ESTUDIO HIDROLÓGICO EN EL SECTOR DENOMINADO *PUNTO CRÍTICO 1*, EN EL MUNICIPIO DE RESTREPO – META.

PRODUCTO 1. ESTUDIO HIDROLÓGICO.



RESTREPO - META

DICIEMBRE 2023

TABLA DE CONTENIDO

1 ESTUDIO HIDROLÓGICO. 7
1.1 Antecedentes. 7
1.2 Objeto del Estudio. 7
1.3 Método de trabajo. 8
1.4 Recolección de información. 9
1.5 Metodología empleada. 10
2 AREA DE ESTUDIO. 13
3 CARACTERIZACION CLIMATICA REGIONAL. 15
3.1 Parámetros climatológicos. 16
3.2 Precipitación total mensual. 16
3.3 Temperatura máxima promedio mensual. 19
3.4 Temperatura mínima media mensual. 21
3.5 Humedad relativa media mensual. 23
3.6 Evaporación total mensual. 25
3.7 Brillo solar acumulado mensual. 27
3.8 Precipitaciones máximas mensuales en 24 horas. 28
4 MORFOMETRÍA DE LA CUENCA DE ESTUDIO. 32
4.1 Localización general de la cuenca de estudio. 32
4.2 Curva hipsométrica y perfil del cauce principal. 38
4.2.1 Tiempos de concentración. 39
5 COBERTURAS. 41
5.1 Método del NRCS (USDA-NRCS, 2007) y numero de curva (CN). 42
6 ANALISIS DE DATOS DE PRECIPITACION. 45
6.1 Selección de estaciones de influencia. 45
7 ANÁLISIS DE FRECUENCIAS. 48
7.1 Método Analítico. 48
7.2 Distribuciones de Probabilidad 48

7.3 Test de Bondad de Ajuste. 48
7.4. Método Water Resources Council -WRC -U.S. 49
7.4.1. Identificación de datos dudosos estación Buenavista. 49
7.4.2. Selección de precipitación máxima multianual para la estación Buenavista. 50
8. PROCESO ESTADÍSTICO PARA PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS. 51
8.1. Curva intensidad, duración, frecuencia (IDF). 57
9. ANÁLISIS DE LOS CAUDALES MÁXIMOS DE CRECIENTES. 60
9.1. Tormenta de diseño. 61
9.2. Caudal de máxima creciente. 71
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 79
11. BIBLIOGRAFÍA. 81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del punto de salida Punto Crítico 1. 13
Tabla 2. Relación de estaciones seleccionadas para el análisis hidroclimático, sector Caño Seco. 15
Tabla 3. Valores Totales Mensuales de Precipitación (mm/mes). 18
Tabla 4. Continuación de los Valores Totales Mensuales de Precipitación (mm/mes). 18
Tabla 5. Valores máximos promedio mensual de temperatura (°C). 20
Tabla 6. Continuación valores máximos promedio mensual de temperatura (°C). 20
Tabla 7. Valores mínimos promedio mensual de temperatura (°C). 22
Tabla 8. Continuación valores mínimos promedio mensual de temperatura (°C). 22
Tabla 9. Valores de humedad relativa (%). 24
Tabla 10. Continuación de valores de humedad relativa (%). 24
Tabla 11. Valores de evaporación total mensual (mm/mes). 26
Tabla 12. Continuación de valores de evaporación total mensual (mm/mes). 26
Tabla 13. Valores de precipitaciones máximas mensuales en 24 horas (mm/mes). 31
Tabla 14. Continuación valores de precipitaciones máximas mensuales en 24 horas (mm/mes).... 31
Tabla 15. Parámetros morfométricos de la cuenca Caño Seco. 32
Tabla 16. Coeficientes morfométricos de la cuenca Caño Seco. 33
Tabla 17. Clasificación de cuenca Caño Seco de acuerdo a parámetros morfométricos. 36
Tabla 18. Estimación del tiempo de concentración de la unidad de la cuenca Caño Seco. 39
Tabla 19. Coberturas de la unidad de la cuenca Caño Seco. 41
Tabla 20. Clasificación de suelos según el método de la N.R.C.S. 43
Tabla 21. Clasificación de suelos, descripción de los usos y grupo hidrológico. 43

Tabla 22. Clasificación del área de cobertura de la cuenca Caño Seco para el numero CN (número de cuenca). 44
Tabla 23. Determinación de parámetros morfo métricos con número CN para cuenca Caño Seco. 44
Tabla 24. Estaciones meteorológicas cerca al área de estudio y sus periodos de medición, cuenca Caño Seco (1998-2017). 45
Tabla 25. Valores de Kn para la cuenca de estudio. 49
Tabla 26. Resultado de Método Wáter Resources Council, estación Buenavista. 49
Tabla 27. Datos de precipitación máxima en 24 horas para la cuenca Caño Seco (Est. Buenavista). 51
Tabla 28. Nivel de significación (α). 55
Tabla 29. Resultados de prueba de bondad "Kolgomorov-Smironv", Caño Seco. 56
Tabla 30. Registros pluviométricos estación Buenavista, distribución Pearson III, Caño Seco. 57
Tabla 31. Estadísticas de las intensidades máximas anuales de 24 horas. 58
Tabla 32. Intensidad - Tiempo de duración - Período de retorno, Caño Seco. 59
Tabla 33. Método de bloque alterno para periodo de retorno de cinco (5) años para Caño Seco. .. 61
Tabla 34. Método de bloque alterno para periodo de retorno de quince (15) años para Caño Seco. 63
Tabla 35. Método de bloque alterno para periodo de retorno de veinticinco (25) años para Caño Seco. 65
Tabla 36. Método de bloque alterno para periodo de retorno de cien (100) años para Caño Seco. 67
Tabla 37. Método de bloque alterno para periodo de retorno de quinientos (500) años para Caño Seco. 69
Tabla 38. Resumen de caudales obtenidos en el modelo hidrológico de la cuenca de estudio. 78

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Carta Pluviografica – Estación Hacienda La Cabaña (mm/mes). 16
Ilustración 2. Carta Pluviografica – Estación El Retiro (mm/mes). 17
Ilustración 3. Carta Pluviométrica – Estación Buenavista (mm/mes). 17
Ilustración 4. Registro de temperaturas máximas promedio mensual, Estación Hda La Cabaña (°C). 20
Ilustración 5. Registro de temperaturas mínimas media mensual, Estación Hda La Cabaña (°C). 22
Ilustración 6. Valores de humedad relativa, Estación Hda La Cabaña (%). 24
Ilustración 7. Valores de evaporación total mensual, Estación Hda La Cabaña (mm/mes). 26
Ilustración 8. Valores de brillo solar acumulado mensual, Estación Hda La Cabaña (Rad/mes). 27
Ilustración 9. Valores de precipitación mensual máxima en 24 hrs, Estación Calvario (mm/mes). 29
Ilustración 10. Valores de precipitación mensual máxima en 24 hrs, Estación El Retiro (mm/mes). ..29
Ilustración 11. Valores de precipitación mensual máxima en 24 hrs, Estación Monfort (mm/mes). 30

Ilustración 12. Valores de precipitación mensual máxima en 24 hrs, Estación Buenavista (mm/mes). 30
Ilustración 13. Hidrograma unitario. 72
Ilustración 14. Ecuaciones del método NRCS. 72
Ilustración 15. Hidrograma unitario adimensional método NRCS. 72
Ilustración 16. Resultados de la modelación con HEC HMS para un periodo de cinco (5) años. 74
Ilustración 17. Hietograma de entrada e hidrograma de salida para un periodo de cinco (5) años. ...74
Ilustración 18. Resultados de la modelación con HEC HMS para un periodo de quince (15) años. ...74
Ilustración 19. Hietograma de entrada e hidrograma de salida para un periodo de quince (15) años. 75
Ilustración 20. Resultados de la modelación con HEC HMS para un periodo de veinticinco (25) años. 75
Ilustración 21. Hietograma de entrada e hidrograma de salida para un periodo de veinticinco (25) años. 76
Ilustración 22. Resultados de la modelación con HEC HMS para un periodo de cien (100) años.....76
Ilustración 23. Hietograma de entrada e hidrograma de salida para un periodo de cien (100) años. .77
Ilustración 24. Resultados de la modelación con HEC HMS para un periodo de quinientos (500) años. 78
Ilustración 25. Hietograma de entrada e hidrograma de salida para un periodo de quinientos (500) años 78

LISTA DE GRAFICAS.

Grafica 1. Valores totales mensuales de precipitación a lo largo del año para las estaciones meteorológicas de registro. 19
Grafica 2. Valores totales máximas mensuales de temperatura según la estación de registro. 21
Grafica 3. Valores mínimos promedio mensual de temperatura (°C).....23
Grafica 4. Valores de humedad relativa calculada media mensual. 25
Grafica 5. Valores de evaporación total mensual. 27
Grafica 6. Valores de brillo solar acumulado mensual. 28
Grafica 7. Valores de precipitaciones máximas mensuales en 24 horas. 31
Grafica 8. Curva hipsométrica de la cuenca Caño Seco. 38
Grafica 9. Perfil del cauce principal de la cuenca Caño Seco (m). 39
Grafica 10. Revisión de datos atípicos estación Buenavista. 50
Grafica 11. Análisis de distribuciones de probabilidad ***Normal*** precipitación máxima mensual en 24 horas, estación Buenavista, para cuenca Caño Seco. 52
Grafica 12. Análisis de distribuciones de probabilidad ***LOGNormal*** precipitación máxima mensual en 24 horas, estación Buenavista, para cuenca Caño Seco. 53
Grafica 13. Análisis de distribuciones de probabilidad ***EV1 Gumbel*** precipitación máxima mensual en 24 horas, estación Buenavista, para cuenca Caño Seco. 53

Grafica 14. Análisis de distribuciones de probabilidad ***Pearson III*** precipitación máxima mensual en 24 horas, estación Buenavista, para cuenca Caño Seco. 54
Grafica 15. Análisis de distribuciones de probabilidad ***LOGPearson III*** precipitación máxima mensual en 24 horas, estación Buenavista, para cuenca Caño Seco. 55
Grafica 16. Curvas IDF sintéticas, estación Buenavista, cuenca Caño Seco. 59
Grafica 17. Hietograma de precipitación, periodo de retorno de cinco (5) años para Caño Seco. 62
Grafica 18. Hietograma de precipitación, periodo de retorno de quince (15) años para Caño Seco. .64
Grafica 19. Hietograma de precipitación, periodo de retorno de veinticinco (25) años para Caño Seco. 66
Grafica 20. Hietograma de precipitación, periodo de retorno de cien (100) años para Caño Seco. ...68
Grafica 21. Hietograma de precipitación, periodo de retorno de quinientos (500) años para Caño Seco. 70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología del estudio parte uno (1). 12
Figura 2. Metodología del estudio parte dos (2). 12
Figura 3. Ubicación del municipio de Restrepo en perspectiva al departamento del Meta. 13
Figura 4. Ubicación en detalle del área de estudio, cuenca Caño Seco, en relación frente al municipio de Restrepo, Meta. 13
Figura 5. Mapa de coberturas de la cuenca Caño Seco. 41
Figura 6.Polígonos de Thiessen y estaciones de precipitación influenciadas (Max 24hrs) para la cuenca Caño Seco. 46

1 ESTUDIO HIDROLÓGICO.

En el presente documento se describen y se discuten los resultados del análisis hidrológico e hidráulico, que tienen como fin la evaluación de los niveles máximos de la lámina de agua para un periodo de retorno principal determinado a partir de los datos meteorológicos con los que se cuente registro, siendo este un periodo máximo de 500 años, sin embargo, como medida de trazabilidad del comportamiento de la lámina de agua para cortos periodos de tiempo, se hizo el cálculo respectivo para periodos de retorno de cinco (5), quince (15), veinticinco (25), cien (100) y quinientos (500) años.

Relativo a la delimitación de las cuencas de estudio, se calculó con herramientas de información geográfica (SIG), y se dio uso a distintos modelos matemáticos de simulación que permitieran una correcta ejemplificación del comportamiento hidráulico de la cuenca Caño Seco. En base a los resultados de los análisis precedentes, estos podrán ser una herramienta posterior para la elaboración de propuestas de ordenación de las zonas inundables que atiendan a criterios de seguridad de personas y bienes, así como tener el respaldo de los aspectos técnicos del espectro de labores ingenieriles.

1.1 Antecedentes.

El presente estudio hidrológico e hidráulico se realiza en base al "***Manual de drenajes para carreteras del INVIAS***[1]" y la literatura especializada específica y demás normativa vigente que aplique en el territorio colombiano, ya que es, en esta fase donde se deberán evaluar los niveles alcanzados por las aguas, para el periodo de retorno que aplique según norma, llevado a cabo con ayuda de modelos matemáticos de simulación, por medio de programas hidrológicos como HEC HMS y modelos hidráulicos con HEC RAS.

1.2 Objeto del Estudio.

El objeto general del presente estudio es determinar los caudales y cotas máximas que se presentan en el Caño Seco, específicamente, en el sector del denominado ***Punto Crítico 1***, municipio de Restrepo, y así determinar la máxima creciente para el periodo de retorno de 500 años y la socavación para este evento máximo.

[1] Instituto Nacional de Vías.

Por tanto, el presente documento debe servir como elemento técnico de consideración a la hora de ejecutar propuestas y obras de planeación, mitigación u acción ante eventos de emergencia.

Dentro del presente estudio también se encuentran contenidos los siguientes objetivos:

- Establecer los parámetros morfométricos de la cuenca Caño Seco.
- Crear la curva de intensidad- duración- frecuencia (IDF) del sector hidrológico de la cuenca estudiada.
- Determinar el número de curva (CN) para el sector hidrológico de la cuenca objeto de estudio.
- Generar salidas cartográficas a partir de herramientas SIG de las manchas de inundación para los diferentes periodos de retorno evaluados, que puedan afectar el área de influencia del cuerpo hídrico.
- Determinar los posibles impactos ante eventos extremos (laminado de aguas criticas), del cuerpo hídrico estudiado (cuenca hidrográfica) en el sector de estudio de la cuenca Caño Seco.

1.3 Método de trabajo.

Referente a las bases de datos disponibles relativas a las diversas variables a analizar, se recolecta y utiliza la información de las estaciones hidrometeorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en específico para aquellas que tienen influencia en el área de estudio (Cuenca Caño Seco/municipio de Restrepo) y que sean capaces de brindar datos de relativa confiabilidad.

Se hace uso del modelo de elevación digital MED del terreno para la zona de estudio de la plataforma “Land Viewer” de los Estados Unidos, con una resolución de tamaño de celda de 12m x 12 m, lo que

permite calcular los parámetros geomorfológicos de la cuenca. Aunque, el MED proporcionado por "Land Viewer", es de buena calidad, es necesario cotejar la información del MED con cartografía existente de la zona estudiada, ejemplo del IGAC, en donde se validaron las corrientes y principales accidentes topográficos.

Posterior a la delimitación de la cuenca con modelos de elevación de terreno, el paso siguiente fue analizar los factores asociados a la forma de la cuenca, y su influencia, en las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente. Particularmente, en los eventos de caudales y avenidas máximas, ya que las cuencas de igual área, pero de diferente forma, generan hidrogramas diferentes. (CORPOTOLIMA 2017).

1.4 Recolección de información.

Relativo a las ***fuentes primarias*** del presente documento, se selecciona el instrumento literario de potencial interés donde dentro del mismo se consultan cuáles son las fuentes primarias de información relacionada a temas de interés para la investigación como lo son: Cartografía, hidrología, ecuaciones, hidrografía, y geografía, los cuales son necesarios para el software de modelación matemática, y que la salida de los mismos sea acorde a lo ejemplificado en la realidad basado en consensos investigativos.

En cuanto a la información de ***fuentes segundarias***, esta proviene de las estaciones meteorológicas del IDEAM existentes en la cuenca objetivo de estudio y en sus alrededores.

Todo lo anterior se hace con el objetivo de elaborar el modelo hidrológico para crecientes máximas.

En el caso particular en el cual no se cuente con suficiente información de variables meteorológicas y/o climáticas en torno a la cuenca objeto de estudio debido a la poca o nula instrumentación tecnológica de medición requerida para esta tarea, puede sortearse esta condición por medio del software de uso libre "LocClim" (Montoya, 2014) el cual es capaz de hacer estimaciones de variables climáticas como lo son precipitación, temperatura, velocidad del viento, brillo solar, presión de vapor y evapotranspiración. La matriz de funcionamiento de este software es que es capaz de utilizar los datos meteorológicos de 28800 estaciones, la cual componen la base de datos de la red agroclimática global la cual es sustentada por el ***Grupo de Agrometeorologia*** de la FAO (La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Basta con ingresar el lugar de intereses (localización del país, departamento, municipio) y altitud del mismo del que se desee consultar sus condiciones climáticas para el software compute, promedie e interpole entre las estaciones de medición que se encuentran cerca al área de estudio para arrojar resultados cercanos a los reales.

1.5 Metodología empleada.

El presente estudio está dividido en dos segmentos: El aspecto hidrológico y e hidráulico para una perspectiva y evaluación de variables completa. En la Figura 1 puede verse como está estructurada la metodología a aplicar en el presente estudio.

Relativo al estudio hidrológico es importante reducir la incertidumbre relacionada con los ***caudales de diseño*** o las ***lluvias de diseño*** que son base para la propuesta de resultados. Para lo anterior, es necesario mostrar diversas alternativas de cálculo para así poder realizar la toma de decisiones (Caudales mínimos, medios y máximos). Es entonces que el estudio hidrológico se realiza de acuerdo a la información disponible, relativo a estos tres (3) escenarios:

A. Se dispone de información de caudales y de lluvias.
B. Con información escaza de caudales, pero hay datos de precipitación.
C. No se cuenta con información de caudales y de lluvias.

Las estaciones escogidas para el propósito de este estudio son ***Calvario*** (35030010) (CP), ***El Retiro*** (35040010) (PM), ***Monfort*** (35030020) (PM) y ***Buenavista*** (35030090) (PV), las cuales registran precipitaciones máximas mensuales en 24 horas sin información de caudales máximos en la cuenca. Las estaciones seleccionadas serán más ampliamente descritas en apartados posteriores.

Dado que la información más común son las series de lluvia diaria, se hace uso de estos datos para emplearlos en los modelos que transforman las series de lluvia en series de caudales o también conocidos como modelos lluvia - escorrentía. Por lo tanto, se ha realizado el análisis de frecuencia de eventos máximos para todas las series de lluvias diarias máximas anuales, lo cual se realiza buscando la función de distribución de probabilidades que mejor se ajuste a la serie de datos máximos.

A continuación, se muestra parte del esquema metodológico realizado.

- El análisis de precipitación, escorrentía superficial, infiltración, evaporación, evapotranspiración, caudales, niveles, intensidad y dirección de los vientos e intensidad de temperaturas ambiente máximas, medias y mínimas mensuales.

- Debe utilizarse primero la información con los datos más recientes de la red hidrometeorológica nacional, propia de la cuenca, y particularmente en el sitio de la captación, con el siguiente orden de prioridad de tipo de serie: a. Instantánea. b. Diaria. c. Mensual. d. Anual. La longitud de las series deberá ser como mínimo de 10 años ((Artículo 48, resolución RAS 2017) (Colombia, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

- Análisis de calidad de información, complemento de datos y ajustes a distribuciones probabilísticas.

- Lineamientos desarrollados en las Comunicaciones Nacionales sobre Cambio Climático elaboradas por el IDEAM.

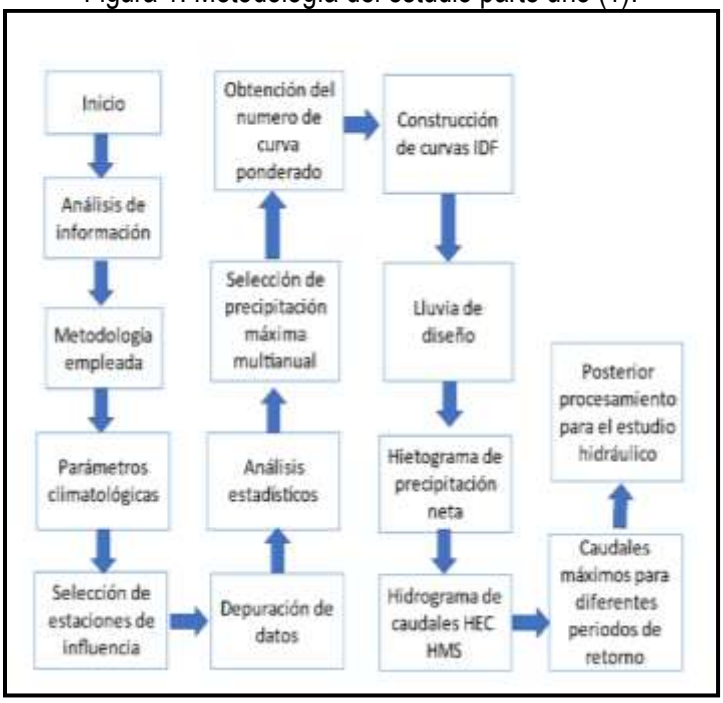
- Modelos lluvia-escorrentía y curvas de duración de caudales.

- Información batimétrica del sitio de toma.
- Los demás requisitos relacionados con el tema, exigidos por la autoridad ambiental.

Según sea el caso, si no se cuenta con los datos adecuados para la elaboración del estudio se debe hacer uso de métodos alternos que permitan hacer las estimaciones hidrológicas utilizando, por ejemplo, comparación de cuencas similares, estudios de simulación hidrológica para la generación de series sintéticas de caudales, entre otros. Para lo anterior, se tiene en cuenta lo siguiente:

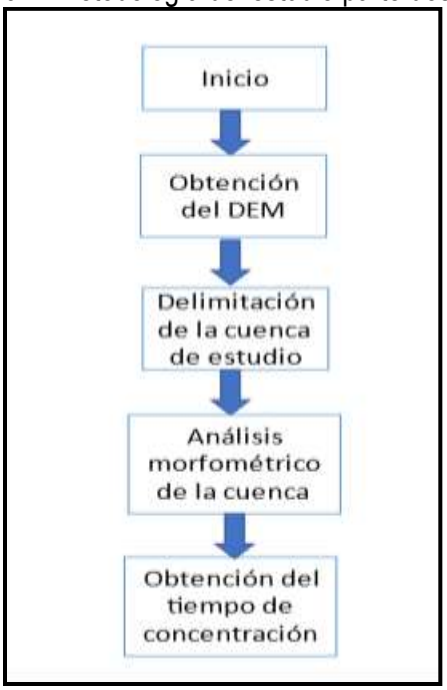
- Información de campo (aforos, indicios de máximas crecientes, geomorfología).
- Información hidrológica: revisión de estaciones parámetros hidroclimáticos. (balance hídrico, escorrentía superficial).
- Información de suelos y cobertura (coeficiente de escorrentía (C), numero de curva (CN)).
- Análisis morfométrico de la fuente (DEM, imágenes satelitales).
- Aplicación de otros métodos de caudales en lugares con información insuficiente, como la “trasposición de caudales”. (caudal específico o rendimiento hídrico en L/s*Km²), si es posible.

Figura 1. Metodología del estudio parte uno (1).



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Figura 2. Metodología del estudio parte dos (2).



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

2 AREA DE ESTUDIO.

El área de estudio, cuenca Caño Seco, se encuentra ubicada en la jurisdicción del municipio de Restrepo, departamento del Meta, y la ubicación exacta en coordenadas son presentadas en la Tabla 1. También en la Figura 3 se muestra la ubicación del municipio de Restrepo en perspectiva del mismo frente al departamento de Meta.

Tabla 1. Coordenadas del punto de salida Punto Crítico 1.

DESCRIPCIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
COMPONENTE	LATITUD (Y)	LONGITUD (X)	ALTURA (m.s.n.m)
Punto Crítico 1	4.2646	-73.5670	494

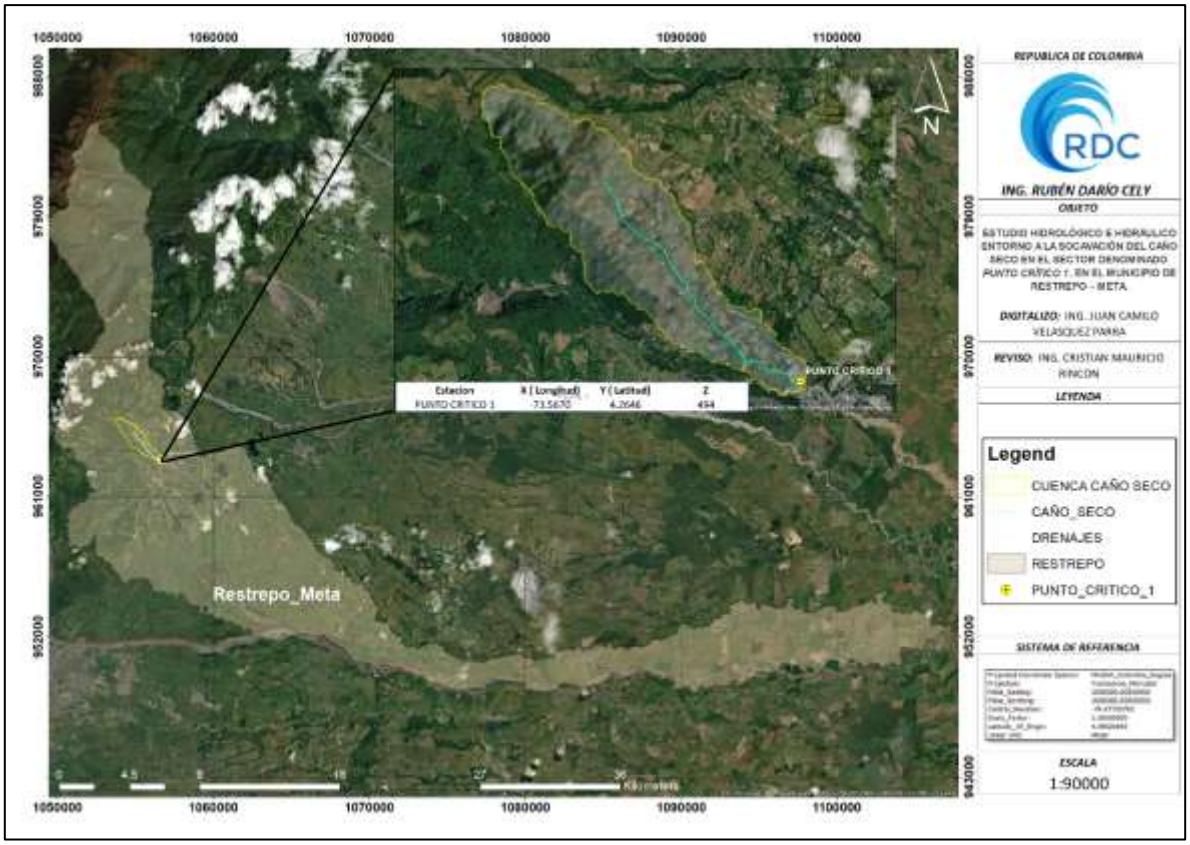
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Figura 3. Ubicación del municipio de Restrepo en perspectiva al departamento del Meta.



Fuente: Buscador Google, 2023.

Figura 4. Ubicación en detalle del área de estudio, cuenca Caño Seco, en relación frente al municipio de Restrepo, Meta.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

3 CARACTERIZACION CLIMATICA REGIONAL.

En este apartado se tiene por objeto la determinación del volumen de escurrimiento de la cuenca de aporte mediante datos de precipitación. De la base de datos de registros históricos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

Considerando que la Organización Meteorológica Mundial establece la selección de aquellas estaciones que cuenten con la suficiente confiabilidad en la toma de datos, historial continúo en general con 15 años de mediciones, homogeneidad respecto a sus alturas de ubicación y observaciones en lo posible comunes, y según el RAS 0330 de 2017 los registros tienen que ser mínimo de 10 años, se evaluó un periodo mayor al (RAS) y al (OMM) para la caracterización hidroclimatológica, de 20 años, desde 2000 a 2019, dando como resultado el comportamiento climático para el sitio de interés de la cuenca Caño Seco.

Para la caracterización climática del municipio de Restrepo y el área del proyecto en torno al sector de la cuenca Caño Seco, se recopila la información de las estaciones que tienen incidencia sobre la zona de influencia tanto del municipio como del sector estudiado. Para la proyección de las obras, estas estaciones son del tipo Climática Ordinaria, Pluviométrica y Pluviografica, para la el monitoreo de las variables de: Precipitación, temperatura, humedad, evaporación, brillo solar y velocidad del viento.

A continuación, se relacionan las estaciones utilizadas.

Tabla 2. Relación de estaciones seleccionadas para el análisis hidroclimático, sector Caño Seco.

Código	Nombre	Tipo	Etiqueta	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud
					Y (N)	X (W)	Z (msnm)
350450020	Hacienda La Cabaña	CO	PTPM_TT_M	Cumaral	4,30044	73,35750	305
35040010	El retiro	PV	PTPM_TT_M	Medina	4,33872	73,54653	870
35030090	Buenavista	PG	PTPM_TT_M	Restrepo	4.27477	-73.61783	1280
35030010	Calvario	CP	PT_10_MX_TT_M	El Calvario	4.3500	-73.7100	2038

35030020	Monfort	PM	PTPG_MX_TT_M	El Calvario	4.310	-73.648	1100

Fuente: IDEAM (Etiquetas: CO (Climática Ordinaria) PV (Pluviométrica) PG (Pluviografica)).

3.1 Parámetros climatológicos.

En este estudio se presenta la descripción del comportamiento de diferentes variables del clima presentes en la zona del área de estudio, cuenca Caño Seco.

3.2 Precipitación total mensual.

El régimen normal de la precipitación está determinado por la situación geográfica y por la influencia de algunos factores importantes, tales como la circulación atmosférica, el relieve, la integración entre la tierra y el mar y la influencia de áreas selváticas o boscosas. En este apartado se muestran las precipitaciones totales mensuales para cada una de las estaciones meteorológicas del IDEAM previamente citadas (según se encuentren disponibles) y que se encuentran cerca al área de estudio, con los datos faltantes ya complementados para su pertinente análisis. Las posteriores ilustraciones permiten dilucidar el contenido de las precipitaciones mensuales por estaciones.

Ilustración 1. Carta Pluviografica – Estación Hacienda La Cabaña (mm/mes).

CODIGO ESTACION : 35045020 — LATITUD 4.30044 — LONGITUD - 73.35750 — ALTITUD (msnm) 305.00 — CATEGORIA : CLIMATICA ORDINARIA

NOMBRE DE ESTACION : HACIENDA LA CABAÑA — INSTITUTO: IDEAM

LOCALIZACION GEOGRAFICA: META - CUMARAL — UNIDAD DE MEDIDA: mm/ mes — FECHA DE INSTALACION : 15/05/1979

PARAMETRO: PRECIPITACION TOTAL MENSUAL — ETIQUETA: PTPM_TT_M — FRECUENCIA: MENSUAL

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2000	39.60	52.60	154.80	195.70	584.40	281.90	407.30	304.70	321.30	519.30	365.20	150.70
2001	0.50	23.10	85.30	310.50	359.30	354.20	477.00	216.40	282.20	210.00	220.00	213.70
2002	0.50	23.10	85.30	310.50	359.30	354.20	477.00	216.40	282.20	210.00	220.00	213.70
2003	0.00	13.50	297.90	390.50	367.70	294.80	216.40	316.90	570.70	345.20	364.80	130.90
2004	26.00	239.00	130.20	385.50	619.80	593.20	420.30	181.20	584.80	626.00	190.90	250.20
2005	19.40	131.60	258.60	610.30	498.10	452.00	330.60	179.40	171.30	327.80	440.50	5.70
2006	372.00	9.30	240.10	276.70	591.10	580.00	273.20	270.80	137.40	328.10	573.20	28.20
2007	3.20	13.00	179.10	477.30	418.60	433.90	252.60	298.20	342.50	323.10	170.00	63.30
2008	5.00	30.30	19.70	343.80	539.40	576.20	468.60	187.90	418.60	310.30	382.30	104.40
2009	113.90	26.90	340.70	336.70	244.30	622.20	445.70	386.40	176.10	208.30	185.40	36.00
2010	0.00	127.50	246.50	815.50	434.00	436.90	397.30	381.10	175.20	335.30	451.80	268.00
2011	40.30	114.80	67.00	291.60	414.20	278.50	145.20	264.70	263.90	421.50	290.20	132.10
2012	40.30	115.40	66.40	348.10	357.70	278.50	145.20	264.70	263.90	421.50	291.10	131.60
2013	4.80	57.10	367.80	625.00	305.50	354.70	475.50	170.10	61.10	519.10	234.40	331.20
2014	0.00	60.30	149.70	439.40	695.30	168.50	403.70	235.70	281.10	257.80	486.50	102.60
2015	125.00	44.00	140.20	286.00	214.90	426.70	336.00	197.60	420.50	312.00	316.40	222.60
2016	0.00	27.00	0.00	521.90	312.20	284.40	389.10	657.10	351.00	271.10	448.60	50.50
2017	45.10	57.40	310.10	300.40	357.10	336.00	204.70	294.20	171.10	386.40	276.50	54.80
2018	62.10	0.70	170.60	426.30	382.40	539.10	393.60	363.50	301.00	421.10	147.10	11.20
2019	62.10	0.70	170.60	426.30	382.40	539.10	393.60	363.50	301.00	421.10	147.10	11.20
PROM	47.99	58.37	174.03	405.90	421.89	409.25	352.63	287.53	293.85	358.75	310.10	125.63

Fuente: IDEAM, 2023.

Ilustración 2. Carta Pluviografica – Estación El Retiro (mm/mes).

CODIGO ESTACION : 35040010 | LATITUD 4.33872 | LONGITUD - 73.54653 | ALTITUD (msnm) 870.00 | CATEGORIA : PLUVIOMETRICA

NOMBRE DE ESTACION : EL RETIRO | INSTITUTO: IDEAM

LOCALIZACION GEOGRAFICA: CUNDINAMARCA - MEDINA | UNIDAD DE MEDIDA: mm/ mes | FECHA DE INSTALACION : 15/08/1968

PARAMETRO: PRECIPITACION TOTAL MENSUAL | ETIQUETA: PTPM_TT_M | FRECUENCIA: MENSUAL

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2000	134.60	127.10	134.40	98.90	0.00	96.10	71.40	78.60	124.10	128.80	113.20	0.00
2001	180.10	152.40	128.90	0.00	113.90	88.40	107.30	85.50	121.00	131.40	136.70	103.90
2002	154.30	141.00	171.30	82.20	114.80	0.00	100.40	86.20	0.00	116.30	122.60	132.30
2003	162.10	128.90	109.30	82.20	89.40	96.10	88.30	102.20	103.70	109.80	0.00	111.00
2004	133.90	163.60	133.70	104.20	84.70	105.00	92.60	112.10	86.90	122.60	116.00	114.40
2005	136.50	132.60	140.00	0.00	104.80	90.60	95.10	101.70	104.00	114.30	112.60	136.10
2006	121.20	108.50	105.30	101.10	91.70	119.00	88.20	101.30	115.60	126.30	0.00	114.40
2007	159.60	190.50	128.10	116.80	105.10	85.20	108.70	96.00	96.20	122.10	117.70	120.00
2008	145.50	132.20	143.70	109.50	98.90	87.00	95.30	119.60	103.20	110.70	113.50	117.70
2009	119.60	132.80	110.80	111.90	106.60	86.60	100.70	123.70	116.30	143.50	126.40	138.70
2010	152.50	167.60	136.10	0.00	102.00	106.30	0.00	95.70	120.50	142.00	98.00	102.20
2011	133.40	134.50	95.00	111.90	84.20	115.70	103.10	122.50	116.00	110.50	107.40	113.60
2012	144.70	128.90	108.50	95.70	104.60	98.70	84.70	85.50	103.00	121.80	116.10	108.80
2013	146.60	132.10	132.70	125.50	130.20	108.00	99.10	0.00	123.10	136.30	114.30	119.50
2014	163.60	173.90	119.50	111.80	106.60	94.70	77.90	89.50	115.10	101.70	116.70	125.90
2015	127.60	113.90	122.60	91.10	94.00	79.30	103.00	109.30	114.50	120.00	105.40	117.70
2016	149.80	131.50	127.70	90.00	89.40	78.10	96.90	117.90	116.30	117.00	99.60	119.30
2017	113.70	118.00	107.00	99.70	103.80	86.90	78.30	117.60	122.80	116.50	111.20	0.00
2018	0.00	28.70	0.00	68.60	0.00	0.00	0.00	0.00	152.60	124.00	0.00	0.00
2019	142.60	0.00	0.00	0.00	0.00	29.60	0.00	0.00	126.70	105.90	107.20	0.00
PROM	136.10	126.94	112.73	80.06	86.24	82.57	79.55	87.25	109.08	121.08	96.73	94.78

Fuente: IDEAM, 2023.

Ilustración 3. Carta Pluviométrica – Estación Buenavista (mm/mes).

NOMBRE DE ESTACION : BUENA VISTA | INSTITUTO: IDEAM

LOCALIZACION GEOGRAFICA: META - RESTREPO | UNIDAD DE MEDIDA: mm/ mes | FECHA DE INSTALACION : 15/03/1993

PARAMETRO: PRECIPITACION TOTAL MENSUAL | ETIQUETA: PTPM_TT_M | FRECUENCIA: MENSUAL

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2000	26.00	0.00	3.00	0.00	0.00	30.00	36.00	2.00	0.00	109.00	51.00	4.00
2001	26.00	0.00	0.00	6.00	30.00	66.00	2.00	0.60	17.30	52.00	0.00	10.00
2002	26.00	0.00	65.00	27.00	0.10	0.00	4.00	42.90	4.80	58.00	40.00	0.50
2003	26.00	30.00	78.00	35.00	60.00	39.00	30.00	7.00	1.00	158.00	32.00	0.00
2004	26.00	2.00	27.00	7.00	23.00	19.80	0.00	5.00	0.00	51.00	0.00	0.00
2005	26.00	72.00	30.00	13.00	12.00	29.00	3.00	15.00	25.00	0.40	0.00	0.00
2006	26.00	59.00	18.00	4.00	0.00	44.00	77.20	67.00	0.60	0.40	0.80	0.00
2007	26.00	50.70	6.00	14.00	8.00	73.00	6.00	0.00	0.00	0.30	0.00	17.00
2008	26.00	47.00	97.00	9.00	91.00	11.00	13.00	5.00	66.00	2.00	4.00	2.00
2009	26.00	0.00	111.00	0.00	14.00	85.00	4.00	23.00	14.00	1.40	0.00	3.00
2010	26.00	8.00	40.00	100.00	36.00	22.00	24.00	5.00	9.00	0.00	33.00	110.00
2011	26.00	0.00	0.00	0.00	40.00	54.00	52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00
2012	26.00	2.00	39.00	4.00	51.00	3.00	45.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00
2013	26.00	23.00	0.00	0.00	1.00	21.00	20.00	10.00	10.00	40.00	0.00	20.00
2014	26.00	8.00	48.00	0.00	34.00	6.00	19.00	79.00	0.00	0.00	16.00	0.20
2015	26.00	126.00	35.00	0.00	5.00	0.00	0.50	3.00	30.00	0.00	5.00	0.00
2016	26.00	19.00	125.00	2.00	63.00	123.00	25.00	20.00	4.00	33.00	15.00	0.00
2017	26.00	0.00	20.00	2.00	66.00	19.00	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PROM	23.40	22.34	37.10	11.15	26.71	32.24	22.04	14.23	9.09	25.78	9.84	9.24

Fuente: IDEAM, 2023.

Tabla 3. Valores Totales Mensuales de Precipitación (mm/mes).

Nombre	Valores totales mensuales de precipitación (mm)					
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
HDA La Cabaña	47.99	58.37	174.03	405.90	421.89	409.25
El Retiro	136.10	126.94	112.73	80.06	86.24	82.57
Buenavista	23.40	22.34	37.10	11.15	26.71	32.24

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

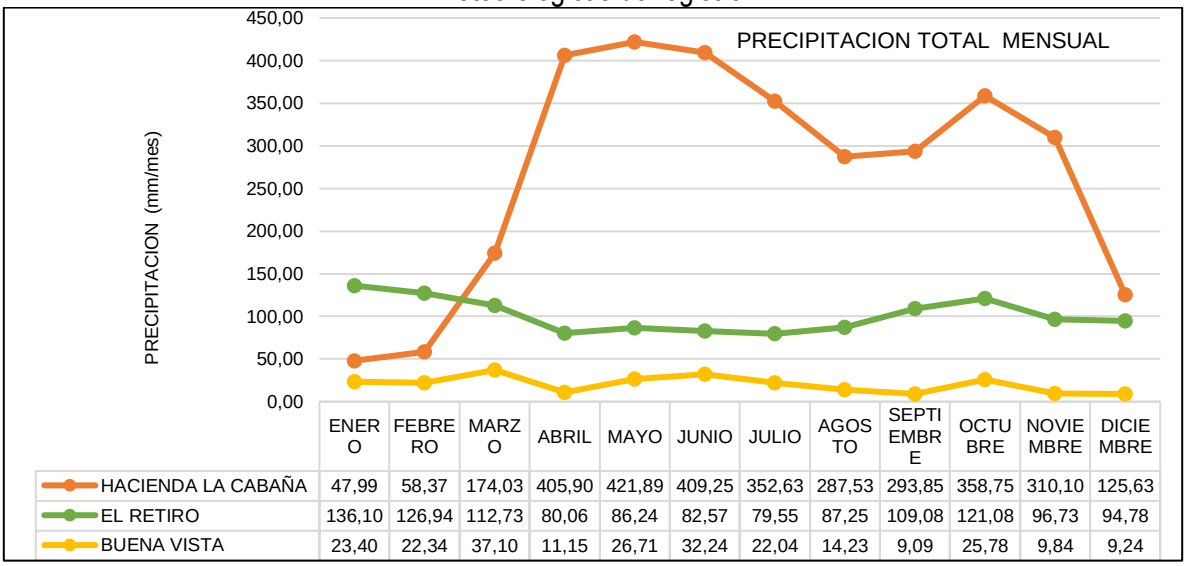
Tabla 4. Continuación de los Valores Totales Mensuales de Precipitación (mm/mes).

Valores totales mensuales de precipitación (mm)						PROM AÑO
JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
352.63	287.53	293.85	358.75	310.10	125.63	270.49
79.55	87.25	109.08	121.08	96.73	94.78	101.09
22.04	14.23	9.09	25.78	9.84	9.24	20.26

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

La Grafica 1 representa la variación entre estaciones que registraron datos de precipitación en milímetros (mm/mes), en donde se puede ver el comportamiento que lleva a lo largo del año, se evidencia que el periodo seco más influyente inicia desde el mes de enero y termina en el mes de abril, y vuelve a retomar en los últimos meses del año de noviembre a diciembre, los periodos húmedos corresponden a los de mayor precipitación, los cuales ocurren en dos periodos, el pico más alto de precipitación lo presentan los meses de mayo, junio y julio , y el segundo periodo húmedo corresponde a los meses de agosto septiembre y octubre, por lo tanto se tiene que la Grafica 1. Presenta un comportamiento bimodal en el total de precipitaciones totales mensuales a lo largo del año, estableciendo que la mayor cantidad de precipitación se registra en la estación del municipio de Cumaral Hacienda la Cabaña.

Grafica 1. Valores totales mensuales de precipitación a lo largo del año para las estaciones meteorológicas de registro.



	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
HACIENDA LA CABAÑA	47,99	58,37	174,03	405,90	421,89	409,25	352,63	287,53	293,85	358,75	310,10	125,63
EL RETIRO	136,10	126,94	112,73	80,06	86,24	82,57	79,55	87,25	109,08	121,08	96,73	94,78
BUENA VISTA	23,40	22,34	37,10	11,15	26,71	32,24	22,04	14,23	9,09	25,78	9,84	9,24

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

3.3 Temperatura máxima promedio mensual.

Los datos de temperatura son encontrados en las estación del municipio de Cumaral, se obtuvieron valores de temperatura máxima media mensual y temperatura mínima media mensual, para lograr expresar el cambio de temperatura que sufre el ambiente a través del año, se tiene en cuenta el análisis de este valor para lograr la proyección de los periodos más extremos de calor que puede sufrir el municipio de Restrepo y en consecuencia los lugares de la cuenca Caño Seco, en lo cual puede establecer medidas de prevención como el racionamiento de agua para posibles afectaciones o eventos que se puedan presentar en el trascurso del tiempo.

Ilustración 4. Registro de temperaturas máximas promedio mensual, Estación Hda La Cabaña (°C).

CODIGO ESTACION : 35054020 LATITUD 4.16192 LONGITUD - 73.61758 ALTITUD msnm 422.00 CATEGORIA : CLIMATICA ORDINARIA

NOMBRE DE ESTACION : HACIENDA LA CABAÑA INSTITUTO: IDEAM

LOCALIZACION GEOGRAFICA: META - CUMARAL UNIDAD DE MEDIDA: (°)/MES FECHA DE INSTALACION : 15/05/1979

PARAMETRO: TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL ETIQUETA: TMX_MEDIA_M FRECUENCIA: MENSUAL

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2001	32.83	33.30	32.82	31.12	30.24	0.00	0.00	0.00	0.00	31.46	32.09	31.28
2002	32.12	34.57	32.98	30.37	29.83	28.72	29.43	30.13	31.32	31.27	31.13	31.87
2003	34.15	33.99	32.81	30.18	29.83	29.24	28.82	29.86	30.25	30.64	30.98	31.36
2004	32.53	33.92	32.07	30.72	29.62	28.94	29.22	30.08	30.72	31.20	31.30	31.27
2005	31.96	32.65	32.88	30.39	30.45	29.70	29.48	30.16	30.96	31.34	30.76	32.06
2006	31.85	32.44	30.76	30.78	29.00	29.30	29.24	30.28	31.05	30.97	30.73	31.98
2007	33.91	35.91	33.06	31.20	29.11	27.88	29.15	29.11	30.15	30.64	31.16	31.01
2008	32.32	32.88	33.51	31.54	29.68	28.61	28.87	30.21	30.53	30.68	30.72	31.15
2009	31.57	32.00	31.70	30.80	30.71	29.54	29.22	30.43	31.71	31.75	32.23	33.29
2010	34.75	35.28	32.12	30.50	30.85	29.74	29.08	29.67	31.03	31.26	30.53	31.11
2011	31.91	32.67	31.53	30.69	29.07	30.03	29.67	30.51	31.36	30.93	30.75	30.97
2012	32.84	32.85	30.88	30.32	30.12	29.45	28.75	29.70	31.09	31.30	31.80	32.24
2013	33.22	33.06	31.88	31.74	30.13	30.20	29.16	29.55	31.38	31.86	31.11	31.55
2014	33.96	35.02	32.78	31.16	31.41	29.52	29.40	29.69	31.58	30.60	31.45	32.28
2015	32.71	33.12	32.88	31.02	31.15	28.88	29.93	30.48	32.62	32.08	31.72	32.02
2016	34.15	35.02	34.16	30.88	30.72	29.38	29.01	30.61	31.22	31.15	31.11	31.57
2017	31.51	33.11	31.64	31.54	30.95	29.86	28.89	31.23	31.61	31.15	32.13	0.00
2018	32.22	33.96	33.07	29.85	29.89	28.43	28.85	29.92	31.43	31.55	31.88	33.14
2019	33.91	35.44	32.93	31.53	30.50	28.91	29.35	29.46	31.39	30.96	31.03	31.96
PROM	31.22	32.06	30.82	29.32	28.66	26.32	26.28	27.05	28.07	29.64	29.73	28.61

Fuente: IDEAM, 2023.

Tabla 5. Valores máximos promedio mensual de temperatura (°C).

Nombre	Valores máximos promedio mensual de temperatura (°C).					
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Hacienda La Cabaña	31.22	32.06	30.82	29.32	28.66	26.32

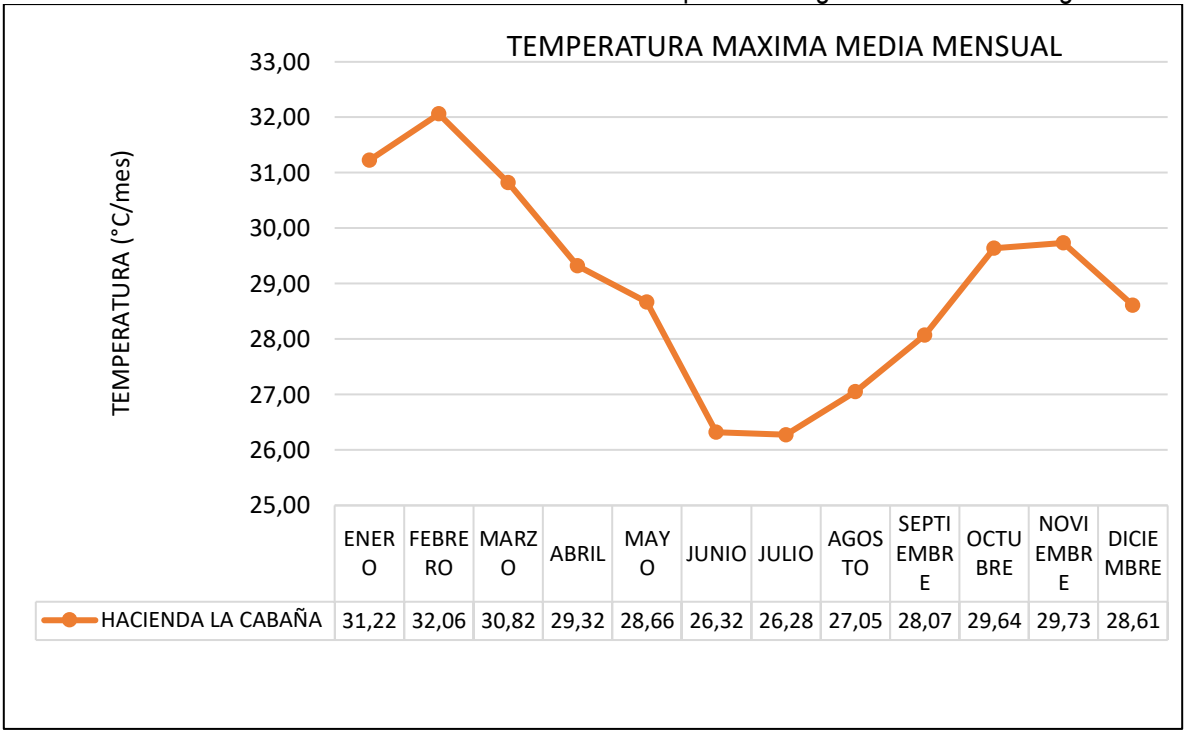
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 6. Continuación valores máximos promedio mensual de temperatura (°C).

Valores máximos promedio mensual de temperatura (°C).					
JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
26.28	27.05	28.07	29.64	29.73	28.61

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 2. Valores totales máximas mensuales de temperatura según la estación de registro.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

La temperatura está dada en valores máximos medios mensuales, y expresados en la Tabla 5. En esta se expresa los pertenecientes al valor promedio mensual que se presentó en el periodo de tiempo de los años 2000 a 2019, y por último obteniendo un promedio de temperatura presentado en el año, esta temperatura está representada en grados (°) centígrados sobre un periodo de tiempo en meses, la Grafica 2. Señala la tendencia de temperatura en el transcurso del año, en la que el mes de enero, febrero y marzo presenta los mayores picos de temperatura, los meses de abril, mayo, junio y julio presentan una baja temperatura, y el año termina con temperaturas por el valor de los 30 (°) centígrados.

3.4 Temperatura mínima media mensual.

Para lograr expresar el cambio de temperatura que sufre el ambiente a través del año, se tiene en cuenta el análisis de este valor para lograr la proyección de los periodos más fríos que puede sufrir el municipio de Restrepo y en consecuencia los lugares de la cuenca Caño Seco, en lo cual puede establecer el tiempo en el cual puede haber menos consumo de agua potable.

Ilustración 5. Registro de temperaturas mínimas media mensual, Estación Hda La Cabaña (°C).

CODIGO ESTACION : 35054020 | LATITUD 4.16192 | LONGITUD - 73.61758 | ALTITUD msnm 422.00 | CATEGORIA : CLIMATICA ORDINARIA

NOMBRE DE ESTACION : HACIENDA LA CABAÑA | INSTITUTO: IDEAM

LOCALIZACION GEOGRAFICA: META - CUMARAL | UNIDAD DE MEDIDA: (°)/MES | FECHA DE INSTALACION : 15/05/1979

PARAMETRO: TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL | ETIQUETA: TMN_MEDIA_M | FRECUENCIA: MENSUAL

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2000	20.94	21.04	21.67	21.88	21.26	21.03	21.09	21.27	21.30	21.54	21.89	20.99
2001	20.46	21.28	22.01	21.61	21.89	0.00	0.00	0.00	0.00	21.86	21.88	22.24
2002	21.11	22.29	22.04	21.92	21.74	21.38	21.37	21.13	21.26	21.73	21.46	21.48
2003	21.63	22.57	22.29	21.89	21.46	21.15	20.85	21.00	0.00	0.00	21.79	22.08
2004	21.73	21.11	22.22	21.86	21.85	20.84	20.57	21.22	20.83	21.19	21.81	21.82
2005	21.30	21.28	21.85	21.44	21.64	21.14	21.03	21.45	21.62	21.59	21.62	21.45
2006	21.21	21.68	22.23	22.10	21.30	21.18	21.14	21.26	21.58	22.08	21.95	22.01
2007	21.67	21.30	22.06	21.82	21.34	21.18	20.94	20.85	21.04	21.31	21.32	21.31
2008	20.81	21.51	21.48	21.42	21.19	21.36	21.14	21.67	21.83	21.66	0.00	0.00
2009	21.66	21.46	21.91	21.96	21.53	20.94	20.48	21.03	21.10	21.05	21.41	20.70
2010	20.26	22.21	21.58	21.42	21.13	20.28	20.18	20.14	20.84	21.62	21.45	21.21
2011	20.20	21.40	21.32	21.35	21.45	20.90	20.79	20.81	20.43	20.72	20.68	20.76
2012	20.34	20.38	20.82	21.66	21.88	21.07	21.15	21.53	21.56	21.79	22.06	22.13
2013	21.71	22.60	22.73	22.35	22.10	21.76	21.16	21.35	21.57	21.70	22.01	21.61
2014	21.66	22.72	22.99	22.46	22.50	21.97	21.81	21.38	21.56	21.90	22.16	18.66
2015	21.14	21.50	22.41	21.85	22.03	20.97	21.12	19.58	19.79	21.00	22.19	20.92
2016	20.75	22.87	0.00	0.00	21.71	21.82	21.44	21.80	21.69	22.19	21.88	21.74
2017	21.95	21.99	22.42	22.60	22.18	22.19	21.47	21.82	21.80	21.73	22.08	0.00
2018	21.69	22.06	22.53	21.78	22.08	21.53	21.20	21.27	21.70	22.09	22.39	21.19
2019	22.64	22.84	22.97	22.77	22.35	21.66	21.10	21.28	0.00	21.60	22.17	22.82
PROM	21.24	21.80	20.98	20.81	21.73	20.22	20.00	20.09	18.08	20.52	20.71	19.26

Fuente: IDEAM, 2023.

Tabla 7. Valores mínimos promedio mensual de temperatura (°C).

Nombre	Valores mínimos promedio mensual de temperatura (°C).					
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
HDA La Cabaña	21.24	21.80	20.98	20.81	21.73	20.22

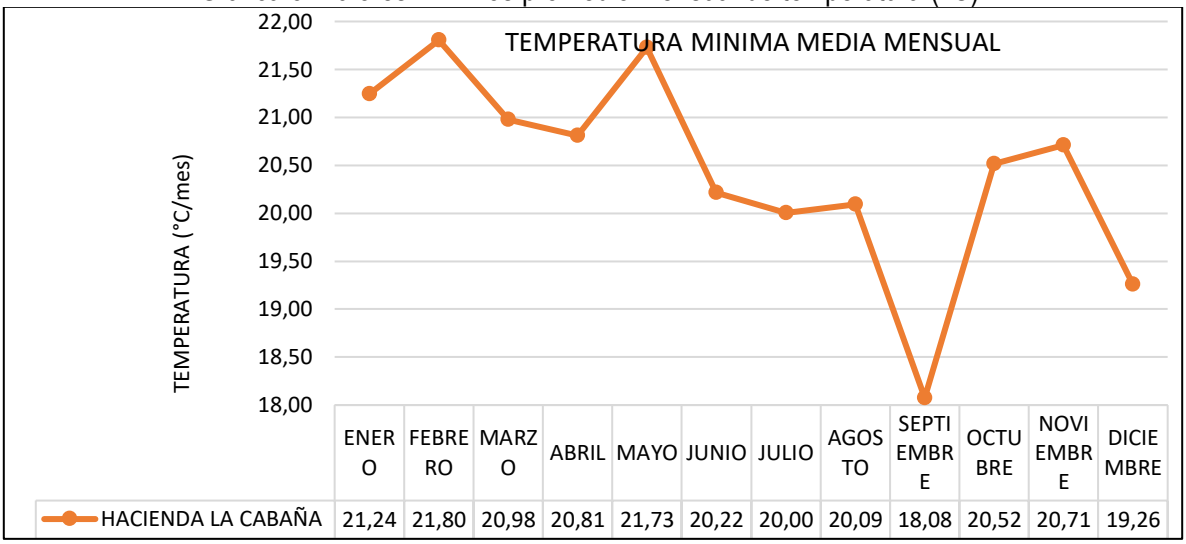
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 8. Continuación valores mínimos promedio mensual de temperatura (°C).

Valores mínimos promedio mensual de temperatura (°C).					
JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
20.00	20.09	18.08	20.52	20.71	19.26

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 3. Valores mínimos promedio mensual de temperatura (°C).



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

La temperatura está dada en valores mínimos medios mensuales, y expresados en la Tabla 7. En la cual expresa los pertenecientes al valor promedio mensual que se presentó en el periodo de tiempo de los años 2000 a 2019, y por último obteniendo un promedio de temperatura presentado en el año, esta temperatura está representada en grados (°) centígrados sobre un periodo de tiempo en meses, la Grafica 3 señala la tendencia estándar de la temperatura a lo largo del año teniendo valores sobre los 20 (°) centígrados.

3.5 Humedad relativa media mensual.

Los valores de humedad relativa son obtenidos de la estación del municipio de Cumaral, y los valores obtenidos son los calculados medios mensuales, el análisis presentado, puede establecer que meses del año obtuvieron porcentajes (% /mes) más altos de humedad relativa, la humedad relativa hace referencia al contenido de agua que se presenta en el aire que puede ser mantenida por una temperatura dada.

Las precipitaciones suelen acompañar al aire muy húmedo, mientras que el aire seco tiende a hacer que el agua terrestre se evapore, en vez de enviar más líquido sobre la Tierra.

El contenido de agua en la atmósfera depende, principalmente, de la temperatura. Cuanto más caliente está una masa de aire, mayor es la cantidad de vapor de agua que puede retener. En contrapartida, a temperaturas bajas puede almacenar menos vapor de agua. Cuando una masa de aire caliente se enfría, por la causa que fuere, se desprende del vapor que le sobra en forma de precipitación.

Así mismo, se obtuvo la humedad relativa anual, se realizó con base en datos de humedad relativa media mensual, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). En el cual se obtuvo que, para el municipio de Restrepo, se registran valores que oscilan entre el 65% y el 85% de humedad calculados durante cada mes por los 20 años.

Ilustración 6. Valores de humedad relativa, Estación Hda La Cabaña (%).

CODIGO ESTACION : 35054020 | LATITUD 4.16192 | LONGITUD - 73.61758 | ALTITUD msnm 422.00 | CATEGORIA : CLIMATICA ORDINARIA

NOMBRE DE ESTACION : HACIENDA LA CABAÑA | INSTITUTO: IDEAM

LOCALIZACION GEOGRAFICA: META - CUMARAL | UNIDAD DE MEDIDA: % | FECHA DE INSTALACION : 15/05/1979

PARAMETRO: HUMEDAD RELATIVA MEDIA CALCULADA MENSUAL | ETIQUETA: HR_CAL_MEDIA_M | FRECUENCIA: MENSUAL

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2000	0.00	0.00	70.94	81.02	86.59	84.67	86.29	82.91	81.59	81.55	80.79	78.56
2001	66.46	63.82	74.62	80.73	85.08	0.00	0.00	0.00	0.00	82.26	80.11	82.32
2002	71.40	62.83	71.89	84.58	85.11	86.64	85.74	83.13	79.24	81.93	82.49	77.85
2003	65.36	65.67	73.06	84.90	84.71	86.29	84.62	85.24	84.53	83.71	82.55	80.37
2004	74.31	67.64	75.63	83.47	87.65	86.62	86.47	82.70	82.25	82.56	83.00	81.43
2005	76.32	76.92	77.29	84.37	85.14	86.86	85.22	83.56	82.01	82.32	83.89	73.94
2006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	83.52	80.32	81.52	82.73	77.32
2007	64.12	55.90	69.18	76.90	84.63	86.42	83.20	82.24	79.20	80.37	77.17	79.67
2008	70.00	69.02	66.59	78.35	84.01	86.88	85.24	82.45	81.27	81.58	82.18	78.04
2009	75.31	72.03	77.48	81.71	83.92	86.92	86.44	84.58	81.04	81.38	79.86	71.54
2010	0.00	0.00	77.59	84.75	84.97	85.64	86.42	86.65	80.81	80.91	83.55	79.66
2011	77.17	75.41	77.87	84.30	87.54	84.87	84.44	81.42	79.96	83.75	83.68	81.25
2012	70.76	74.10	79.46	84.49	83.35	82.77	85.43	82.84	79.20	78.02	79.25	76.83
2013	65.50	76.94	0.00	79.53	84.01	82.63	84.61	84.17	83.99	80.02	80.69	79.53
2014	64.82	60.83	72.74	80.90	81.85	86.58	86.53	84.78	80.21	82.43	80.46	76.66
2015	70.98	72.20	70.12	81.47	80.41	85.40	82.52	81.84	75.17	77.78	78.47	74.34
2016	62.89	62.60	72.27	85.69	85.00	86.76	87.51	82.76	82.24	83.04	83.10	79.06
2017	77.35	69.91	78.82	79.56	84.60	88.03	89.50	84.61	82.38	82.84	79.87	0.00
2018	74.01	58.26	70.23	83.91	83.79	88.16	86.10	81.52	80.18	80.19	80.40	71.51
2019	67.15	63.54	72.21	77.39	82.43	88.76	85.10	84.98	83.33	83.59	84.74	82.02
PROM	59.69	57.38	66.40	77.90	80.24	77.54	77.07	79.29	76.95	81.59	81.45	74.09

Fuente: IDEAM, 2023.

Tabla 9. Valores de humedad relativa (%).

Nombre	Valores de humedad relativa (%)					
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
HDA La Cabaña	59.69	57.38	66.40	77.90	80.24	77.54

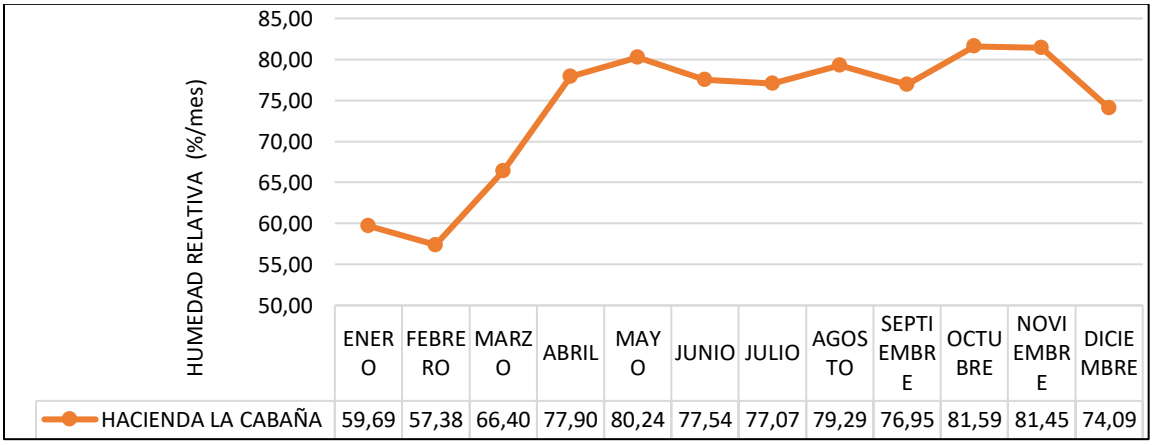
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 10. Continuación de valores de humedad relativa (%).

Valores de humedad relativa (%)					
JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
77.07	79.29	76.95	81.59	81.45	74.09

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 4. Valores de humedad relativa calculada media mensual.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

La Tabla 9 establece los valores promedios de humedad relativa calculada en meses del total de años en los que se registraron datos de humedad, la estación de Hacienda la Cabaña presenta para los datos de precipitación los periodos húmedos, el comportamiento es similar a los periodos de precipitación de las estaciones de seleccionadas para este parámetro, en lo cual cuanto más alto sean los picos de precipitación, mayor será el contenido de agua contemplado en el aire, en casi toda la zona territorial que la rodea.

3.6 Evaporación total mensual.

Los datos de evaporación son encontrados en la estación del municipio de Cumaral, son expresados en valores de evaporación total mensual y son dados en milímetros (mm/mes), lo cual establece una relación directamente proporcional a la precipitación, la evaporación es mayor en los periodos secos del año, es importante el registro y análisis de evaporación que se presenta para así poder proyectar cuáles serán los meses del año en donde se puede presentar precipitaciones máximas y poder establecer un balance hídrico.

Ilustración 7. Valores de evaporación total mensual, Estación Hda La Cabaña (mm/mes).

CODIGO ESTACION : 35054020 | LATITUD 4.16192 | LONGITUD - 73.61758 | ALTITUD msnm 422.00 | CATEGORIA : CLIMATICA ORDINARIA

NOMBRE DE ESTACION : HACIENDA LA CABAÑA | INSTITUTO: IDEAM

LOCALIZACION GEOGRAFICA: META - CUMARAL | UNIDAD DE MEDIDA: mm/mes | FECHA DE INSTALACION : 15/05/1979

PARAMETRO: EVAPORACION TOTAL MENSUAL | ETIQUETA: EVTE_TT_M | FRECUENCIA: MENSUAL

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2000	134.60	127.10	134.40	98.90	0.00	96.10	71.40	78.60	124.10	128.80	113.20	0.00
2001	180.10	152.40	128.90	0.00	113.90	88.40	107.30	85.50	121.00	131.40	136.70	103.90
2002	154.30	141.00	171.30	82.20	114.80	0.00	100.40	86.20	0.00	116.30	122.60	132.30
2003	162.10	128.90	109.30	82.20	89.40	96.10	88.30	102.20	103.70	109.80	0.00	111.00
2004	133.90	163.60	133.70	104.20	84.70	105.00	92.60	112.10	86.90	122.60	116.00	114.40
2005	136.50	132.60	140.00	0.00	104.80	90.60	95.10	101.70	104.00	114.30	112.60	136.10
2006	121.20	108.50	105.30	101.10	91.70	119.00	88.20	101.30	115.60	126.30	0.00	114.40
2007	159.60	190.50	128.10	116.80	105.10	85.20	108.70	96.00	96.20	122.10	117.70	120.00
2008	145.50	132.20	143.70	109.50	98.90	87.00	95.30	119.60	103.20	110.70	113.50	117.70
2009	119.60	132.80	110.80	111.90	106.60	86.60	100.70	123.70	116.30	143.50	126.40	138.70
2010	152.50	167.60	136.10	0.00	102.00	106.30	0.00	95.70	120.50	142.00	98.00	102.20
2011	133.40	134.50	95.00	111.90	84.20	115.70	103.10	122.50	116.00	110.50	107.40	113.60
2012	144.70	128.90	108.50	95.70	104.60	98.70	84.70	85.50	103.00	121.80	116.10	108.80
2013	146.60	132.10	132.70	125.50	130.20	108.00	99.10	0.00	123.10	136.30	114.30	119.50
2014	163.60	173.90	119.50	111.80	106.60	94.70	77.90	89.50	115.10	101.70	116.70	125.90
2015	127.60	113.90	122.60	91.10	94.00	79.30	103.00	109.30	114.50	120.00	105.40	117.70
2016	149.80	131.50	127.70	90.00	89.40	78.10	96.90	117.90	116.30	117.00	99.60	119.30
2017	113.70	118.00	107.00	99.70	103.80	86.90	78.30	117.60	122.80	116.50	111.20	0.00
2018	0.00	28.70	0.00	68.60	0.00	0.00	0.00	0.00	152.60	124.00	0.00	0.00
2019	142.60	0.00	0.00	0.00	0.00	29.60	0.00	0.00	126.70	105.90	107.20	0.00
PROM	136.10	126.94	112.73	80.06	86.24	82.57	79.55	87.25	109.08	121.08	96.73	94.78

Fuente: IDEAM, 2023.

Tabla 11. Valores de evaporación total mensual (mm/mes).

Nombre	Valores de evaporación total mensual (mm/mes)					
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
HDA La Cabaña	136.10	126.94	112.73	80.06	86.24	82.57

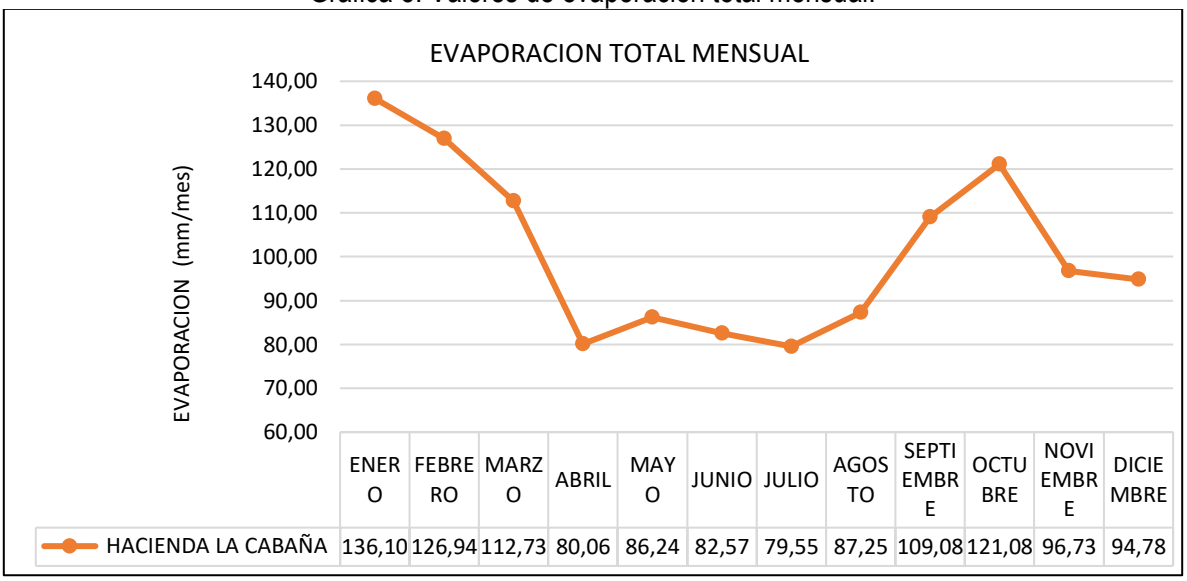
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 12. Continuación de valores de evaporación total mensual (mm/mes).

Valores de evaporación total mensual (mm/mes)					
JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
79.55	87.25	109.08	121.08	96.73	94.78

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 5. Valores de evaporación total mensual.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

La Grafica 5 expresa el comportamiento de la evaporación en el transcurso del año, los meses de enero, febrero y marzo, al ser los meses más secos y con las temperaturas más altas, generan una mayor evaporación, en cambio en los periodos húmedos, la evaporación se contiene más, debido a los efectos de precipitación y humedad relativa, la estación Hacienda la Cabaña se comportan de manera adversa a la precipitación.

3.7 Brillo solar acumulado mensual.

Los datos de brillo solar son encontrados de la estación cercana al municipio de Cumaral, son expresados en valores de brillo solar acumulado mensual y son dados en Radiación solar (Rad/mes), establece los meses del año donde más se expone la naturaleza a la radiación del sol.

Ilustración 8. Valores de brillo solar acumulado mensual, Estación Hda La Cabaña (Rad/mes).

CODIGO ESTACION : 35045020 LATITUD 4.30044 LONGITUD - 73.35750 ALTITUD msnm 305.00 CATEGORIA : CLIMATICA ORDINARIA

NOMBRE DE ESTACION : HACIENDA LA CABAÑA INSTITUTO: IDEAM

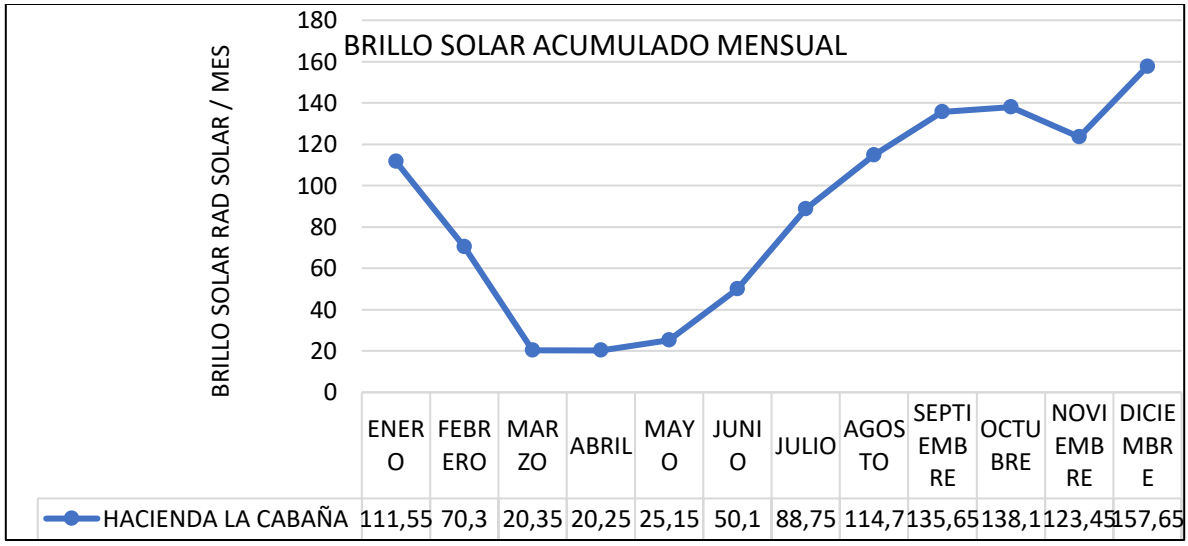
LOCALIZACION GEOGRAFICA: META - CUMARAL UNIDAD: RAD SOLAR /MES FECHA DE INSTALACION : 15/05/1979

PARAMETRO: BRILLO SOLAR ACUMULADO MENSUAL ETIQUETA: BSHG_TT_M FRECUENCIA: MENSUAL

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2018	116.1	0	0	40.5	50.3	42.7	70	123.4	106.2	128.9	109.2	152
2019	107	140.6	40.7	0	0	57.5	107.5	106	165.1	147.3	137.7	163.3
PROM	111.55	70.3	20.35	20.25	25.15	50.1	88.75	114.7	135.65	138.1	123.45	157.65

Fuente: IDEAM, 2023.

Grafica 6. Valores de brillo solar acumulado mensual.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

3.8 Precipitaciones máximas mensuales en 24 horas.

Para poder realizar un correcto análisis de la oferta y comportamiento hídrico de la cuenca Caño Seco, es necesario compilar el registro de precipitaciones máximas mensuales en 24 horas que ha sufrido la cuenca a lo largo de los años que hayan sido datados. Para el presente estudio se cuenta con un total de cuatro (4) estaciones (descritas más adelante) que han llevado el registro de esta variable por un periodo de 20 años, desde 1998 hasta el 2017, las cuales se encuentran dentro del perímetro de influencia de la cuenca. A continuación, los resultados.

Ilustración 9. Valores de precipitación mensual máxima en 24 hrs, Estación Calvario (mm/mes).

CODIGO ESTACIÓN:	35030010				LATUTUD 4.349997	LONGITUD -73.71	ALTUTUD (msnm) 2038		TIPO EST :	CP		
NOMBRE DE LA ESTACION:	CALVARIO				CORRIENTE:	Chingaza			INTITUTO:		IDEAM	
MUNICIPIO	El Calvario				UNIDAD DE MEDIDA:		mm/mes		FECHA DE INSTALACIÓN:		13-abr-18	
PARAMETRO:	PRECIPITACIÓN MENSUAL MAXIMA 24 H				ETIQUETA:		PT_10_MX_TT_M		FRECUENCIA:		MENSUAL	
AÑO	**ENERO**	**FEBRERO**	**MARZO**	**ABRIL**	**MAYO**	**JUNIO**	**JULIO**	**AGOSTO**	**SEPTIEMBRE**	**OCTUBRE**	**NOVIEMBRE**	**DICIEMBRE**
1998	5	29	22.1	44	54.2	80	73	33	55	39	26	12.4
1999	34	32.2	41	46.3	71	64	40	43	42	50	39	14.5
2000	10	13.3	55	31.3	75	40.2	42	65	44	27.2	40	29
2001	1.8	4.6	17.5	40	42	45	42.4	50	27.6	36.1	32	18.3
2002	5.6	5	45	48	115	72	60	54	36.7	49	25	21
2003	1	8.2	39.5	28	78	56	38	50	41.2	30	27.6	14
2004	7.4	68	22	39	50	75	55	36	39	33	27.1	18
2005	12	28	37	75	70	55	151	31	76	30	23	5
2006	38	38	33	42	55	32	27	70	56	41	42	10
2007	2.4	16	40	46	29	65	28	76	31.3	29	30	22
2008	6.3	7	21	38	68	67	45	42	59	54	55.5	91
2009	12	5	35.8	57	18.9	47.4	40.9	49.5	53.8	43.6	15.5	35.7
2010	0.4	36	36.6	80.8	54.4	51.2	88.1	33.7	31	32	53.2	44
2011	10.7	8.2	34	48.8	64.8	43.5	54.3	23.1	44.8	30.9	23.6	11.6
2012	1.9	49.5	37.2	53.9	53	41.4	46.7	46.6	37.6	31.5	24.7	53.6
2013	1.1	24	21.3	28.5	65.7	25.7	74.4	55.2	63.7	50.4	36	14.2
2014	9.6	30	22	42	38	60	63	60	43	36	30	16
2015	10	7	38	42	38	52	64	48	39	31	37.9	12
2016	0.6	17	25	52	90	40	58	118	56.3	22.7	64	14
2017	14	7.2	35.4	39	90	64	57	35	78	36	0	0
PROM	9.19	21.66	32.92	46.08	61.00	53.82	57.39	50.96	47.75	36.62	32.61	22.82

Fuente: IDEAM, 2023.

Ilustración 10. Valores de precipitación mensual máxima en 24 hrs, Estación El Retiro (mm/mes).

CODIGO ESTACIÓN:	35040010				LATUTUD 4.338722	LONGITUD -73.546528	ALTUTUD (msnm) 870		TIPO EST :	PM		
NOMBRE DE LA ESTACION:	EL RETIRO				CORRIENTE:	Guacavia			INTITUTO:		IDEAM	
MUNICIPIO	MEDINA				UNIDAD DE MEDIDA:		mm/mes		FECHA DE INSTALACIÓN:		14-ago-68	
PARAMETRO:	PRECIPITACIÓN MENSUAL MAXIMA 24 H				ETIQUETA:		PTPG_MX_TT_M		FRECUENCIA:		MENSUAL	
AÑO	**ENERO**	**FEBRERO**	**MARZO**	**ABRIL**	**MAYO**	**JUNIO**	**JULIO**	**AGOSTO**	**SEPTIEMBRE**	**OCTUBRE**	**NOVIEMBRE**	**DICIEMBRE**
1998	46.75	54.6	77.37	106.62	190	140	101.01	95.81	98.65	91.11	98.14	79.4
1999	46.75	114	86	153	100	100	100	60	135	110	120	100
2000	50	50	26	100	135	135	100	111	104	100	98.14	79.4
2001	46.75	54.6	76	34	117	92	74	87	85	70	120	99
2002	59	12	61	139	141	120	98	78	100	130	81	132
2003	4	9	76	89	144	152	60	116	138	76	170	71
2004	35	58	48	177	153	135	151	133	80	130	70	90
2005	45	135	60	130	130	167	65	125	135	96	114	114
2006	99	15	80	80	90	117.66	101.01	95.81	98.65	110	86	90
2007	15	16	98	119	84	85	76	110	68	141	208	60
2008	67	30	25	94	123	98	100	91	109	72	155	96
2009	79	13	74	135	80	161	91	119	84	94	100	126
2010	46.75	57	108	130	128	175	105	110	83	117	83	80
2011	68	48	162	106.62	110	156	110	66	98	87	139	86
2012	48	44	95	141	100	101	104	152	95	117	65	135
2013	4	31	65	85	135	40	150	97	114	107	108	116
2014	46	112	59	110	118	87	66	142	71	79	80	68
2015	105	38	70	112	90	127	124	40	81	57	91	61
2016	6	26	50	135	92	98	65	111	66	95	135	129
2017	45	56	70	100	127	173	101.01	95.81	98.65	91.11	121	20
PROM	48.10	48.66	73.32	113.81	119.35	122.98	97.10	101.77	97.10	98.51	112.11	91.59

Fuente: IDEAM, 2023.

Ilustración 11. Valores de precipitación mensual máxima en 24 hrs, Estación Monfort (mm/mes).

CODIGO ESTACIÓN:	35030020				LATUTUD	LONGITUD	ALTUTUD (msnm)		TIPO EST :	PM		
					4.310083	-73.648028	1100					
NOMBRE DE LA ESTACION:	MONFORT				CORRIENTE:	Guatiquia			INTITUTO:		IDEAM	
MUNICIPIO	El Calvario				UNIDAD DE MEDIDA:		mm/mes		FECHA DE INSTALACIÓN:		15-ago-68	
PARAMETRO:	PRECIPITACION MENSUAL MAXIMA 24 H				ETIQUETA:	PTPG_MX_TT_M			FRECUENCIA:	MENSUAL		

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1998	30	55	98	94	120	155	88	75	119	100	46	126
1999	35	80	84	100	130	130	100	99	90	100	98	44
2000	7	50	50	40	130	103	125	130	83	78	130	40
2001	23	19	60	60	70	84	103	64	135	75	113	70
2002	30	20	104	69	136	128	127	80	95	85	65	90
2003	2	15	48	135	110	135	68	135	100	55	110	85
2004	20	60	34	43	136	125	100	95	86	74	140	54
2005	70	47	58	135	117	90	90	104	127	41	63	88
2006	60	20	75	100	75	118	85	90	135	55	120	40
2007	0	18	84	82	69	150	63	100	90	60	63	63
2008	18	14	16	0	135	75	100	97	0	0	0	0
2009	25	21	67	150	121	100	100	90	120	65	75	85
2010	10	107	65	115	80	90	140	30	64	78	70	120
2011	88	40	65	100	105	105	85	42	73	119	55	48
2012	0	80	75	140	105	63	83	93	115	65	88	47
2013	15	80	79	78	110	79	89	97	107	135	70	69
2014	12	75	68	78	115	77	90	139	150	106	*	42
2015	131	30	32	153	153	110	104	68	132	74	53	57
2016	4	47	19	148	91	98	99	176	154	72	113	81
2017	0	10	62	94	135	136	73	0	0	0	0	0
PROM	32.46	48.27	62.50	94.17	109.04	106.46	94.52	95.60	98.98	73.39	81.16	62.92

Fuente: IDEAM, 2023.

Ilustración 12. Valores de precipitación mensual máxima en 24 hrs, Estación Buenavista (mm/mes).

CODIGO ESTACIÓN:	35030090				LATUTUD	LONGITUD	ALTUTUD (msnm)		TIPO EST :	PV		
					4.274778	-73.617833	1280					
NOMBRE DE LA ESTACION:	BUENAVISTA				CORRIENTE:	NEGRO			INTITUTO:		IDEAM	
MUNICIPIO	Restrepo (Meta)				UNIDAD DE MEDIDA:		mm/mes		FECHA DE INSTALACIÓN:		14-mar-93	
PARAMETRO:	PRECIPITACION MENSUAL MAXIMA 24 H				ETIQUETA:	PTPG_MX_TT_M			FRECUENCIA:	MENSUAL		

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1998	16	149	94	146	138	136	120	165.3	113	167.9	143.6	63
1999	82	107	103.3	139	126	110	85.3	55	140	97	94	84
2000	34	41	77	74.9	109	77	100	76	85	67	177	144
2001	48	29	68	60	147	155	95	117	129	131	97	133
2002	49	10	103	135	128	152	135	75	109	133	100	135
2003	4	10	68	110	96	173	83	115	149.3	97	96	60
2004	69	65	55	117	123	134	198	72.4	161.6	0	155	65
2005	78	135	78	126	133	120	109	84	102	158	138	110
2006	57.6	108	70	109	106	115	70	82	0	134	75	77
2007	94	30	114	135	78	135	73	82.5	56.3	136	147	63
2008	72	15	24	80	143	0	0	106	67	120	119	140
2009	87	76	129	138	113	80.5	76	117	80	119	88	131
2010	11.1	41	138	138	130	108	138	90	130	125	110	103
2011	66	68	100	136	87	105	134	99	82	85	138	137
2012	14	80	104	107	137	128	136	121	126	134	56	136
2013	10	42	97	129	138	74	137	64	96	136	120	134
2014	41	110	120	113	138	105	88	95	64	84	117	95
2015	150	48	90	137	95	135	135	76	100	82	72	70
2016	10	40	60	145	136	127	68	136	135	135	135	135
2017	47	53	118	135	136	135	113	115	95	0	0	0
PROM	54.02	63.93	88.56	116.24	119.25	112.91	104.70	95.76	99.70	105.40	107.30	98.21

Fuente: IDEAM, 2023.

Tabla 13. Valores de precipitaciones máximas mensuales en 24 horas (mm/mes).

Nombre	Valores de precipitaciones máximas mensuales en 24 hrs (mm/mes)					
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Calvario	38.00	68.00	55.00	80.80	115.00	80.00
El Retiro	105.00	135.00	162.00	177.00	190.00	175.00
Monfort	131.00	175.00	132.00	153.00	153.00	184.00
Buenavista	150.00	149.00	140.00	146.00	180.00	173.00

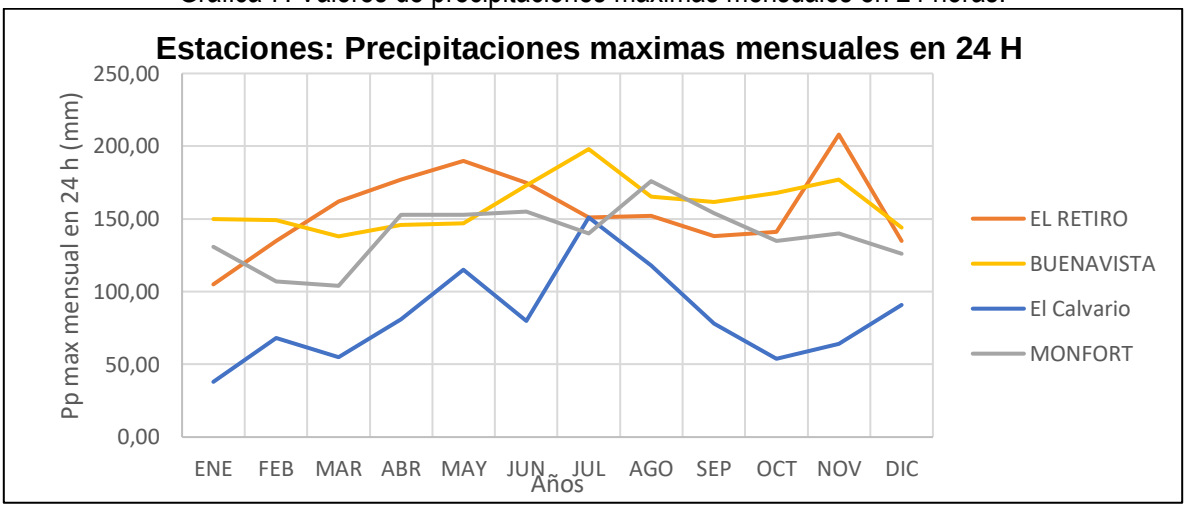
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 14. Continuación valores de precipitaciones máximas mensuales en 24 horas (mm/mes).

Valores de precipitaciones máximas mensuales en 24 hrs (mm/mes)					
JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
151.00	118.00	78.00	54.00	64.00	91.00
151.00	152.00	138.00	141.00	208.00	135.00
165.00	176.00	185.00	162.00	140.00	132.00
198.00	165.30	161.60	167.90	177.00	144.00

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 7. Valores de precipitaciones máximas mensuales en 24 horas.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

La Tabla 13 y Grafica 7 muestran las precipitaciones máximas mensuales en 24 horas y puede destacarse la tendencia de que las estaciones registran la mayor cantidad de precipitaciones en los meses de mayo a noviembre y comportamientos más mesurados en los primeros meses de los años datados.

4 MORFOMETRÍA DE LA CUENCA DE ESTUDIO.

4.1 Localización general de la cuenca de estudio.

La cuenca Caño Seco se localiza en el departamento del Meta, en el municipio de Restrepo y está ubicado al noroeste del casco urbano. La cuenca hidrográfica nombrada Caño Seco está caracterizada por una intervención antrópica moderada, en especial en el punto de salida de la cuenca, caracterizándose esta por la aparición de zonas destinadas a áreas agrícolas de cultivos heterogéneos, zonas herbáceas y pastizales, Por lo que puede concluirse que la cuenca no ha sufrido grandes procesos de urbanización que afecten su desempeño hídrico e hidráulico.

La cuenca Caño Seco cuenta con un área de extensión de 2.722 Km^2 partiendo desde su punto de salida de caudal hasta el punto de interés (***Punto Crítico 1***). Tiene un perímetro de 9.674 Km, la longitud de su cauce principal de 2.954 Km y cuenta con una longitud total de los drenajes de 5.921 Km.

Relativo a la morfología de la cuenca Caño Seco, la misma puede clasificarse como una "***microcuenca***" teniendo en cuenta su área de extensión. De acuerdo a Gaspari (2012) tiene una forma oval oblonga con tendencia a ser rectangular oblonga. Según a Smith y Stopp (1978) la cuenca tiende a ser alargada con una baja susceptibilidad a las avenidas torrenciales. Finalmente, referente a la sinuosidad de la cuenca, de acuerdo a Shumm (1963) la cuenca obedece a una forma de canal rectilíneo y referente al relieve de la misma, según Ortiz Vera (2004) esta es de un carácter medianamente accidentado.

Los parámetros morfométricos a detalle de la cuenca Caño Seco se encuentra en las siguientes tablas:

Tabla 15. Parámetros morfométricos de la cuenca Caño Seco.

MORFOMETRIA CUENCA CAÑO SECO (PUNTO *CRÍTICO* 1)			
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
AREA	**m^2**	**km^2**	**$millas^2$**
Es la superficie, en proyección horizontal, delimitada por la divisoria topográfica de aguas.	2 721 553.00	2.722	1.1
LONGITUD RECTA DE LA CUENCA	**m**	**km**	**millas**
Es la longitud de una línea recta con dirección "paralela" al cauce principal.	5 686.028	5.686	3.5
COTA NACIMIENTO	**msnm**		
Es la cota del punto más elevado de la corriente principal	786		

MORFOMETRIA CUENCA CAÑO SECO (PUNTO *CRÍTICO* 1)			
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS			
COTA DESEMBOCADURA	**msnm**		
Es la cota del punto más bajo de la cuenca, usualmente, el punto de salida de la microcuenca.	494		
ANCHO DE LA CUENCA	**m**	**km**	**millas**
Es la longitud en el sentido ortogonal al eje del cauce principal.	479	0.5	0.3
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE	**m / m**	**%**	
Se calcula como la cota superior menos la cota inferior dividida la longitud del cauce.	0.051	5.1	
PERIMETRO	**m**	**km**	**millas**
Corresponde a la longitud del límite exterior de la cuenca, definido por la divisoria topográfica de aguas.	9 674.4	9.674	6.0
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	**m**	**km**	**millas**
Es la distancia entre el punto más alejado de la cuenca y un punto de interés específico o su desembocadura, siguiendo la dirección de drenaje. El recorrido principal, es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca.	2 953.6	2.954	1.8
LONGITUD TOTAL DE DRENAJE	**m**	**km**	**millas**
Se calcula como la sumatoria de la longitud de todos los cauces.	5 921.75	5.9218	3.7
RELACIÓN DE RELIEVE	**ECUACIÓN**		**%**
Schumm (1956) propone una expresión muy simple para la descripción del relieve, (Relif Ratio) la Relación de Relieve (Rr) en función de la longitud de la cuenca L y de la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h)	$R_r = \frac{h}{L}$		0.10

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 16. Coeficientes morfométricos de la cuenca Caño Seco.

COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS		
COEFICIENTE DE FORMA	**ECUACIÓN**	**Kf**

COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS		
Índice propuesto por Gravelius, es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños.	$Kf = \frac{A}{L^2}$	0.08
INDICE DE ALARGAMIENTO	**ECUACIÓN**	**Ia**
Relaciona la longitud del cauce encontrada en la cuenca, medida en el sentido principal y el ancho máximo de ella. Esta define si la cuenca es alargada cuando su valor es mucho mayor a la unidad o si es muy achatada en ese sentido cuando son valores menores a la unidad.	$I_a = \frac{Longitud_{cuenca}}{Ancho_{cuenca}}$	11.88
INDICE DE CHORLEY	**ECUACIÓN**	**r**
Compara la forma de la cuenca a una lemniscata	$\rho = \frac{\Pi * L_{caucep}{}^2}{4 * A_{cuenca}}$	2.52
INDICE DE GRAVELIUS	**ECUACIÓN**	**i**
Está dado por la relación entre el área de un círculo equivalente cuyo perímetro es el perímetro de la cuenca y el área de la cuenca	$i = \frac{P^2}{4 * \Pi * A_{cuenca}}$	2.74
LONGITUD PROMEDIO DE FLUJO SUPERFICIAL	**ECUACIÓN**	**Lo**
Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la cuenca para llegar a un cauce y se estima por la relación que existe entre el área y 4 veces la longitud de todos los cauces de la cuenca, o bien, la inversa de 4 veces la densidad de drenaje.	$Lo = \frac{A_{cuenca}}{4 * \sum L_i} = \frac{1}{4D}$	0.11
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA	**ECUACIÓN**	**%**

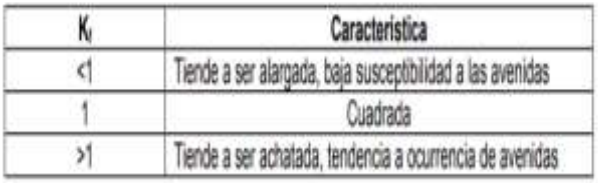
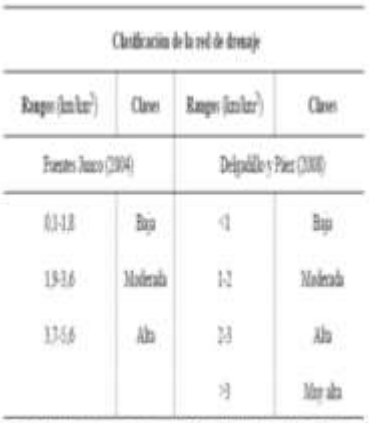
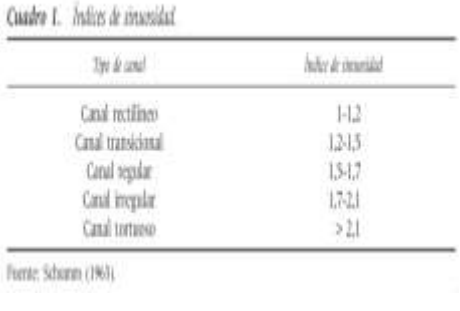
COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS		
Para obtener la pendiente media de la cuenca se pondera la pendiente hallada para cada franja enfunción de su área.Donde:Sm = Pendiente media de la cuencaD = Diferencia entre curvas de nivelL = Longitud total de las curvas de nivelA = Área de la cuenca	$S_m = \frac{L * D}{A_{cuenca}}$	10.93
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	**ECUACIÓN**	**Kc**
Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro, al igual que el anterior, describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.	$K_c = \frac{P_{cuenca}}{2\pi \left(\frac{A_{cuenca}}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}}$	1.65
RELACION DE ELONGACION	**ECUACIÓN**	**Kc**
Se define como el cociente entre el diámetro de un círculo que tiene igual proporción al área de la cuenca y la longitud de la misma.	$R_e = 1.128 * \frac{\sqrt{A}}{L}$	0.33
RELACION DE HORTON	**ECUACIÓN**	**Rf**
Corresponde a la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la misma.	$R_f = \frac{A_{cuenca}}{L_{caucep}{}^2}$	0.31
DENSIDAD DE DRENAJE	**ECUACIÓN**	**D**
Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total	$D = \frac{\sum L_i}{A_{cuenca}}$	2.18
SINUOSIDAD DEL CAUCE PRINCIPAL	**ECUACIÓN**	**Si**
Es la relación que existe entre la longitud del cauce principal, Lc, y la longitud del valle del cauce principal medida en línea recta o curva, Lt.	$S_i = \frac{L_{drenajep}}{L}$	0.52
ALTURA MEDIA DE LA CUENCA	**ECUACIÓN**	**m.s.n.m.**

COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS		
La altura media se calcula como la altura más frecuente en función del área entre curvas de nivel.	$Hmedia = \frac{\Sigma Area * Alt.media_i}{\Sigma Area}$	653

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 17. Clasificación de cuenca Caño Seco de acuerdo a parámetros morfométricos.

CLASIFICACIONES DE LA CUENCA DE ESTUDIO		
CLASIFICACIÓN TAMAÑO SEGÚN EL ÁREA (Ctam)	**CRITERIO**	**CLASIFICACIÓN**
De acuerdo a Campos Arana (1992)	Rangos de áreas (km^2) / Clasificación < 25 — Microcuenca 25 a 250 — Pequeña 250 a 500 — Intermedia- pequeña 500 a 2500 — Intermedia-grande 2500 a 5000 — Grande > 5000 — Muy grande **Tabla I.** Clasificación de tamaños de cuencas. Fuente: Campos Aranda (1992).	Microcuenca
CLASIFICACIÓN DEL INDICE DE COMPACIDAD DE GRAVELIUS	**CRITERIO**	**CLASIFICACIÓN**
De acuerdo a Gaspari et al. (2012)	Kc / Clasificación 1 a 1,25 — Casi redonda a oval-redonda 1,25 a 1,5 — Oval redonda a oval-oblonga 1,5 a 1,75 — oval oblonga a rectangular oblonga >1,75 — Rectangular **Tabla II.** Clasificación del Índice de Compacidad de Gravelius. Fuente: Gaspari et al. (2012).	Oval oblonga a rectangular oblonga

CLASIFICACIONES DE LA CUENCA DE ESTUDIO		
CLASIFICACIÓN DEL FACTOR FORMA	**CRITERIO**	**CLASIFICACIÓN**
De acuerdo a Smith y Stopp. (1978)		Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
CLASIFICACIÓN DE LA RED DE DRENAJE DE LA CUENCA	**CRITERIO**	**CLASIFICACIÓN**
De acuerdo a Junco (2004)		Moderada
De acuerdo a Delgadillo y Paez (2008)		Alta
CLASIFICACIÓN DE LA SINUOSIDAD DE LA CUENCA	**CRITERIO**	**CLASIFICACIÓN**
De acuerdo a Shumm (1963)		Canal rectilíneo

CLASIFICACIONES DE LA CUENCA DE ESTUDIO		
CLASIFICACIÓN DEL RELIEVE DE LA CUENCA	**CRITERIO**	**CLASIFICACIÓN**
De acuerdo a Ortiz Vera (2004).		Medianamente accidentado

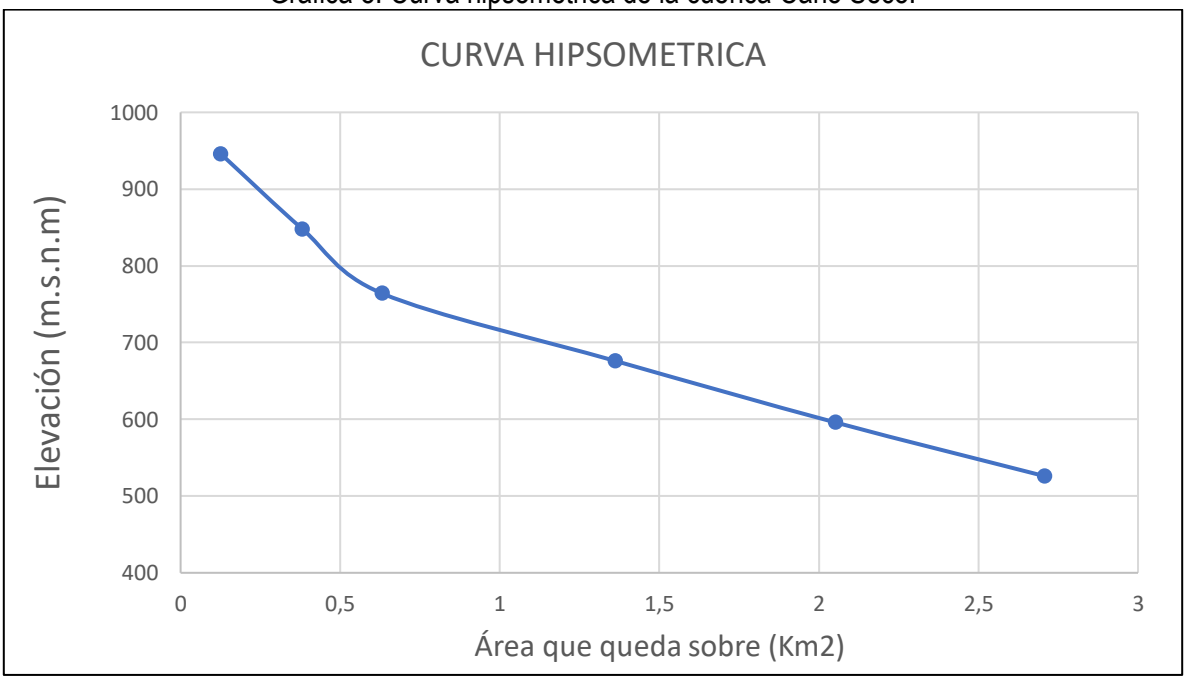
Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0-3	Plano
3-7	Suave
7-12	Medianamente accidentado
12-20	Accidentado
20-35	Fuertemente accidentado
35-50	Muy fuertemente accidentado
50-75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

4.2 Curva hipsométrica y perfil del cauce principal.

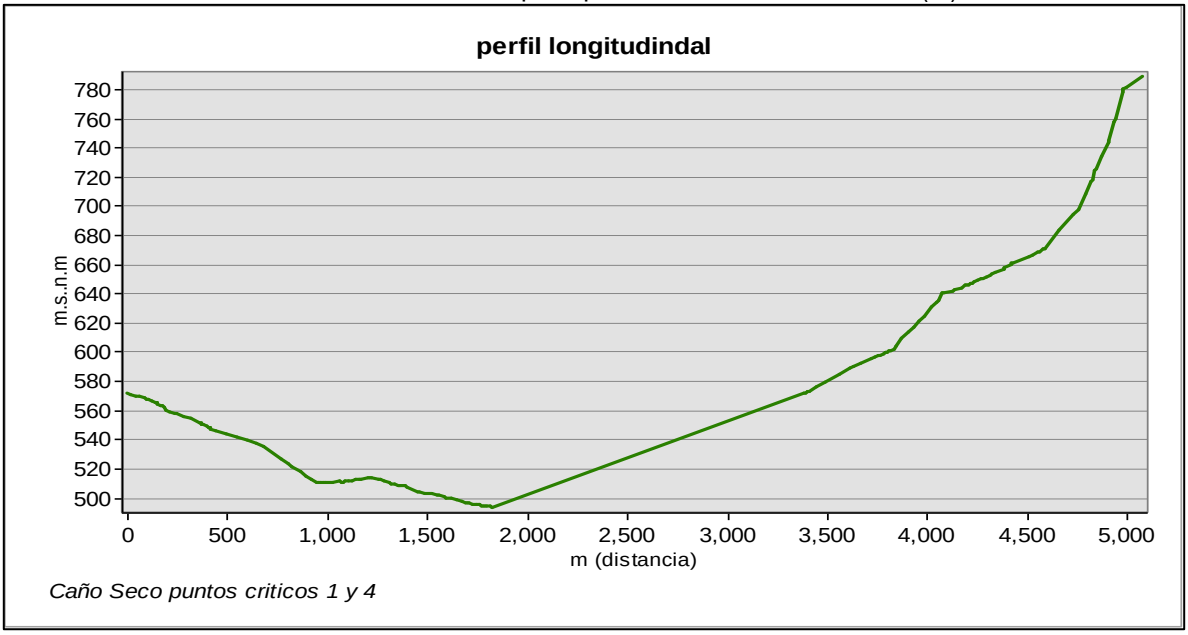
La curva hipsométrica en la Grafica 8, permite dilucidar que es una cuenca en equilibrio, es decir, que se encuentra en fase de madurez. El perfil del cauce principal se puede evidenciar en la Grafica 9.

Grafica 8. Curva hipsométrica de la cuenca Caño Seco.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 9. Perfil del cauce principal de la cuenca Caño Seco (m).



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

4.2.1 Tiempos de concentración.

Los tiempos de concentración se estimaron por medio de las ecuaciones de Kirpich, Temez, la formula Californiana, Bransby-Williams, Giandotti y SCS. Están relacionados con la forma de la cuenca y se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que la totalidad de la cuenca contribuya al drenaje, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la divisoria de aguas hasta llegar a la salida de la misma.

Tabla 18. Estimación del tiempo de concentración de la unidad de la cuenca Caño Seco.

TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN		
FÓRMULA DE KIRPICH	**ECUACIÓN**	**Tc (min)**
Calcula el tiempo de concentración, Tc, en minutos, según la ecuación: Donde L la longitud del cauce principal de la cuenca, en metros, y S la diferencia entre las dos elevaciones extremas de la cuenca, en metros, dividida por L (es decir, la pendiente promedio del recorrido principal en m/m).	$T_c = 0.01947 L^{0.77} S^{-0.385}$	28.73
FÓRMULA DE TEMEZ	**ECUACIÓN**	**Tc (min)**

TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN		
Tc = Es el tiempo de concentración (min.) L = Longitud del cauce principal, en (km) S= Pendiente total del cauce principal, en (%)	$T_c = 18 * \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$	30.05
FÓRMULA CALIFORNIANA (DEL U.S.B.R.)	**ECUACIÓN**	**Tc (min)**
Es la expresión utilizada para el tiempo de concentración en el cálculo del hidrograma triangular del U.S. Bureau of Reclamation. Donde Tc en minutos, y L es la longitud y J la pendiente promedio del cauce principal de la cuenca, en Km y en m/m, respectivamente.	$T_c = \left(0.066\left(\frac{L}{J^{1/2}}\right)^{0.77}\right) * 60$	28.62
FÓRMULA DE BRANSBY – WILLIAMS	**ECUACIÓN**	**Tc (min)**
Tc = Es el tiempo de concentración (min.) L = Longitud del cauce desde la divisoria hasta la salida (m) H = Caída promedio del cauce (metros por cien metros) A = Área total de drenaje (m2)	$T_c = 0.14464\left[\frac{L}{H^{0.2}A^{0.1}}\right]$	70.02
FÓRMULA DE GIANDOTTI	**ECUACIÓN**	**Tc (min)**
Proporciona el tiempo de concentración de la cuenca, Tc , en minutos siendo L la longitud y J la pendiente promedio del cauce principal de la cuenca, en Km y en m/m, respectivamente y A la superficie de la cuenca en Km2.	$T_c = \left(\frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{25.3\sqrt{J * L}}\right) * 60$	72.38
FÓRMULA SCS	**ECUACIÓN**	**Tc (min)**
Proporciona el tiempo de concentración de la cuenca, Tc, en minutos siendo L la longitud y J la pendiente promedio del cauce principal de la cuenca, en Km y en m/m, respectivamente y NC el número de curva.	$T_c = \frac{\left(\frac{10}{6}\right) * L^{0.8} * [2540 - 22.86CN]^{0.7}}{14104 * CN^{0.7} * S^{0.5}}$	138.51

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

El tiempo de concentración para la cuenca Caño Seco, hasta la salida del caudal en el ***Punto Crítico 1***, tendrá como resultado un tiempo de concentración promedio de 61.384 minutos, aproximándose para posteriores cálculos a (1.023 horas). ***Nota***: El tiempo de concentración ajustado es de 60 minutos.

5 COBERTURAS.

Una vez obtenidos los principales parámetros morfométricos de la cuenca Caño Seco, se realizó la revisión de las cobertura y uso del suelo, para estimar el número de curva ponderado (NC).

Con la ayuda de los datos abiertos del IDEAM sobre coberturas “Corine 2018” a escala 1:100.000, se identificaron cuatro (4) tipos de cobertura distribuida en la cuenca Caño Seco. Los pastizales son el tipo de cobertura más predominante, con un 73.52% de ocupación, seguido por las áreas agrícolas heterogéneas con un 15.30% de ocupación, la vegetación herbácea y arbustivos están en tercer lugar con un 9.51% de ocupación y finalmente la zona urbanizada con un 1.65% de cobertura en la cuenca.

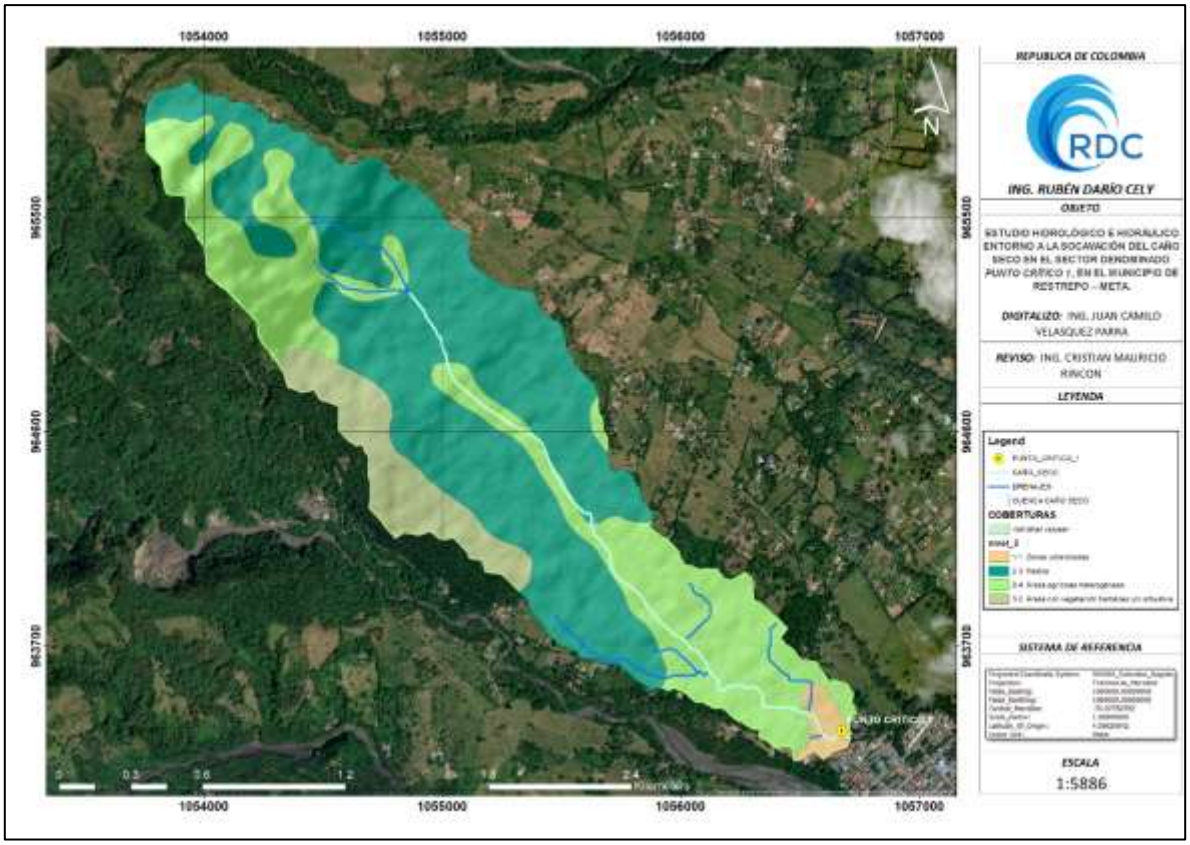
Estas coberturas en conjunto muestran un porcentaje total superior de ocupación del 89%%, los demás tipos de cobertura son descritos en la Tabla 19 y la ejemplificación de las mismas en la Figura 5.

Tabla 19. Coberturas de la unidad de la cuenca Caño Seco.

Uso	Área km²	% Área
Áreas agrícolas heterogéneas	0.4157	0.1531
Áreas con vegetación herbácea y arbustos	0.2583	0.0951
Zona urbanizada	0.0450	0.0166
Pastizales	1.9967	0.7352
TOTAL	**2.716**	**100%**

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Figura 5. Mapa de coberturas de la cuenca Caño Seco.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

5.1 Método del NRCS (USDA-NRCS, 2007) y numero de curva (CN).

El número de curva del método del NRCS en la cuenca estudiada, se estima a partir del grupo hidrológico del suelo, según en base a su uso y cobertura.

Tabla 20. Clasificación de suelos según el método de la N.R.C.S.

Clasificación del suelo para el método S.C.S.*	
Tipo A	**Bajo potencial de escorrentía.** Suelos con alta infiltración arenas con poco limo y arcilla y gravas profundas
Tipo B	**Moderadamente bajo potencial de escorrentía.** Suelos con ratas de infiltración moderadas, con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, arenas finas y limos.
Tipo C	**Moderadamente alto potencial de escorrentía.** Suelos de infiltración lenta, con bajo contenido de materia orgánica y alto contenido de arcillas, arenas arcillosas poco profundas y arcillas.
Tipo D	**Alto potencial de escorrentía.** Suelos con infiltración muy lenta, suelos arcillosos con alto potencial expansivo, suelos salinos con nivel freático alto y permanente.

Fuente: USDA-NRSC, 2007.

Tabla 21. Clasificación de suelos, descripción de los usos y grupo hidrológico.

Usos	Descripción de usos		Grupo hidrológico del suelo			
			A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamientos de conservación.		72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación.		62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres.		68	79	86	89
	Condiciones óptimas.		39	61	74	80
Vegas de rio	Condiciones óptimas.		30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas.		45	66	77	83
	Cubierta buena		25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campo de golf, cementerios, etc.	Óptimas condiciones: Cubierta de pasto en el 75% o mas		39	61	74	80
	Condiciones aceptables: Cubierta de pasto en el 50% al 75%		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios	85% impermeables		89	92	94	95
Distritos industriales	72% impermeables		81	88	91	93
Residencial	Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
	1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
	1/4 acre	38	61	75	83	87

Usos	Descripción de usos		Grupo hidrológico del suelo			
			A	B	C	D
	1/3 acre	30	57	72	81	86
	1/2 acre	25	54	70	80	85
	1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.			98	98	98	98
Calles y carreteras:	Pavimentos con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
	Grava		76	85	89	91
	Tierra		72	82	87	89

Fuente: USDA-NRSC, 2007.

Tabla 22. Clasificación del área de cobertura de la cuenca Caño Seco para el numero CN (número de cuenca).

CUENCA CAÑO SECO PUNTO CRÍTICO 1						
Uso	Descripción de Uso	Área km²	% Área	Tipo de suelo	CN	PONDERACIÓN
Áreas agrícolas heterogéneas	Con tratamientos de conservación	0.4157	0.1531	Grupo B	71	10.87
Áreas con vegetación herbácea y arbustos	Condiciones optimas	0.2583	0.0951	Grupo B	61	5.80
Zona urbanizada	1 Acre	0.0450	0.0166	Grupo B	88	1.46
Pastizales	72% impermeables	1.9967	0.7352	Grupo B	61	44.85
TOTAL		**2.716**	100%		CN PONDERADO	62.98

Fuente: USDA-NRSC, 2007 y Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 23. Determinación de parámetros morfo métricos con número CN para cuenca Caño Seco.

CURVA NUMERO (CN)	ALMACENAMIENTO POTENCIAL S (mm)	ABSTRACCIONES INICIALES Ia (mm)	Tiempo de retardo Lag (min)
63.0	149.31	29.86	36.00

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

6 ANALISIS DE DATOS DE PRECIPITACION.

6.1 Selección de estaciones de influencia.

En este segmento del estudio, se demarca de la influencia de cada una de las estaciones en la zona del proyecto empleando la metodología de los ***polígonos de Thiessen***. Este método permite definir cuáles estaciones del IDEAM tienen influencia directa sobre el área de estudio y le asigna a cada estación un peso ponderado de acuerdo con el porcentaje de área en la cuenca.

Este estudio muestra la ubicación de todas las estaciones pluviométricas de la zona con la finalidad de descartar o incluir las estaciones con información suficiente y consistente. Se tuvo en cuenta para el proceso de evaluación el tiempo de registro de cada estación, determinando un umbral de veinte (20) años de registros de lluvia continuos, desde 1998 hasta el 2017. De esta manera se muestran las estaciones cercanas al primer análisis de estudio, para la cuenca Caño Seco, véase la Tabla 24.

Tabla 24. Estaciones meteorológicas cerca al área de estudio y sus periodos de medición, cuenca Caño Seco (1998-2017).

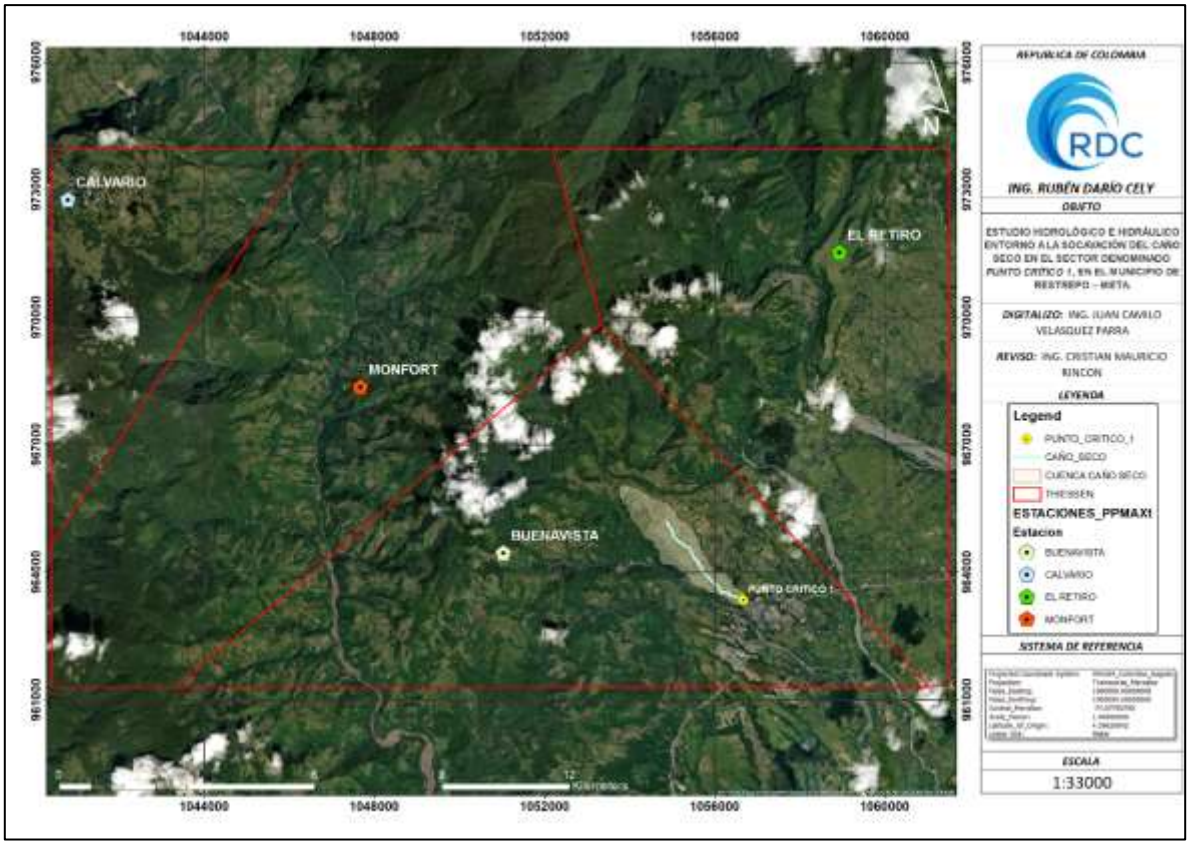
PERIODO DE REGISTRO ESTACIONES METEOROLÓGICAS																												
ESTACION	CODIGO	CATEGORIA	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CALVARIO	35030010	CP																									
EL RETIRO	35040010	PM																									

MONFORT	35030020	PM																								
BUENAVISTA	35030090	PV																								

Fuente: IDEAM, 2023.

De acuerdo a la metodología de los polígonos de Thiessen**,** fueron encontradas cuatro (4) estaciones cerca de la cuenca de estudio, dígase, cuenca Caño Seco, sin embargo, la cuenca se encuentra localizada dentro de la zona de influencia de una (1) única estación, dígase, ***estación Buenavista***. Es de esta manera que las dataciones de las precipitaciones máximas en 24 horas de esta estación serán utilizadas para apartados posteriores.

Figura 6.Polígonos de Thiessen y estaciones de precipitación influenciadas (Max 24hrs) para la cuenca Caño Seco.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

7 ANÁLISIS DE FRECUENCIAS.

Para medir la magnitud de caudales o precipitaciones asociados a evento extremos en un sitio de interés, a partir de la información histórica de caudales o precipitaciones respectivamente se emplea el procedimiento estadístico, el cual logra, calcular la magnitud de la variable en estudio asociado a un período de retorno puesto que, su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica.

Además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada. El análisis de frecuencias es un procedimiento para estimar la frecuencia de ocurrencia o probabilidad de ocurrencia de eventos pasados o futuros. De este modo, la representación gráfica de la probabilidad, con o sin suposiciones de distribuciones de probabilidad, es un método de análisis de frecuencias Santana (Citado por Fuentes, 2016).

Igualmente, el objetivo de este análisis de frecuencia de información hidrológica, es relacionar la magnitud de los eventos extremos y comunes, con su frecuencia de ocurrencia, mediante el uso de distribuciones de probabilidad. El análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas diarias, con métodos analíticos, provee de modelos de distribución tales como la Distribución Normal, Log-Normal y Distribución Gamma, ya que, en primera instancia, son las de mejor ajuste al tipo de información utilizada, al seleccionar, para cada serie, la de mejor ajuste.

7.1 Método Analítico.

Consiste en asumir que la serie de datos puede ser ajustada a través de una función de densidad de probabilidades (FDP) conocida. Esto requiere conocer las FDP y emplear pruebas de ajuste, siendo la más usada el test de Kolmogorov-Smirnov, (Citado por Fuentes, 2016).

7.2 Distribuciones de Probabilidad

A fin de realizar, el análisis de frecuencias, estas ocupan tres tipos de distribuciones de probabilidades: Normal, Log normal y Gamma. Ven Te Chow (Citado por Chow, Maidment y Mays, 1994).

7.3 Test de Bondad de Ajuste.

La aplicación de los test de bondad de ajuste, se realiza, a determinadas distribuciones, debido a que puede ayudar a seleccionar aquella que mejor represente la distribución de frecuencia de la población; obtenida de la experiencia hidrológica, para seleccionar una determinada distribución de frecuencia. A su vez, consiste en asumir que la serie de datos puede ser ajustada a través de una función de

densidad de probabilidades (FDP) conocida, Como: Test de bondad de ajuste se usará el método de Kolmogorov – Smirnov. (Citado por Canavos, 1988).

Antes de aplicar los pasos de análisis de frecuencias, se debe proceder a identificar los datos dudosos de la estación ***Buenavista.***

7.4. Método Water Resources Council -WRC -U.S.

El método del "Water Resources Council", recomienda la realización de ajuste de datos dudosos. Los datos dudosos son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. Los valores de kn para el sector analizado de estudio es de 20 años para un valor de 2.385, ver Tabla 25, se usó como prueba para detectar datos dudosos en el nivel 10% de significancia normalmente distribuida.

Tabla 25. Valores de Kn para la cuenca de estudio.



Valores K_n para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: U. S. Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de K_n de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada (Primera ed.). (J. G. Saldarriaga Valderrama, Trad.). ... Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.

Fuente: Chow,1994.

7.4.1. Identificación de datos dudosos estación Buenavista.

A continuación, se citan los resultados del proceso estadístico de los datos dudosos para la estación pluviografica que realizo la lectura de las precipitaciones máximas mensuales en 24 horas.

Tabla 26. Resultado de Método Wáter Resources Council, estación Buenavista.

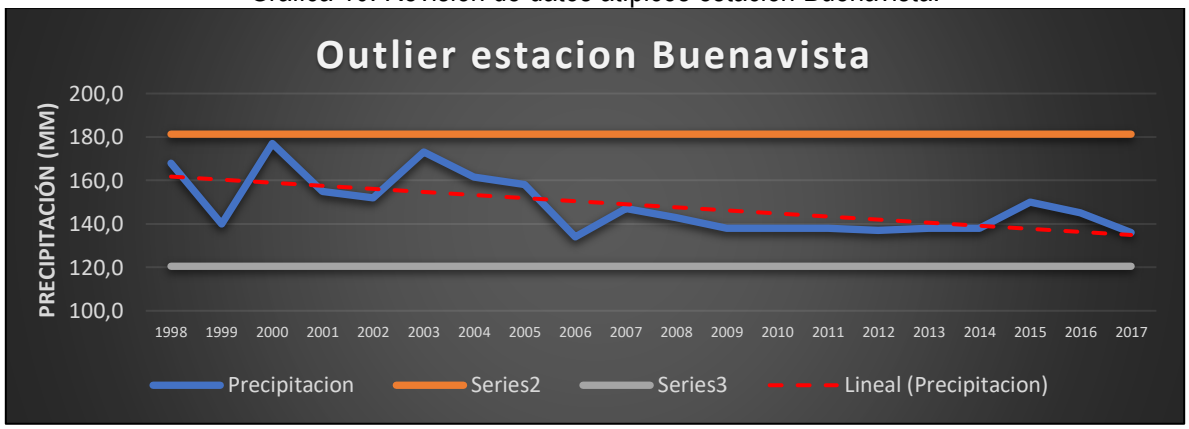
Estadísticos	Estación BUENAVISTA
Media Y(mm)	2.17
Desviación Estándar (mm)	0.04
Coeficiente de Asimetría (Adimensional)	0.856
YH (+)	2.26
Kn *(adimensional)	2.385
YL	2.08

Estadísticos	Estación BUENAVISTA
PH (+)	177.00
PH (-)	134.00

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

(+) Las unidades estadísticas definidas están en términos del log10 de los datos de precipitación máxima anual para cada estación (mm) para la estación Buenavista, se pudo observar que la asimetría (CS), esta entre +0.4 y -0.4, se tuvo que estimar datos dudosos altos y bajos.

Grafica 10. Revisión de datos atípicos estación Buenavista.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Luego de la revisión de los datos atípicos, se concluye que fue encontrado un (1) dato atípico que se alejaba de la tendencia estadística establecida, siendo este el valor perteneciente al mes de julio de 2004. El proceso de corrección de este dato dudoso consiste en la eliminación de dicho dato máximo y ser reemplazado el mismo por una lectura de cero (0), no realizándose así más modificaciones al compilado de datos originales. La identificación de los datos dudosos se realizó a través del método "***Water Resources Council -WRC -U. S***".

7.4.2. Selección de precipitación máxima multianual para la estación Buenavista.

Posterior a la selección de las estaciones o estación de influencia (Thiessen) y revisión de datos dudosos (outlier), se procede a realizar la exploración estadística primaria, se calculó la media, desviación estándar y el coeficiente de asimetría a los valores de precipitación máxima en 24 horas por año. Estos valores se pueden ver en la

Tabla 27.

Tabla 27. Datos de precipitación máxima en 24 horas para la cuenca Caño Seco (Est. Buenavista).

N° DE DATOS	AÑO	PPMAX24(mm)	$y = logx$
1	1998.000	167.900	2.225
2	1999.000	140.000	2.146
3	2000.000	177.000	2.248
4	2001.000	155.000	2.190
5	2002.000	152.000	2.182
6	2003.000	173.000	2.238
7	2004.000	161.600	2.208
8	2005.000	158.000	2.199
9	2006.000	134.000	2.127
10	2007.000	147.000	2.167
11	2008.000	143.000	2.155
12	2009.000	138.000	2.140
13	2010.000	138.000	2.140
14	2011.000	138.000	2.140
15	2012.000	137.000	2.137
16	2013.000	138.000	2.140
17	2014.000	138.000	2.140
18	2015.000	150.000	2.176
19	2016.000	145.000	2.161
20	2017.000	136.000	2.134
N° DE DATOS			**20**
MEDIA			**2.17**
DESV. EST.M (Sy)			**0.04**
COEF. ASIMET. Cs			**0.856**
MINIMO			**134.00**
MAXIMO			**177.00**

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

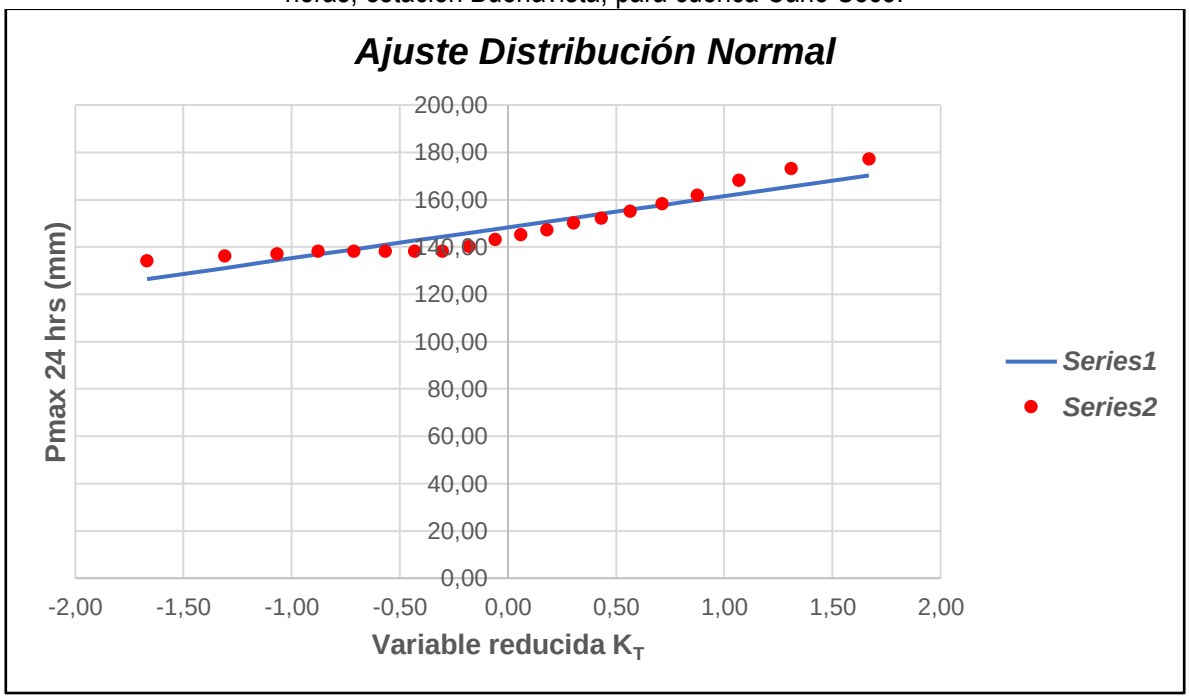
8. PROCESO ESTADÍSTICO PARA PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS.

En este apartado se retoma el análisis estadístico explicado en su marco teórico en el numeral 7 "***Análisis de frecuencias***", preliminarmente. Se analizan cinco (5) distribuciones de probabilidades obteniendo los resultados expuestos en las gráficas posteriores.

- Normal
- Log-Normal
- EV1 Gumbel
- Pearson III
- Log- Pearson III

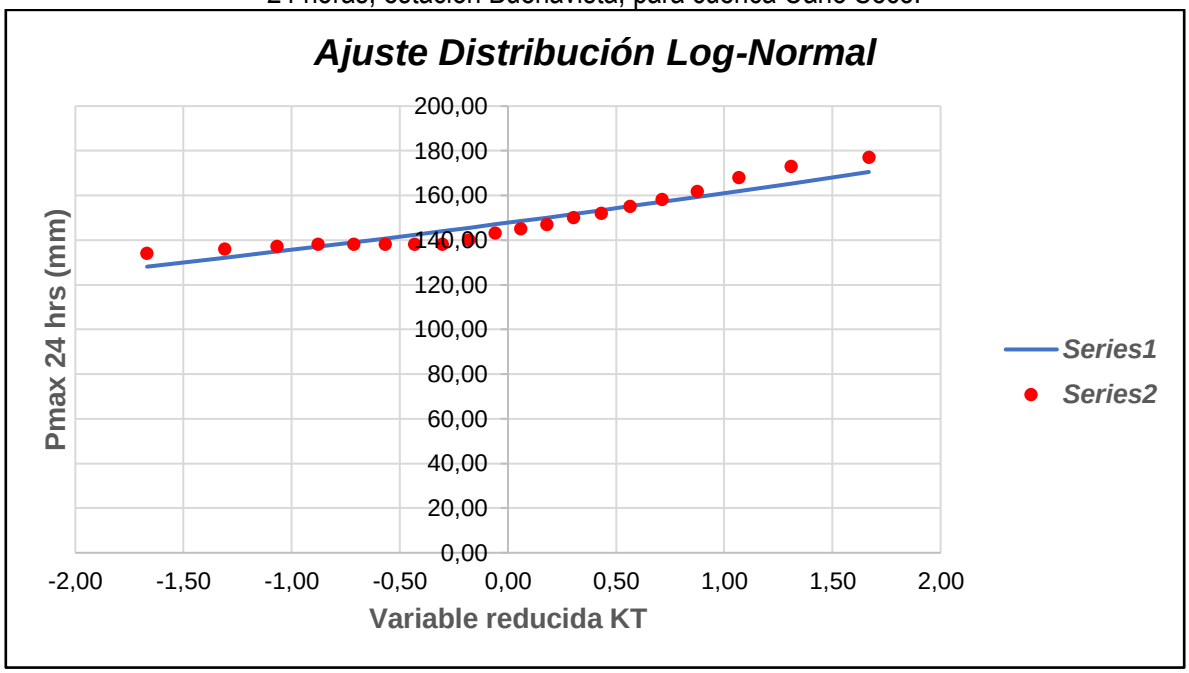
Estableciendo lo anterior, ahora se ponen a prueba los registros de las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Buenavista a través de las diversas distribuciones probabilísticas y determinar así cual logra el mejor ajuste. A continuación, los resultados.

Grafica 11. Análisis de distribuciones de probabilidad ***Normal*** precipitación máxima mensual en 24 horas, estación Buenavista, para cuenca Caño Seco.



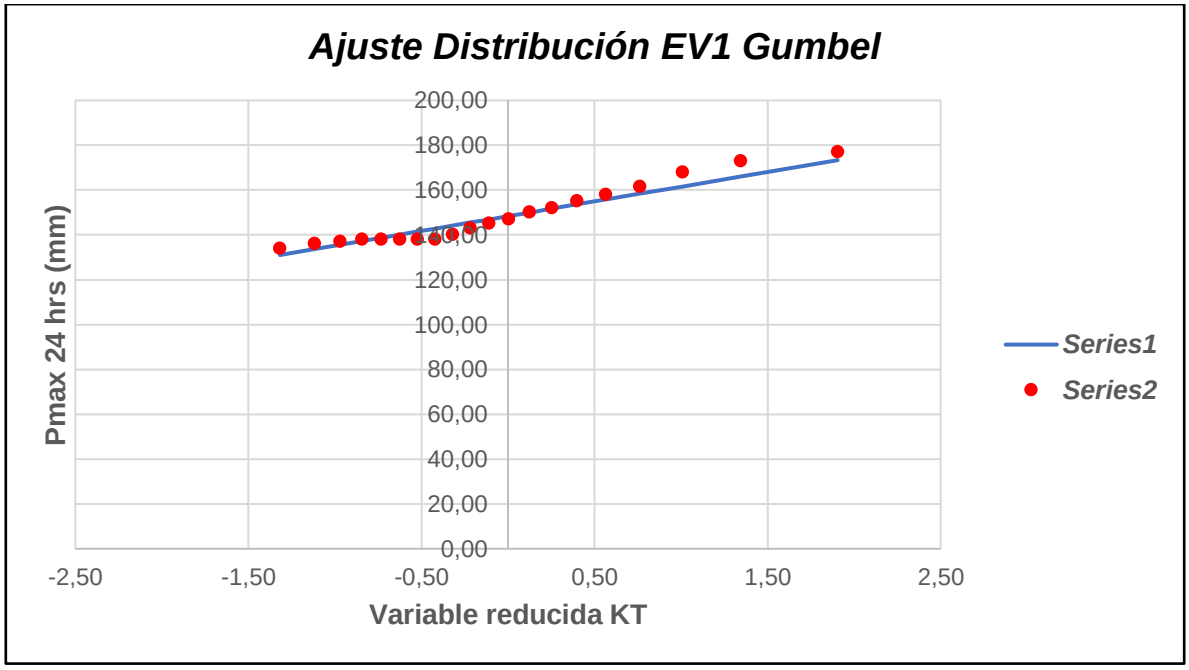
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 12. Análisis de distribuciones de probabilidad ***LOGNormal*** precipitación máxima mensual en 24 horas, estación Buenavista, para cuenca Caño Seco.



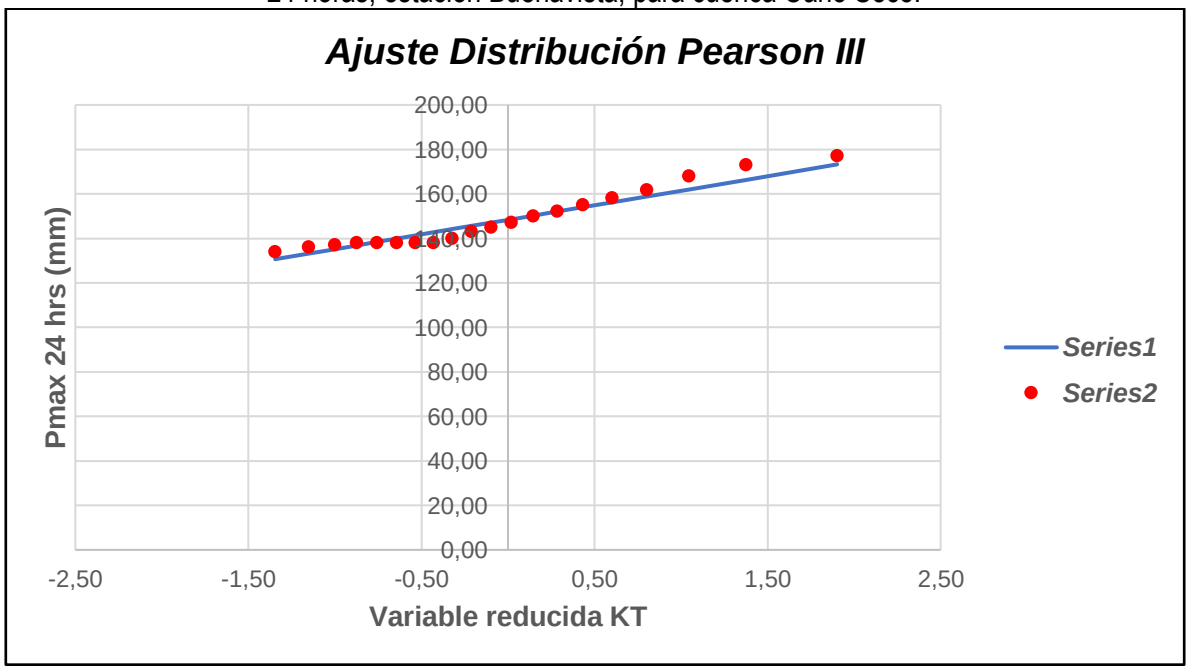
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 13. Análisis de distribuciones de probabilidad ***EV1 Gumbel*** precipitación máxima mensual en 24 horas, estación Buenavista, para cuenca Caño Seco.



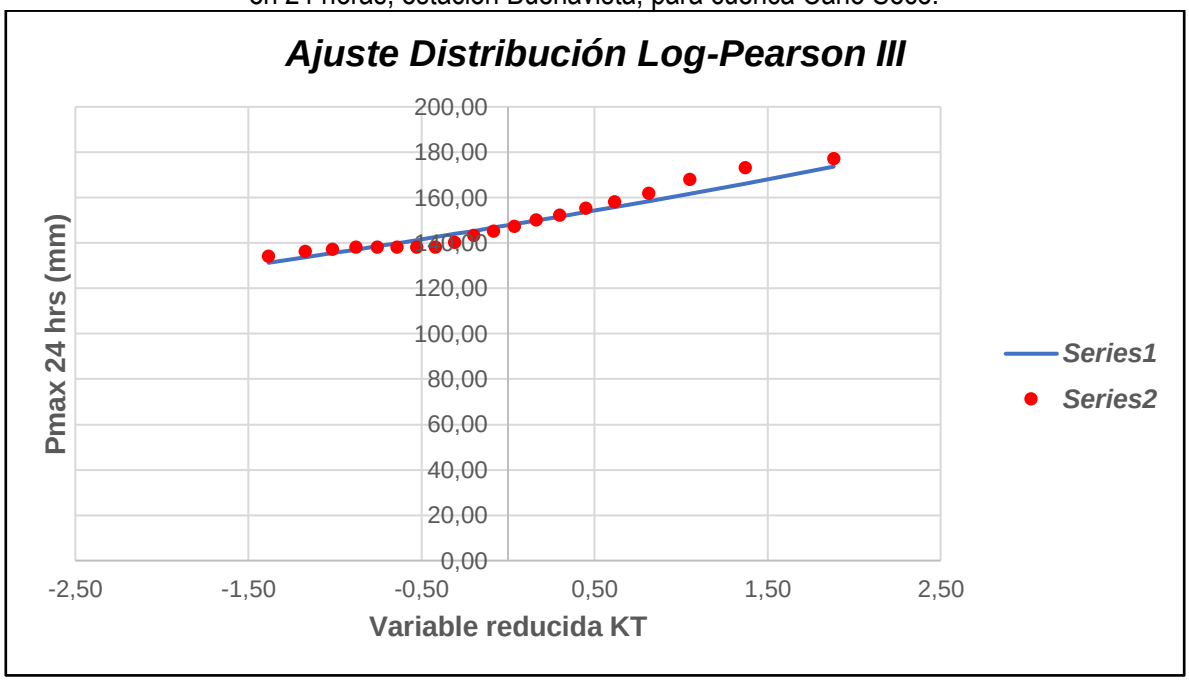
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 14. Análisis de distribuciones de probabilidad ***Pearson III*** precipitación máxima mensual en 24 horas, estación Buenavista, para cuenca Caño Seco.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 15. Análisis de distribuciones de probabilidad ***LOGPearson III*** precipitación máxima mensual en 24 horas, estación Buenavista, para cuenca Caño Seco.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

De las gráficas anteriores se determina que las cinco (5) distribuciones se ajustan para este caso de estudio en particular. Finalmente, se ajustó con una distribución "***Pearson III***" los valores de la lluvia para la estación Buenavista, para el rio Caño Seco. Es necesario tener en cuenta que la bondad del ajuste de la distribución Normal fue comprobada mediante la Prueba Kolmogorov – Smirnov con una confianza del 95%.

Tabla 28. Nivel de significación (α).

TAMAÑO DE MUESTRA	NIVEL DE SIGNIFICANCIA α				
n	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
1	0.9	0.1	0.975	0.99	0.995
2	0.684	0.776	0.842	0.9	0.929
3	0.565	0.636	0.708	0.689	0.829
4	0.493	0.565	0.624	0.689	0.829
5	0.477	0.509	0.563	0.627	0.669
6	0.41	0.468	0.519	0.577	0.617
7	0.381	0.436	0.483	0.538	0.576
8	0.359	0.41	0.454	0.507	0.542
9	0.339	0.387	0.43	0.48	0.513
10	0.323	0.369	0.409	0.457	0.486
11	0.308	0.352	0.391	0.437	0.468
12	0.295	0.338	0.375	0.419	0.449
13	0.285	0.325	0.361	0.404	0.432
14	0.275	0.314	0.349	0.39	0.418
15	0.266	0.304	0.338	0.377	0.404
20	0.232	0.265	0.294	0.329	0.352
25	0.208	0.238	0.264	0.295	0.317
30	0.19	0.218	0.242	0.27	0.29
40	0.165	0.189	0.21	0.235	0.252
n grande	$1.07/n^{1/2}$	$1.22/n^{1/2}$	$1.36/n^{1/2}$	$1.52/n^{1/2}$	$1.63/n^{1/2}$

Fuente: Fundamentos de hidrología Superficial, Aparicio F., 1992.

De la Tabla 28 se obtiene el valor de 0.294 para un nivel de significancia de 0.05 para el presente caso de estudio. Tabla 29. Resultados de prueba de bondad “Kolgomorov-Smironv”, Caño Seco.

ESTACIÓN BUENAVISTA													
					DOS PARAMETROS					GAMA 3 PARAMETROS			
			NORMAL		LOG-NORMAL			EV1-GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
m	x_m	$F_0(x_m)$	$F(x_m)$ Normal	Δ_{NORMAL}	$y_m=\log(x_n)$	$F(y_m)$ Log Normal	$\Delta_{LOG\ NORMAL}$	$F(x_m)$ EV1 Gumbel	$\Delta_{EV1\text{-}GUMBEL}$	$F(x_m)$ Pearson III	$\Delta_{PEARSON\ III}$	$F(y_m)$ LogPearson III	$\Delta_{LOG\text{-}PEARSON\ III}$
1	177.00	0.9524	0.9855	0.0332	5.1761	0.9823	0.0299	0.9665	0.0141	0.9676	0.0152	0.9652	0.0128
2	173.00	0.9048	0.9699	0.0652	5.1533	0.9669	0.0622	0.9509	0.0461	0.9507	0.0459	0.9491	0.0443
3	167.90	0.8571	0.9321	0.0749	5.1234	0.9317	0.0745	0.9204	0.0633	0.9175	0.0604	0.9180	0.0608
4	161.60	0.8095	0.8441	0.0345	5.0851	0.8513	0.0418	0.8577	0.0482	0.8503	0.0408	0.8547	0.0452
5	158.00	0.7619	0.7695	0.0075	5.0626	0.7820	0.0201	0.8040	0.0421	0.7943	0.0324	0.8012	0.0393
6	155.00	0.7143	0.6945	0.0198	5.0434	0.7107	0.0036	0.7464	0.0321	0.7357	0.0214	0.7445	0.0302
7	152.00	0.6667	0.6102	0.0564	5.0239	0.6283	0.0384	0.6756	0.0090	0.6655	0.0011	0.6754	0.0087
8	150.00	0.6190	0.5508	0.0683	5.0106	0.5685	0.0505	0.6208	0.0018	0.6123	0.0068	0.6221	0.0031
9	147.00	0.5714	0.4598	0.1116	4.9904	0.4748	0.0966	0.5278	0.0436	0.5235	0.0479	0.5318	0.0396
10	145.00	0.5238	0.4000	0.1238	4.9767	0.4118	0.1121	0.4598	0.0640	0.4595	0.0644	0.4657	0.0581
11	143.00	0.4762	0.3425	0.1337	4.9628	0.3501	0.1261	0.3888	0.0874	0.3929	0.0833	0.3962	0.0800
12	140.00	0.4286	0.2630	0.1656	4.9416	0.2635	0.1651	0.2818	0.1467	0.2919	0.1367	0.2897	0.1388
13	138.00	0.3810	0.2158	0.1652	4.9273	0.2117	0.1692	0.2144	0.1665	0.2269	0.1541	0.2211	0.1598
14	138.00	0.3333	0.2158	0.1176	4.9273	0.2117	0.1216	0.2144	0.1189	0.2269	0.1064	0.2211	0.1122
15	138.00	0.2857	0.2158	0.0699	4.9273	0.2117	0.0740	0.2144	0.0713	0.2269	0.0588	0.2211	0.0646
16	138.00	0.2381	0.2158	0.0223	4.9273	0.2117	0.0264	0.2144	0.0237	0.2269	0.0112	0.2211	0.0170
17	138.00	0.1905	0.2158	0.0253	4.9273	0.2117	0.0212	0.2144	0.0240	0.2269	0.0364	0.2211	0.0306
18	137.00	0.1429	0.1941	0.0513	4.9200	0.1880	0.0451	0.1831	0.0402	0.1960	0.0532	0.1886	0.0458
19	136.00	0.0952	0.1739	0.0786	4.9127	0.1658	0.0706	0.1538	0.0586	0.1667	0.0714	0.1579	0.0627
20	134.00	0.0476	0.1376	0.0900	4.8978	0.1263	0.0787	0.1027	0.0551	0.1136	0.0660	0.1032	0.0556

		Distribución	Normal	Log-Normal	EV1-Gumbel	Pearson III	LogPearson III
n	20						
Significación	0.05	Δ_{MAX}	0.1656	0.1692	0.1665	0.1541	0.1598
Δcritico por formula	0.295		Si se ajusta	Si se ajusta	Si se ajusta	Si se ajusta	Si se ajusta
Δcritico por tabla Aparicio F., 1992.	0.294	Mejor Ajuste	3	5	4	1	2

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

8.1. Curva intensidad, duración, frecuencia (IDF).

Para obtener la lluvia de diseño de la cuenca se emplearon los valores máximos de precipitaciones promedio en 24 horas para un periodo comprendido desde el 1998 al 2017, de la estación seleccionada para la cuenca de estudio y mencionada en el numeral 6 "***Análisis de datos de precipitación***", de allí se generó la curva IDF sintética. Aunque existe un número importante de distribuciones de probabilidad empleadas en hidrología, son sólo unas cuantas las comúnmente utilizadas, debido a que los datos hidrológicos de diversos tipos han probado en repetidas ocasiones ajustarse satisfactoriamente a un cierto modelo teórico. En este estudio se empleó la distribución ***Pearson III***, la cual tuvo un buen ajuste de confianza.

Tabla 30. Registros pluviométricos estación Buenavista, distribución Pearson III, Caño Seco.

PRECIPITACIONES MAXIMAS ANUALES EN 24 HORAS

ESTACIÓN BUENAVISTA

Promedio : x = 148.3250 y = 4.9958
Desviación estándar : s = 13.1266 sy = 0.0857
Cs/6 : k = 0.1601 k = 0.1427

T	P(X≤XT)	NORMAL		LOGNORMAL			EV1-GUMBEL		PEARSON III		LOG-PEARSON III			P max (mm)	P_{MAX} (corregida) mm
		K_T	x_T	K_T	x_T	e^{x_T}	K_T	x_T	K_T	x_T	K_T	x_T	e^{x_T}		
2	0.5000	0.00	148.3250	0.0000	5.00	147.7975	-0.1643	146.17	-0.16	146.28	-0.14	4.98	146.04	146.28	165.29
3	0.6667	0.43	153.9790	0.4307	5.03	153.3539	0.2538	151.66	0.28	152.03	0.30	5.02	151.65	152.03	171.80
5	0.8000	0.84	159.3726	0.8416	5.07	158.8490	0.7195	157.77	0.76	158.28	0.77	5.06	157.89	158.28	178.86
10	0.9000	1.28	165.1474	1.2816	5.11	164.9509	1.3046	165.45	1.33	165.85	1.33	5.11	165.69	165.85	187.41
20	0.9500	1.64	169.9164	1.6449	5.14	170.1662	1.8658	172.82	1.87	172.82	1.85	5.15	173.14	172.82	195.28
25	0.9600	1.75	171.3056	1.7507	5.15	171.7163	2.0438	175.15	2.03	174.97	2.01	5.17	175.50	174.97	197.72
50	0.9800	2.05	175.2838	2.0537	5.17	176.2336	2.5923	182.35	2.53	181.48	2.48	5.21	182.78	181.48	205.08
100	0.9900	2.33	178.8621	2.3263	5.20	180.3982	3.1367	189.50	3.00	187.77	2.93	5.25	190.05	187.77	212.18
200	0.9950	2.58	182.1369	2.5758	5.22	184.2959	3.6791	196.62	3.47	193.89	3.38	5.29	197.37	193.89	219.09
300	0.9967	2.71	183.9382	2.7131	5.23	186.4755	3.9959	200.78	3.74	197.40	3.63	5.31	201.69	197.40	223.07
500	0.9980	2.88	186.1056	2.8782	5.24	189.1323	4.3947	206.01	4.07	201.79	3.94	5.33	207.19	201.79	228.02
1000	0.9990	3.09	188.8893	3.0902	5.26	192.6003	4.9355	213.11	4.52	207.66	4.36	5.37	214.76	207.66	234.65

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 31. Estadísticas de las intensidades máximas anuales de 24 horas.

PARAMETRO	UNIDAD
Media (X)	mm
Desviación estándar (S)	mm

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Finalmente se tiene la ecuación de intensidad válida para las cuencas estudiadas, luego de unos procesos de regresión estadística:

$$I = \frac{K * Tr^m}{t^n}$$

Donde,

- ***I*** = Intensidad de precipitación (mm/h).
- ***Tr*** = Periodo de retorno (años).
- ***t*** = Tiempo de duración de precipitación (min).
- ***K, m, n*** = Valores calculados.

Cuenca Caño Seco.

K=	1586.7

m=	0.0567
n=	0.75

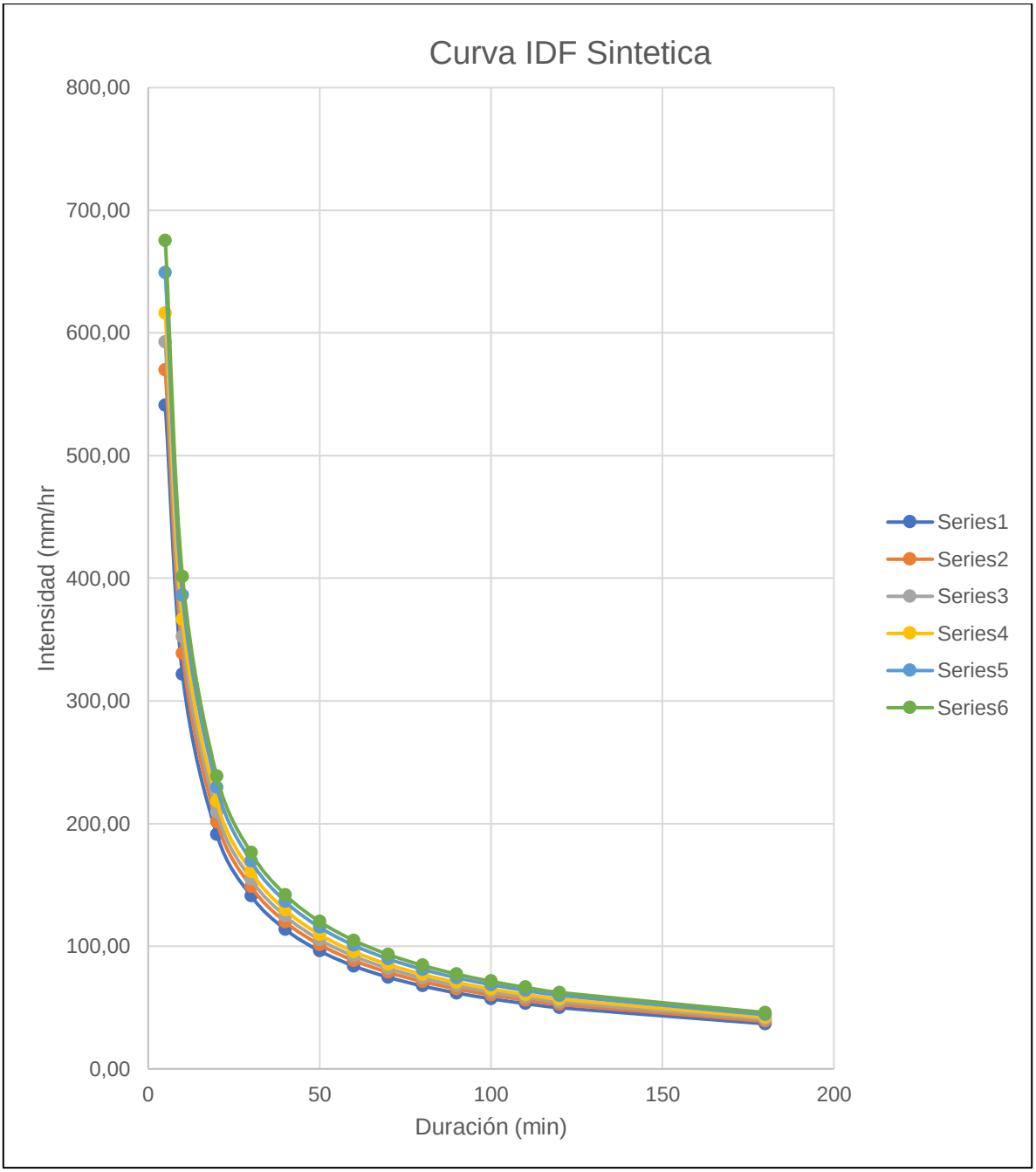
Tabla 32. Intensidad - Tiempo de duración - Período de retorno, Caño Seco.

Duración (t) minutos	Período de Retorno (T) en años					
	10	25	50	100	250	500
5	540.75	569.60	592.45	616.21	649.09	675.13
10	321.53	338.69	352.27	366.40	385.95	401.43
20	191.18	201.39	209.46	217.86	229.49	238.69
30	141.05	148.58	154.54	160.74	169.31	176.11
40	113.68	119.74	124.55	129.54	136.46	141.93
50	96.16	101.29	105.35	109.58	115.43	120.06
60	83.87	88.35	91.89	95.58	100.68	104.71
70	74.71	78.70	81.86	85.14	89.68	93.28
80	67.59	71.20	74.06	77.03	81.14	84.39
90	61.88	65.18	67.79	70.51	74.28	77.26
100	57.18	60.23	62.64	65.16	68.63	71.39
110	53.23	56.07	58.32	60.66	63.90	66.46
120	49.87	52.53	54.64	56.83	59.86	62.26
180	36.79	38.76	40.31	41.93	44.17	45.94

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

La curva IDF sintética se muestra en la Grafica 16.

Grafica 16. Curvas IDF sintéticas, estación Buenavista, cuenca Caño Seco.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

9. ANÁLISIS DE LOS CAUDALES MÁXIMOS DE CRECIENTES.

Una de las principales aplicaciones hidrológicas es la estimación de caudales de máximas crecidas para determinados periodos de retorno para el dimensionamiento de obras de infraestructura como lo son puentes que cruzan cuerpos hídricos u obras de construcción en las márgenes de los cuerpos de agua, como lo son muros de protección.

9.1. Tormenta de diseño.

La tormenta de diseño se generó por el método de bloques alternos, de acuerdo al capítulo 2 del "***Manual de drenaje de carreteras del INVIAS***". Para la construcción de las curvas de masa de precipitación y según el procedimiento recomendado, se calcula la duración del aguacero de diseño para la hoya seleccionada, mediante observación de los diferentes "pluviogramas" analizados, enfatizando que la duración deberá ser, ***como mínimo***, igual al tiempo de concentración de la hoya (cuenca), cabe aclarar que esto siempre y cuando la respuesta final (hidrograma), sea la esperada a las crecidas máximas en el sector de estudio, en caso contrario el Tc tendría que ser evaluado como una duración de: Tormenta o aguacero de diseño > Tiempo de concentración, para no llegar a subestimar los caudales.

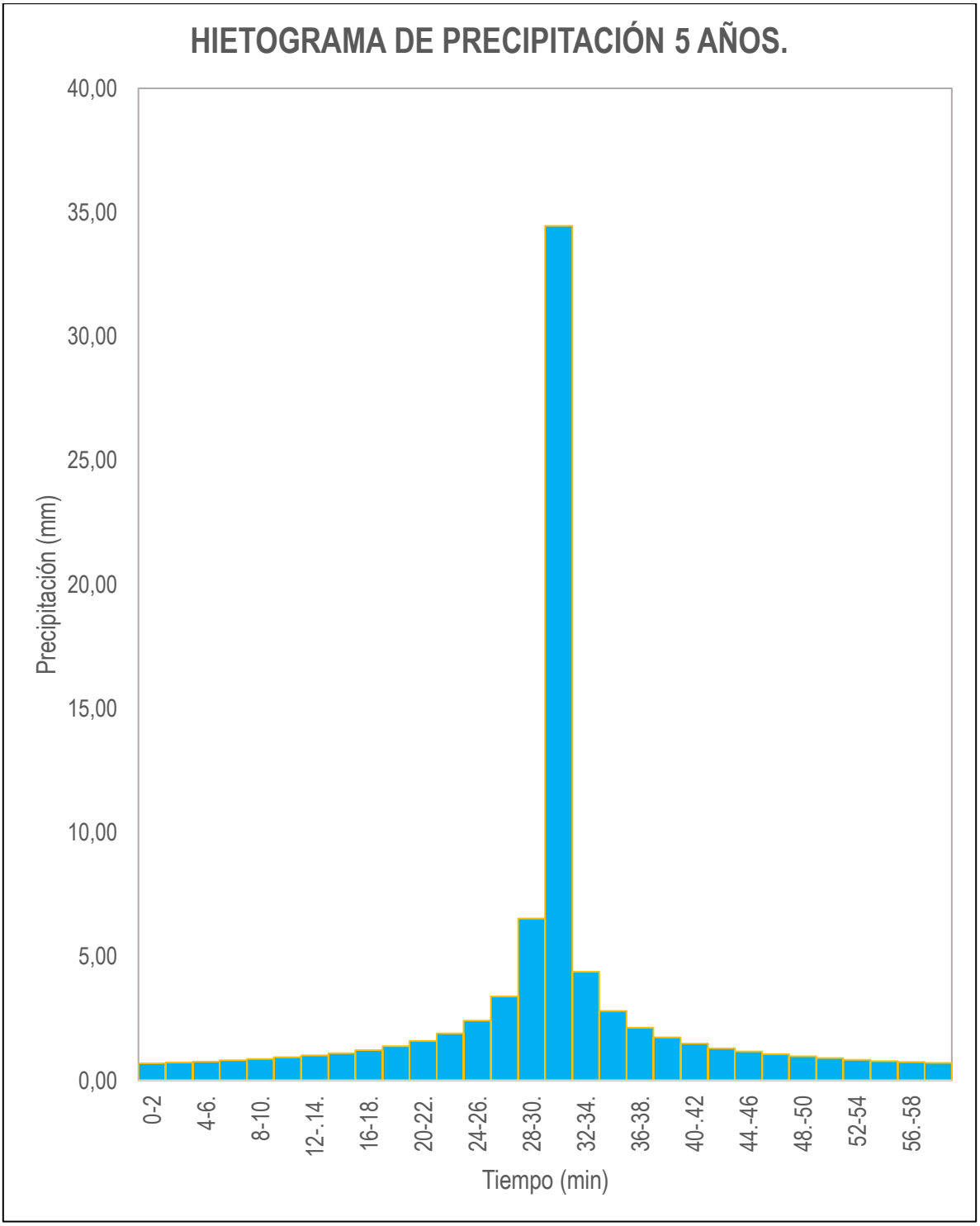
A continuación, se muestran los modelos de hietogramas para los periodos de retorno de cinco (5), quince (15), veinticinco (25), cien (100) y quinientos (500) años para la cuenca Caño Seco, a la altura del ***Punto Crítico 1***.

Tabla 33. Método de bloque alterno para periodo de retorno de cinco (5) años para Caño Seco.

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
2.00	1033.64	34.45	34.45	0-2	0.68
4.00	614.61	40.97	6.52	2-4.	0.72
6.00	453.45	45.35	4.37	4-6.	0.76
8.00	365.45	48.73	3.38	6-8.	0.81
10.00	309.13	51.52	2.80	8-10.	0.86
12.00	269.62	53.92	2.40	10-12.	0.93
14.00	240.19	56.04	2.12	12-.14.	1.01
16.00	217.30	57.95	1.90	14-16.	1.10
18.00	198.92	59.68	1.73	16-18.	1.22
20.00	183.81	61.27	1.59	18-20.	1.38
22.00	171.13	62.75	1.48	20-22.	1.59
24.00	160.32	64.13	1.38	22-24.	1.90
26.00	150.98	65.42	1.30	24-26.	2.40
28.00	142.82	66.65	1.22	26-28.	3.38
30.00	135.61	67.81	1.16	28-30.	6.52
32.00	129.21	68.91	1.10	30-32.	34.45
34.00	123.46	69.96	1.05	32-34.	4.37
36.00	118.28	70.97	1.01	34-36.	2.80
38.00	113.58	71.93	0.97	36-38.	2.12
40.00	109.29	72.86	0.93	38-40.	1.73
42.00	105.37	73.76	0.89	40-.42	1.48
44.00	101.75	74.62	0.86	42.44	1.30
46.00	98.42	75.45	0.83	44.-46	1.16
48.00	95.33	76.26	0.81	46.-48	1.05
50.00	92.45	77.04	0.78	48.-50	0.97
52.00	89.77	77.80	0.76	50.-52	0.89
54.00	87.27	78.54	0.74	52-54	0.83
56.00	84.92	79.26	0.72	54.-56	0.78
58.00	82.71	79.96	0.70	56.-58	0.74
60.00	80.64	80.64	0.68	58.-60	0.70

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 17. Hietograma de precipitación, periodo de retorno de cinco (5) años para Caño Seco.



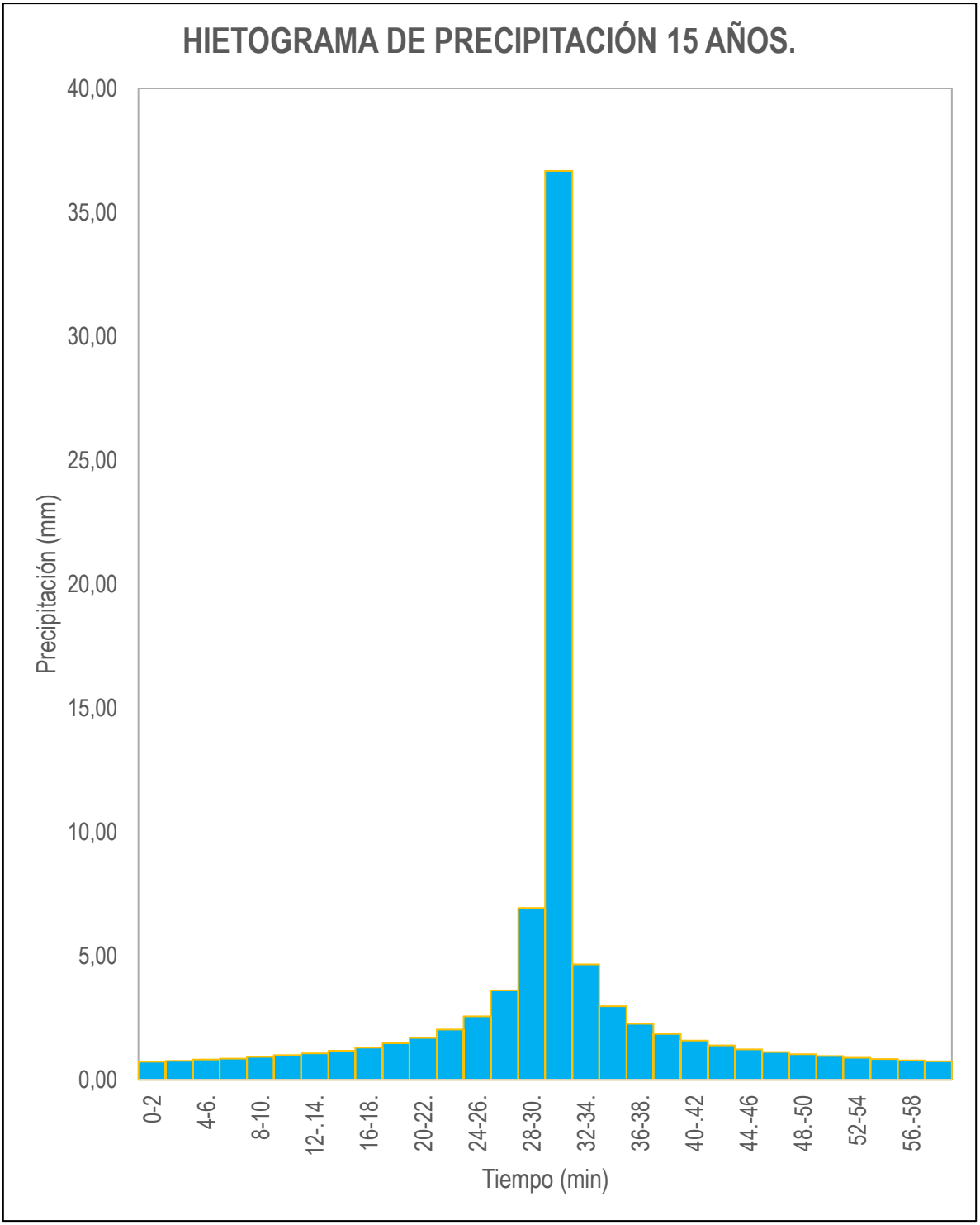
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 34. Método de bloque alterno para periodo de retorno de quince (15) años para Caño Seco.

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
2.00	1100.12	36.67	36.67	0-2	0.72
4.00	654.14	43.61	6.94	2-4.	0.76
6.00	482.61	48.26	4.65	4-6.	0.81
8.00	388.95	51.86	3.60	6-8.	0.86
10.00	329.01	54.84	2.98	8-10.	0.92
12.00	286.96	57.39	2.56	10-12.	0.99
14.00	255.63	59.65	2.25	12-.14.	1.07
16.00	231.27	61.67	2.02	14-16.	1.17
18.00	211.72	63.52	1.84	16-18.	1.30
20.00	195.63	65.21	1.70	18-20.	1.47
22.00	182.14	66.78	1.57	20-22.	1.70
24.00	170.63	68.25	1.47	22-24.	2.02
26.00	160.69	69.63	1.38	24-26.	2.56
28.00	152.00	70.93	1.30	26-28.	3.60
30.00	144.34	72.17	1.23	28-30.	6.94
32.00	137.52	73.34	1.17	30-32.	36.67
34.00	131.40	74.46	1.12	32-34.	4.65
36.00	125.89	75.53	1.07	34-36.	2.98
38.00	120.89	76.56	1.03	36-38.	2.25
40.00	116.32	77.55	0.99	38-40.	1.84
42.00	112.14	78.50	0.95	40-.42	1.57
44.00	108.30	79.42	0.92	42.44	1.38
46.00	104.75	80.31	0.89	44.-46	1.23
48.00	101.46	81.17	0.86	46.-48	1.12
50.00	98.40	82.00	0.83	48.-50	1.03
52.00	95.55	82.81	0.81	50.-52	0.95
54.00	92.88	83.59	0.78	52-54	0.89
56.00	90.38	84.35	0.76	54.-56	0.83
58.00	88.03	85.10	0.74	56.-58	0.78
60.00	85.82	85.82	0.72	58.-60	0.74

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 18. Hietograma de precipitación, periodo de retorno de quince (15) años para Caño Seco.



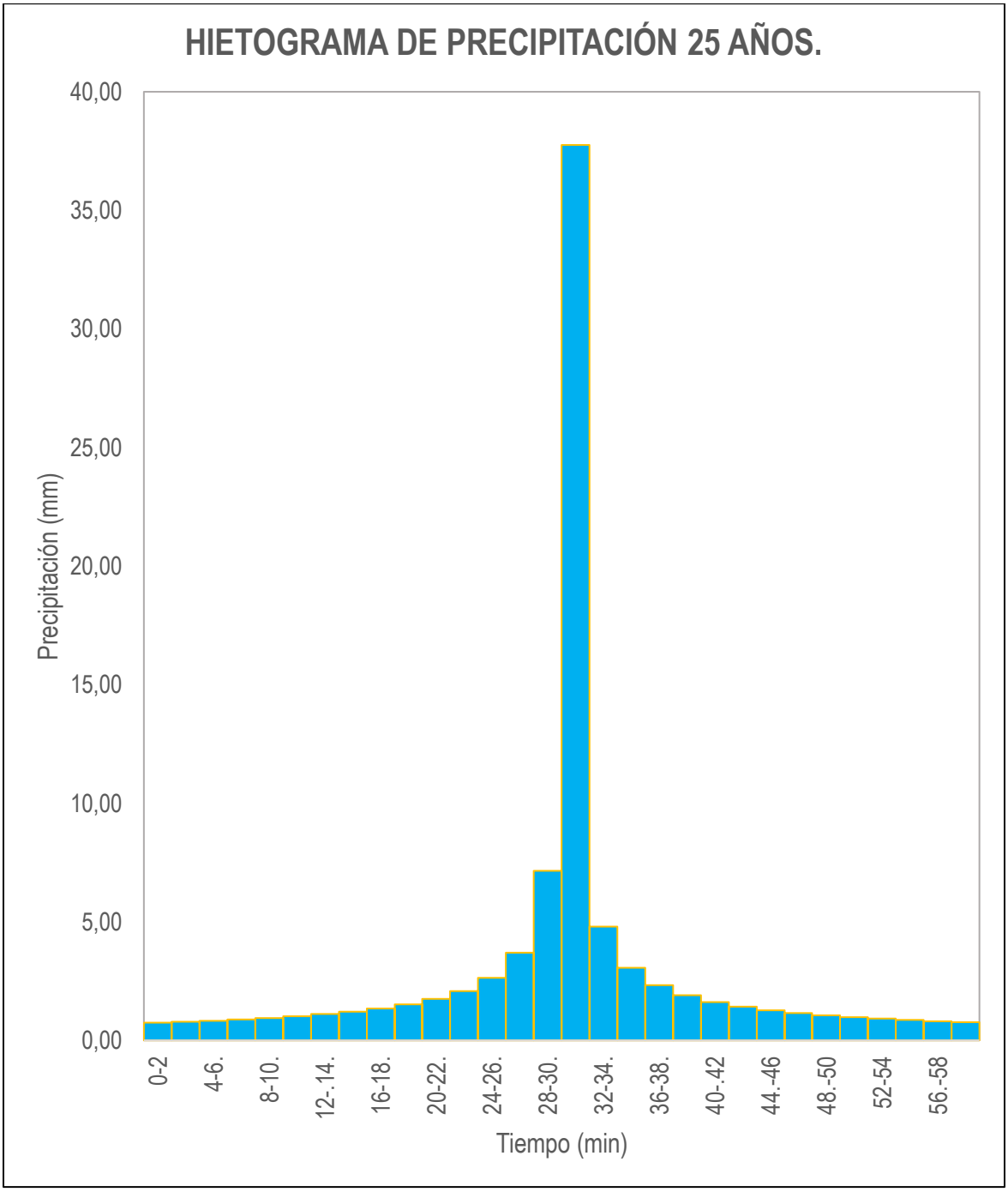
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 35. Método de bloque alterno para periodo de retorno de veinticinco (25) años para Caño Seco.

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
2.00	1132.47	37.75	37.75	0-2	0.75
4.00	673.37	44.89	7.14	2-4.	0.79
6.00	496.81	49.68	4.79	4-6.	0.83
8.00	400.39	53.39	3.70	6-8.	0.88
10.00	338.69	56.45	3.06	8-10.	0.95
12.00	295.40	59.08	2.63	10-12.	1.02
14.00	263.15	61.40	2.32	12-.14.	1.10
16.00	238.07	63.49	2.08	14-16.	1.21
18.00	217.94	65.38	1.90	16-18.	1.34
20.00	201.39	67.13	1.75	18-20.	1.51
22.00	187.49	68.75	1.62	20-22.	1.75
24.00	175.65	70.26	1.51	22-24.	2.08
26.00	165.41	71.68	1.42	24-26.	2.63
28.00	156.47	73.02	1.34	26-28.	3.70
30.00	148.58	74.29	1.27	28-30.	7.14
32.00	141.56	75.50	1.21	30-32.	37.75
34.00	135.27	76.65	1.15	32-34.	4.79
36.00	129.59	77.75	1.10	34-36.	3.06
38.00	124.44	78.81	1.06	36-38.	2.32
40.00	119.74	79.83	1.02	38-40.	1.90
42.00	115.44	80.81	0.98	40-.42	1.62
44.00	111.48	81.75	0.95	42.44	1.42
46.00	107.83	82.67	0.91	44.-46	1.27
48.00	104.44	83.55	0.88	46.-48	1.15
50.00	101.29	84.41	0.86	48.-50	1.06
52.00	98.36	85.24	0.83	50.-52	0.98
54.00	95.61	86.05	0.81	52-54	0.91
56.00	93.04	86.84	0.79	54.-56	0.86
58.00	90.62	87.60	0.77	56.-58	0.81
60.00	88.35	88.35	0.75	58.-60	0.77

Fuente: Elaboración del autor, 2023

Grafica 19. Hietograma de precipitación, periodo de retorno de veinticinco (25) años para Caño Seco.



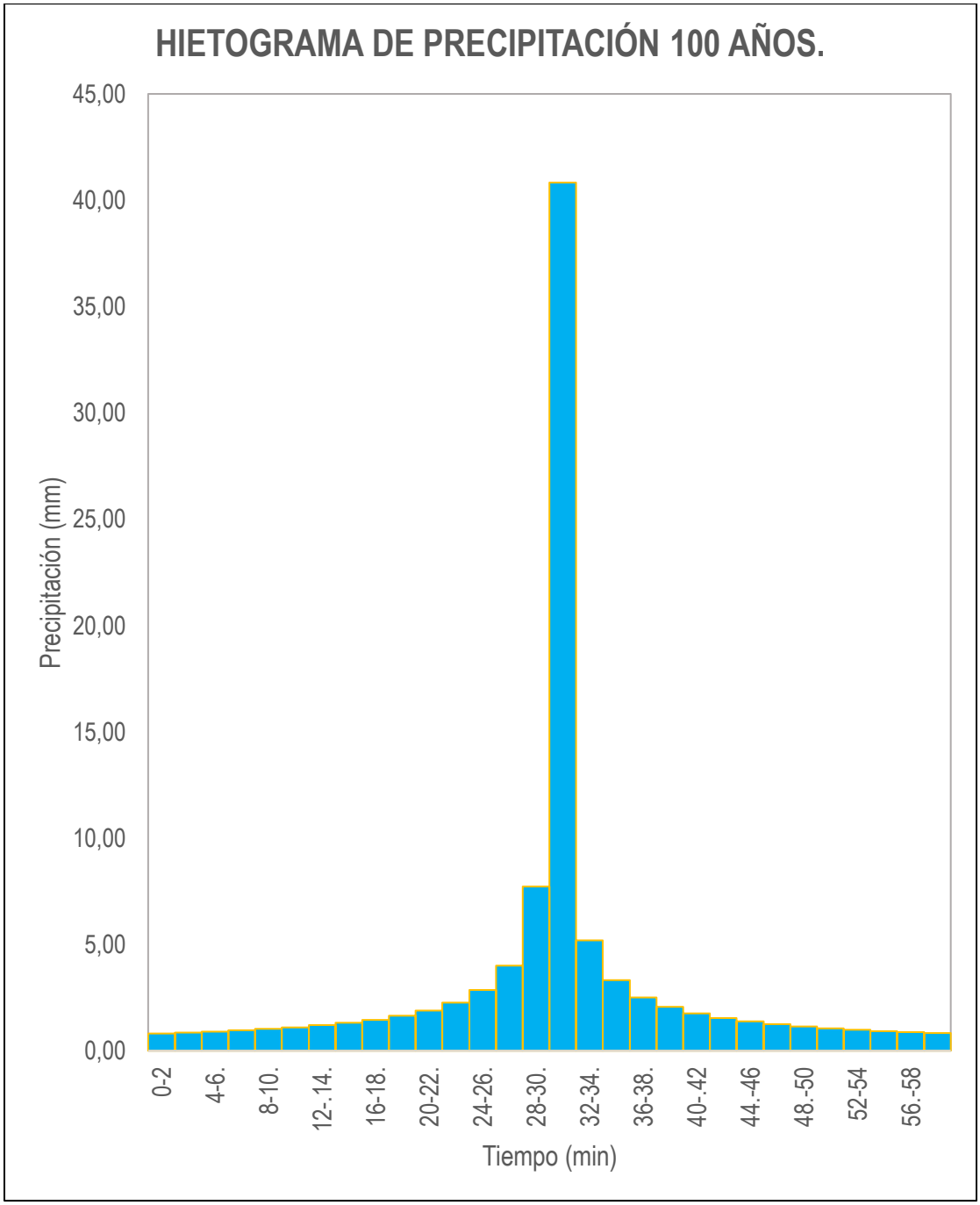
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 36. Método de bloque alterno para periodo de retorno de cien (100) años para Caño Seco.

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
2.00	1225.14	40.84	40.84	0-2	0.81
4.00	728.47	48.56	7.73	2-4.	0.85
6.00	537.46	53.75	5.18	4-6.	0.90
8.00	433.15	57.75	4.01	6-8.	0.96
10.00	366.40	61.07	3.31	8-10.	1.02
12.00	319.57	63.91	2.85	10-12.	1.10
14.00	284.68	66.43	2.51	12-.14.	1.19
16.00	257.55	68.68	2.25	14-16.	1.31
18.00	235.78	70.73	2.05	16-18.	1.45
20.00	217.86	72.62	1.89	18-20.	1.64
22.00	202.83	74.37	1.75	20-22.	1.89
24.00	190.02	76.01	1.64	22-24.	2.25
26.00	178.95	77.54	1.54	24-26.	2.85
28.00	169.27	78.99	1.45	26-28.	4.01
30.00	160.74	80.37	1.37	28-30.	7.73
32.00	153.14	81.68	1.31	30-32.	40.84
34.00	146.34	82.92	1.25	32-34.	5.18
36.00	140.19	84.12	1.19	34-36.	3.31
38.00	134.62	85.26	1.14	36-38.	2.51
40.00	129.54	86.36	1.10	38-40.	2.05
42.00	124.89	87.42	1.06	40-.42	1.75
44.00	120.61	88.44	1.02	42.44	1.54
46.00	116.65	89.43	0.99	44.-46	1.37
48.00	112.99	90.39	0.96	46.-48	1.25
50.00	109.58	91.32	0.93	48.-50	1.14
52.00	106.40	92.22	0.90	50.-52	1.06
54.00	103.43	93.09	0.87	52-54	0.99
56.00	100.65	93.94	0.85	54.-56	0.93
58.00	98.04	94.77	0.83	56.-58	0.87
60.00	95.58	95.58	0.81	58.-60	0.83

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 20. Hietograma de precipitación, periodo de retorno de cien (100) años para Caño Seco.



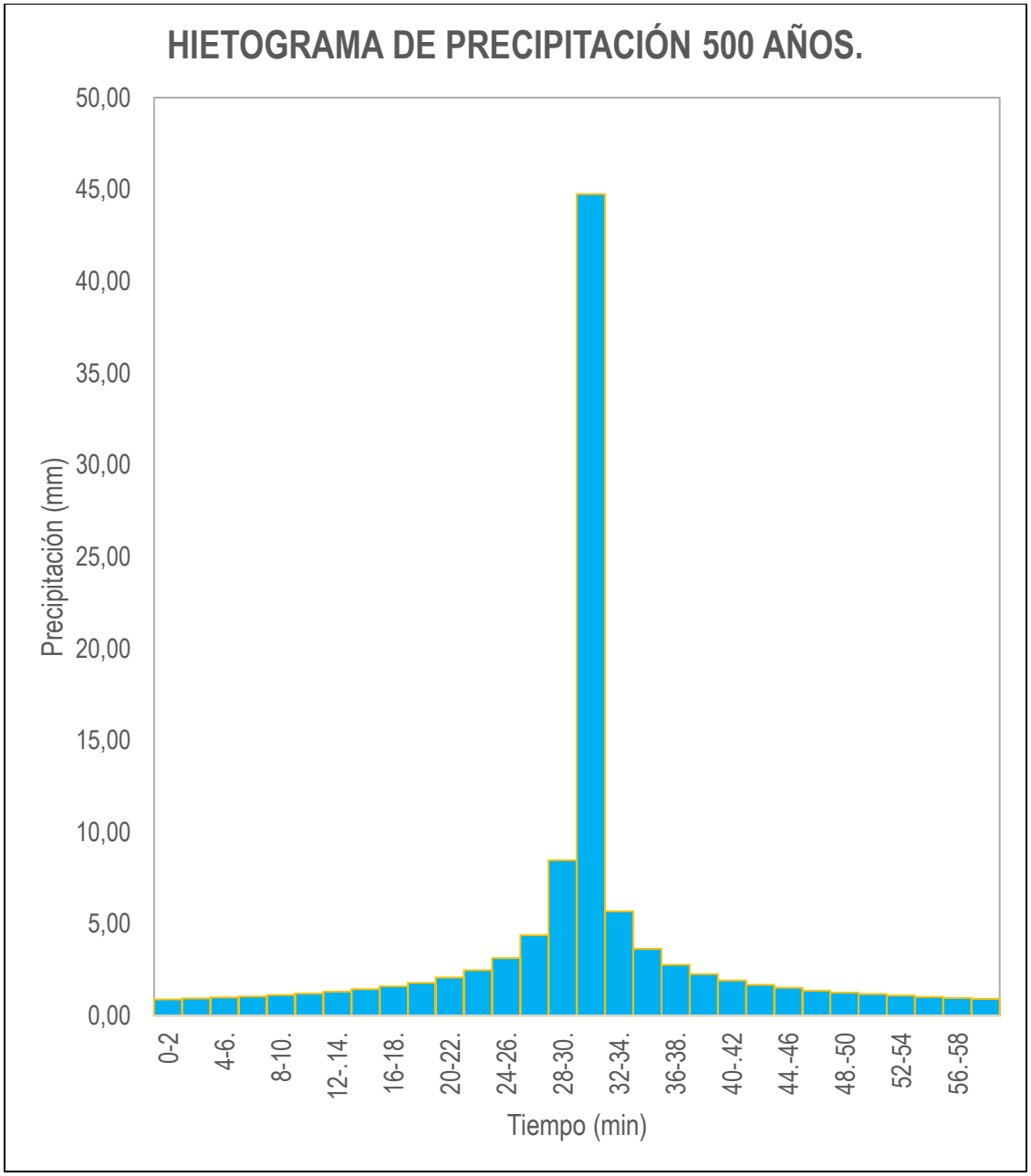
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 37. Método de bloque alterno para periodo de retorno de quinientos (500) años para Caño Seco.

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
2.00	1342.28	44.74	44.74	0-2	0.88
4.00	798.12	53.21	8.47	2-4.	0.93
6.00	588.85	58.88	5.68	4-6.	0.99
8.00	474.57	63.28	4.39	6-8.	1.05
10.00	401.43	66.91	3.63	8-10.	1.12
12.00	350.13	70.03	3.12	10-12.	1.21
14.00	311.90	72.78	2.75	12-.14.	1.31
16.00	282.18	75.25	2.47	14-16.	1.43
18.00	258.32	77.50	2.25	16-18.	1.59
20.00	238.69	79.56	2.07	18-20.	1.79
22.00	222.23	81.48	1.92	20-22.	2.07
24.00	208.19	83.28	1.79	22-24.	2.47
26.00	196.06	84.96	1.68	24-26.	3.12
28.00	185.46	86.55	1.59	26-28.	4.39
30.00	176.11	88.05	1.51	28-30.	8.47
32.00	167.78	89.49	1.43	30-32.	44.74
34.00	160.33	90.85	1.37	32-34.	5.68
36.00	153.60	92.16	1.31	34-36.	3.63
38.00	147.49	93.41	1.25	36-38.	2.75
40.00	141.93	94.62	1.21	38-40.	2.25
42.00	136.83	95.78	1.16	40-.42	1.92
44.00	132.14	96.90	1.12	42.44	1.68
46.00	127.80	97.98	1.08	44.-46	1.51
48.00	123.79	99.03	1.05	46.-48	1.37
50.00	120.06	100.05	1.02	48.-50	1.25
52.00	116.58	101.03	0.99	50.-52	1.16
54.00	113.32	101.99	0.96	52-54	1.08
56.00	110.27	102.92	0.93	54.-56	1.02
58.00	107.41	103.83	0.91	56.-58	0.96
60.00	104.71	104.71	0.88	58.-60	0.91

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Grafica 21. Hietograma de precipitación, periodo de retorno de quinientos (500) años para Caño Seco.



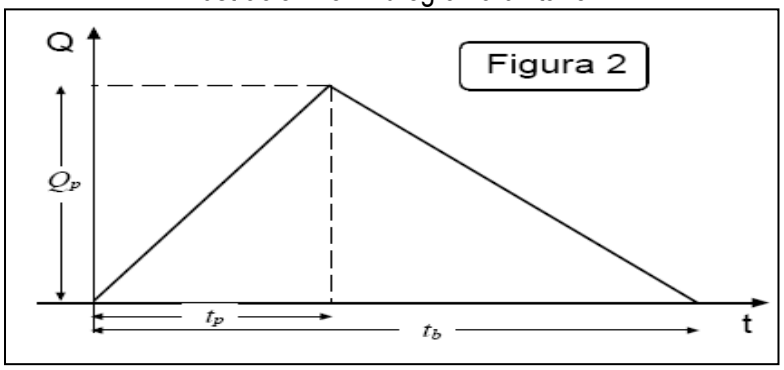
Fuente: Elaboración del autor, 2023.

9.2. Caudal de máxima creciente.

El método del NRCS, desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los EE.UU, tiene como referencia básica el National Engineering Handbook, parte 630 “Hydrology”

(USDANRCS, 2007). El método ha sido desarrollado para estimar el volumen de escurrimiento y el hidrograma de crecidas para pequeñas cuencas no aforadas. El método calcula el volumen de escurrimiento de eventos extremos a partir de la precipitación, las características del suelo, cobertura de la cuenca y condiciones antecedentes de humedad.

Ilustración 13. Hidrograma unitario.



Fuente: Manual de pequeñas presas, volumen 1.

Ilustración 14. Ecuaciones del método NRCS.

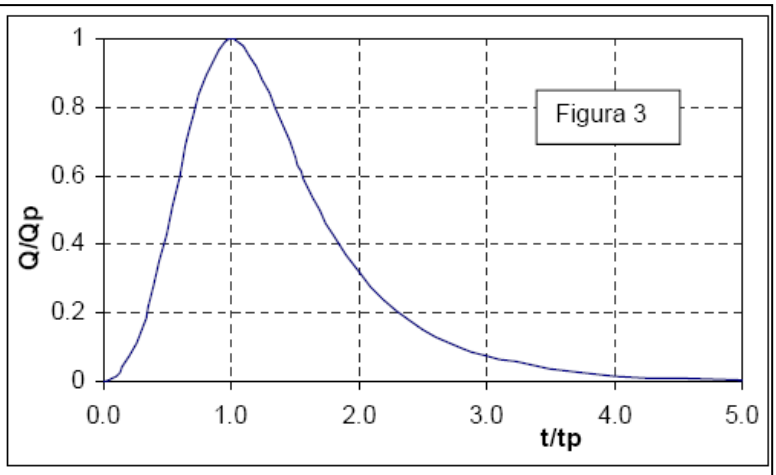
Tiempo de la punta (horas): $t_p = 0{,}5 \cdot D + 0{,}6 \cdot t_c$ Tiempo base (horas): $t_b = 2.67 \cdot t_p$ (3) Caudal de la punta (m^3 / seg.): $Q_p = \frac{0{,}208 \cdot P \cdot A}{t_p}$ (4)	Donde: t_c = tiempo de concentración (horas) D = Duración de la precipitación efectiva (horas) P = precipitación efectiva (mm.) A = superficie de la cuenca (km^2)

Fuente: Manual de pequeñas presas, volumen 1.

Se observó al estudiar una gran cantidad de hidrogramas que tomando el caudal punta (Qp) como unidad de caudal y el tiempo al pico (Tp) como unidad de tiempo, la mayoría de los hidrogramas de avenidas tienen una forma similar.

Ilustración 15. Hidrograma unitario adimensional método NRCS.

t / t_p	Q / Q_p	t / t_p	Q / Q_p
0,0	0	1,4	0,75
0,1	0,015	1,5	0,65
0,2	0,075	1,6	0,57
0,3	0,16	1,8	0,43
0,4	0,28	2,0	0,32
0,5	0,43	2,2	0,24
0,6	0,60	2,4	0,18
0,7	0,77	2,6	0,13
0,8	0,89	2,8	0,098
0,9	0,97	3,0	0,075
1,0	1,00	3,5	0,036
1,1	0,98	4,0	0,018
1,2	0,92	4,5	0,009
1,3	0,84	5,0	0,004



Fuente: Manual de pequeñas presas, volumen 1.

Uno de los métodos para el cálculo de escorrentía como caudal es la modelación mediante el programa del Centro Hidrológico del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos denominado HEC HMS (sistema de modelación hidrológica). El HEC HMS, está diseñado para simular la escorrentía superficial resultado de la precipitación o hietograma de entrada, mediante la representación de la cuenca como un sistema de componentes interconectados.

Cada componente modela un aspecto del proceso lluvia escorrentía dentro de una subcuenca o sub áreas; los componentes incluyen escorrentía superficial de las sub áreas, los canales y los embalses; cada componente se representa por un conjunto de parámetros que especifica las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen sus procesos físicos.

A continuación, se presentan los resultados producto de la modelación con el programa HEC HMS para la cuenca Caño Seco, hasta la salida del caudal en el ***Punto Crítico 1***.

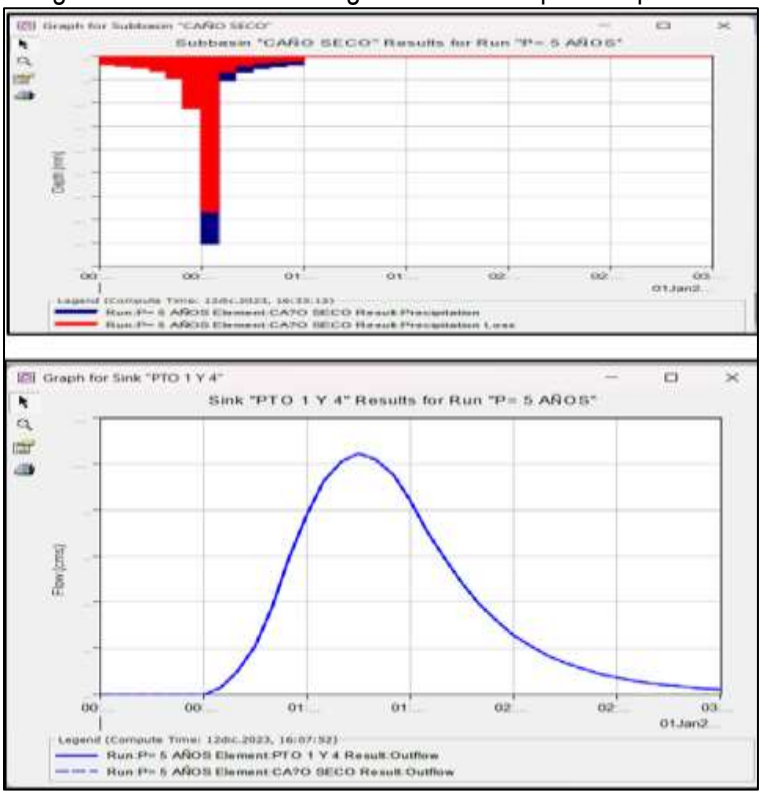
- Periodo de retorno de cinco (5) años.

Ilustración 16. Resultados de la modelación con HEC HMS para un periodo de cinco (5) años.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

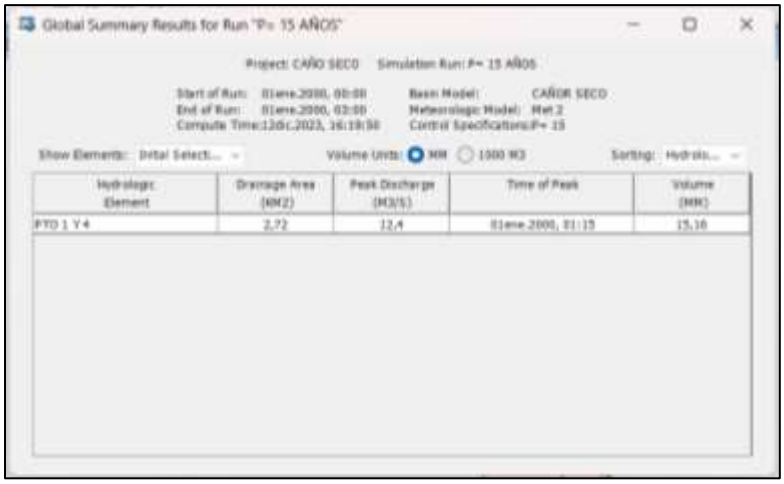
Ilustración 17. Hietograma de entrada e hidrograma de salida para un periodo de cinco (5) años.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

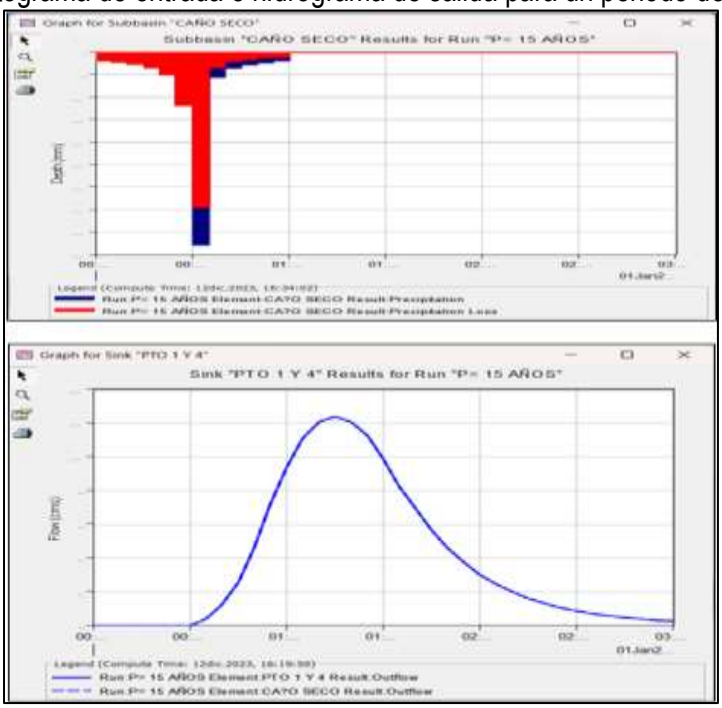
- Periodo de retorno de quince (15) años.

Ilustración 18. Resultados de la modelación con HEC HMS para un periodo de quince (15) años.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

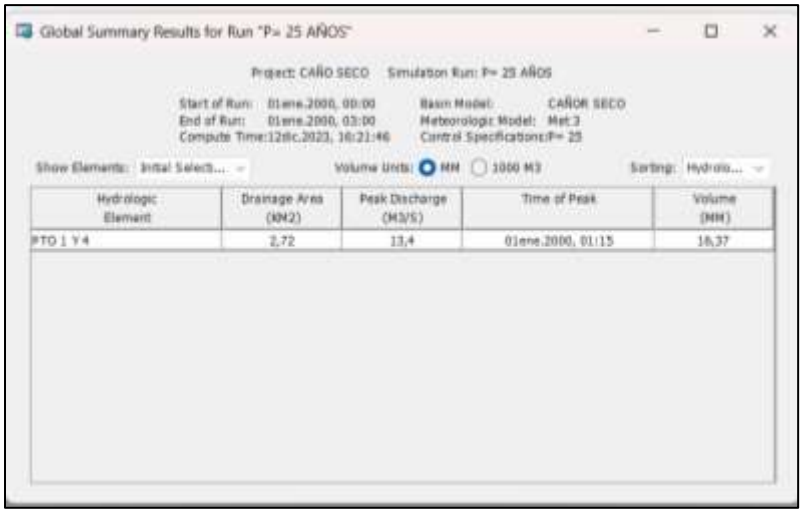
Ilustración 19. Hietograma de entrada e hidrograma de salida para un periodo de quince (15) años.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

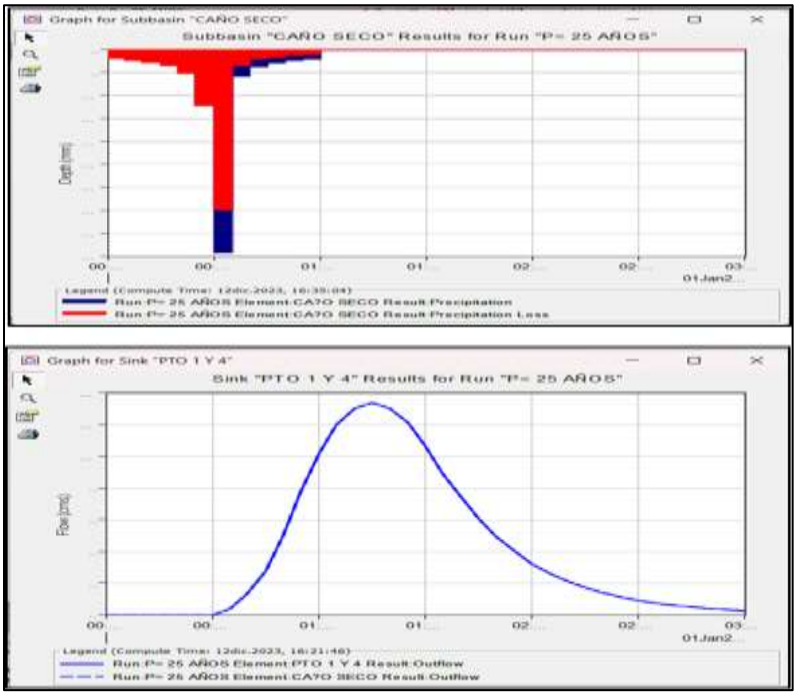
- Periodo de retorno de veinticinco (25) años.

Ilustración 20. Resultados de la modelación con HEC HMS para un periodo de veinticinco (25) años.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Ilustración 21. Hietograma de entrada e hidrograma de salida para un periodo de veinticinco (25) años.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

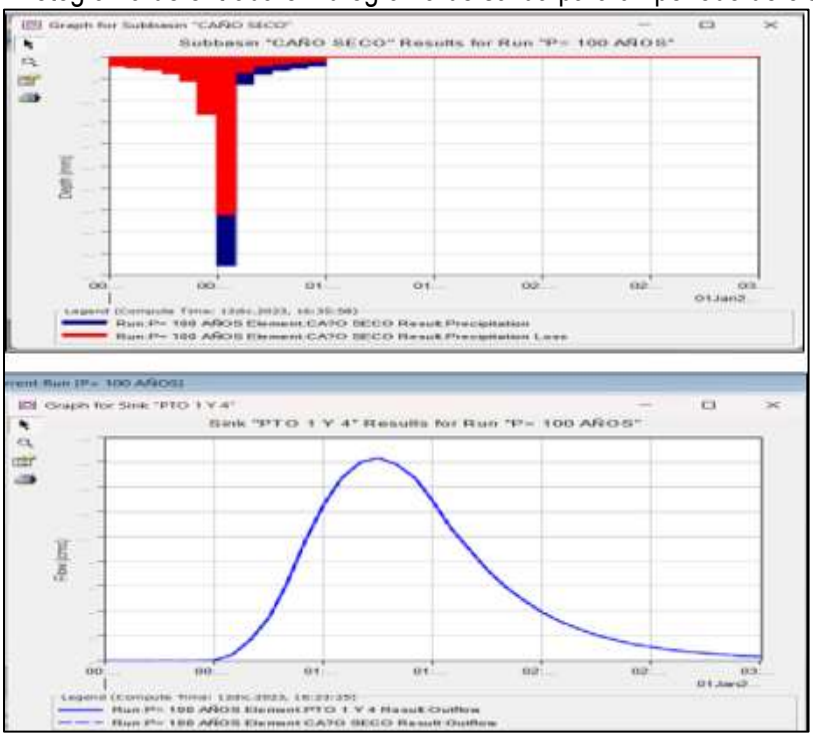
- Periodo de retorno de cien (100) años.

Ilustración 22. Resultados de la modelación con HEC HMS para un periodo de cien (100) años.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Ilustración 23. Hietograma de entrada e hidrograma de salida para un periodo de cien (100) años.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

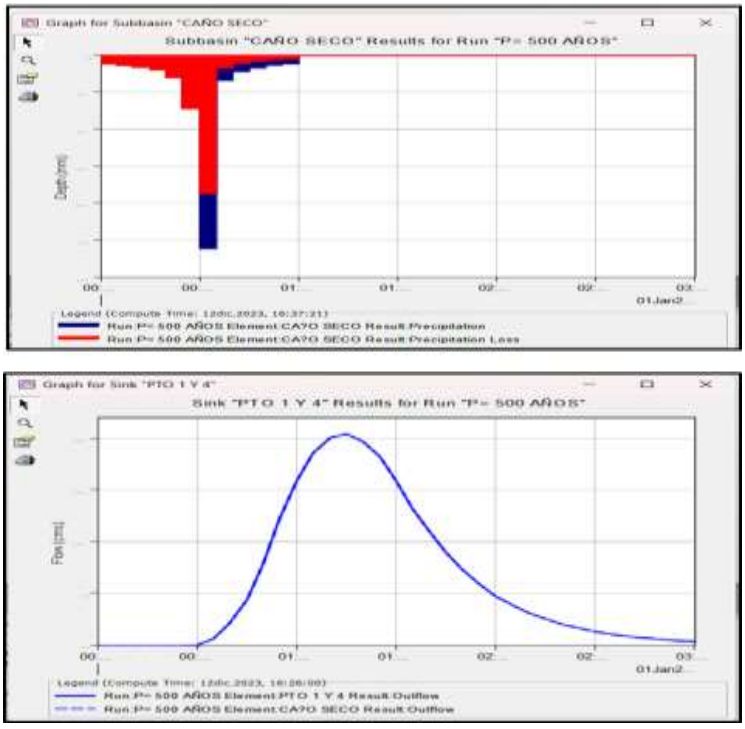
- Periodo de retorno de quinientos (500) años.

Ilustración 24. Resultados de la modelación con HEC HMS para un periodo de quinientos (500) años.



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Ilustración 25. Hietograma de entrada e hidrograma de salida para un periodo de quinientos (500) años



Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Tabla 38. Resumen de caudales obtenidos en el modelo hidrológico de la cuenca de estudio.

Caudales Tr	QT (Cuenca Caño Seco)

1	2
Años	m^3/s
5	10.4
15	12.4
25	13.4
100	16.4
500	20.4

Fuente: Elaboración del autor, 2023.

Los caudales obtenidos para el modelo hidráulico del siguiente apartado están contemplados de acuerdo a la Tabla 38. Para los tramos realizados con la topo batimetría levantada en campo, serán los de la columna 2, teniendo así para un periodo de retorno de 100 años, un volumen de caudal de ***16.4 m³/s*** y para un periodo de retorno de 500 años, un caudal de **20.4 *m³/s.***

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A continuación, se citan y recogen las conclusiones y recomendaciones entorno al estudio hidráulico de la cuenca Caño Seco, a la altura del ***Punto Crítico 1***.

- Las características morfometricas de la cuenca Caño Seco permiten dilucidar que esta es una cuenca en transición entre un origen topológicamente accidentado en la cordillera oriental y su paso al altiplano llanero, el cual es más estable en cuanto a la ausencia de formaciones sobresalientes del relieve, de esta manera, el cauce principal de la cuenca, el Caño seco, obedece a un canal rectilíneo alargado con una escasa sinuosidad en su camino hasta el punto de interés, dígase, ***Punto Crítico 1***, haciendo que esta cuenca sea poco susceptible a presentar eventos de avenidas torrenciales.

- La cuenca Caño Seco es una que ***NO*** está fuertemente intervenida por acciones antrópicas. La cobertura por urbanización apenas sobresale en el extremo oriental de la salida de la cuenca, vinculándose esta al casco urbano del municipio de Restrepo. La cuenca goza con una cobertura mayoritaria de pastos, cultivos heterogéneos y vegetación herbácea y de poca altura que no ha alterado de manera significativa el desempeño hidrológico de la cuenca.

- Las variables climáticas se obtuvieron a partir de los datos abiertos de la red nacional de estaciones meteorologías del IDEAM que estaban localizadas en inmediaciones a la cuenca de estudio, véase numeral 3 “Caracterización Climática Regional”. Así mismo, para los cálculos pertinentes del estudio hidrológico, dígase, obtención de caudales máximos en determinados periodos de retorno (5 años, 15 años, 25 años, 100 años, 500 años), se utilizó la data de las estaciones pluviograficas, de la variable precipitaciones máximas en 24 horas, Calvario (35030010), El Retiro (35040010), Monfort (35030020) y Buenavista (35030090), siendo utilizados los datos de precipitación de esta última estación para un proceso de tratamiento estadístico en búsqueda de datos dudosos, y entonces sí, obtener los caudales máximos buscados.

- La data obtenida de la variable de precipitaciones máximas mensuales en 24 horas de la estación previamente citada (Buenavista) fue procesada a partir los métodos de la “Prueba Kolmogorov – Smirnov” para el mejor ajuste de los datos estadísticos, y el “Wáter Resources Council -WRC -U. S” para la identificación de datos dudosos que pudieran viciar los posteriores procedimientos.

- El presente informe hidrológico sienta como base que, para el análisis hidráulico de las manchas de inundación provocadas por la cuenca Caño Seco en el área de interés, dígase,

Punto Crítico 1, se deberán tener en cuenta los caudales de los periodos de retorno de: Cinco (5) años, quince (15) años, veinticinco (25) años, cien (100) años y quinientos (500) años. Según se encuentran contenidos a continuación:

Caudales Tr	QT (Cuenca Caño Seco)
Años	**m³/s**
5	10.4
15	12.4
25	13.4
100	16.4
500	20.4

11. BIBLIOGRAFÍA.

- COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INVIAS. Manual de drenajes para carreteras. Capitulo dos, hidrología de drenaje superficial. Diciembre de 2009; COLOMBIA.

- ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA EL SECTOR HIDROLÓGICO DE LA QUEBRADA EL DIAMANTE, MEDIANTE MODELACIÓN CON HEC-HMS. Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2017 – COLOMBIA.

- ESTUDIO DE SOCAVACIÓN PARA UN SECTOR AGUAS ARRIBA DE LA BOCATOMA DE LA QUEBRADA PALMACHALA, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE VALPARAISO-ANTIOQUIA. Estudio, Chávez Henao Luis Alberto- Vergara Gonzales Yesenia. Enero de 2014.

- MANUAL DE DISEÑO Y FUENTE DE PEQUEÑAS PRESAS. Método NRCS. Segunda edición abril de 2011, URUGUAY.

- VEN TE CHOW, HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS. BOGOTÁ: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A, 1994.

- VEN TE CHOW, HIDROLOGÍA APLICADA. BOGOTÁ: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A, 1994.

- HUDSON, N., 1982. "CONSERVACIÓN DE SUELO" REVERTE, 335 PP.

- LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. (COORD.), 1994. "RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL DE CUENCAS" MUNDI PRENSA –TRAGSA, 902 PP.

- LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. (COORD.). 2003. "LA INGENIERÍA EN LOS PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN" GRUPO TRAGSA, 1045 PP.

- OCHOA RUBIO, T. (2017). Hidrología, Hidráulica y Socavación en puentes. Bogotá: ECOE.
- SOCAVACION AL PIE DE MUROS LONGITUDINALES. Trabajo de grado, Universidad De los Andes, Mérida, 2008 – Venezuela.

- SUÁREZ DÍAZ, J. (2001). Control de erosión en zonas tropicales. Bucaramanga - Colombia: UIS.

- SCHWAB, G.O. - FREVERT, R.K. - EDMINSTER, T.W. "INGENIERÍA DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS", ED. LIMUSA, 570 PP

- US ARMY CORPS OF ENGINEERS; (enero 2001). HEC-RAS, Technical Reference Manual. USA.

- VELEZ UPEGUI, J. J., BOTERO HERNÁNDEZ, B. A., PARRA TORO, J. C., ARISTIZÁBAL MURILLO, V. M., & MARULANDA AGUIRRE, A. (2013). Diseño Hidráulico e Hidrológico de obras de ingeniería para proyectos viales. Manizales: Universidad Nacional.