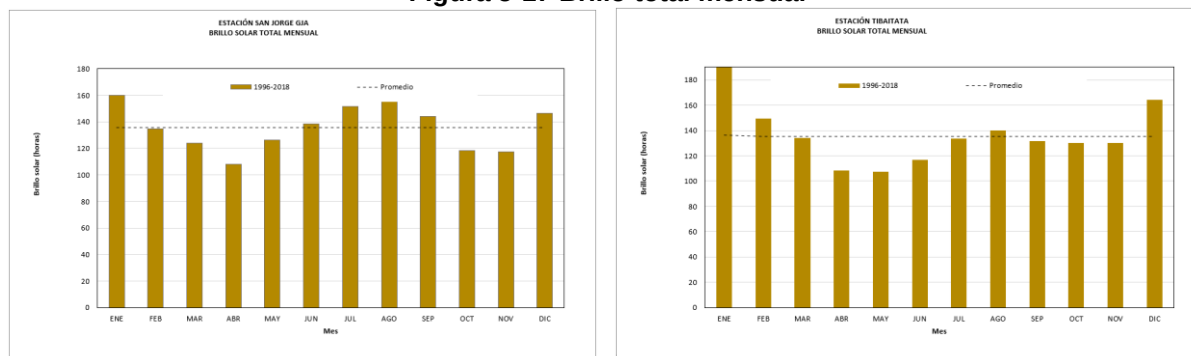
Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)a partir de datos IDEAM

5.1.6.5.5 Brillo solar

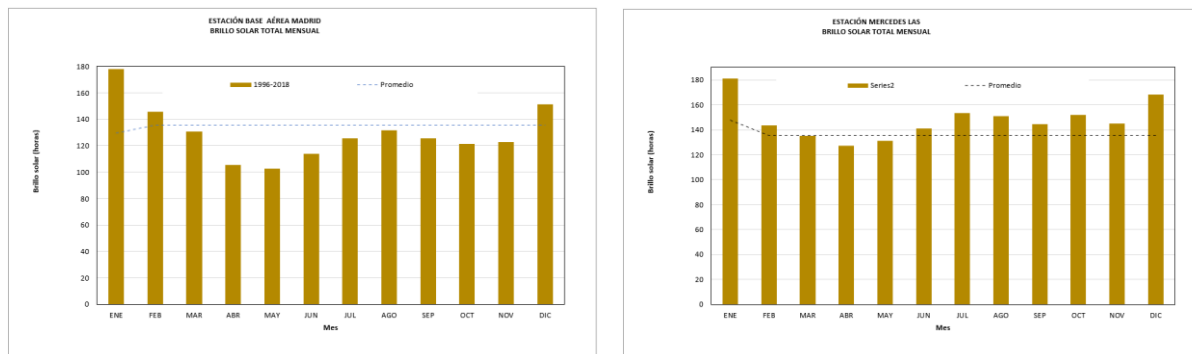
El brillo solar es un elemento meteorológico importante en diversas actividades humanas y sectores como el agrícola, construcción, forestal, turismo, energía, entre otros, ya que su planificación y proyección de actividades futuras se basan en la cantidad con que pueden disponer de brillo solar durante el día.

La heliofanía en horas o duración del brillo solar representa el periodo total entre el alba y el atardecer durante el cual, la luz solar incide directamente sobre una zona. El total de horas de brillo solar de un lugar es uno de los factores que determinan su clima. Así mismo, el adecuado conocimiento de su régimen permite estimar características cuantitativas de nubosidad y radiación solar. A continuación, se indican las gráficas de las estaciones que presentan esta información (Figura 5-17) (Ver anexo A10 – Variables adicionales).

Figura 5-17 Brillo total mensual



Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) a partir de datos IDEAM

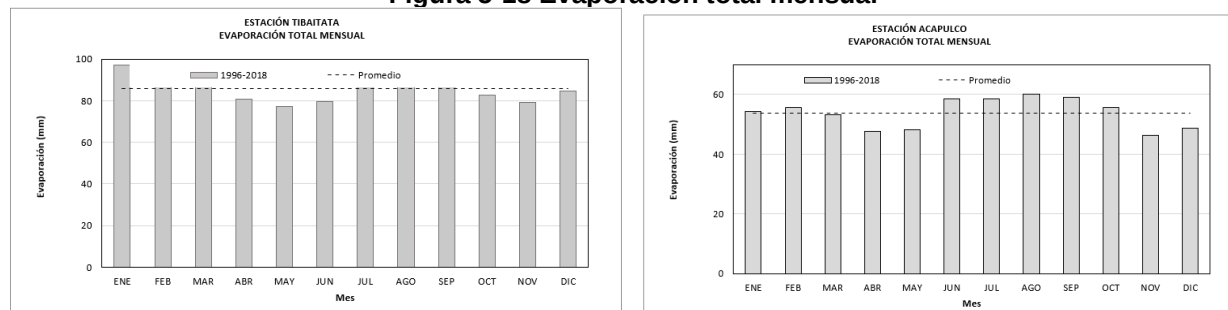
5.1.6.5.6 Radiación Solar

Busca establecer si las condiciones del cielo estuvieron cubiertas, semicubiertas o despejadas de nubes, como consecuencia de esto se obtiene las horas sol. Presenta una relación inversa con la precipitación. Por lo tanto, los meses más lluviosos son los que presentan menor radiación solar. Para las estaciones evaluadas no se encontró información disponible.

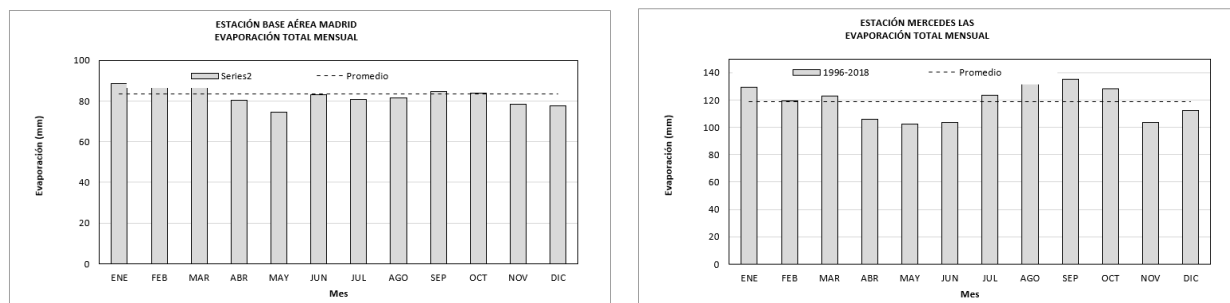
5.1.6.5.7 Evaporación

La evaporación es una de las variables hidrológicas importantes al momento de establecer el balance hídrico de una determinada cuenca hidrográfica o parte de ésta. Es un proceso físico que consiste en el pasaje lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, en función de un aumento natural o artificial de la temperatura, lo que produce influencia en el movimiento de las moléculas, agitándolas. Con la intensificación del desplazamiento, las partículas escapan hacia la atmósfera transformándose, consecuentemente, en vapor. Las estaciones cercanas al sitio de interés que presentan información detallada sobre la variable en cuestión se muestran las gráficas a continuación (Figura 5-18) (Ver anexo A10 – Variables adicionales).

Figura 5-18 Evaporación total mensual



Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

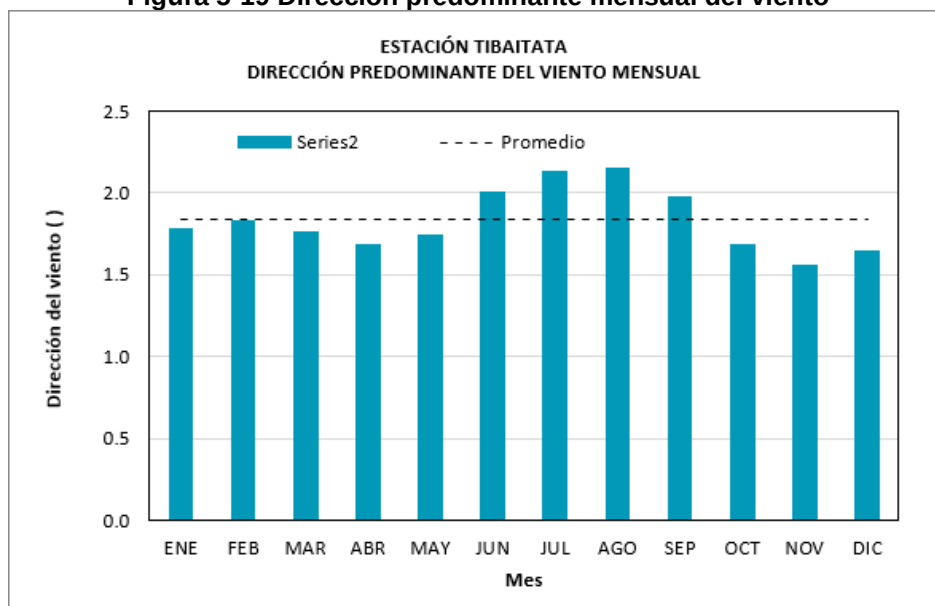


Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) a partir de datos IDEAM

5.1.6.5.8 Viento

El viento es un elemento climatológico definido como el aire en movimiento, descrito por dos características, las cuales a su vez hacen que sea considerado un vector: con magnitud (velocidad) y dirección. La estación Tibaitata es la única que presentaba información y sus datos se resumen en la siguiente gráfica (Figura 5-19) (Ver anexo A10 – Variables adicionales):

Figura 5-19 Dirección predominante mensual del viento



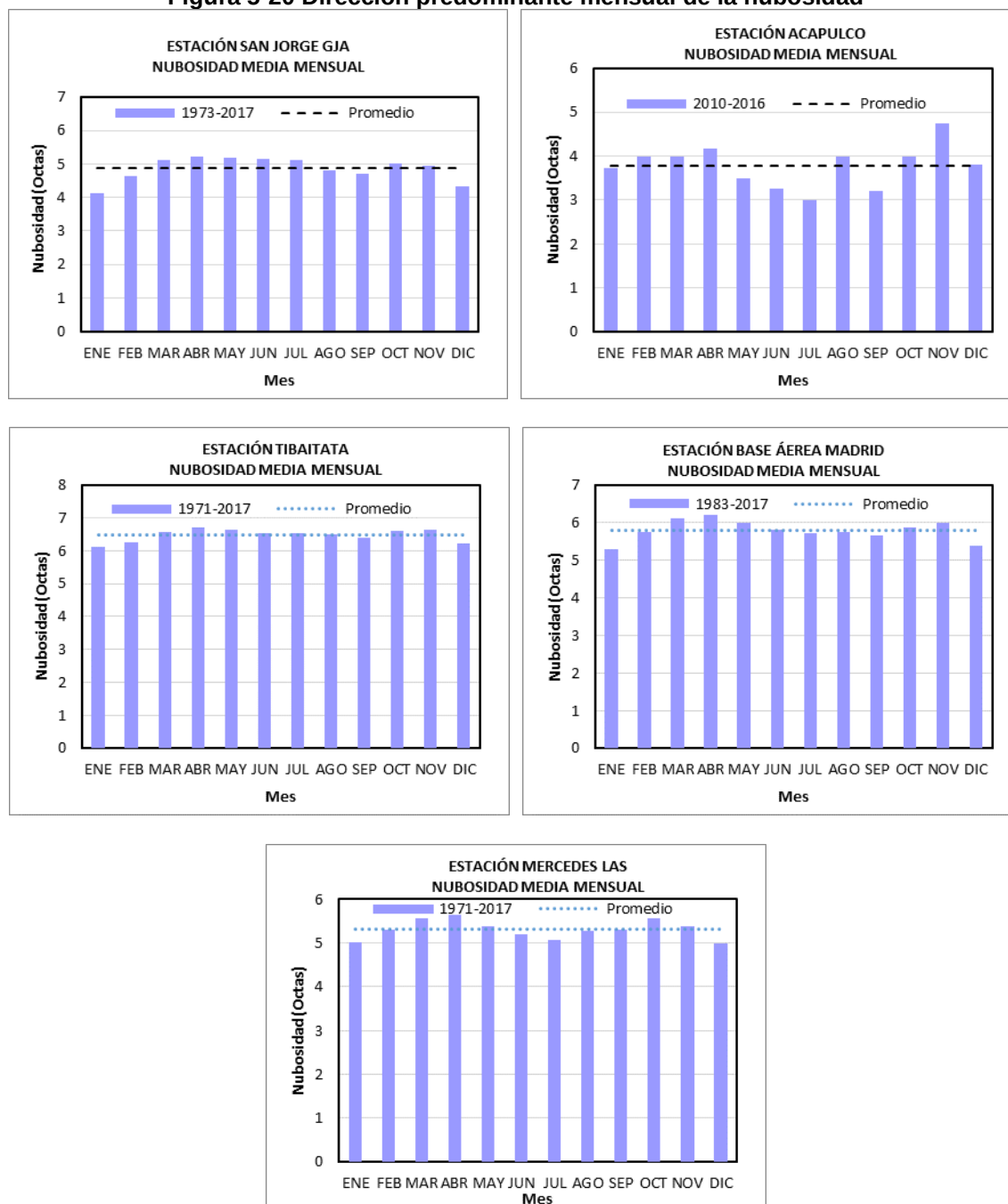
Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) a partir de datos IDEAM

5.1.6.5.9 Nubosidad

La nubosidad es la fracción de cielo cubierto con nubes en un lugar particular. Las zonas de máxima nubosidad están cercanas a la zona ecuatorial y las de mínima nubosidad se encuentran cercanas a las regiones polares. Las estaciones cercanas al sitio de interés que presentan información detallada sobre la variable en cuestión se indican a continuación, con una nubosidad promedio entre 4 y 6 octas (Figura 5-20) (Ver anexo A10 – Variables adicionales).

Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

Figura 5-20 Dirección predominante mensual de la nubosidad



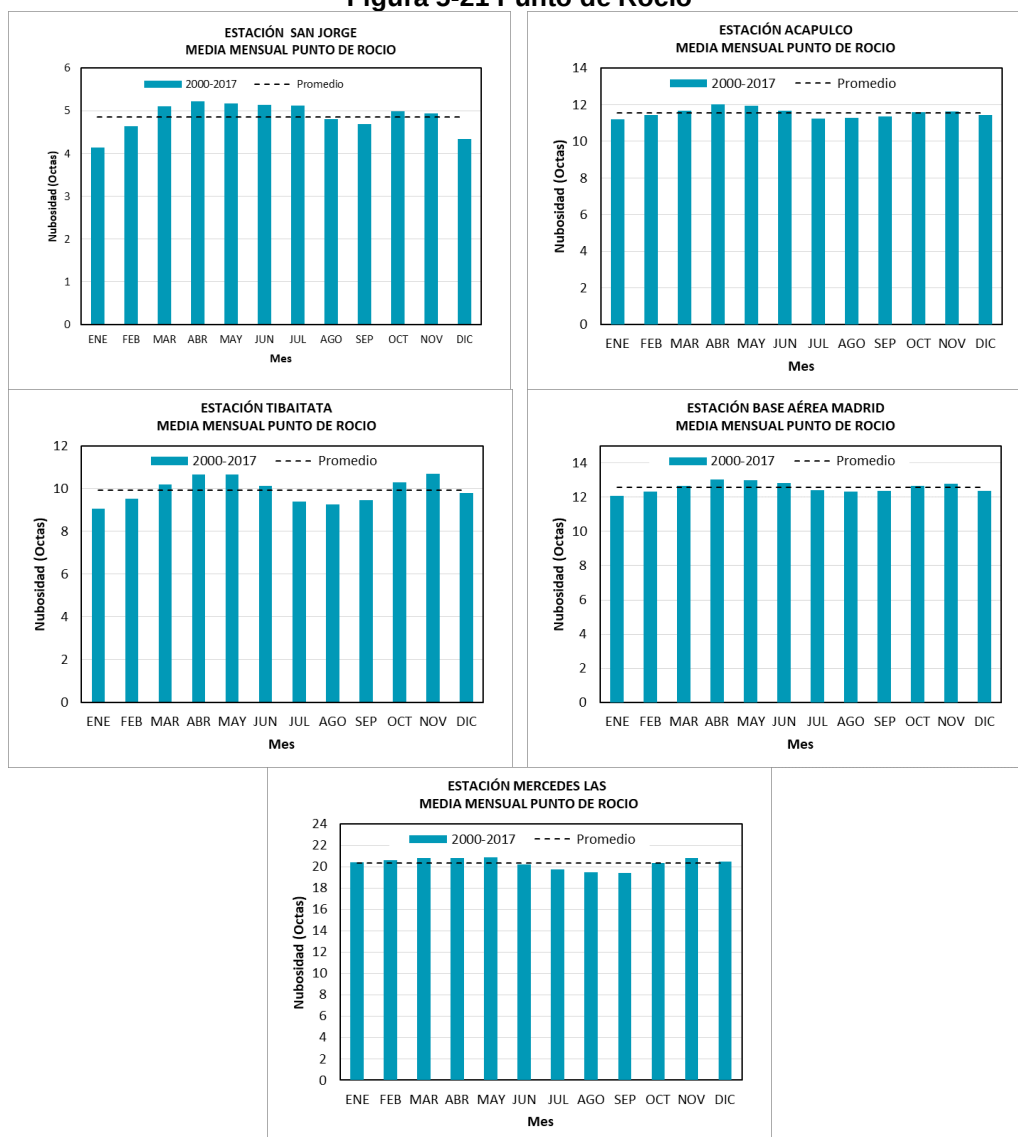
Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) a partir de datos IDEAM

5.1.6.5.10 Punto de rocío

La temperatura a la que se condensa (o solidifica) el vapor de agua en una muestra de gas a un valor de presión se le llama temperatura de punto de rocío (o de escarcha) y su valor depende de la presión del

gas. El incremento en la presión del gas incrementa el valor de la temperatura de punto de rocío (Figura 5-21).

Figura 5-21 Punto de Rocío



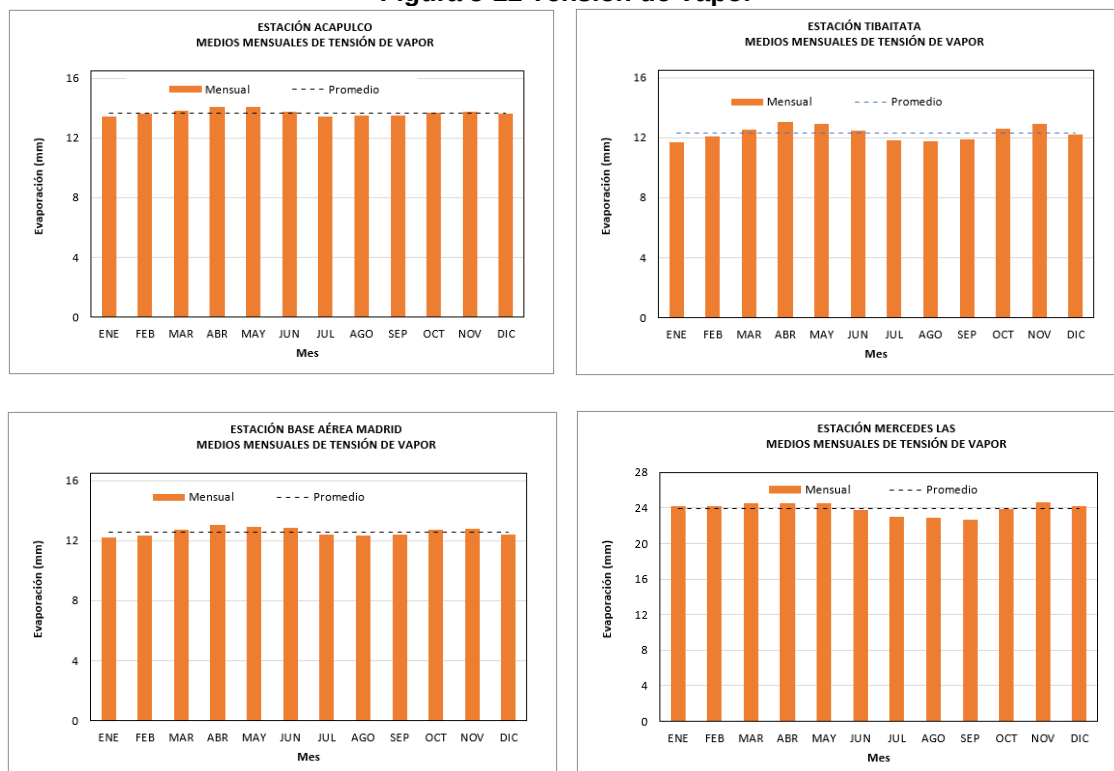
Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) a partir de datos IDEAM

5.1.6.5.11 Tensión de vapor

La tensión de vapor es la presión ejercida por el vapor de agua contenido en un volumen de aire húmedo. Los resultados de esta variable se indican en la Figura 5-22.

Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

Figura 5-22 Tensión de Vapor



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022) a partir de datos IDEAM

5.1.6.5.12 Balance hídrico

El balance hídrico modela el ciclo hidrológico determinando la disponibilidad de agua en cada una de sus fases: precipitación, evapotranspiración real, infiltración y escorrentía. De esta forma se puede estimar la oferta hídrica de un espacio en un determinado periodo de tiempo.

La base física del balance hidrológico es la formulación de las ecuaciones de conservación de masa para volúmenes de control o unidades hidrográficas determinadas. Expresa la equivalencia entre los aportes de agua que entran al volumen de control y la cantidad de agua que sale considerando además las variaciones internas en el almacenamiento de humedad ocurridas durante un periodo de tiempo determinado.

La expresión empleada para calcular el balance de agua en el suelo a lo largo del año es la siguiente:

$$\text{Escorrentía total} = P - ETR$$

Dónde:

P: Precipitación

ETR: Evapotranspiración Real

Para tal fin es necesario definir mes a mes los siguientes parámetros:

P: Precipitación media (mm)

ETP: Evapotranspiración potencial (mm)

P - ETP: Diferencia entre P y ETP (mm)

R: Reserva del suelo agregada (mm)

VR: Variación de la reserva (mm)
ETR: Evapotranspiración real (mm)
Déficit: Déficit (mm)
Exceso: Exceso (mm)

En este método, el agua del suelo se va perdiendo mes a mes hasta agotar la reserva para poder cubrir las necesidades de agua (evapotranspiración). La medida de la cantidad de agua presente en el aire en forma de vapor, comparado con la cantidad máxima de agua que puede ser mantenida a una temperatura dada se conoce como Humedad Relativa. Este parámetro influye en la evaporación, pues al ser menor la humedad relativa, la evaporación se realizará con mayor facilidad. La cuantificación de la lluvia o precipitación para los diferentes intervalos de tiempo se realizó mediante el método de las Curvas Isoyetas, las cuales son líneas que unen puntos de igual precipitación.

La evapotranspiración potencial (ETP), es la pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada, por evaporación y por transpiración de las plantas, que ocurriría en caso de existir un adecuado abastecimiento de humedad de agua al suelo en todo momento.

Para el cálculo de la ETP fue empleada la ecuación de Turc modificada, la cual está en función de la temperatura, radiación solar, humedad relativa y una constante que depende del periodo o mes considerado.

$$ETP = f_i * \left(\frac{T_{med}}{T_{med} + 15} \right) * (R_i + 50) * C_i$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/mes)

f_i : Constante igual a 0.4 para meses de 30 o 31 días y 0.37 para el mes de febrero. Para periodos de diez días es igual a 0.13.

T_{med} : Temperatura media mensual (°C)

R_i : Radiación solar global incidente del mes considerado (cal / cm² día)

$$R_i = R_o * \left(0.018 + 0.62 \frac{n_i}{N_i} \right)$$

R_o : Radiación solar extraterrestre en función de la latitud (cal / cm² día)

n_i : Horas de sol reales. Brillo solar (horas/día)

N_i : Horas de sol máximas teóricas (horas/día)

C_i : Corrección que depende de la humedad relativa

$$C_i = 1 + \left(\frac{50 - HR}{70} \right) \quad \text{si } HR < 50\%$$
$$C_i = 1 \quad \text{si } HR > 50\%$$

En la Tabla 5-7 y Figura 5-23 se presentan los resultados obtenidos de ETP para los meses del año, con base en datos de series históricas obtenidas de la estación Guaduas y anexo al final del documento se encuentra la memoria de cálculo de esta.

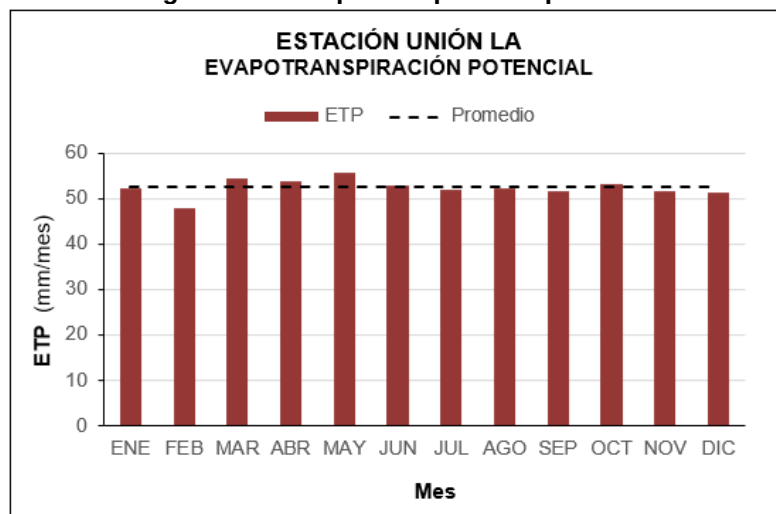
Tabla 5-7 Evapotranspiración potencial

CÁLCULO EVAPOTRANSPIRACIÓN						
Método de <u>Thornthwaite</u> (ETP)						
MES	<i>i</i>	Teórico			Estación	
		ETP _{sc} (mm/mes)	N/12 * d/30	ETP (mm/mes)	N/12 * d/30	ETP (mm/mes)
ENE	3.56	51.08	1.022	52.20	0.614	31.34
FEB	3.60	51.59	0.926	47.79	0.924	47.64
MAR	3.70	52.67	1.035	54.54	1.033	54.43
ABR	3.73	52.93	1.019	53.94	1.008	53.37
MAY	3.70	52.66	1.058	55.71	1.053	55.43
JUN	3.57	51.21	1.033	52.88	1.019	52.17
JUL	3.39	49.23	1.058	52.08	1.053	51.82
AGO	3.43	49.64	1.054	52.30	0.462	22.93
SEP	3.55	50.97	1.015	51.71	0.448	22.85
OCT	3.60	51.53	1.031	53.12	0.402	20.70
NOV	3.63	51.87	0.996	51.69	0.393	20.40
DIC	3.59	51.42	1.001	51.47	0.507	26.05
				629.43		459.15

I	43.05
a	1.17

Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

Figura 5-23 Evapotranspiración potencial



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

La variable $P - ETP$, clasifica los meses como húmedos (H) si la diferencia es mayor que cero ($P - ETP > 0$) y secos (S) si la diferencia es menor que cero ($P - ETP < 0$), según las entradas superen o no las salidas.

La reserva del suelo (R) obedece a la producción mensual de entradas y salidas, es decir, si se producen más entradas que salidas ($P > ETP$), el agua sobrante pasará a extender las reservas del suelo; caso contrario ($P < ETP$) la mencionada reserva del suelo disminuirá. Según los incrementos de $P - ETP > 0$, los valores de la reserva se irán acumulando mes a mes en el periodo húmedo, hasta llegar al periodo seco, donde disminuirán mes a mes según los valores mensuales de $P - ETP < 0$. Así la reserva en un mes dado (mes "i") tendrá tres opciones en función de las del mes anterior (mes "i-1").

$$R_i = \begin{bmatrix} R_{i-1} + (P_i - ET_i) & \text{si } 0 < R_{i-1} + (P_i - ET_i) < R_{max} \\ R_{max} & \text{si } R_{i-1} + (P_i - ET_i) > R_{max} \\ 0 & \text{si } 0 > R_{i-1} + (P_i - ET_i) \end{bmatrix}$$

La variación de la reserva (VR), es la diferencia entre la reserva del mes “i” y la del mes “i-1”.

La evapotranspiración real (ETR) es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes “i” dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar. El agua disponible para evaporar será la que cae como precipitación en el mes considerado y la que permanece en el suelo.

$$ETR_i = \begin{bmatrix} ETP_i & \text{para mes húmedo} \\ P_i + |VR_i| & \text{para mes seco} \end{bmatrix}$$

El déficit es el volumen de agua que hace falta para cubrir las necesidades potenciales de esta (para evaporar y transpirar).

$$Deficit = ETP_i - ETR_i$$

El exceso es el agua que excede de la reserva máxima y que se habrá perdido por escorrentía superficial o profunda. Solo el 50% del exceso escurre, el otro 50% se infiltra.

$$Exceso = \begin{bmatrix} (P_i - ETP_i - VR_i) & \text{si } (P_i - ETP_i) > 0 \\ 0 & \text{si } (P_i - ETP_i) \leq 0 \end{bmatrix}$$

$$Escorrentía = 0.5 * (Escorrentía_{i-1} + Exceso_i)$$

A continuación, en la Tabla 5-8 se presentan los resultados del balance hídrico para la cuenca 2120-04-016-001, los balances correspondientes a las demás cuencas se presentan en los anexos (Ver A13 – Balance hídrico).

Tabla 5-8 Balance hídrico cuenca: 2120-04-016-001

MES PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	28.5	47.8	70.4	95.0	100.2	57.2	46.4	41.4	52.6	109.9	97.5	49.6
ETP (mm)	52.2	47.8	54.5	53.9	55.7	52.9	52.1	52.3	51.7	53.1	51.7	51.5
Δ (mm)	-23.7	0.0	15.9	41.0	44.4	4.3	-5.7	-10.9	0.9	56.8	45.8	-1.9
H-S	S	S	H	H	H	H	S	S	H	H	H	S
Alm (0 - 100)	0.0	0.0	15.9	41.0	44.4	4.3	0.0	0.0	0.9	56.8	45.8	0.0
Déficit (mm)	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	10.9	0.0	0.0	0.0	-43.9
Exceso (mm)	0.0	0.0	0.0	15.9	41.0	44.4	0.0	0.0	0.0	0.9	56.8	0.0
Δ Alm	0.0	0.0	15.9	25.1	3.4	-40.1	-4.3	0.0	0.9	55.9	-10.9	-45.8
Estado	R	R	R	R	R	U	U	R	R	R	U	U
ETR (mm)	28.5	47.8	54.5	53.9	55.7	52.9	50.7	41.4	51.7	53.1	51.7	95.4
Escorrentia (mm)	50.9	49.3	51.9	52.9	54.3	53.6	52.2	46.8	49.2	51.2	51.4	73.4
Area (Km ²)	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828
Volumen (m ³)	42170	40870	43028	43857	45007	44408	43210	38764	40800	42407	42616	60816

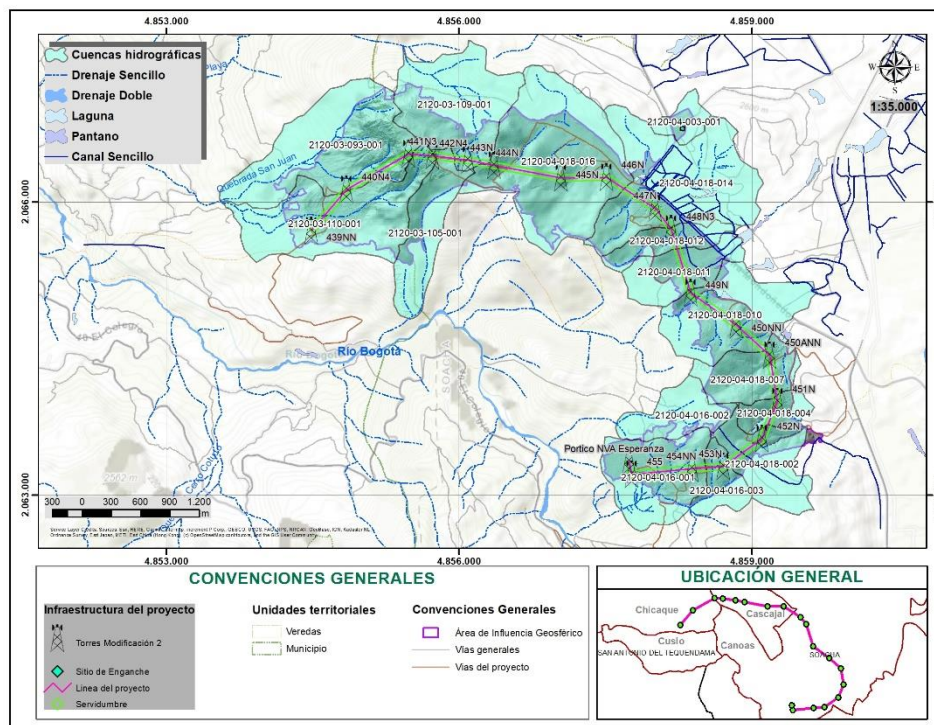
Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

5.1.6.6. Características morfométricas de las unidades de análisis hidrográficas

La geomorfología es la rama de la geografía que se encarga del estudio de la superficie terrestre. Razón por la cual, se hará uso de esta ciencia en el ámbito de la hidrología para dar a conocer información detallada del sitio de interés, es decir, de las 16 cuencas seleccionadas para realizar el estudio hidrológico, como se muestran en la Figura 5-24.

Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

Figura 5-24 Delimitación cuencas hidrográficas



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

5.1.6.7. Parámetros morfométricos

Constituyen la información mínima que debemos conocer para formarnos una primera idea de la naturaleza de la cuenca, estas tienen gran importancia en el comportamiento hidrológico de la misma. En la Tabla 5-9, se muestran los principales parámetros morfométricos determinados para cada una de las cuencas, los cuales están representados por su sigla entre paréntesis () así: Área de la cuenca (A), Perímetro de la cuenca (P), Longitud de la cuenca (Lc), Longitud del cauce principal (Lcp), Pendiente de la cuenca (S), Longitud máxima de la cuenca (Lm), Longitud del centroide hasta el punto más cercano al cauce (Lcen), Longitud de drenajes (Ltc), Anchura media de la cuenca (Bm).

Tabla 5-9 Parámetros morfométricos de las cuencas

Cuenca (ID)	A (km ²)	P (m)	Lc (m)	Lcp (m)	S (m/m)	Lm(m)	Lcen (m)	Ltc (m)	Bm (m)
2120-04-016-001	0.828	3785.263	845.491	1089.965	0.233	1237.742	129.775	3027.190	979.887
2120-04-016-003	0.260	2604.525	625.430	528.904	0.287	806.671	42.723	541.400	416.080
2120-04-018-002	0.605	4400.967	898.378	1210.650	0.134	925.351	86.424	1485.120	672.965
2120-04-003-001	0.173	1877.533	545.643	406.066	0.138	599.769	16.895	758.500	316.573
2120-04-018-004	0.221	2112.359	656.792	545.639	0.279	811.389	9.218	671.420	337.021
2120-04-018-011	0.501	3482.315	1247.439	1464.023	0.122	1317.409	21.023	2432.400	401.351
2120-04-018-012	0.307	3365.320	1211.841	1052.051	0.196	1476.568	1.430	1291.050	253.386
2120-04-018-014	1.505	6659.966	1849.171	1993.655	0.105	1929.205	16.773	6190.520	813.940
2120-04-018-016	1.836	6184.392	1452.119	1983.238	0.097	1811.644	52.474	6024.170	1264.622
2120-03-109-001	1.082	4968.355	1393.675	1796.011	0.182	1486.774	125.779	4357.220	776.062
2120-03-110-001	1.245	6490.010	1762.534	1970.704	0.447	1960.129	1.927	6508.120	706.255
2120-03-093-001	1.442	5976.621	2105.639	2115.828	0.413	2185.718	192.397	9309.470	684.708
2120-04-018-010	0.976	4509.415	1582.121	1681.689	0.128	1662.036	234.652	3933.720	616.579
2120-04-018-007	0.522	3534.846	904.832	1079.942	0.185	1134.355	23.923	1919.440	576.636
2120-03-105-001	0.605	4426.671	1513.747	1193.660	0.540	1818.884	28.351	1794.870	399.611
2120-04-016-002	0.434	3331.231	877.667	979.349	0.196	1236.438	11.317	1575.310	494.965

Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

5.1.6.6.1 Forma de la cuenca

5.1.6.6.2.1. Coeficiente de compacidad (K_c)

El coeficiente debe ser mayor a la unidad. Cercano a uno implica que su forma se asemeja a la del círculo; y valores próximos a 3 o más, implica que la cuenca es alargada u ovalada (Tabla 5-10).

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Tabla 5-10 Coeficiente de compacidad (K_c)

RANGO DE K_c	CLASES DE COMPACIDAD
1.00 – 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: (Gravelius, 1914)

5.1.6.6.2.2. Factor de forma (R_f)

Este factor fue definido por Horton, e implica el coeficiente entre la superficie (área) de la cuenca y el cuadrado de su longitud permitiendo denotar que tan cuadrada o rectangular es la cuenca. Se establece mediante la fórmula :

$$R_f = \frac{A}{L^2}$$

De acuerdo con los valores expuestos, el factor de forma de las cuencas se presenta dentro de los anexos del presente trabajo en el archivo “A11 - Parámetros morfométricos de las cuencas evaluadas”.

5.1.6.6.2.3. Coeficiente de forma (k_f)

Indica que tan ancha es la cuenca en relación con su longitud (Tabla 5-11).

$$K_f = \frac{B_m}{L}$$

Tabla 5-11 Coeficiente de compacidad (K_c)

RANGO DE K_f	CLASES DE FORMA
0.01 – 0.18	Muy poco achatada
0.18 – 0.36	Ligeramente achatada
0.36 – 0.54	Moderadamente achatada

Fuente: (Gravelius, 1914)

5.1.6.6.2.4. Radio o relación de elongación (R_e)

La relación expresa el diámetro de un círculo en función del área de la cuenca, así (Schumm, 1956):

$$R_e = 1,128 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

La relación de elongación de cada una de las cuencas mostradas en la Figura 5-24 se presenta dentro de los anexos del presente trabajo en el archivo “A11 - Parámetros morfométricos de las cuencas evaluadas”.

5.1.6.6.2.5. Radio o relación de circularidad (R_{ci})

La razón de circularidad relaciona el área A de la cuenca en cuestión con el área de un círculo de igual perímetro P (Miller V. , 1953):

$$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

La relación de circularidad de cada una de las cuencas mostradas en la Figura 5-24 se presenta dentro de los anexos del presente trabajo en el archivo “A11 - Parámetros morfométricos de las cuencas evaluadas”.

5.1.6.6.2.6. Índice de sinuosidad

El índice de sinuosidad de un río se define como el desarrollo de meandros existentes en su cauce principal. El conocimiento de este parámetro es importante pues permite conocer una serie de hechos tanto históricos como presentes respecto a la fuerza de acción lineal a lo largo de un cauce. Su cálculo se obtiene poniendo en relación la longitud del cauce principal (L_{cp}) con la longitud media de la cuenca (L_c).

$$S_i = \frac{L_{cp}}{L_c}$$

(Schumm, 1993) propuso cinco tipos de cauces según su índice de sinuosidad, su clasificación se muestra en la Tabla 5-12:

Tabla 5-12 Índice de sinuosidad

RANGO DE SI	TIPO DE CANAL
1 – 1.2	Rectilíneo
1.2 – 1.5	Transicional
1.5 – 1.7	Regular
1.7 – 2.1	Irregular
- > 2.1	Tortuoso

Fuente: (Schumm, 1993)

De acuerdo con los valores expuestos, el índice de sinuosidad de las cuencas se presenta dentro de los anexos del presente trabajo en el archivo “A11 - Parámetros morfométricos de las cuencas evaluadas”.

5.1.6.6.2 Relieve y altitud de la cuenca

5.1.6.6.2.1 Relación de relieve

Es la relación resultante de la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h) y la longitud de la cuenca (L).

Las cotas más altas y bajas de cada una de las cuencas mostradas en la Figura 5-24 se presentan dentro de los anexos del presente trabajo en el archivo “A11 - Parámetros morfométricos de las cuencas evaluadas”, de igual manera que la relación de relieve, la cual está dada por la siguiente expresión:

$$R_r = \frac{h}{L}$$

El valor obtenido para cada una hace referencia al gradiente de la pendiente a lo largo de toda la cuenca.

5.1.6.6.2.2 Pendiente de la cuenca

La pendiente de la cuenca es un parámetro relevante, ya que permite tener una idea de cómo responde la cuenca ante una precipitación intensa o crecida. Una pendiente muy pronunciada genera una velocidad de respuesta mayor, en tanto que para una pendiente suave la respuesta será lenta. La pendiente promedio (Smc) obtenida para cada una de las cuencas mostradas en la Figura 5-24 se presentan dentro de los anexos del presente trabajo en el archivo “A11 - Parámetros morfométricos de las cuencas evaluadas”

5.1.6.6.2.3 Orientación de la cuenca

Se toma con respecto a la corriente principal y permite junto con otros parámetros evaluar la dirección de los vientos, la incidencia del sol sobre la cuenca, la dirección y movimiento de las lluvias.

5.1.6.6.2.4 Pendiente del cauce

La pendiente del cauce es otro parámetro importante, dado que este tiende a afectar factores como: las velocidades de escurrimiento, el tiempo de respuesta de una cuenca ante una precipitación fuerte y el tamaño de los sedimentos y material transportado. Se denota mediante la siguiente expresión:

$$S_c = \frac{\text{Elevación en el nacimiento} - \text{Elevación en la salida}}{\text{longitud de la corriente}}$$

La pendiente del cauce obtenida para cada una de las cuencas mostradas en la Figura 5-24 se presentan dentro de los anexos del presente trabajo en el archivo “A11 - Parámetros morfométricos de las cuencas evaluadas”.

5.1.6.6.2.5 Densidad de los drenajes (d)

Fue calculada con la fórmula propuesta por Horton, quien relaciona la longitud total de los canales de flujo y la superficie de la cuenca, de la siguiente forma:

$$D = \frac{L_T}{A}$$

La densidad de drenaje obtenida para cada una de las cuencas mostradas en la Figura 5-24 se presenta dentro de los anexos del presente trabajo en el archivo “Parámetros morfométricos de las cuencas evaluadas”

5.1.6.6.2.6 Constante de estabilidad de un río

Se define como el valor inverso de la densidad de un río. Representa físicamente la superficie de cuenca necesaria para mantener condiciones hidrológicas estables en una unidad de longitud de canal.

$$C = \frac{A}{L_T}$$

La constante de estabilidad del río obtenida para cada una de las cuencas mostradas en la Figura 5-24 se presenta dentro de los anexos del presente trabajo en el archivo “A11 - Parámetros morfométricos de las cuencas evaluadas”.

5.1.6.6.2.7 Densidad hidrográfica (f)

Es la relación entre el área promedio de la cuenca (A) y los segmentos del flujo que no sufren aportes (NT).

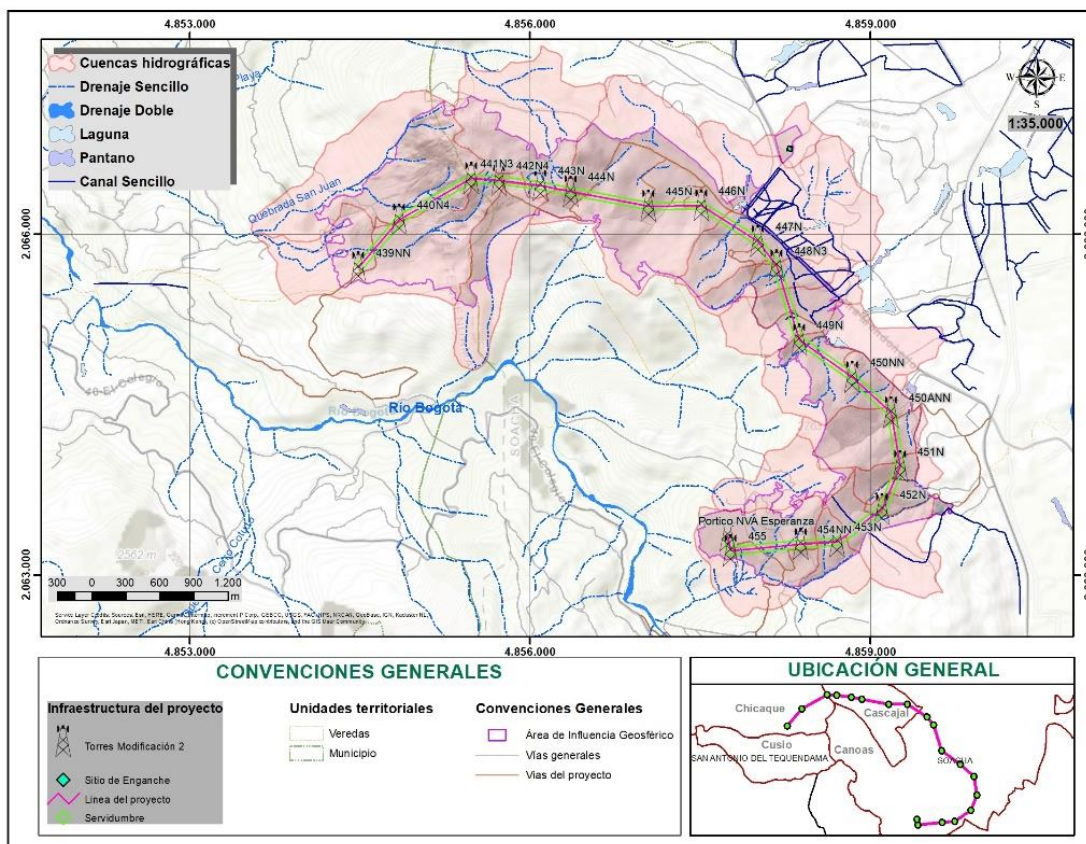
$$F = \frac{N_T}{A}$$

La densidad hidrográfica obtenida para cada una de las cuencas mostradas en la Tabla 5-5 se presenta dentro de los anexos del presente trabajo en el archivo “A11 - Parámetros morfométricos de las cuencas evaluadas”

5.1.6.6.2.8 Estructura de la red de drenaje

De acuerdo con el criterio de Strahler (Horton, 1945) el mayor orden de drenaje obtenido entre las cuencas evaluadas es el orden 5, como se muestra en la Figura 5-25.

Figura 5-25 Drenajes de cuencas hidrográficas



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

5.1.6.6.2.9 Patrones de drenaje y ocupación del cauce.

Todos los drenajes están caracterizados por una forma, patrón o modelo, según el recorrido del curso determinado por las formas de la tierra (

Tabla 5-13). La clasificación de los drenajes en dichos patrones es de gran importancia, pues con estos se pueden identificar características geológicas propias del sitio de estudio evaluado, tales como: diferencias en la composición y dureza de rocas subyacentes, intensidad y largo de la pendiente, fallas y control estructural, entre otras, y con ello identificar las precauciones que deben ser tenidas en cuenta al momento de trabajar sobre él.

Debido a que la mayoría de los drenajes evaluados en el presente estudio tributan al Río Bogotá, se ha considerado como patrón de drenaje regional aquel correspondiente a la cuenca hidrográfica del Río Bogotá, más específicamente a la subcuenca del Río Teusacá, por considerarse ésta la más cercana al área de influencia del proyecto. Como fue registrado en varios estudios, el patrón de drenaje propio de la cuenca del Río Bogotá es Sub-Paralelo, en el cual existen dos sistemas, uno predominante en el que las corrientes van relativamente paralelas entre sí y otro que se insinúa y no mantiene el patrón de paralelismo. Con lo anterior se puede concluir que regionalmente, los canales son definidos por las altas pendientes de los cerros, su recorrido es corto y refleja las formas de la roca, con estratos plegados en forma cóncava.

Tabla 5-13 Patrones de drenaje locales predominantes

PATRÓN DE DRENAJE	DESCRIPCIÓN	MODELO
Paralelo	Los cauces tributarios son aproximadamente paralelos entre sí, es decir, suelen unirse formando ángulos muy similares. Este patrón representa usualmente controles topográficos de altas pendientes, con posibles fracturas o fallas.	
Sub-paralelo	Los cauces siguen el recorrido de dos sistemas, uno predominantemente paralelo y otro que se insinúa. Sus características y descripción son muy similares a las del patrón paralelo.	
Dendrítico	Se caracteriza por presentar una ramificación arborescente y los ángulos de los cauces tributarios son menores a 90°. Los cauces son sinuosos o curvilíneos, su presencia representa topografía llana y horizontal, generalmente de rocas sedimentarias blandas o tobas volcánicas. Las crestas son redondeadas a igual altura.	

5.1.6.8. Régimen hidrológico

Mediante el análisis de la distribución temporal de la precipitación a lo largo del año, se definen las épocas en las cuales se presentan las temporadas húmedas y secas del sitio de interés. La región se caracteriza por presentar un régimen bimodal, con un primer periodo de lluvias entre los meses de abril y mayo, y un segundo periodo entre octubre y noviembre. Los periodos secos están definidos entre enero y febrero, y entre julio y agosto.

5.1.6.9. Obtención de caudales

La obtención de los caudales de diseño para periodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 25, 50 y 100 años, en cada una de las unidades hidrográficas básicas evaluadas, se realizó empleando el *método racional* (Kuichling, 1889) en el cual interfieren el coeficiente de escorrentía, c , la intensidad de la lluvia, i , durante un tiempo igual al de concentración, t_c , y el área de influencia A . El método racional empleado, está dado por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{c i A}{3,6}$$

Donde

Q	Caudal [m^3/s]
c	Coeficiente de escorrentía (Tabla 5-14 Coeficientes de escorrentía)
i	Intensidad de lluvia en la zona [mm/h]
A	Área de influencia [km^2]

Con el fin de aplicar la ecuación del método racional en las cuencas hidrográficas y con esto determinar su caudal, se hace necesario determinar cada uno de sus componentes, como se describe a continuación.

✓ Coeficiente de escorrentía (c)

El coeficiente de escorrentía es un parámetro fundamental de la hidrología superficial porque permite representar la porción de precipitación que se convierte en caudal mediante la relación entre el volumen de escorrentía superficial y el de precipitación total sobre un área determinada, por ende, es obtenido en función del tipo de la superficie a drenar (cobertura y tipo de suelo), la pendiente de esta, S , y el período de retorno, T_R . Por lo anterior, este factor no tiene un valor constante, y por ello su determinación es aproximada (Tabla 5-14).

Tabla 5-14 Coeficientes de escorrentía

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/techos	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre</i> (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Promedio, 2-7%	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente, superior a 7%	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
<i>Condición promedio</i> (cubierta de pasto del 50% al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente, superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<i>Condición buena</i> (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0-2%	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Promedio, 2-7%	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente, superior a 7%	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Áreas no desarrolladas							
<i>Área de cultivos</i>							
Plano, 0-2%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE		PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)						
		2	5	10	25	50	100	500
	Promedio, 2-7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
	Pendiente, superior a 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
<i>Pastizales</i>								
	Plano, 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
	Promedio, 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
	Pendiente, superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<i>Bosques</i>								
	Plano, 0-2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
	Promedio, 2-7%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
	Pendiente, superior a 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

Las coberturas predominantes en el área de interés son bosques, pastos limpios o zonas urbanas como techos o pavimento. Para determinar su coeficiente de escorrentía se utilizó la tabla de coeficientes escogidos para diferentes tipos de superficies propuesta por Ven Te Chow (Chow V. , 1962) y mostrados en la Tabla 5-14 **Coeficientes de escorrentía**. En general, las unidades hidrográficas evaluadas presentan variedad de coberturas, por esta razón, con el fin de determinar el coeficiente de escorrentía para cada una de ellas, se empleó el archivo de coberturas en ArcGis y se determinaron las áreas de ocupación de cada una, con lo cual se realizó un promedio ponderado de los coeficientes parciales de cada zona, de la siguiente manera:

$$C_{ponderado} = \frac{\sum C_i \times A_i}{A_t}$$

Donde,

$C_{ponderado}$ Coeficiente de escorrentía ponderado para la cuenca

C_i Coeficiente de escorrentía parcial

A_i Área parcial de la cuenca con características homogéneas

A_t Área total de la cuenca evaluada

Los coeficientes de escorrentía obtenidos para cada cuenca y para cada periodo de retorno se muestran en el anexo “A14 - Estimación de caudales”.

✓ Intensidad de la lluvia (i)

La intensidad de la lluvia se define como el volumen o cantidad de precipitación que cae sobre un lugar en un tiempo determinado, para una frecuencia o periodo de retorno. El método empleado para su cálculo en el presente proyecto fue por medio de la elaboración de curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad – Duración - Frecuencia (IDF), a partir de la ecuación de intensidad propuesta por Vargas y Díaz-Granados (1998) en la cual se utilizaron los parámetros de regionalización propuestos para la zona Andina. La ecuación propuesta está dada por la siguiente expresión:

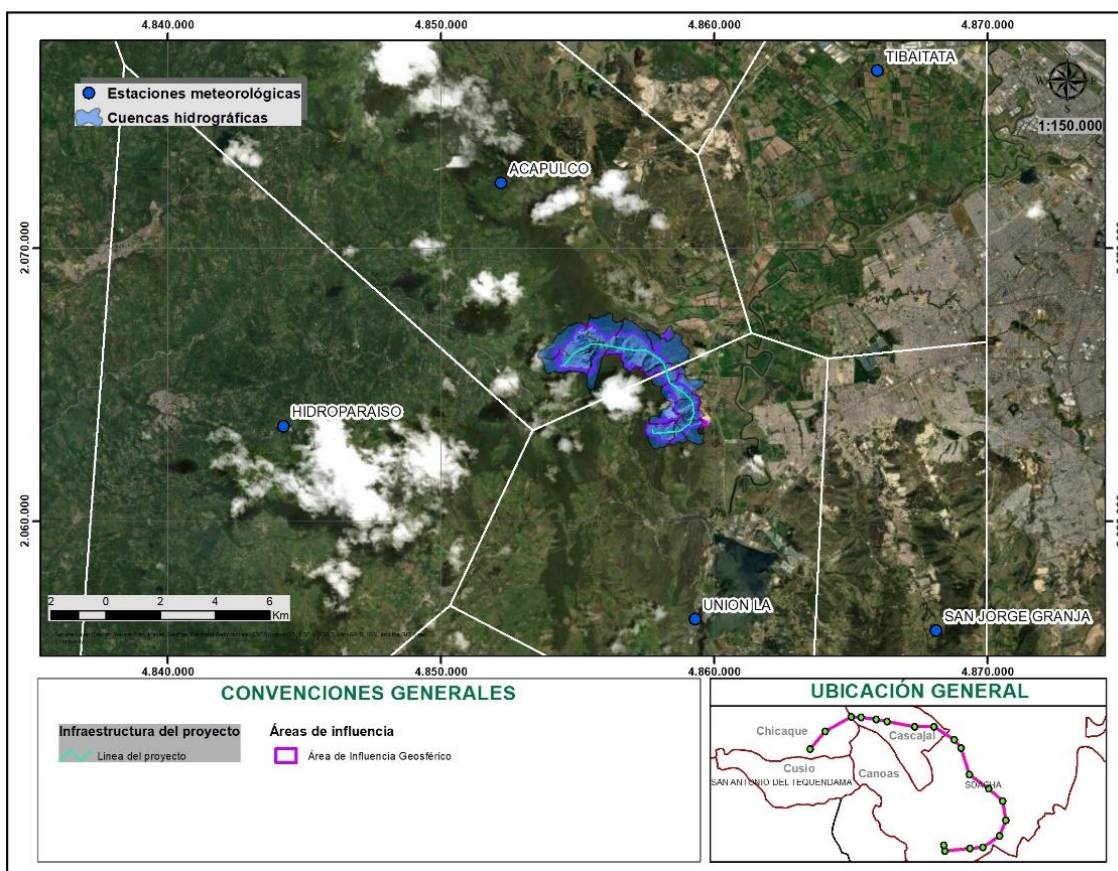
$$i = \frac{a \cdot T_R^b \cdot M^d \cdot N^e}{t^c}$$

Donde,

i	Intensidad de la lluvia [mm/h]
T_R	Período de retorno [años]
M	Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual [mm]
N	Promedio mensual de días con lluvia a nivel multianual [días]
t	Duración de la lluvia [horas]
a, b, c, d, e	Parámetros de regresión

Para la elaboración de las curvas IDF y aplicación de la ecuación planteada, inicialmente fue necesario definir para cada cuenca la precipitación máxima diaria promedio multianual. Para lo anterior se realizaron polígonos de Thiessen alrededor de las estaciones hidrometeorológicas seleccionadas, suponiendo así que el área contenida por el polígono creado recibía la misma precipitación de la estación encerrada por dicho polígono. De esta manera, como se muestra en la Figura 5-26, las unidades básicas analizadas se encuentran dentro de los polígonos de Thiessen generados por las estaciones Unión La, Hidroparaiso, Tibaitata y San Jorge GJA.

Figura 5-26 Influencia de las estaciones en el trazado de la Modificación No. 2



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

Posteriormente fue necesario determinar el tiempo de concentración de la cuenca, pues debido a que este es el tiempo mínimo necesario para que el punto de salida reciba aporte de todos los puntos de la cuenca, fue el utilizado al momento de aplicar la ecuación y determinar la intensidad de la lluvia. Este fue obtenido mediante la aplicación de ecuaciones empíricas que se han desarrollado a partir de modelación física en cuencas de diferentes características, exceptuando valores extremos y generando un valor promedio. Las unidades respectivas de las ecuaciones se encuentran en las memorias de cálculo en el *Anexo "A -12* Tiempos de concentración y son mostradas a continuación.

(Kirpich, 1940)

$$T_c = 0,6626 \cdot \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

Témez, J R (1978)

$$T_c = 0,3 \cdot \frac{L^{0,76}}{S^{0,19}}$$

(Chow V. , 1962)

$$T_c = 0,16064 \cdot \frac{L^{0,64}}{S^{0,32}}$$

Giandotti, M (1933) (ARBELÁEZ, VÉLEZ, & SMITH, 1997)

$$T_c = \frac{(4 \cdot A^{0,5}) + (1,5 \cdot L)}{25,3 \cdot (L \cdot S)^{0,5}}$$

(Linsley, Kohler, & Paulhus, 1975)

$$T_c = 0,191 \cdot \frac{L^{0,76}}{S^{0,19}}$$

(Williams, 1922)

$$T_c = 0,272 \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{A^{0,4}}{S^{0,2}}$$

(Johnstone & Cross, 1949)

$$T_c = 0,462 \cdot \frac{L^{0,5}}{S^{0,25}}$$

SCS – Ranser, 1978 (Republica de Colombia, 2009)

$$T_c = 0,614 \cdot \frac{L^{1,155}}{H^{0,385}}$$

Ventura – Heron, (Republica de Colombia, 2009)

$$T_c = 0,1265 \cdot \frac{L^{0,75}}{S^{0,1875}}$$

(Miller W. , 1951)

$$T_c = 107 \cdot \frac{n \cdot L^{1/3}}{(100 \cdot S)^{0,2}}$$

(Rowe & Thomas, 1942)

$$T_c = 0,947 \cdot \frac{L^{1,155}}{H^{0,385}}$$

(Kerby, 1959)

$$T_c = 1,4394 \cdot \left(\frac{n \cdot L}{S^{0,5}} \right)^{0,467}$$

(Carter, 1961)

$$T_c = 0,0957 \cdot \frac{L^{0,6}}{S^{0,3}}$$

Para la elaboración de las curvas IDF se utilizaron duraciones de lluvia entre 5 y 120 minutos y se evaluaron periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años. Los parámetros propuestos por Vargas y Díaz-Granados (1998) para la región Andina se presentan en la Tabla 5-15.

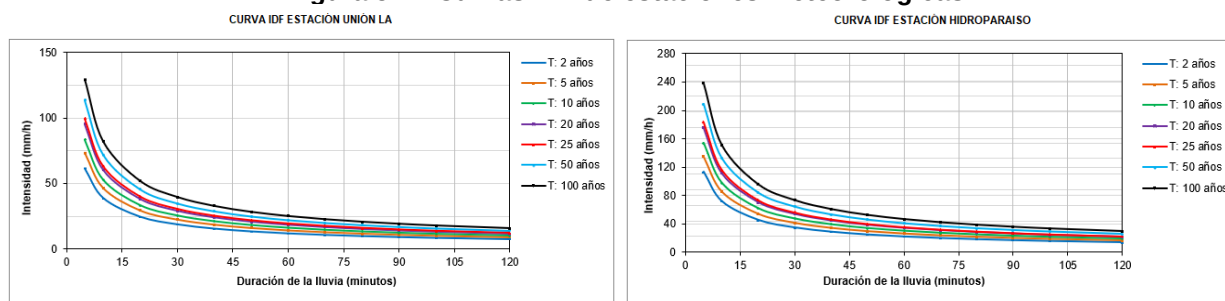
Tabla 5-15 Parámetros región Andina

PARÁMETRO	VALOR
a	1.22
b	0.19
c	0.66
d	0.83
e	-0.05

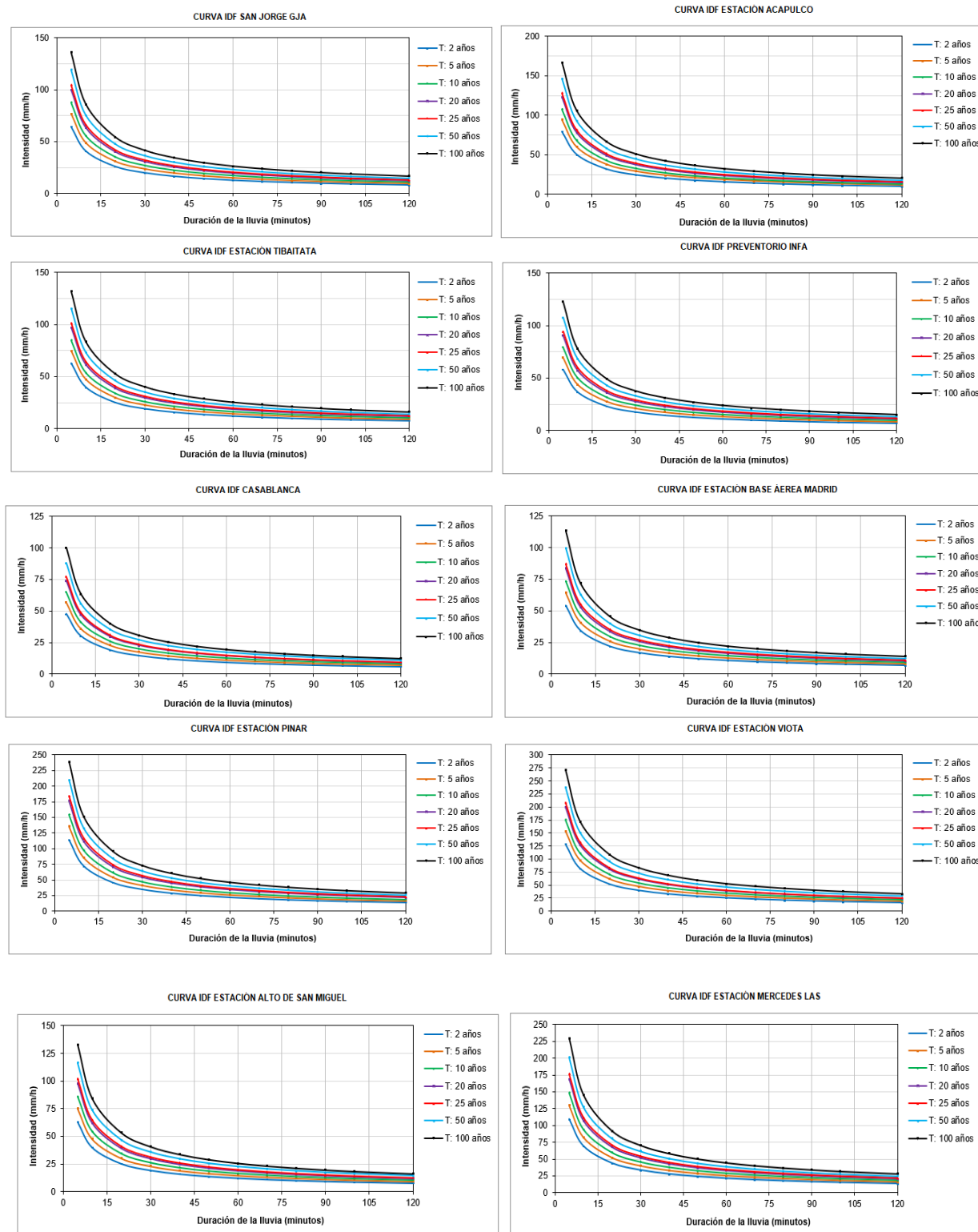
Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

Las curvas IDF obtenidas para las estaciones que ejercen influencia sobre el área de interés, se presentan a continuación en la Figura 5-27, y en el Anexo “A15 - Curvas IDF” se muestran los cálculos llevados a cabo para su elaboración.

Figura 5-27 Curvas IDF de estaciones meteorológicas



Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La
Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

5.1.6.10. Rendimientos (l/s/km²) de las cuencas

En el anexo A16 – Rendimiento de cuencas, se presenta la estimación de los rendimientos para cada una de las cuencas, y en la Tabla 5-16 se presenta el resumen.

Tabla 5-16 Resumen de rendimientos cuencas

MES CUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2120-04-016-001	19.004	20.392	19.391	20.423	20.282	20.679	19.473	17.469	19.000	19.111	19.845	27.407
2120-04-016-003	14.188	17.725	18.186	19.801	19.981	20.524	19.397	17.431	18.980	19.101	19.840	27.404
2120-04-018-002	14.188	17.725	18.186	19.801	19.981	20.524	19.397	17.431	18.980	19.101	19.840	27.404
2120-04-003-001	14.561	17.938	18.283	19.851	20.005	20.536	19.660	19.593	20.097	19.642	20.120	19.343
2120-04-018-004	14.188	17.725	18.186	19.801	19.981	20.524	19.397	17.431	18.980	19.101	19.840	27.404
2120-04-018-011	14.188	17.725	18.186	19.801	19.981	20.524	19.397	17.431	18.980	19.101	19.840	27.404
2120-04-018-012	18.481	20.109	19.263	20.357	20.250	20.663	19.721	19.624	20.113	19.649	20.124	19.345
2120-04-018-014	14.188	17.732	18.189	19.802	19.982	20.524	19.654	19.590	20.096	19.641	20.119	19.343
2120-04-018-016	14.188	17.732	18.189	19.802	19.982	20.524	19.654	19.590	20.096	19.641	20.119	19.343
2120-03-109-001	15.420	18.414	18.497	19.962	20.059	20.564	19.673	19.600	20.101	19.643	20.121	19.344
2120-03-110-001	14.188	17.732	18.189	19.802	19.982	20.524	19.654	19.590	20.096	19.641	20.119	19.343
2120-03-093-001	14.561	17.938	18.283	19.851	20.005	20.536	19.660	19.593	20.097	19.642	20.120	19.343
2120-04-018-010	14.188	17.725	18.186	19.801	19.981	20.524	19.397	17.431	18.980	19.101	19.840	27.404
2120-04-018-007	14.188	17.725	18.186	19.801	19.981	20.524	19.397	17.431	18.980	19.101	19.840	27.404
2120-03-105-001	14.561	17.938	18.283	19.851	20.005	20.536	19.660	19.593	20.097	19.642	20.120	19.343
2120-04-016-002	14.188	17.725	18.186	19.801	19.981	20.524	19.397	17.431	18.980	19.101	19.840	27.404

Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

5.1.6.11. Series sintéticas de caudales

Las curvas de duración de caudales, y series sintéticas a partir de estas eran requeridas en aquellos casos donde los cauces o el recorrido natural de los drenajes se viera afectado por captación, vertimiento u ocupación por alguna parte del proyecto. Como fue descrito en la sección correspondiente a patrones de drenaje y ocupación de cauces, las pilonas no ejercen ocupación permanente sobre los drenajes, y la ocupación ejercida por los corredores no afectará a largo plazo el comportamiento de estos, por lo tanto, las series sintéticas no fueron generadas, al no existir variabilidad del lugar por la presencia del proyecto.

5.1.6.12. Indicadores hidroclimáticos - IDEAM

Los indicadores climáticos asociados al régimen hidrológico son el índice de aridez y el índice de retención o regulación hídrica. Estos indicadores permiten identificar desde un aspecto técnico, las características del clima y regulación de caudales en las cuencas, sin tener en cuenta la intervención antrópica

✓ Índice de Aridez (IA)

Este indicador califica cualitativamente las condiciones naturales de aridez, y permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de la región. El índice de aridez a lo largo de la historia ha estado en constante cambio, y para éste, el IDEAM adoptó la siguiente relación entre la evapotranspiración real (ETR) y la evapotranspiración potencial (ETP) con el fin de representar su dinámica:

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

Donde:

IA: Índice de Aridez

ETP: Evapotranspiración potencial de la cuenca.

ETR: Evapotranspiración real de la cuenca.

Para determinar la evapotranspiración real y potencial de las cuencas hidrográficas se emplearon las suposiciones y cálculos mostrados en la sección de balance hídrico, y con ellas se aplicó la ecuación mostrada del índice de aridez para cada una de las 12 cuencas. Adicionalmente se empleó el mapa nacional multianual del índice de aridez para realizar un análisis comparativo respecto a los valores obtenidos de IA para las cuencas analizadas del sitio de interés.

A partir del Estudio Nacional del Agua – 2018 realizado por el IDEAM, se obtuvieron los rangos de clasificación cualitativa de las zonas mostrados en la Figura 5-28 según los índices de aridez cuantitativos encontrados para Colombia.

Figura 5-28 Categorías del índice de aridez

IA	Categoría
< 0,15	Altos excedentes
0,15 – 0,19	Excedentes
0,20 – 0,29	Moderado a excedentes
0,30 – 0,39	Moderado
0,40 – 0,49	Moderado a deficitario
0,50 – 0,59	Deficitario
> 0,60	Altamente deficitario

Fuente: (Minambiente & IDEAM, 2019)

Tras realizar los cálculos, se obtuvieron índices de aridez entre 0.12 y 0.27 para las diferentes cuencas, lo cual las clasifica dentro de la categoría para índices de aridez de altos excedentes y moderadamente

excedentes. Por otro lado, con el índice de aridez encontrado en el mapa nacional multianual del índice de aridez para la cuenca del río Bogotá, el cual presenta un rango de 0.30 a 0.49, se definen las zonas con déficit moderado y de moderado a deficitario, característica propia de las regiones cercanas a grandes ciudades como en este caso se encuentra la capital del país.

✓ Índice de retención y regulación hídrica (IRH)

Este indicador se asocia al régimen natural de las cuencas, y califica en ellas cualitativamente la capacidad de retención y regulación hídrica, como su nombre lo indica, sin tener en cuenta la intervención antrópica. Dicho proceso se realiza mediante el análisis de la forma de las curvas de duración de caudales medios diarios, del cauce principal, evaluando la estabilidad del escurrimiento y la ocurrencia de caudales extremos.

A partir de registros históricos de caudal diario de 228 estaciones a lo largo de Colombia, el IDEAM combinó características de las cuencas, sobre el comportamiento de sus caudales y realizó una regionalización para determinar el índice de retención por subzonas hidrográficas. Para ello, calculó una relación entre un volumen parcial equivalente al área bajo la línea de la curva de caudal medio y el volumen total equivalente, como se muestra en la expresión:

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

Donde:

V_p : Volumen parcial equivalente al área bajo la línea de caudal medio

V_t : Volumen total equivalente al área bajo la línea de caudal medio

IRH: Índice de retención o regulación hídrica.

A partir del Estudio Nacional del Agua – 2018 realizado por el IDEAM, se obtuvieron los rangos de clasificación cualitativa de las zonas mostrados en la Figura 5-29 según los índices de retención cuantitativos encontrados para Colombia.

Figura 5-29 Categorías del índice de retención o regulación hídrica

IRH	Categoría
$IRH \leq 0,50$	Muy Baja
$0,50 < IRH \leq 0,65$	Baja
$0,65 < IRH \leq 0,75$	Moderada
$0,75 < IRH \leq 0,85$	Alta
$IRH > 0,85$	Muy Alta

Fuente: (Minambiente & IDEAM, 2019)

El sitio de interés se encuentra dentro de la subzona hidrográfica 2120, del Río Bogotá. Con esta información, se buscó dentro del anexo 2 del Estudio Nacional del Agua – 2018 realizado por el IDEAM, en el cual se consignaron todos los valores calculados para el índice de retención hídrica para todas las subzonas hidrográficas del país, allí se observó que el valor calculado para el sitio de estudio corresponde a 0.7, clasificando el lugar en la categoría moderada de retención hídrica, la cual es distintiva de la mayoría de las cuencas hidrográficas en el país.

5.1.6.13. Índice de escasez

El índice de escasez de aguas superficiales se estima a partir de la expresión matemática mostrada a continuación, la cual establece dicho índice de manera porcentual.

$$I_e = \frac{Dh}{Oh} * Fr * 100\%$$

Dónde:

Ie: Índice de escasez (%).

Dh: Demanda hídrica.

Oh: Oferta hídrica superficial neta.

Fr: Factor de reducción por calidad del agua y caudal ecológico.

A su vez, el índice de escasez se agrupa en cinco categorías como se muestra en la Tabla 5-17.

Tabla 5-17 Categorización e interpretación del Índice de Escasez

<i>Categoría</i>	<i>Rango</i>	<i>Color</i>	<i>Explicación</i>
Alto	> 50 %	Rojo	Demanda alta
Medio alto	21-50 %	Naranja	Demanda apreciable
Medio	11-20 %	Amarillo	Demanda baja
Minimo	1-10 %	Verde	Demanda muy baja
No significativo	< 1%	Azul	Demanda no significativa

Fuente: (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., 2004)

Tras verificar que los puntos de captación obtenidos de la Corporación Autónoma de Cundinamarca - CAR, se determina que para la cuenca 2120-03-110-001 existe un punto de concesión de agua superficial cercana al área del proyecto.

Este punto de concesión de agua superficial presenta las siguientes características:

Subcuenca: Rio Medio Bogotá (Sector Salto – Apulo)

Vereda: Chicaque

Municipio: Antonio del Tequendama

Departamento: Cundinamarca

Fuente: Quebrada la Playa

Coordenadas: 4854186,34848 E y 2065932,10301 N

Uso: Abastecimiento doméstico (Primario) - Riego y silvicultura (Secundario)

Caudal: 4.48 lps

En la Tabla 5-18 se indica el resumen de los índices de escasez para cada una de las cuencas. (Ver anexo A17 – Índice de escasez de las cuencas).

Tabla 5-18 Resumen índice de escasez cuencas

MES CUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2120-04-016-001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-04-016-003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-04-018-002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-04-003-001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-04-018-004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-04-018-011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-04-018-012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-04-018-014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-04-018-016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-03-109-001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-03-110-001	0.051	0.041	0.040	0.036	0.036	0.035	0.037	0.037	0.036	0.037	0.036	0.037
2120-03-093-001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-04-018-010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-04-018-007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-03-105-001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2120-04-016-002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

5.1.6.14. Caudal Ambiental

Se entiende por Caudal Ambiental, el volumen de agua por unidad de tiempo necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para garantizar el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y el desarrollo de las actividades socioeconómicas (actuales y potenciales) de los usuarios aguas abajo de una fuente hídrica determinada.

Se deberá realizar un análisis determinando todos los usos del agua de las cuencas existentes y proyectados, así como la descripción de los conflictos actuales y potenciales sobre la disponibilidad y usos del recurso hídrico.

Para la determinación del caudal ambiental y el uso eficiente del agua en las cuencas objeto de interés, se deberá presentar un análisis basado en un enfoque integral del cual hacen parte los componentes: hidrológico, hidráulico, de calidad de agua, socioeconómico y ecológico. Para el componente hidrológico, el caudal ambiental se definió como el 25% del caudal obtenido para cada una de las cuencas.

5.1.6.15. Oferta hídrica

De acuerdo con la Resolución 0865 de 2004, para la obtención de la oferta hídrica neta disponible es necesario reducir la oferta hídrica total por calidad del agua y por caudal mínimo ecológico. En ambos casos dicha reducción equivale al 25%.

En las tablas a continuación se exponen las ofertas hídricas netas de cada una de las cunecas del área de estudio. En estas se puede apreciar la oferta hídrica total y la correspondiente reducción.

El significado de las convenciones mostradas en las tablas es el siguiente:

- O_{bruta}: Oferta total o bruta para el mes i
- O_{neta}: Oferta neta para el mes i
- R_c: Reducción por calidad del agua
- R_e: Reducción por caudal ecológico

A continuación, en Tabla 5-19, se presenta el cuadro de oferta hídrica para la cuenca: 2120-04-016-001 (Figura 5-30).

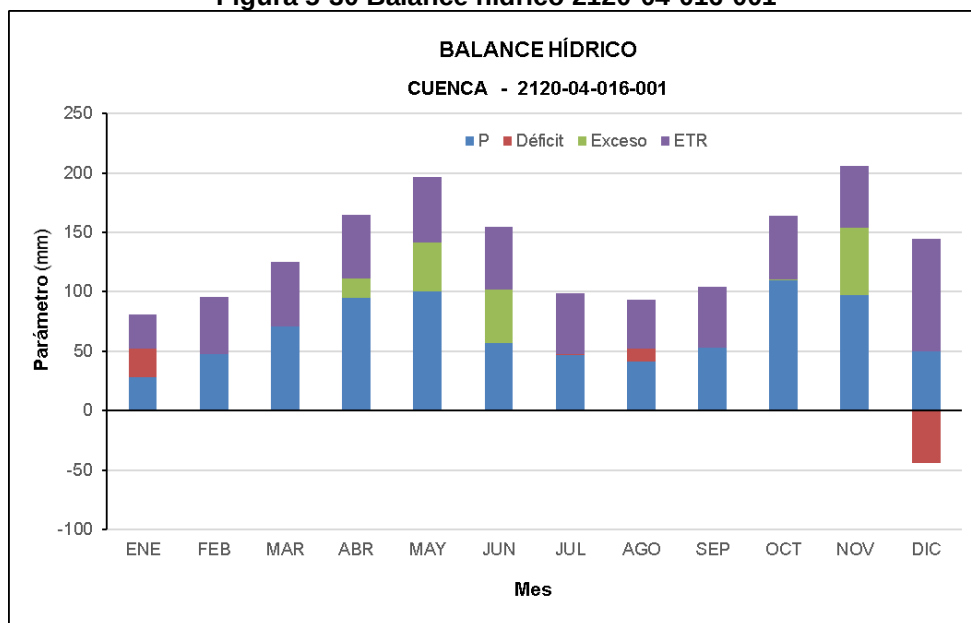
Tabla 5-19 Oferta hídrica cuenca:2120-04-016-001

MES PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
O _{bruta} (m ³ /s)	0.016	0.017	0.016	0.017	0.017	0.017	0.016	0.014	0.016	0.016	0.016	0.023
R _c (%)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Q ₁ (m ³ /s)	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.006
R _e (%)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Q ₂ (m ³ /s)	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.006
O _{neta} (m ³ /s)	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.009	0.008	0.007	0.008	0.008	0.008	0.011
O _{neta} (lps)	7.9	8.4	8.0	8.5	8.4	8.6	8.1	7.2	7.9	7.9	8.2	11.4

Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La
Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

Figura 5-30 Balance hídrico 2120-04-016-001



Fuente: (SMAYD LTDA., 2022)

Referencias Bibliografía

- ARBELÁEZ, A., VÉLEZ, M., & SMITH, R. (1997). Diseño hidrológico con información escasa un caso de estudio: río San Carlos. En A. ARBELÁEZ, M. VÉLEZ, & R. SMITH, *Avances en Rec. Hidráulicos* (págs. 1-20).
- Carter, R. (1961). *Magnitude an frequency of floods in suburban areas*. Obtenido de USGS Science for a changing world: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/wri874096>
- Chow, V. (1962). Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basins. Illinois: University of Illinois at Urbana Champaign.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Gravelius, H. (1914). *Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde. Compendium of Hydrology*. Berlín: Goschen.
- HIMAT. (Mayo de 1990). *INSTITUO COLOMBIANO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ADECUACIÓN DE TIERRAS*. Obtenido de TECNICAS ESTADISTICAS APLICADAS EN EL MANEJO DE DATOS HIDROLOGICOS Y METEOROLOGICOS: http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=18978&shelfbrowse_itemnumber=20016
- Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology. *GSA Bulletin*, 275-370.
- IDEAM. (2013). *Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de colombia: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/MEMORIASMAPAZONIFICACIONHIDROGRAFICA.pdf>
- IDEAM. (2017). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. . Colombia: Centro Nacional de Modelación.
- Jaramillo, A. (2005). *Clima andino y café en Colombia*. Colombia.
- Johnstone, D., & Cross, W. (1949). *Elements of applied Hydrology*. New York.
- Kerby, W. (1959). Time of concentartion for overland flow. *Journal of Civil Engineering*.
- Kirpich, Z. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil Engineering. En Z. P. Kirpich, *Civil Engineering* (págs. 10(6), 362).
- Linsley, R., Kohler, M., & Paulhus, J. (1975). *Hydrology for Engineers*. KoguKusha, Tokyo: McGraw Hill.
- Miller, V. (1953). Assessment of the Relationships among Catchments' Morphometric Parameters and Hydrologic Indices. *International Journal of Geosciences*, 389-402.
- Miller, W. (1951). Evolving a shorcut for design of stomr sewers. *Municipal Utilities*, 42-54.
- Minambiente, M., & IDEAM, I. (Marzo de 2019). *Estudio Nacional del Agua 2018*. Obtenido de Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia: <https://cta.org.co/descargables-biblionet/agua-y-medio-ambiente/Estudio-Nacional-del-Agua-2018.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). Resolución 0865 de 2004.
- National Weather Service. (2022). *Climate Prediction Center*. Obtenido de Cold & Warm Episodes by Season: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

- Republica de Colombia. (2009). *Ministerio de transporte*. Obtenido de Manual de drenaje de carreteras: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file>
- Rowe, R., & Thomas, R. (1942). Comparative hydrology pertinent to California culvert practice. *California Highways and Public Works* 20, 6-11.
- Schumm, S. (1993). Sinuosity of Alluvial Rivers in the Great Plains. *Bulletin of the Geological Society of America*, 74-1089.
- SMAYD LTDA. (2022). *Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07 2016*. Bogotá DC: SMAYD LTDA.
- Vargas, M. R.-G. (1998). *Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia*. XIII Seminario de Hidráulica e Hidrología.
- Vélez, M., & Smith, R. (1997). Hidrología de Antioquia. En *Hidrología de Antioquia*.
- Williams, G. (1922). Flood discharges and the dimensions of spillways un India. En G. Williams. London.