

**Modelamiento Hidrológico de la Cuenca Cáchira sur por Medio del Software HydroBID  
para el Cálculo de Caudales y Precipitaciones Pico Potencialmente Riesgosos para el Casco  
Urbano del Municipio de el Playón**

**Nelson Ramírez Estrada**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil**

**Director**

**Ingeniero Marlon Leonardo Rodríguez Sierra**

**Magister en Ingeniería Civil**

**Universidad Santo Tomas, Bucaramanga**

**División de Arquitectura e Ingenieras**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**2021**

**Contenido**

	Pág.
1. Modelamiento Hidrológico de la Cuenca Cáchira Sur por Medio del Software HydroBID para el Cálculo de Caudales y Precipitaciones Pico Potencialmente Riesgosos para el Casco Urbano del Municipio de el Playón .....	25
1.1 Descripción del Problema .....	25
1.2 Objetivos .....	27
1.2.1 Objetivo General.....	27
1.2.2 Objetivos Específicos.....	27
1.3 Justificación.....	27
1.4 Alcance.....	29
1.5 Antecedentes .....	29
1.6 Referentes Internacionales .....	31
2. Descripción Zona de Estudio .....	35
2.1 Descripción del Área de estudio Cáchira Sur.....	35
2.1.1 Morfometría .....	35
2.1.2 Conflicto por Uso de Suelos .....	37
2.1.3 Uso de Suelos.....	39
2.1.4 Cobertura Vegetal .....	40
2.1.5 Red Hidrológica.....	41
2.1.6 Amenazas por Inundación.....	45

2.1.7 Necesidades de Información y Recomendaciones.....	47
2.1.8 Delimitación Territorial .....	48
2.1.9 Dinamismo Poblacional.....	49
2.1.10 Sistema Económico.....	51
3. Marco Teórico.....	52
3.1 Modelamiento Hidrológico .....	52
3.2 Modelo Hidrológico HydroBID.....	52
3.3 Generalidades del Software HydroBID.....	52
3.4 Parámetros que Intervienen en la modelación HydroBID. ....	53
3.4.1 Número de Curva (CN).....	53
3.4.2 Contenido Disponible de Agua en el Suelo (CDA).....	54
3.4.3 Coeficiente de Recesión (R). ....	55
3.4.4 Coeficiente de Percolación (s).....	55
3.4.5 Hidrograma Unitario.....	56
3.5 Descripción del Modelo HydroBID.....	57
3.5.1 Interfaz de HydroBID .....	57
3.5.2 Base de Datos DB. SQLite.....	60
3.5.3 Salidas (Outputs) del Modelo .....	63
3.6 Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	64
3.6.1 Representación Digital.....	65

3.7	IV Pacto por la Sostenibilidad: Producir Conservando y Conservar Produciendo .....	67
3.7.1	C. Colombia Resiliente: Conocimiento y Prevención para la Gestión de Riesgo de Desastres y la Adaptación del Cambio Climático.....	67
3.7.2	Conocimiento del riesgo .....	68
3.7.3	Responsabilidad frente a la reducción del riesgo y la adaptación al cambio climático	69
3.7.4	Movilización de recursos para la gestión del riesgo y la adaptación.....	69
3.7.5	Manejo de desastres y reconstrucción.....	69
4.	Método y Desarrollo .....	71
4.1	Población y Muestra.....	71
4.1.1	Criterios de Inclusión.....	71
4.1.2	Criterios de Exclusión.....	71
4.2	Herramientas de Recolección de Datos.....	72
4.3	Técnica de Análisis de Datos .....	73
4.4	Delimitación Zona de Estudio.....	73
4.5	Recopilación de Datos.....	75
4.5.1	Información Meteorológica .....	75
4.5.2	Información Geográfica.....	77
4.5.3	Información de Uso y Cobertura del Suelo.....	79
4.6	Complementación de Datos Climáticos .....	86
4.6.1	Métodos de Rellenado de Datos Climático.....	90

4.6.2 Precipitación .....	92
4.6.3 Temperatura .....	94
4.7 Herramienta de Interpolación Climática (CDIT) .....	96
4.8 Calibración del modelo HydroBID .....	97
5. Resultados .....	102
5.1 Climatología .....	102
5.1.1 Climatología Microcuenca El Playón .....	110
5.2 Caudales Modelados .....	121
5.2.1 Caudales Modelados Microcuenca El Playón.....	128
5.3 Análisis de Resultados .....	139
5.3.1 Análisis Morfométrico .....	139
5.3.2 Análisis Climático.....	140
6. Conclusiones .....	142
7. Discusión.....	144
Referencias.....	146
Apéndices.....	152

**Lista de tablas**

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> <i>Resumen de principales estudios analizados</i> .....	34
<b>Tabla 2.</b> <i>Parámetros morfométricos de la subcuenca Cáchira Sur</i> .....	36
<b>Tabla 3.</b> <i>Descripciones de parámetros morfométricos de la subcuenca Cáchira Sur</i> .....	36
<b>Tabla 4.</b> <i>Tipos de Conflicto por uso de suelo asociados a la subcuenca Cáchira Sur</i> .....	37
<b>Tabla 5.</b> <i>Clasificación de uso de suelos asociados a la subcuenca Cáchira Sur</i> .....	40
<b>Tabla 6.</b> <i>Tipos de cobertura vegetal asociados a la subcuenca Cáchira Sur</i> .....	41
<b>Tabla 7.</b> <i>Red hidrológica de microcuencas que conforman la subcuenca Cáchira Sur</i> .....	42
<b>Tabla 8.</b> <i>Eventos de inundación registrados dentro de la subcuenca Cáchira Sur</i> .....	46
<b>Tabla 9.</b> <i>Categorización de amenaza por inundación dentro la subcuenca Cáchira Sur</i> .....	47
<b>Tabla 10.</b> <i>Grupos hidrológicos del suelo</i> .....	54
<b>Tabla 11.</b> <i>Archivos de salida del modelo HydroBID</i> .....	64
<b>Tabla 12.</b> <i>Atributos independientes de cada estación y posibles datos almacenados</i> .....	77
<b>Tabla 13.</b> <i>Datos geográficos de la Subcuenca Cáchira Sur</i> .....	79
<b>Tabla 14.</b> <i>Datos geográficos de las estaciones meteorológicas</i> .....	79
<b>Tabla 15.</b> <i>Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300648900</i> .....	80

**Tabla 16.** *Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300649000..... 80*

**Tabla 17.** *Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300661500..... 81*

**Tabla 18.** *Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300650200..... 81*

**Tabla 19.** *Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300654800..... 82*

**Tabla 20.** *Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300664100..... 82*

**Tabla 21.** *Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300682800..... 82*

**Tabla 22.** *Clasificación del tipo de uso de suelo usados por el BID ..... 84*

**Tabla 23.** *Coberturas actuales del suelo según el POMCA actualizado de la subcuenca Cáchira Sur (2015) ..... 85*

**Tabla 24.** *Datos de precipitación de la estación CACHIRI-AUNT ..... 87*

**Tabla 25.** *Datos de temperatura de la estación CACHIRI-AUNT..... 88*

**Tabla 26.** *Datos de precipitación de la estación PLAYON\_EL ..... 89*

**Tabla 27.** *Precipitación promedio anual por estación ..... 90*

**Tabla 28.** *Estaciones pluviométricas consultadas ..... 93*

**Tabla 29.** *Valores de Precipitación Promedio Anual en (mm)* ..... 94

**Tabla 30.** *Temperatura Promedio Anual de la Estación CACHIRI AUNT* ..... 95

**Tabla 31.** *Resumen estadístico del clima de la cuenca CÁCHIRA SUR (2021-2023).* ..... 103

**Tabla 32.** *Resumen estadístico del clima de la cuenca CÁCHIRA SUR (2024-2026).* ..... 104

**Tabla 33.** *Resumen estadístico del clima de la cuenca CÁCHIRA SUR (2027-2029).* ..... 105

**Tabla 34.** *Resumen estadístico del clima de la cuenca CÁCHIRA SUR (2030-2032).* ..... 106

**Tabla 35.** *Resumen estadístico del clima de la cuenca CÁCHIRA SUR (2033-2035).* ..... 107

**Tabla 36.** *Resumen estadístico del clima de la cuenca CÁCHIRA SUR (2036-2038).* ..... 108

**Tabla 37.** *Resumen estadístico del clima de la cuenca CÁCHIRA SUR (2039-2040).* ..... 109

**Tabla 38.** *Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2021-2023).*..... 111

**Tabla 39.** *Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2024-2026).*..... 112

**Tabla 40.** *Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2027-2029).*..... 114

**Tabla 41.** *Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2030-2032).*..... 115

**Tabla 42.** *Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2033-2035).*..... 117

**Tabla 43.** *Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2036-2038).*..... 118

**Tabla 44.** *Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2039-2040).*..... 120

**Tabla 45.** *Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca CÁCHIRA SUR (2021-2023)*  
..... 121

**Tabla 46.** *Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2024-2026).*  
 ..... 122

**Tabla 47.** *Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2027-2029).*  
 ..... 123

**Tabla 48.** *Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2030-2032).*  
 ..... 124

**Tabla 49.** *Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2033-2035).*  
 ..... 125

**Tabla 50.** *Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2036-2038).*  
 ..... 126

**Tabla 51.** *Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2039-2040).*  
 ..... 127

**Tabla 52.** *Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2021-2023).*  
 ..... 129

**Tabla 53.** *Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2024-2026).*  
 ..... 130

**Tabla 54.** *Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2027-2029).*  
 ..... 132

**Tabla 55.** *Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2030-2032).*  
 ..... 133

**Tabla 56.** *Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2033-2035).*  
 ..... 135

**Tabla 57.** *Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2036-2038).*  
 ..... 136

**Tabla 58.** *Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2039-2040).*  
 ..... 138

**Lista de figuras**

	Pág.
<b>Figura 1.</b> <i>Mapa hidrográfico de división de microcuenca</i> .....	42
<b>Figura 2.</b> <i>Clasificación del drenaje según Strhaler</i> .....	44
<b>Figura 3.</b> <i>Esquema para Determinación de Amenaza por Inundación</i> .....	45
<b>Figura 4.</b> <i>Delimitación municipal de la subcuenca Cáchira Sur</i> .....	48
<b>Figura 5.</b> <i>Distribución Municipal censo 2015</i> .....	50
<b>Figura 6.</b> <i>Distribución porcentual del municipio El Playón censo 2015</i> .....	50
<b>Figura 7.</b> <i>Hidrograma Unitario</i> .....	56
<b>Figura 8.</b> <i>Interfaz de usuario del software HydroBID</i> .....	58
<b>Figura 9.</b> <i>Menú de ajustes de escenarios climáticos</i> .....	59
<b>Figura 10.</b> <i>Menú de parámetros hidrológicos</i> .....	59
<b>Figura 11.</b> <i>Flujograma de Procesamiento de Datos</i> .....	63
<b>Figura 12.</b> <i>Características de la estructura de datos ráster</i> .....	66
<b>Figura 13.</b> <i>Estructura de datos vectorial</i> .....	67
<b>Figura 14.</b> <i>Objetivos y Estrategias para la prevención y gestión de riesgo en Colombia</i> .....	70
<b>Figura 15.</b> <i>Formato de ficha de recolección de datos de precipitación y temperatura</i> .....	72
<b>Figura 16.</b> <i>Formato de ficha de recolección de datos geográficos de cuencas</i> .....	72

**Figura 17.** *Formato de ficha de recolección de características geográficas de las estaciones meteorológica.* ..... 73

**Figura 18.** *Delimitación de la Subcuenca Cáchira Sur* ..... 74

**Figura 19.** *Elementos de la Subcuenca Cáchira Sur* ..... 75

**Figura 20.** *Aplicativo Consulta y Descarga de Datos Hidrometereológicos* ..... 76

**Figura 21.** *Centroides de cada microcuenca dentro la subcuenca Cáchira Sur y sus respectivos COMID* ..... 78

**Figura 22.** *Proceso de complementación teórica por el método de “IDW”* ..... 93

**Figura 23.** *Proceso de complementación teórica por el método de Interpolación lineal*..... 95

**Figura 24.** *Interfaz de la Herramienta de Interpolación de Datos Climáticos del HydroBID* .... 97

**Figura 25.** *Opciones de Configuración del software HydroBID* ..... 98

**Figura 26.** *Opciones de la Base de Datos del software HydroBID* ..... 98

**Figura 27.** *Opciones de Salida del software HydroBID* ..... 99

**Figura 28.** *Interfaz de Escenario Climático del Software HydroBID* ..... 99

**Figura 29.** *Parámetros Hidrológicos del software HydroBID* ..... 100

**Figura 30.** *Organización de carpetas de HydroBID*..... 101

**Figura 31.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2021-31/12/2023 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 103

**Figura 32.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2024-31/12/2026 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 104

**Figura 33.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2027-31/12/2029 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 105

**Figura 34.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2030-31/12/2032 de la subcuenca Cáchira Sur* ..... 106

**Figura 35.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2033-31/12/2035 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 107

**Figura 36.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2036-31/12/2038 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 108

**Figura 37.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2039-31/12/2040 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 109

**Figura 38.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2021-31/12/2023 de la microcuenca El Playón.* ..... 111

**Figura 39.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2024-31/12/2026 de la microcuenca El Playón.* ..... 113

**Figura 40.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2027-31/12/2029 de la microcuenca El Playón.* ..... 114

**Figura 41.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2030-31/12/2032 de la microcuenca El Playón.* ..... 116

**Figura 42.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2033-31/12/2035 de la microcuenca El Playón.* ..... 117

**Figura 43.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2036-31/12/2038 de la microcuenca El Playón.* ..... 119

**Figura 44.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación para un rango de tiempo entre el 01/01/2039-31/12/2040 de la microcuenca El Playón.* ..... 120

**Figura 45.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2021-31/12/2023 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 121

**Figura 46.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2024-31/12/2026 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 123

**Figura 47.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2027-31/12/2029 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 124

**Figura 48.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2030-31/12/2032 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 124

**Figura 49.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2033-31/12/2035 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 125

**Figura 50.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2036-31/12/2038 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 127

**Figura 51.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2039-31/12/2040 de la subcuenca Cáchira Sur.* ..... 128

**Figura 52.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2021-31/12/2023 de la microcuenca El Playón.* ..... 129

**Figura 53.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2024-31/12/2026 de la microcuenca El Playón.* ..... 131

**Figura 54.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2027-31/12/2029 de la microcuenca El Playón.* ..... 132

**Figura 55.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2030-31/12/2032 de la microcuenca El Playón.* ..... 134

**Figura 56.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2030-33/12/2035 de la microcuenca El Playón.* ..... 135

**Figura 57.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2036-33/12/2038 de la microcuenca El Playón.* ..... 137

**Figura 58.** *Proyección de resultados de la simulación de caudales para un rango de tiempo entre el 01/01/2039-33/12/2040 de la microcuenca El Playón.* ..... 137

### **Lista de apéndices**

Los apéndices están en archivos externos a este documento

**Apéndice A.** *Mapa de acumulaciones de la subcuenca Cáchira Sur*

**Apéndice B.** *Mapa de amenazas por inundaciones en zonas priorizadas cuenca río Cáchira Sur*

**Apéndice C.** *Mapa de cobertura y usos actuales de la tierra cuenca río Cáchira Sur*

### Glosario

Lista alfabética de términos y sus definiciones necesarias para la comprensión del documento

*Afluentes:* Arroyo o río secundario que lleva sus aguas a otro mayor o principal

*Amenaza:* Evento que constituye una posible causa de riesgo o perjuicio hacia la sociedad y la infraestructura física.

*Atributos:* Características propias que identifican tipos de suelos, coberturas, tipos de estaciones meteorológica, o asignados específicamente en software.

*Avenidas:* Movimiento de masa (sedimentos o escombros) que se desplazan por los cauces a velocidades altas.

*Cartográfico:* Ciencia aplicada para la recolección de información terrestre para su representación gráficamente.

*Catástrofe:* Suceso que tiene como consecuencia destrucción o alteración del desarrollo normal de actividades humanas y/o naturales.

*Cauce:* Concavidad del terreno, natural o artificial, por donde corre un río, un canal o cualquier corriente de agua.

*Caudal:* Cantidad de agua que circula por un río o curso de agua.

*Ciclo Hidrológico:* Se describe como el movimiento continuo del agua en la atmosfera, sobre la superficie de la tierra y los océanos y en el subsuelo, incluyendo sus cambios de fase o estado.

*Cobertura Terrestre:* Cobertura física que se observa en la superficie de la tierra, describe la vegetación, los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, además de otras superficies como afloramientos rocosos o cuerpos de agua.

*Crecidas:* Aumento del nivel de agua de una corriente, generalmente debido a abundantes precipitaciones

*Cuenca Hidrológica:* Es una cavidad natural en la que se acumula agua de lluvia, esta circula hacia una corriente principal y finalmente llega a un punto común de salida.

*Erosión:* Desgaste o denudación de suelos y rocas que producen distintos procesos en la superficie de la Tierra.

*Escorrentía:* Agua producto de las precipitaciones que circula por la superficie terrestre

*Filtración:* Absorción del agua en el suelo, una vez saturado el suelo de agua esta circula sobre la superficie como escorrentía.

*Gestión de Riesgos:* Proceso de identificar, analizar y responder a factores de riesgo a lo largo de la vida de un proyecto.

*Hidrogramas:* gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica tal como niveles de agua, caudal o carga de sedimentos.

*Hidrometría:* Derivación hidrológica que parte de la medición de un volumen de agua que circula por una sección o conducto en un tiempo determinado.

*Hietogramas:* Representación gráfica de la distribución de la intensidad de la lluvia a lo largo del tiempo.

*Infraestructura:* Conjunto de medios técnicos, servicios e instalaciones necesarios para el desarrollo de una actividad o para que un lugar pueda ser utilizado.

*Limnigráficas:* Estación donde se mide el nivel de una corriente hídrica mediante un aparato registrador de nivel y que grafica una curva llamada limnigrama.

*Meteorológica:* Estación que recoge información de variables atmosféricas

*Mitigar:* medidas que pueden tomarse antes de que el desastre ocurra, con el fin de reducir sus efectos, incluyendo la preparación y las medidas de reducción de riesgo a largo plazo.

*Nivel Freático:* Nivel superior del agua en un acuífero donde la presión del agua es igual a la de la presión atmosférica.

*Oferta Hídrica:* Es aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar.

*Precipitación:* Caída de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre.

*Presiones Hidrostáticas:* Presión que se somete un cuerpo sumergido en un fluido, debido a la columna de líquido que tiene sobre él

*Recurso Hídrico:* Son los depósitos e insumos de agua dulce que, en estados físicos y estando disponibles o potencialmente disponibles, pueden ser utilizados por el ser humano para satisfacer alguna necesidad.

*Red de Drenaje:* Red natural de transporte gravitacional de agua o sedimento, formada por ríos, lagos y flujos subterráneos, alimentados por la lluvia.

*Red Hidrográfica:* Conjuntos de ríos y otras corrientes permanentes o intermitentes de agua, y de lagos y embalses, situados en una zona determinada.

*Relieve Terrestre:* Conjunto formaciones terrestres conformadas por grandes extensiones de montañas, depresiones y llanuras originadas a través de procesos originados en el interior o en la superficie de la tierra.

*Riesgo Natural:* Probabilidad de que un territorio y la sociedad que habita en el se vean afectados por fenómenos naturales de rango extraordinario

*Reserva Hídrica:* Aprovechamiento hídrico de una cuenca a favor de una comunidad autónoma con el fin de desarrollar políticas de gestión y uso de agua en su territorio.

*Sistemas de Información Geográfico:* Conjunción de datos relacionados con el espacio físico con las herramientas informáticas o softwares.

*Vulnerable:* Se define como “las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hace susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza”.

## Resumen

El casco urbano del municipio El Playón, Santander, es una localidad bastante vulnerable ante fenómenos naturales como lo son las inundaciones, sumado a esto no dispone de infraestructura hidráulica competente e información climática relevante para mitigar estos riesgos. En este estudio se ejecutó un modelo hidrológico de la cuenca Cáchira Sur donde se encuentra ubicado el municipio, en el cual se evaluaron los escenarios futuros de precipitaciones torrenciales y caudales máximos. Para ello fue necesario conocer la condición actual de la zona de estudio, se consultaron características morfológicas, climáticas y uso de suelos, ya que la influencia de estos factores tiene un impacto considerable en el comportamiento de la cuenca. Una vez contextualizada la zona de estudio se ejecutó la metodología que consistió en la recolección de parámetros climáticos y geográficos con la ayuda de estaciones meteorológicas y de los sistemas de información geográfica, obtenidos los datos estos se procesaron mediante métodos de complementación teórica e incorporados en la base de datos del software HydroBID. Los resultados obtenidos de la simulación del modelo contaron con una configuración de parámetros recomendados por el BID, en donde se identificaron tres eventos relevantes de velocidad de caudal para las fechas: 28/10/2022, 22/11/2037 y 11/05/2038, identificados con los siguientes valores: 25.22, 18.63 y 21.27 (m<sup>3</sup>/s), acompañados de una precipitación diaria de 27.84, 41.61 y 49.31 (mm/día), sin embargo, la falta de información climática en la zona impide la validación de los caudales obtenidos por medio de gráficos de dispersión, por lo que es necesario disponer de tecnología o registros de información para mejorar la precisión de los modelos hidrológicos.

Palabras clave: Modelo Hidrológico, Riesgo, HydroBID, Proyección de Caudales

### **Abstract**

The urban area of the El Playón municipality, Santander, is quite vulnerable to natural phenomena such as floods, in addition to this, it does not have competent hydraulic infrastructure and relevant climate information to mitigate these risks. In this study, a hydrological model of the Cáchira Sur basin where the municipality is located was executed, in which the future scenarios of torrential rainfall and maximum flows will be evaluated. For this, it was necessary to know the current condition of the study area, morphometric and climatic characteristics and soil use were consulted, since the influence of these factors has a considerable impact on the behavior of the basin. Once the study area has been contextualized, the methodology that consists of the collection of climatic and geographical parameters with the help of meteorological stations and geographic information systems is being processed, the data obtained were processed using theoretical complementation methods and incorporated into the HydroBID software database. The results obtained from the simulation of the model had a configuration of parameters recommended by the IDB, where three relevant flow velocity events were identified for the dates: 10/28/2022, 11/22/2037 and 05/11 / 2038, identified with the following values: 25.22, 18.63 and 21.27 ( $\text{m}^3 / \text{s}$ ), accompanied by a daily rainfall of 27.84, 41.61 and 49.31 ( $\text{mm} / \text{day}$ ), however, the lack of climatic information in the area prevents validation of the flows obtained by means of scatter graphs, for which it is necessary to have technology or information records to improve the precision of hydrological models.

**Keywords:** Hydrological Model, Risk, HydroBID, Flow Projection

## Introducción

El modelamiento hidrológico es una herramienta de suma importancia para el estudio de avenidas y se ha extendido alrededor del mundo, especialmente en países desarrollados. Actualmente el implemento de estos modelos se realizan en el análisis y la prevención de inundaciones [1], además, dependiendo de la información hidrológica disponible del área que se estudie, las hipótesis o predicciones tendrán un mayor grado de confianza, siendo vital para la toma de decisiones en cuando a criterios de construcción de infraestructuras competente se refiere, e incluso sistemas de alerta temprana que permita prevenir o mitigar situaciones de desastre que atente contra la integridad de una sociedad.

Existen variedad de software para el modelado hidrológico, siendo el sistema integrado Hydro-BID el implementado para este estudio ya que es un sistema de simulación cuantitativo y cambio climático construido sobre la base de datos de hidrología analítica (Analytical Hydrographic Dataset, AHD) para las regiones de América Latina y el Caribe, esta base de datos contiene las topologías de red de cuencas y corriente, incorporando el uso de tierras, tipos de suelos, precipitaciones y temperatura dentro del área de estudio, así como flujos observados para su calibración [2].

De igual manera los sistemas de información geográfico (SIG) son herramientas que pueden articularse muy bien con los modelos hidrológicos, además, de tener un gran potencial en múltiples campos de aplicación, como lo son el análisis de la gestión de riesgo de inundaciones fluviales, aspectos de peligrosidad, regionalización de datos de precipitación, obtención de parámetros morfométricos, delimitación de áreas inundables, etc. [3]. Se seleccionó QGIS debido a su compatibilidad con el complemento AHD y archivos de soporte brindados por el IDEAM para la consulta de información climático/geográfica.

A mediados del 2019 se realizó la primera aplicación piloto de la plataforma HydroBID en el departamento de Santander, la incorporación de este sistema se realizó con el fin de que gestionar de manera integral los recursos hídricos presentes y futuros, siendo la cuenca Lebrija el principal enfoque ya que transporta un volumen de agua de casi 5 mil millones de metros cúbicos por año [4], para este estudio se modelará la subcuenca Cáchira Sur que delimita con los municipios Río Negro, Suratá y El Playón, siendo este último el principal afectado por los eventos climáticos dentro del casco urbano del municipio al encontrarse ubicado a las cercanías del río Playonero, el desarrollo de este estudio permite la creación de información relevante acorde con las necesidades del sector urbano por su vulnerabilidad ante eventos de desastre y brindar bases a desarrollo posteriores de sistemas de información más completos y precisos.

# **1. Modelamiento Hidrológico de la Cuenca Cáchira Sur por Medio del Software HydroBID para el Cálculo de Caudales y Precipitaciones Pico Potencialmente Riesgosos para el Casco Urbano del Municipio de el Playón**

## **1.1 Descripción del Problema**

El Playón es un municipio pequeño aledaño al área metropolitana de Bucaramanga, el cual cuenta según el censo del DANE (2018) con aproximadamente trece mil habitantes y desarrolla sus actividades económicas en los suelos de la Cuenca Cáchira Sur. El municipio atraviesa varias situaciones de emergencia, entre ellas un constante riesgo por inundación en el casco urbano debido a las lluvias torrenciales, esto ocasiona que el sistema de alcantarillado colapse cubriendo parcialmente las vías principales del municipio, sumado a esto se teme nuevamente la crecida del Río Playón ocurrido en 1979 que “Arrasó con el 70% de la población y acabó con la plaza principal que era el centro de encuentro de las familias urbanas, rurales y visitantes de la época” [5].

La situación de constante riesgo se debe a varios factores, uno de ellos, la ubicación del casco urbano del municipio que se encuentra a lado del Río Playón, debido a que el desarrollo del territorio urbano no tuvo en cuenta el nivel freático del río y como se pudo evidenciar pueden terminar en escenarios de desastre. Por otro lado, “se evidencia la sobreutilización de los suelos de la Cuenca debido al desarrollo económico” [6]. Sobre pasar las capacidades naturales del suelo afecta de manera directa el ciclo hidrológico de la cuenca, ya que, al verse disminuida la cobertura vegetal, los tiempos de filtración del agua disminuyen generando aumento en las velocidades de caudal y de esta manera se produce una constante amenaza.

Dado las situaciones mencionadas se puede decir que el municipio no cuenta con la información hidrológica necesaria para identificar los fenómenos climatológicos de la Sub Cuenca

Cachira. “Se pudo corroborar que no se cuentan con estaciones hidrométricas dentro del área de la cuenca, tanto en el cauce principal, como en los afluentes, lo que imposibilita obtener series de caudal sobre su cauce y/o a la salida de la cuenca” [6], por lo que se propone realizar un modelamiento hidrológico a través de la herramienta HydroBID para simular un posible comportamiento de la cuenca mediante datos de precipitación, temperatura y cálculo de caudales, con la información obtenida se espera su incorporación en la gestión de riesgos para la prevención o control de los fenómenos del futuro mediante la ejecución de protocolos de seguridad, optimización de obras de estabilización y/o alcantarillado.

Con base en lo anterior ¿Cuáles serán los eventos de precipitaciones torrenciales y caudales pico que requieran mayor prevención de riesgo dentro del casco urbano de El Playón, en base a los resultados obtenidos de la proyección hidrológica?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo General.

- Modelar los comportamientos hidrológicos potencialmente riesgosos de la Subcuenca Cachira Sur para el casco urbano del municipio de El Playón.

### 1.2.2 Objetivos Específicos.

- Definir la línea base de información climatológica y geográfica de la subcuenca para la ejecución del modelo en el software HydroBID
- Modelar los gráficos de hidrogramas y hietogramas representativos del comportamiento de la cuenca
- Analizar e identificar los eventos climáticos más riesgosos para el municipio de El Playón.

## 1.3 Justificación

Según la UNGRD [7] Colombia es un territorio que consta de una estacionalidad climática bimodal dos veces al año influenciada por su ubicación geográfica, este ciclo se caracteriza por presentar dos periodos de lluvia y dos de menos lluvia, esta variabilidad climática “entre estaciones” suelen presentarse incrementos o déficits de precipitación, sin embargo, según el inventario nacional de desastres, durante los años 1914 y 2019 se han presentado 20.085 eventos de inundación, equivalente al 30% de los desastres naturales, siendo este el que ocurre con mayor frecuencia, las repercusiones se ven reflejadas en 19.625.681 personas damnificadas y 996.058 viviendas afectadas.

Si bien se protege el bienestar y patrimonio de la comunidad mediante los lineamientos estructurales dictados por la norma sismo resistente colombiana vigente, [8] menciona que eventos de inundación no previstos pueden generar una presión hidrostática no contemplada derivando en el colapso de los elementos estructurales. Ahora bien, realizar obras de estabilización y optimización en ríos representa un gran presupuesto para un municipio relativamente pequeño por lo que la falta de infraestructura vuelve a la comunidad del Playón vulnerable ante estos fenómenos.

De acuerdo con [9] se establece que se delimitaran y zonificaran las áreas de amenaza con condiciones de riesgo naturales, así cómo abordar las medidas específicas para su mitigación teniendo en cuenta la denominación de los planes de ordenamiento territorial. Los eventos de inundación son posibles de predecir si se cuenta con un sistema alerta temprana y se conoce el tipo de inundación que ocurre usualmente en la zona, estos sistemas integran datos de tiempo de diferentes fuentes y formatos provenientes del IDEAM, el CVC y el CAR.

La creación de escenarios climáticos a través del modelamiento hidrológico es una estrategia adoptada para la previsión de estos eventos, de igual forma el Plan Nacional de Desarrollo fomenta la generación de información relevante que permita orientar las decisiones en la planeación del desarrollo tales como protocolos de seguridad o evacuación a priori a los acontecimientos, adicionando de igual manera información relevante para el diseño de infraestructuras competente.

#### **1.4 Alcance**

Cáchira sur según el CIDIAT tiene una clasificación espacial de Cuenca ya que abarca un área entre 60 a 300 mil hectáreas, por lo que para poder modelar un escenario o comportamiento similar al de la cuenca CÁCHIRA SUR, es necesario recolectar datos con el mayor rango de tiempo disponible, de esta manera las estaciones meteorológicas seleccionadas tienen una semejanza de operación entre 40 a 39 años para el rango de tiempo de 1985 a 2018. Culminado el proceso de modelamiento se espera la obtención de hidrogramas que es la representación gráfica de la variación de caudales obtenidos a través del tiempo, de igual manera los hietogramas que representan la intensidad de lluvia, con los resultados anteriores se pretende establecer los rangos máximos que pueden ser considerados como potencialmente riesgosos, de tal manera que se puedan ejecutar protocolos de seguridad anticipando posibles inundaciones que nuevamente atente con la integridad de la comunidad urbana.

#### **1.5 Antecedentes**

Una introducción a los inicios de la modelación hidrológica se trabaja en el artículo “Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada” [10], donde a principios del siglo XIX se le dio uso para el diseño de obras hidráulicas y hasta mediados del siglo XX se limitó a expresiones matemáticas simples para representar los comportamientos individuales involucrados en los procesos del ciclo hidrológico. Durante la década de los 60, con la llegada de la revolución digital, se realizó el primero intento por representar casi en su totalidad el ciclo hidrológico en una cuenca con el proyecto Stanford Watershed Model [11], del cual se publicaron varias versiones de este y presentaba innovaciones significativas que eran impulsadas por el avance tecnológico, uno de sus usos fue la implementación de archivos de escorrentía en

simulaciones para condiciones de suelo y coberturas terrestres diversas, de tal manera que se proporcionaron hidrogramas continuos por unidad de área, esto fue la base para el desarrollo del Manual de diseño de aguas pluviales urbanas del condado de King, Washington.

En Colombia a partir del 2009 se desarrollaron varios estudios tomando de base la modelación hidrológica, teniendo por ejemplo el artículo “Modelación del comportamiento hidrológico de tres cuencas en el Urabá Antioqueño-Colombia” [12], que consistió en modelar el comportamiento hidrológico de tres cuencas hidrográficas localizadas en la región del Urabá Antioqueño, estas aproximación se hicieron utilizando información climatológica escasa (precipitación y caudal), bajo estas condiciones determinaron la variabilidad espacial y temporal de la oferta hídrica superficial entre cuencas, donde se logró representar de manera aceptable dos estaciones de cuencas tributarias, esta información daba pie a la búsqueda por optimizar la oferta hídrica superficial para abastecer las demandas actuales y futuras que se presentaran en la región.

Durante el 2010 se presenta el estudio “Calibración e implementación del modelo MG para la estimación de caudales máximos en Colombia” [13], donde se buscaba estimar los caudales máximos que se adaptaran a las características hidrológicas, geomorfológicas, y de cobertura vegetal de las cuencas colombianas principales utilizando los registros históricos de estaciones limnigráficas distribuidas alrededor de todo el territorio. La estimación de caudales se asocia a la evaluación de riesgos por inundación de zonas urbanas y rurales, siendo de vital importancia a la hora de la construcción de obras hidráulicas para su mitigación o prevención. En este estudio se hace evidente que en Colombia hay escasas de información climatológica, debido a la limitada tecnología presente y la incorrecta medición de estas.

El artículo “Simulación hidrológica de los impactos potenciales del cambio climático en la cuenca hidrográfica del río Aipe, en Huila, Colombia” [14], establece el cambio climático como uno de los principales desafíos de la sociedad del siglo XXI, con proyecciones de aumento de la temperatura en los próximos años se esperan cambios en los patrones de lluvia durante periodos de sequía, así mismo, la disponibilidad de la reserva hídrica se verá afectada, corriendo riesgo de posibles desabastecimientos de agua potable, uso agrícola y desarrollo de energía eléctrica. Este estudio plantea la simulación hidrológica para la cuenca del río Aipe donde se plantearon varios escenarios con variación en su temperatura, la proyección más pesimista indicaría una reducción considerable en el caudal ecológico debido al posible incremento en la demanda hídrica, finalmente se observa que se requiere una mejor implementación de herramientas conceptuales metodológicas y tecnológicas que ayuden a la toma de decisiones en lo que abarca el recurso hídrico.

### **1.6 Referentes Internacionales**

Los sistemas de simulación hidrológica son implementados a diversas escalas internacionales en cuanto a la predicción de inundaciones se refiere, en donde se tienen en cuenta los factores del ciclo hidrológico, las observaciones meteorológicas a nivel terrestre y atmosférico, y herramientas de asimilación de datos que permiten mejorar la generación de caudales máximos.

Un ejemplo referente a sistemas de predicción de inundaciones es el artículo “Hydrological data assimilation with the Ensemble Square-Root-Filter: Use of streamflow observations to update model states for real-time flash flood forecasting”, donde se estudió el comportamiento de dos cuencas hidrográficas pequeñas susceptibles a inundaciones repentinas de América y China, partiendo de un modelo hidrológico alimentado con observaciones de precipitación y caudales de

estaciones terrestres, aplicando un sistema de asimilación de datos basado en la correlación de caudales observados y los estados del modelo, los resultados evidenciaron la predicción de veinticuatro crecidas repentinas distribuidas en ambas cuencas, lo que representa una aplicación potencial a los sistemas de alerta temprana ante situaciones de desastre [15].

El artículo “Ensemble flood forecasting based on a coupled atmospheric-hydrological modeling system with data assimilation” [16] menciona que los modelos de predicción numérica del tiempo se están utilizando con mayor frecuencia para proporcionar predicción de lluvia de alta resolución como alimentación del modelo de lluvia-escorrentía para pronóstico de inundaciones, para este estudio seleccionaron cuatro tormentas de dos cuencas montañosas en la región de Jin-Jing-Ji del norte de China, en donde se evaluó un sistema acoplado para pronóstico de inundaciones en tiempo real, establecieron diferentes combinaciones de parametrizaciones físicas con el modelo “weather research forecasting” para proporcionar un conjunto de precipitación pronosticada, de igual manera se implementó un módulo de asimilación de datos 3DVar, los resultados muestran que el sistema de modelado atmosférico hidrológico puede proporcionar pronósticos de inundaciones satisfactorios, especialmente para los eventos de tormenta con una distribución de lluvia uniforme en la dimensión espacial.

Por último se presenta el artículo “Identification of hydrological models for operational flood forecasting in St. John’s, Newfoundland, Canada” [17], un estudio más ambicioso y con mayor alcance donde se realiza la implementación de cinco modelos hidrológicos para identificar modelos adecuados para el pronóstico operativo de inundaciones en la cuenca del río Waterford, los cuales fueron SAC-SMA, GR4J, MAC-HBV, HEC-HMS Y WATFLOOD, mediante pronósticos hidrológicos deterministas pusieron a prueba su desempeño operativo con el fin de evaluar su potencial, los modelos fueron alimentados con registros diarios de precipitación y

temperatura, para los cuales se implementaron métodos de complementación teórica y una serie de caudal continua aguas abajo de la confluencia de South Brook y el río Waterford, los resultados indican que los modelos son capaces de simular razonablemente bien el caudal en los periodos de calibración y validación por lo que se recomienda la predicción por conjunto utilizando modelos hidrológicos múltiples, además, se destacó los datos de caudales resultantes para producir mapas de riesgo de inundaciones fáciles de usar para la entrega al público.

**Tabla 1.** Resumen de principales estudios analizados

Modelo	Cuenca	Autor, Año	Objetivo del estudio
HyMOD	Cuenca Cobb Creek, Chuzhou	Chen, H. Yang, D. Gourley, j. Zhang, Y., (2013).	El objetivo del estudio es evaluar el potencial de un sistema de asimilación de datos para el pronóstico de crecidas repentinas en tiempo real en cuencas pequeñas mediante la actualización de los estados del modelo.
MGB	Cuenca Sao Francisco, Parnaíba, Alto Paraná, Tocantins, Magdalena, Orinoco, Madeira	Siqueira, V. Fan, F. Paiva, R. Ramos, M. Collischonn, W., (2020).	El objetivo del estudio es evaluar la habilidad potencial de los pronósticos de caudal por conjuntos para la predicción de inundaciones en América del Sur (SA), con una mirada más cercana a algunas de las grandes cuencas del continente.
Weather Research and Forecasting (WRF)	Cuenca Daqinghe	Tian, J. Liu, J. Yan, D. Ding, L. Li, C., (2019).	Evaluar el rendimiento de un sistema acoplado para el pronóstico de inundaciones en tiempo real seleccionando cuatro tormentas de dos cuencas montañosas en la región de Jin-Jing-Ji del norte de China.
SAC-SMA, GR4J, MAC-HBV, HEC-HMS, WATFLOOD	Cuenca del río Waterford	Wijayarath, D. Coulibaly, P., (2020).	El objetivo de este estudio fue actualizar los mapas de riesgo de inundaciones para predecir con precisión el efecto a largo plazo del cambio climático en el área de St. John.
TOPMODEL	Cuenca del río Pajiang	Li, W. Lin, K. Zhao, T. Lan, T. Chen, X. Du, H. Chen, H., (2019).	Los objetivos de este estudio son (1) investigar la evaluación del peligro de inundaciones que combina TOPMODEL y MIKEFLOOD; (2) estimar la evaluación de la vulnerabilidad a las inundaciones utilizando diversas profundidades y duraciones del agua; (3) realizar una evaluación de riesgos y un análisis de sensibilidad basado en una transformación de la red de los resultados de la inundación y los daños.

## **2. Descripción Zona de Estudio**

### **2.1 Descripción del Área de estudio Cáchira Sur**

Es importante definir de antemano las características físicas que comprende el área de estudio para entender o contextualizar su estado actual, de modo que se presentará el análisis morfométrico de la subcuenca, así como todo lo que aborda al uso de suelos, conflictos y coberturas, la red de drenaje y un análisis de eventos por amenaza de inundación.

#### ***2.1.1 Morfometría***

Una manera directa y concisa de definir la morfometría es la siguiente, el análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de sus manejos [18]. En la Tabla 2 se relacionan los parámetros morfométricos calculados para la subcuenca Cáchira Sur y la microcuenca El Playón donde se encuentra ubicado el municipio, así mismo la Tabla 3 clasifica algunos aspectos según sus respectivos valores.

**Tabla 2.** *Parámetros morfométricos de la subcuenca Cáchira Sur*

Parámetros Morfométricos	Subcuenca Cáchira Sur	Microcuenca El Playón
Área ( $Km^2$ )	682.21	154.59
Perímetro ( $Km$ )	238.586	64.37
Longitud de drenaje principal ( $Km$ )	65.079	19.99
Ancho de la cuenca ( $Km$ )	10.48	7.74
Longitud del drenaje de la cuenca ( $Km$ )	1426.01	343.28
Densidad de Drenaje ( $m/Km^2$ )	2.09	2.22
Factor de forma ( $Kf$ )	0.16	0.39
Coefficiente de compacidad ( $Kc$ )	2.56	1.45
Índice de Alargamiento ( $Ia$ )	6.21	2.58
Índice de Asimetría	1.14	2.87
Cota mayor ( $m.s.n.m$ )	3850	600
Cota menor ( $m.s.n.m$ )	175	375
Pendiente media de la corriente	5.65%	1.13%
Pendiente media del área de drenaje	53%	48%
Tiempo de Concentración $Tc$ ( $hr$ )	5.11	4.16
Elevación media ( $Hm$ )	1726.89	1131.76
Coefficiente de Macividad	2.53	7.32

*Nota:* Valores cuantitativos de las características físicas tanto de la subcuenca Cáchira Sur en general, como de la microcuenca El Playón donde se encuentra ubicado el municipio. Adaptado de POMCA Cáchira Sur Actualizado (2015).

**Tabla 3.** *Descripciones de parámetros morfométricos de la subcuenca Cáchira Sur*

Parámetros Morfométricos	Subcuenca Cáchira Sur	Microcuenca El Playón
Densidad de Drenaje ( $m/Km^2$ )	Alta Densidad de Drenaje	Alta Densidad de Drenaje
Factor de forma (Gravelius)	Muy poco achatada	Moderadamente achatada
Coefficiente de compacidad (Gravelius)	Oval oblonga a rectangular oblonga	Oval redonda o oval oblonga
Índice de Alargamiento ( $Ia$ )	Muy Alargada	Muy Alargada
Coefficiente de Macividad	Muy Montañosa	Muy Montañosa

*Nota:* Descripciones físicas respecto a los valores asociados a la Tabla 2 de la subcuenca Cáchira Sur y de la microcuenca El Playón donde se encuentra ubicado el municipio. Adaptado de POMCA Cáchira Sur Actualizado (2015).

**2.1.2 Conflicto por Uso de Suelos**

Los conflictos de uso de la tierra vienen del resultado de la discrepancia entre el uso que el hombre hace actualmente del medio natural y aquel que debería tener de acuerdo con la oferta ambiental teniendo en cuenta sus potencialidades y restricciones, el conflicto es generado por causas como la desigualdad en la distribución de las tierras, el predominio de intereses particulares sobre los colectivos y el manejo no planificado de la relación uso-tierra, esto se refleja en el uso inadecuado de los suelos ya sea por sobreutilización o subutilización [19].

De acuerdo con la zonificación del conflicto de uso de suelos del área de estudio vistos en “POMCA Cáchira Sur actualización” [20], la cuenca Cáchira Sur tiene una distribución porcentual de acuerdo con la correspondencia A, O1, O3, S1, S2, S3, representada en la Tabla 4 de la siguiente manera:

**Tabla 4.** Tipos de Conflicto por uso de suelo asociados a la subcuenca Cáchira Sur

Conflicto	Simbolo	Área (ha)	%
Tierras sin Conflicto de Uso o Uso Adecuado	A	50742.34	74.38%
Sobreutilización Ligera	O1	10062.94	14.75%
Sobreutilización Severa	O3	2185.47	3.20%
Subutilización Ligera	S1	2383.2	3.49%
Subutilización Moderada	S2	2314.36	3.39%
Subutilización Severa	S3	532.88	0.78%
Total		68221.19	100.00%

*Nota:* Distribución porcentual de áreas de acuerdo con cada tipo de conflicto por uso de suelo. Adaptado de POMCA Cáchira Sur Actualizado (2015).

**2.1.2.1 Tierras sin Conflicto de Uso (A).** Las tierras sin conflicto de uso se caracterizan porque la oferta ambiental dominante guarda correspondencia con la demanda de la población, por lo que las aptitudes destinadas a actividades agrícolas, pecuarias, forestales y de conservación de los recursos no generan un desgaste inadecuado del recurso del suelo.

**2.1.2.2 Sobreutilización Ligera (O1).** Corresponden a las tierras cuyo uso actual está cercano al uso recomendado, pero que se han trabajado con un nivel de intensidad superior al adecuado. Esta sobreutilización puede ser controlada al realizar prácticas de uso y manejo adecuados o que se modifique el uso actual.

**2.1.2.3 Sobreutilización Severa (O3).** Son áreas donde se vienen desarrollando actividades productivas de mayor capacidad de uso que difieren del uso principal del suelo y que pueden afectar de manera progresiva la productividad y sostenibilidad del suelo.

**2.1.2.4 Conflicto por Subutilización Ligera (S1).** Este uso de suelo corresponde al uso potencial del suelo con algunas prácticas de manejo inadecuadas que es necesario corregir.

**2.1.2.5 Conflicto por Subutilización Moderada (S2).** El uso actual del suelo corresponde al uso potencial con un uso de prácticas inadecuadas que se deben corregir. El uso actual es menos intenso que el uso potencial.

**2.1.2.6 Subutilización Severa (S3).** Tierras cuyo uso actual está muy por debajo, de la clase de vocación de uso principal recomendada.

### ***2.1.3 Uso de Suelos***

El termino uso de los suelos es un término que se aplica al empleo o aprovechamiento, cíclico o permanente, que el hombre da a los diferentes tipos de cobertura para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales. Dentro del área de la cuenca hidrográfica Cáchira Sur se identificaron seis (6) usos de la tierra determinados por 18 cobertura [21]. Dichos usos son: Conservación y/o recuperación, Pastoreo extensivo, Pesca industrial, Sistemas agrosilvopastoriles, Sistemas silvopastoril y Urbano residencial. La distribución porcentual del uso de suelos se evidencia en la Tabla 5.

#### **2.1.3.1 Conservación y/o Recuperación (CRE).**

Las zonas de conservación corresponden a ecosistemas frágiles y estratégicos para la generación y regulación del agua. Las zonas de recuperación corresponden a suelos degradados por procesos erosivos, de contaminación y sobreutilización por lo que requieren acciones de recuperación y rehabilitación [20].

**Tabla 5.** *Clasificación de uso de suelos asociados a la subcuenca Cáchira Sur*

Uso	Símbolo	Área (ha)	%
CONSERVACIÓN Y/O RECUPERACIÓN	CRE	50322.12	73.76%
PASTOREO EXTENSIVO	PEX	16418.12	24.07%
SISTEMA AGROSIVOPASTORILES	ASP	759.55	1.11%
SISTEMA SILVOPASTORIL	SPA	607.88	0.89%
URBANO RESIDENCIAL	URS	81.59	0.12%
PESCA INDUSTRIAL	PCI	31.93	0.05%
Total		68221.19	100.00%

*Nota:* Distribución porcentual de áreas de acuerdo con cada tipo de uso de suelo. Adaptado de POMCA Cáchira Sur Actualizado (2015).

#### **2.1.4 Cobertura Vegetal**

De acuerdo con [20], se identificaron 17 coberturas de la tierra en el área de estudio durante el año 2017, de los cuales Bosque fragmentado corresponde a la mayor cobertura cubriendo el 21.98 % del área total, seguido de Pastos limpios que representa el 20.82 %, de Bosque denso bajo de tierra firme equivalente al 16.37 %, de Vegetación secundaria corresponde un 12.36 % y de Vegetación secundaria abarcando un 11.32 %. Además, existen otras coberturas menores a 7000 ha con porcentajes por debajo del 10 %, En la Tabla 6 se organizaron los datos de cobertura vegetal correspondiente al área de estudio.

**Tabla 6.** *Tipos de cobertura vegetal asociados a la subcuenca Cáchira Sur*

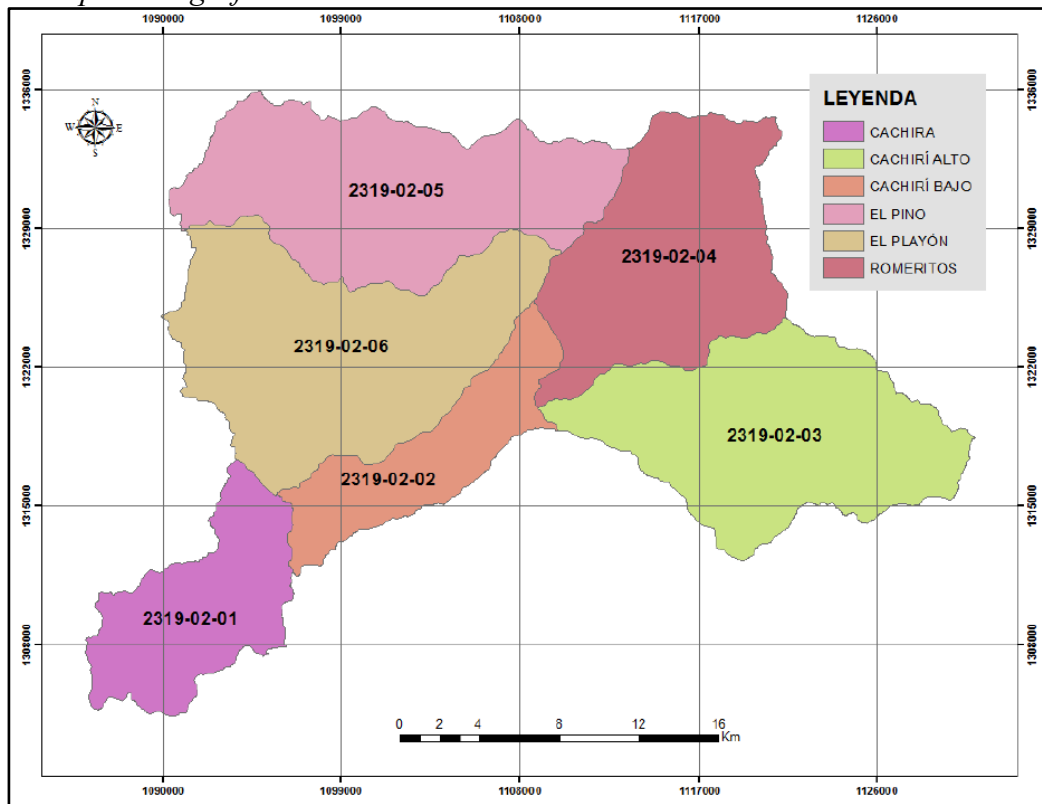
Cobertura	Área (ha)	%
Tejido Urbano Discontinuo	69.29	0.10%
Pastos Limpios	11464.33	16.80%
Pastos arbolados	2106.37	3.09%
Pastos enmalezados	2532.8	3.71%
Mosaico de Pastos con Espacios Naturales	3217.22	4.72%
Mosaico de cultivos, pastos y Espacios Naturales	437.2	0.64%
Bosque Denso Alto de Tierra Firme	1157.37	1.70%
Bosque Denso Bajo de Tierra Firme	11514.31	16.88%
Bosque Fragmentado	15724.24	23.05%
Herbazal Denso de Tierra Firme	4829.6	7.08%
Arbustal Denso	7882.3	11.55%
Vegetación Secundaria	7175.63	10.52%
Ríos	91.6	0.13%
Lagunas, Lagos y Ciénegas Naturales	6.69	0.01%
Cuerpos de Agua Artificiales	12.26	0.02%
Total General	68221.21	100.00%

*Nota:* Distribución porcentual de áreas de acuerdo con cada tipo de cobertura vegetal. Adaptado de POMCA Cáchira Sur Actualizado (2015).

### **2.1.5 Red Hidrológica**

La red hidrológica de la cuenca Cáchira Sur está dividida por seis (6) microcuencas según la delimitación del CDMB, las cuales forman parte de tres (3) afluentes superficiales principales que conforman el área de drenaje, estas son el río Cachiri, el río Playón y el río Cáchira. En la Figura 1 se identifica la delimitación de las microcuencas que conforman Cáchira Sur, de igual manera la Tabla 7 identifica el afluente principal de cada una.

**Figura 1.** Mapa hidrográfico de división de microcuenca



Adaptado de POMCA Cáchira Sur actualización (2015).

**Tabla 7.** Red hidrológica de microcuencas que conforman la subcuenca Cáchira Sur

Subcuenca	Afluente	Microcuenca
Cáchira Sur (2319-02)	Río Cachirí	Cachirí Alto (2319-02-03)
		Romeritos (2319-02-04)
		Cachirí Bajo (2319-02-02)
	Río El Playón	El Pino (2319-02-05)
		El Playón (2319-02-06)
	Río Cáchira	Cáchira (2319-02-01)

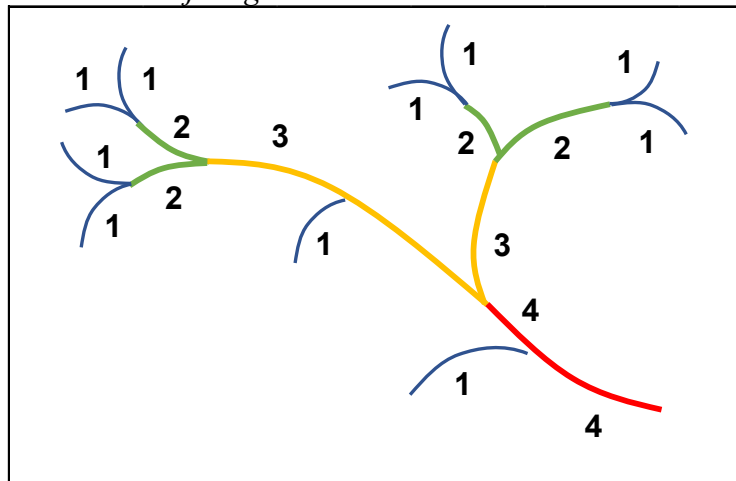
*Nota:* Afluentes principales que reciben aportes de sus respectivas microcuencas dentro de la zona de estudio.

### **2.1.5.1 Caracterización de Red de Drenaje.**

La red de drenaje se define como un sistema de jerarquización de cauces, esto abarcan desde la formación de pequeños flujos de corriente temporales, hasta los ríos que contienen un caudal constante, estos flujos confluyen unos dentro de otros para formar un colector principal de toda una cuenca y toda su estructura y caracterización se ve afectada por aspectos geomorfológicos y bióticos del sistema [22]. El sistema de drenaje de una cuenca está conformado por el río principal, sus tributarios y posibles cuerpos de aguas (lagos, lagunas y embalses) por lo que tener conocimiento de ellos es esencial en su clasificación.

El método más conocido para la clasificación del drenaje es de Strhaler [23], el cual consiste en asignar un orden de uno (1) a todos los cursos sin afluentes previos y se les conoce como cursos de primer orden, de igual manera la confluencia de dos cursos de primer orden creará un curso de segundo orden, sin embargo, la confluencia de dos cursos de diferente orden no aumentará el orden. En la Figura 2 se ejemplifica el método de clasificación de Strhaler.

**Figura 2.** Clasificación del drenaje según Strhaler



Adaptado de Quantitive geomorphology of drainage basins and channel networks (1966).

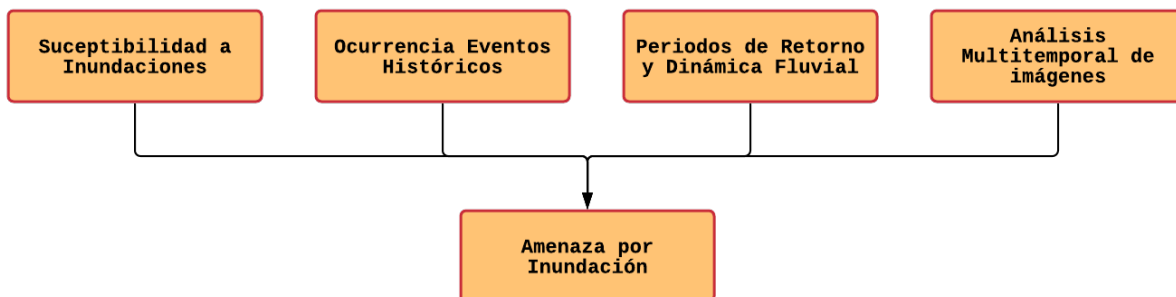
En el *Apéndice A* se elaboró un mapa mediante el Sistema de Información Geográfico Qgis en el cual se pueden evidenciar la distribución y aporte de los diferentes drenajes a un curso principal de agua. El mapa permite destacar la jerarquización de los drenajes donde según la Figura 2 se dividen en tres (3) clases generales:

- Corriente efímera, aquella que solo lleva agua cuando llueve e inmediatamente después.
- Corriente intermitente, lleva agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en época de lluvias; su aporte cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce.
- Corriente perenne, contiene agua todo el tiempo, ya que aun en época de sequía es abastecida continuamente, pues el nivel freático siempre permanece por arriba del fondo del cauce.

**2.1.6 Amenazas por Inundación**

La amenaza por inundación corresponde al desbordamiento del nivel freático de un curso de agua, el cual representa una amenaza que es necesario prever para evitar potenciales daños que pueden afectar las condiciones físicas, bióticas, sociales y económicas de la cuenca. se implementó una metodología para diagnosticar la amenaza por inundación de la cuenca Cáchira Sur que consistió en el análisis de susceptibilidad en las zonas con categoría media y alta, la ocurrencia de eventos históricos, el análisis del detonante fluvial y un análisis multitemporal de imágenes y lámina de agua, se excluyeron la modelación hidráulica al no existir información topográfica y batimétrica detallada que permita realizar una evaluación adecuada del riesgo [20]. En la Figura 3 se evidencia el esquema representativo de la metodología implementada.

**Figura 3.** Esquema para Determinación de Amenaza por Inundación



Adaptado de POMCA Cáchira Sur actualización (2015).

**2.1.6.1 Ocurrencia de Eventos Históricos.**

Este parámetro fue analizado teniendo en cuenta los eventos reportados en el catálogo histórico, el cual fue categorizado según su ocurrencia. De acuerdo con el registro se tienen un total de seis (6) eventos históricos donde el rango predomina entre 15 a 50 años representando el

83 %, ubicándose dos (2) eventos en el municipio de Suratá y en el Playón se registraron tres (3), adicionalmente existe un registro de inundación equivalente al 17 % en la quebrada las iglesias parte del municipio de el Playón, finalmente no se reportaron eventos con un rango superior a los 50 años. En la Tabla 8 se evidencia la ocurrencia de eventos históricos junto con su distribución porcentual.

**Tabla 8.** *Eventos de inundación registrados dentro de la subcuenca Cáchira Sur*

Ocurrencia Eventos Históricos	Clasificación	# Eventos	Municipio	%
Menor de 15 años	ALTA	1	El Playón	17%
Entre 15 a 50 años	MEDIA	3	El Playón	50%
		2	Suratá	33%
Mayor a 50 años	BAJA	0	N.A	0%
Total General		6	Total(%)	100%

*Nota:* Probabilidad de ocurrencia de eventos por inundación para los municipios que conforman la zona de estudio. Adaptado de POMCA Cáchira Sur Actualizado (2015).

### 2.1.6.2 Categorización de Amenaza por Inundación.

La amenaza por inundación fue categorizada en tres (3) clasificaciones: Alta, Media y Baja, con sus descripciones morfométricas, morfológicas, morfogénicas y recurrencia de eventos de inundación, además, elaboraron un mapa de amenaza por inundación donde el 90% del área de la zona de estudio es clasificación baja, el 9% corresponde a Media y únicamente el 1% se considera Alta, sin embargo el municipio del Playón está ubicada en la franja de amenaza alta bajo condiciones asociadas a eventos de encharcamiento y relacionados, producto inadecuado o insuficiente manejo de aguas superficiales de origen pluvial y actividades asociadas a sectores rurales como ganadería la extensiva. En la Tabla 9 se organizan las descripciones de la categorización de amenaza, adicionalmente se incluye el porcentaje equivalente a cada uno en la

zona de estudio. El Apéndice B. Mapa de amenazas por inundaciones en zonas priorizadas cuenca río Cáchira Sur es un mapa que demarca las zonas vulnerables a inundación creado a partir de la evaluación de riesgo.

**Tabla 9.** *Categorización de amenaza por inundación dentro la subcuenca Cáchira Sur*

Clasificación	Descripción	%
ALTA	Corresponde a las zonas con presencia de eventos previos de inundación, junto con las áreas geomorfológicas de origen fluvial recientes, como llanuras de inundación, terrazas bajas, barras, islas, islotes, cauces activos.	1%
MEDIA	Es la zona comprendida por geoformas de origen fluvial, que se encuentran en zonas topográficamente mayores que las anteriores, entre las cuales se encuentran las terrazas medias y altas.	9%
BAJA	Es la zona comprendida por geoformas de origen denudacional y estructural de pendientes moderadas a altas que no muestran características para generar inundaciones.	90%

*Nota:* Distribución porcentual y descripción de cada categoría de amenaza por inundación. Adaptado de POMCA Cáchira Sur Actualizado (2015).

**2.1.7 Necesidades de Información y Recomendaciones**

Se concluyó que a pesar de contar con antecedentes de inundaciones dentro del municipio El Playón, el río Playonero no cuenta con obras de control de cauce, estaciones milimétricas, redes de monitoreos de los cauces, entre otras, que aporten información necesaria a la hora de reducir el nivel de amenaza de este fenómeno natural. Además, dichas obras deben tenerse en cuenta los ríos Cachiri y Betania los cuales aportan a la confluencia del río Playón, donde el casco urbano del municipio se puede ver afectado.

### 2.1.8 Delimitación Territorial

La cuenca ocupa parte de los municipios de Suratá, El Playón y Rionegro, limitando al sur con las subcuencas de los ríos Salamaga y Suratá, al oriente limita con el departamento de Norte de Santander, y al occidente con las subcuencas de los ríos Cáchira del Espíritu Santo y río Lebrija Medio. La subcuenca ocupa 47 veredas en total, 15 pertenecientes al municipio de El Playón, (6 veredas parcialmente), 15 veredas del municipio de Suratá y 17 veredas del municipio de Rionegro, (9 parcialmente). En la Figura 4 se puede distinguir la delimitación municipal dentro de la región de la cuenca Cáchira Sur.

**Figura 4.** Delimitación municipal de la cuenca Cáchira Sur



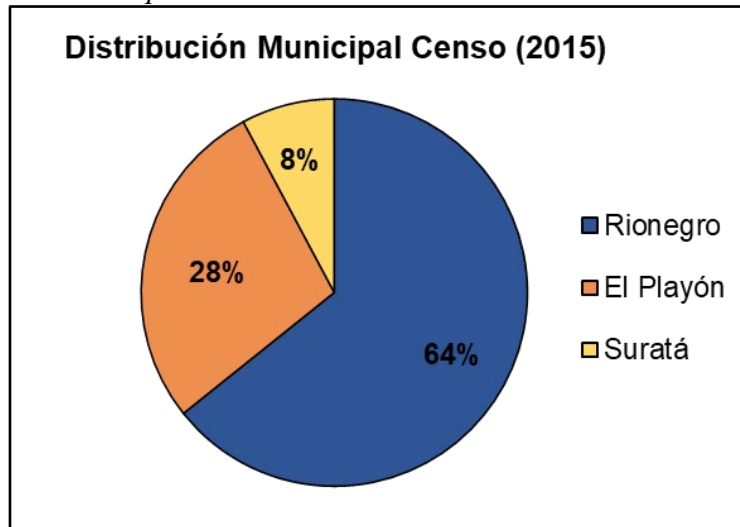
Adaptado de POMCA Cáchira Sur (2010).

### ***2.1.9 Dinamismo Poblacional***

Según el censo del DANE (2005) la población urbana dentro del área de la subcuenca Cáchira Sur era alrededor de 12.375 habitantes y en el sector rural alcanzaba los 33.813, lo que suponía una relación porcentual de 27% y 73% respectivamente. Ya para el año 2015 las áreas urbanas presentaron un incremento poblacional con un aproximado de 13.065 habitantes, mientras que en el sector rural descendió a 29.120 habitantes, variando la distribución porcentual al 31% y 69%. De los 42.185 habitantes registrados en el Censo del DANE (2015) que hacen parte de la región donde se ubica la subcuenca Cáchira Sur, la población municipal se distribuye de la siguiente manera.

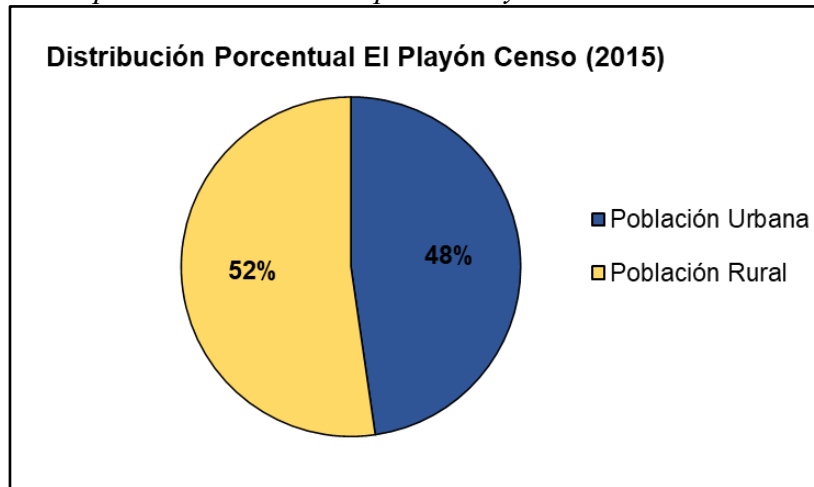
El municipio de Rionegro para el año 2015 la cabecera municipal registró 6.759 habitantes y en el sector rural 20.355, lo que indica una relación del 25% y 75% siendo Rionegro un municipio con alta tendencia rural. El municipio de El Playón registró en el casco urbano 5.618 habitantes y en el sector rural 6.158 para una relación del 48% y 52%, lo que define a El Playón como un municipio con tendencia poblacional equilibrada. Finalmente, el municipio de Suratá registró 688 habitantes dentro del casco urbano y 2.607 en el sector rural, con una relación de 21% y 79%, lo que define a Suratá como un municipio con tendencial rural. En las Figura 5 y Figura 6 se puede ver la distribución municipal dentro de la región de la subcuenca y la distribución poblacional del municipio El Playón.

**Figura 5.** *Distribución Municipal censo 2015*



Adaptado de POMCA Cáchira Sur actualización (2015).

**Figura 6.** *Distribución porcentual del municipio El Playón censo 2015*



Adaptado de POMCA Cáchira Sur actualización (2015).

### ***2.1.10 Sistema Económico***

La actividad económica en la cuenca está soportada básicamente en el sector primario de la economía abarcando tanto agricultura, como ganadería, de estas actividades derivan los ingresos de alrededor del 80% de la población de la cuenca. Las actividades del sector agrícola presentan bastante dinamismo y variedad, pero presenta problemas en cuanto a rentabilidad y productividad. El sector pecuario abarca previos menores a 100 hectáreas y no cuenta con tecnología para el desarrollo adecuado de este sector.

La ganadería y actividades relacionadas con la misma genera alrededor del 30% de los empleos dentro de la cuenca. Debido a su poca destinación de tierras para el desarrollo de esta actividad, son pocos los empleos que brinda, por lo que no es considerada económicamente rentable para la región respecto a la generación de empleos.

La minería y los hidrocarburos con actividades muy reducidas, incipiente y en algunos casos realizada de manera artesanal, abarcando más que toda la extracción de oro cerca y al interior de la zona del páramo. La minería comprende especialmente la extracción de arcilla y de material de arrastre.

De igual forma dentro de la cuenca también hay espacio para el turismo, comercio e industria, estos sectores tienen una escasa dinámica económica por lo que se consideran actividades incipientes e inexploradas, de igual forma esta situación se presenta con el ecoturismo a nivel municipal.

### **3. Marco Teórico**

#### **3.1 Modelamiento Hidrológico**

Según el IDEAM un modelamiento hidrológico es una representación simplificada de un sistema real complejo, bajo forma física o matemática. En un modelo hidrológico generalmente se modela una cuenca hidrográfica y cada elemento que forma parte de su ciclo hidrológico, para tomar decisiones respecto a la temática es necesario tener conocimiento de las entradas (inputs) y las salidas (outputs) que derivan del sistema, para ver si el modelo es representativo del sistema real.

Las salidas (outputs) de los modelos varían dependiendo de los objetivos de este, algunos modelos son utilizados para crear escenarios de escorrentía, otros para evaluar tormentas individuales, generalmente los resultados más comunes son los hidrogramas y hietogramas.

#### **3.2 Modelo Hidrológico HydroBID**

HydroBID es un software desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo para la gestión del recurso hídrico en América Latina y el Caribe, HydroBID se construyó sobre la base de datos de Hidrología Analítica (AHD), además, utiliza la estructura de datos y las topologías de red de cuencas y corrientes de la AHD. Éste incorpora datos de uso de tierras, tipos de suelos, precipitaciones y temperatura dentro del área de estudio, así como los flujos de corrientes observados para usarlos en calibración. HydroBID.

#### **3.3 Generalidades del Software HydroBID**

HydroBID es capaz de realizar estimaciones de flujo de agua históricos y proyectados en diferentes escalas espaciales, además de evaluar los efectos de cambio climático en la

disponibilidad de agua y los impactos potenciales de estructuras hídricas en los flujos de agua. Usa de estructura la Base Datos de Hidrología Analítica (AHD) que contiene más de 230,000 representaciones de cuencas y segmentos fluviales, esta base de datos abarca diferentes atributos de las cuencas, como el uso de la tierra y el tipo de suelo [24]

### **3.4 Parámetros que Intervienen en la modelación HydroBID.**

#### **3.4.1 Número de Curva (CN)**

La metodología de número de curva fue desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) para determinar un parámetro que permitiera el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica y se obtiene a partir de algunas características físicas del territorio como el tipo, la densidad y el tratamiento de las coberturas, así como el grupo hidrológico del suelo [25].

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Donde la escorrentía (Q) es una función de la lámina de lluvia (P) y La retención máxima potencial (S), en milímetros. Después de iniciar la escorrentía la retención máxima potencial puede tomar valores de cero a infinito, para usar un valor más conveniente, se estableció un nuevo parámetro llamado número de curva (CN) limitado en un rango de cero a cien [26].

$$NC = \frac{25.4}{S + 254} (S) \text{ en milímetros}$$

Los valores de número de curva cercanos a 20 corresponden a suelos con condiciones de permeabilidad muy alta, mientras que los valores cercanos a 100 tiene condiciones de impermeabilidad. Los suelos se dividen en cuatro grupos hidrológico expresados en la Tabla 10.

**Tabla 10.** *Grupos hidrológicos del suelo*

Grupo Hidrológico del Suelo	Infiltración en estado húmedo	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de infiltración > 76 mm/h	Arenosa, Arenosa-Limosa, Franca
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Franco-Arcillosa-Arenosa, Franco-Limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-Arcillosa, Franco-Arcillo-Limosa, Arcillo-Arenosa
D	Muy lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h	Arcillosa

*Nota: Características de infiltración y textura asociada a cada tipo de grupo hidrológico de suelo. Adaptado de SCS, 1964 en Bradbury et al., 2000.*

### 3.4.2 Contenido Disponible de Agua en el Suelo (CDA)

El CDA es el volumen de agua que se encuentra en la capa superior del suelo o la zona no saturada, se define como una característica de la capa del suelo no saturada y se puede estimar a partir de las propiedades del suelo. Exceder la cantidad de agua disponible ( $U^*$ ) de la zona no saturada produce la percolación (Pt) [24].

### 3.4.3 Coeficiente de Recesión (R).

Se utiliza para caracterizar la interacción de los sistemas de agua subterránea y de aguas superficiales. Es decir, caracteriza el flujo de agua procedente de la zona saturada que contribuye a los caudales de los ríos [24].

### 3.4.4 Coeficiente de Percolación (s)

Se calculan los balances diarios de agua dentro de ambos compartimientos del suelo, la capa no saturada ( $U_t$ ) y el área saturada ( $St$ ) con las siguientes ecuaciones [2].

$$U_{t+1} = U_t + R_t + M_t - Q_t - E_t - P_t$$

$$St_{t+1} = St_t + Pt - Gt - Dt$$

$U_t$  y  $P_t$  corresponden a las humedades del suelo de la zona no saturada y la zona de poca profundidad en el comienzo del día  $t$ , y  $Q_t$ ,  $E_t$ ,  $P_t$ ,  $G_t$  y  $D_t$  son la escorrentía de la cuenca, la evapotranspiración real, la percolación hacia la zona saturada poco profunda, el flujo de aguas subterráneas hacia el arroyo y la infiltración hacia la zona saturada profunda en el día  $t$  (cm) [2].

La percolación ( $P_t$ ) ocurre cuando el agua en la zona no saturada sobrepasa la capacidad disponible de agua del suelo ( $U^*_{cm}$ ) y se calcula de la siguiente manera [2].

$$P_t = \text{Max}(0, (U_t + R_t + M_t - Q_t - E_t - U^*))$$

El flujo de agua subterránea y la infiltración profunda se calculan con las ecuaciones a continuación:

$$G_t = rSt$$

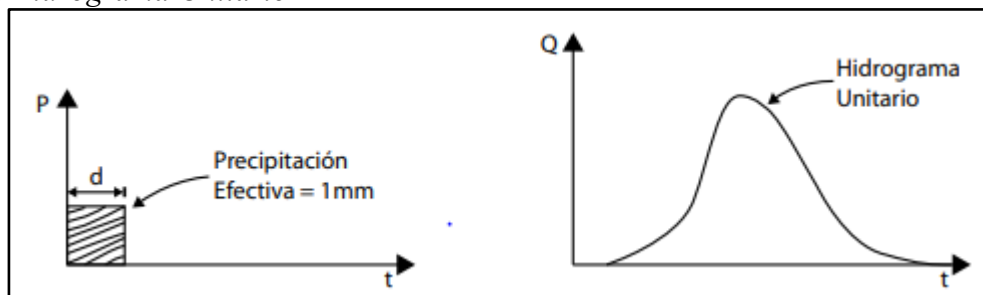
$$Dt = sSt$$

Donde  $s$  y  $t$  son las constantes de recesión de agua subterránea y la percolación ( $\text{día}^{-1}$ ), estos dos parámetros tienen una alta correlación.

### 3.4.5 Hidrograma Unitario

EL concepto de HU se define como la gráfica de escurrimiento directo resultante de 1 mm de lluvia en exceso, que se genera de manera uniforme sobre un área de drenaje (cuenca) a razón constante durante el tiempo de precipitación efectiva [27]. De igual manera las salidas generadas por HydroBID se muestran y evalúan como variabilidades hidrológicas en el tiempo, donde generalmente se pueden observar variaciones temporales del régimen de caudales, caudales máximos, variaciones estacionales y periodos húmedos, secos o normales. En la Figura 7 se ejemplifica los componentes básicos de un hidrograma.

**Figura 7.** *Hidrograma Unitario*



Fuente: J. A. A. Pérez Sesma y L. E. Maderey Rascón (2012).

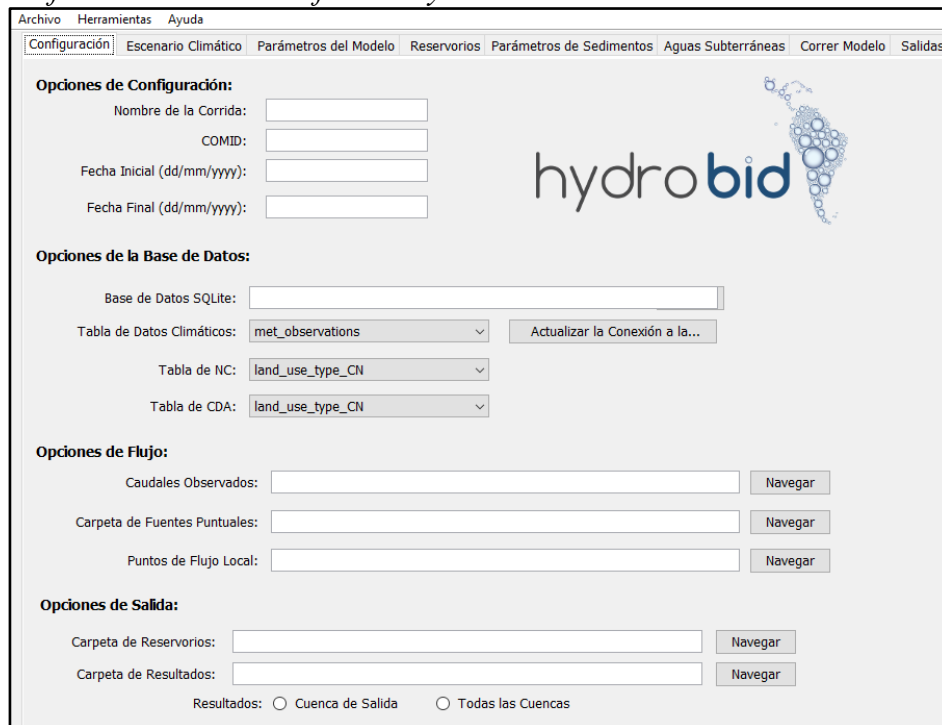
De manera que el caudal base es el flujo de agua constante, este responde a las variaciones o ausencia de precipitación y mantiene el flujo durante los periodos secos. La escorrentía directa equivale a él escurrimiento formado a partir del exceso de precipitación, el cual no es absorbido por el suelo y se desplaza como láminas de agua aportando al caudal base.

### **3.5 Descripción del Modelo HydroBID**

#### ***3.5.1 Interfaz de HydroBID***

La interfaz del HydroBID consta de tres opciones principales las cuales son “Archivos” donde se crean, guardan o cargan los proyectos a ejecutar, “Herramientas” contiene la herramienta de interpolación de datos utilizada para adjuntar los datos de precipitación y temperatura a la base de datos que se vaya a utilizar, y cuenta con una herramienta para visualizar y editar datos, “Ayuda” brinda información sobre que es HydroBID y sus aplicaciones.

**Figura 8.** *Interfaz de usuario del software HydroBID*



- Opciones de Configuración. En este apartado se dan datos iniciales, el nombre de la corrida, el COMID es el código de una cuenca aguas abajo, la fecha de inicio y fecha inicial que son definidos por el rango de datos que se dispongan.
- Opciones de Bases de Datos. Consiste en seleccionar la base de datos que contenga la información del suelo del área que se va a trabajar, al seleccionar la base de datos se escogerán automáticamente la tabla de datos climáticos, el número de curva (NC) y la cantidad de agua disponible (CDA) que ya vienen definidos dentro del mismo.
- Opciones de Flujo. Aquí se incorporan las series de caudales observados, sin embargo, no se tendrán en cuenta ya que no hay registro diario previos dentro de la cuenca, el IDEAM no dispone de las estaciones necesarias para esta zona.
- Opciones de Salida. Finalmente se define la ruta donde se guardarán los resultados después de correr el modelo hidrológico.

**Figura 9. Menú de ajustes de escenarios climáticos**

**Escenario Climático**

Ajuste de Temperatura (+/-):

Multiplicador de la Precipitación:    Usar Multiplicador(es) de Precipitación

Ajuste de Precipitación (+/-)    Usar Ajuste(s) de Precipitación

- Escenario Climático. Permite darle variabilidad a un escenario proyectado modificando los valores de temperatura en valor absoluto y el multiplicador de precipitación en porcentaje.

**Figura 10. Menú de parámetros hidrológicos**

**Parámetros Hidrológicos:**

Velocidad del Flujo:   Obtener Latitud de la Base de Datos

Latitud (decimales):   Guardar Percolación Profunda

Comienzo de la Temporada de Cultivo (día juliano):

Final de la Temporada de Cultivo (día juliano):

COMID de Calibración Aguas Arriba:

	Valor Único	Multiplicador	Usar Calibrado	Reemplazar Todos	
Numero de Curva (NC):	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Contenido Disponible de Agua (CDA):	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Coef. de Recesión (r):	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Coef. de Percolación (...)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Factor de ET en Temporada de Cultivo:	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Factor de ET en Temporada Latente:	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Porcentaje de Cobertura Impermeable:	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="1.0"/>
Umbral de Temperatura:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
Factor de Fusión:	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>

- Parámetros hidrológicos. Corresponden a valores que se correlación con la base de datos usada para el área de estudio. Intervienen factores adicionales como el Factor de ET en temporada de cultivo implica la evapotranspiración durante la temporada de crecimiento, el

Factor ET en Temporada Latente con la evapotranspiración durante la temporada latente, el Umbral de Temperatura que define la clasificación de precipitación como lluvia o nieve, y el Factor de Fusión siendo la tasa que controla el derretimiento del hielo.

### ***3.5.2 Base de Datos DB. SQLite***

HydroBID corre una sola base de datos recopilada para una cuenca o para una región por toda la extensión de América del Sur continental. Se usa una base de datos freeware llamada SQLITE, de manera que para una región específica la base de datos se copia usando la AHD, el uso de la tierra/suelo y los datos de cobertura terrestre, suelo y datos meteorológicos [2]. El procesamiento de los datos se puede ver en la Figura 11.

**3.5.2.1 Base de Datos AHD.** La Base de Datos de Hidrología Analítica (AHD) es una base de datos espacial que sirve como plataforma para integrar datos regionales dispersos en el apoyo de los modelos hidrológicos regionales, de manera que provee un marco para la parametrización de modelos, conectividad del flujo aguas arriba/abajo y brinda los datos necesarios para mostrar los resultados de forma gráfica [28].

**3.5.2.2 Características de AHD.** AHD incorpora las siguientes cuatro características esenciales para el desarrollo e implementación de herramientas de análisis de recursos hídricos dentro de una red hidrográfica [28].

- Una estructura de cuencas de polígonos enlazado con un esquema de identificación de cuencas.
- Una estructura que corresponde a los segmentos fluviales dentro de las cuencas.
- Un sistema interconectado de segmentos fluviales aguas arriba/abajo y entre cuencas
- Una estructura de bases de datos donde se pueden introducir atributos adicionales al modelo.

**3.5.2.3 Cobertura del Suelo.** Los datos de cobertura de suelo dividen la superficie de la tierra en diferentes tipos de coberturas existentes, incluyendo de igual manera tierras potenciales para la agricultura, humedales y bosques, cuerpos de agua, nieve, y hielo permanente. Los datos se encuentran anexados en la Base de Datos Armonizada Mundial de Suelos (HWSD) en un formato de celdas que permite su integración a la red de cuencas definidas por la AHD, de esta manera se provee el área de cada uno de los 24 tipos de cobertura correspondiente a cada cuenca [2].

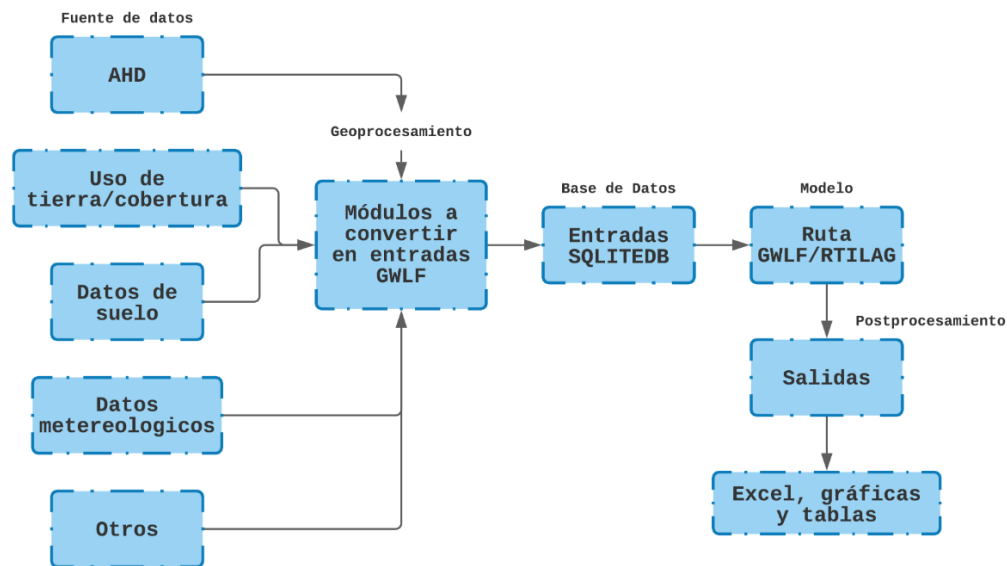
**3.5.2.4 Datos de Suelos.** La HWSO tiene los parámetros de suelo necesarios para el modelo basado en GWLF de cada uso de tierra dentro de cada cuenca de la AHD. HWSO combina grandes volúmenes de actualizaciones de información de suelos, regionales y nacionales en el Mapa Digital Mundial de Suelos con escala 1:5.000.000, se usa como capa para sobreponer las cuencas de la AHD y de esta manera determinar el tipo de suelo dominante en cada área. El tipo de suelo se clasifica en cuatro grupos hidrológicos que, dependiendo de la propiedad de drenaje del suelo, este se le asigna una categoría entre A, B, C y D, donde A corresponde al suelo con alta infiltración y D refiriéndose a suelos con pobre filtración [2].

#### **3.5.2.5 Datos Meteorológicos.**

**3.5.2.5.1 Precipitación.** El modelo requiere una serie de tiempo de precipitación total diaria para cada cuenca. Se asignan celdas con datos de precipitación de bases de datos nacionales e internacionales para un registro histórico, de igual manera escenarios climáticos pueden ser incorporados a cada cuenca [2].

**3.5.2.5.2 Temperatura.** El modelo requiere una serie de tiempo de temperatura media diaria para cada cuenca. Se asignan celdas con datos de temperatura de bases de datos nacionales e internacionales para un registro histórico, de igual manera escenarios climáticos pueden ser incorporados a cada cuenca [2].

**Figura 11.** *Flujograma de Procesamiento de Datos*



Adaptado de HydroBID: un Sistema Integrado para la Simulación de Impactos del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos Parte 2.

### 3.5.3 Salidas (Outputs) del Modelo

La salida (output) principal de Hydro-BID son las series de tiempo diarias de flujo para el período de simulación. La duración de la simulación depende de si el usuario está interesado en un periodo histórico o en proyecciones a futuro. Las salidas (outputs) de cada simulación son guardadas como .csv files en un archivo previamente especificado para las salidas. El nombre del archivo de las salidas (output) está asociado con el identificador de corrida de manera tal que cada corrida de una simulación pueda ser identificada correctamente [2]. La Tabla 11. Archivos de salida del modelo HydroBID describe las salidas (output) del modelo.

**Tabla 11.** Archivos de salida del modelo HydroBID

Nombre del Archivo	Descripción
<i>Modelrunname-settings.txt</i>	Contiene todos los parámetros de entrada (input) y de montaje (settings) del modelo
<i>Modelrunname-summary.csv</i>	Contiene un resumen de la simulación, número total de cuencas, tiempo de cálculos y la lista de las cuencas simuladas
<i>Modelrunname-outlet.csv</i>	Contiene las series de tiempo simuladas de las variables de salida (output) por cuenca
<i>Modelrunname-monthlySummary.txt</i>	Contiene la precipitación, temperatura, series de tiempo de flujo simulado y de flujo observado, mensuales

*Nota:* Descripción de los archivos de salida (output) posterior a la ejecución de un modelo, Fuente de adaptación: HydroBID: un Sistema Integrado para la Simulación de Impactos del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos Parte 2.

### 3.6 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Una definición muy útil y operativa acerca de los SIG fue propuesta por el National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) de los Estados Unidos donde: “Un SIG es un sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación”[29]. Maidment (1991) ha agrupado las aplicaciones de los SIG en hidrología de la siguiente manera:

- Evaluación e inventarios hidrológicos
- Determinación de parámetros hidrológicos
- Construcción de modelos hidrológicos sencillos (sin análisis estadístico)
- Construcción de modelo hidrológicos integrados

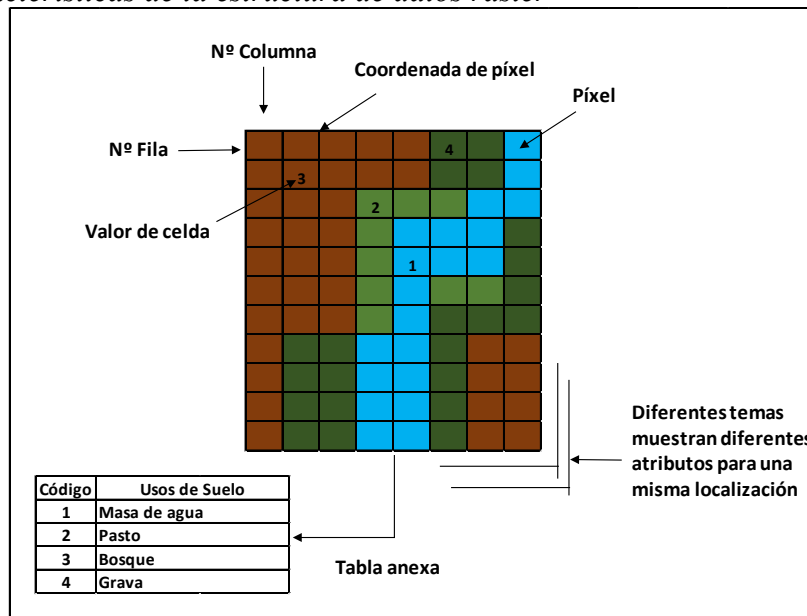
### ***3.6.1 Representación Digital***

Los SIG tienen una visión del mundo real dividida en estratos, capas o coberturas. Según esta esquematización, el espacio se constituye por elementos cuya localización precisa es posible gracias a su referenciación mediante un sistema de coordenadas. Además, los elementos espaciales pueden tener atributos temáticos. De este modo se trabajan con dos tipos de datos: los espaciales y los temáticos. Los datos espaciales pueden desglosarse en otros dos componentes: geométrica (x, y) y topológica [29].

**3.6.1.1 Modelo Ráster.** En el libro “Introducción a los sistemas de información geográfica y geo telemática” [30] la estructura de datos ráster se define como un método de almacenamiento, procesamiento y visualización de datos geográficos. Esta estructura de datos divide el espacio en una malla de celdas cuadradas que recibe el nombre de píxeles. En la Figura 12 se muestran las características de la estructura ráster definidas por el autor y presentadas a continuación:

- La localización de cada celda se define por su número de fila y columna, las coordenadas se almacenan en la esquina superior izquierda de la cuadrícula, y mediante la distribución de filas, columnas y dimensión de píxeles se puede calcular las coordenadas del resto de celdas.
- El área de cada píxel define la resolución espacial de los datos.
- La información almacenada de cada píxel indica el tipo de objeto, fenómeno o condición en esa localización.
- Los valores pueden ser enteros, reales o alfanuméricos.
- En una localización con diferentes atributos los valores se almacenen en temas separados.

**Figura 12.** Características de la estructura de datos ráster



Adaptado de Introducción a los sistemas de información geográfica y geo-telemática. UOC, (2011).

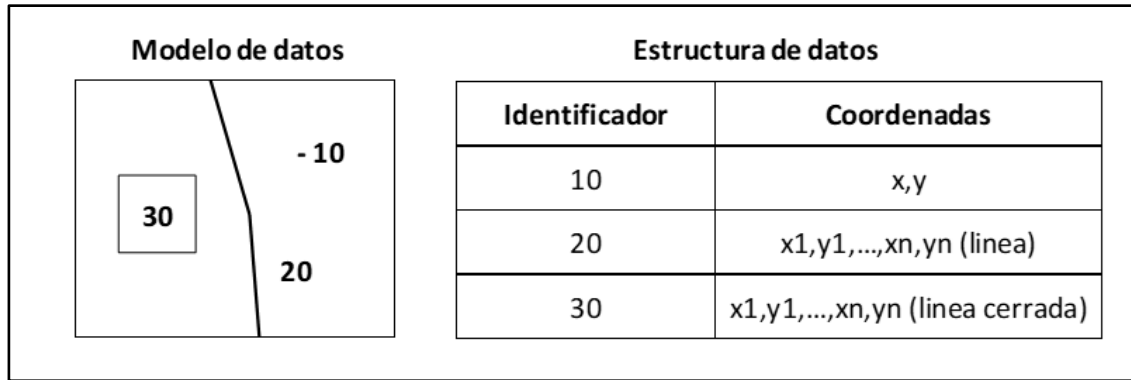
**3.6.1.2 Modelo Vectorial.** La estructuración de datos de modo vectorial representa el espacio según su geometría en forma de puntos, líneas y polígonos, además, según sus propiedades topológicas también quedan representado en forma de nodos, arcos y polígonos. Esta estructura de datos representa datos geográficos en forma de coordenadas y sus atributos se almacenan en un archivo aparte [30].

De igual la localización de un punto, línea y superficie en la estructural vectorial se determina de la siguiente manera:

- La localización de un punto está determinada por un único par de coordenadas.
- La localización de una línea está determinada por un conjunto de segmentos lineales que conectan una serie de puntos y, por lo que se representa mediante un conjunto de pares ordenados de coordenadas.

- Las superficies se describen mediante líneas interconectadas que las delimitan, de manera que las coordenadas son las mismas coordenadas del final.

**Figura 13.** Estructura de datos vectorial



Adaptado de Introducción a los sistemas de información geográfica y geo-telemática. UOC, (2011).

**3.7 IV Pacto por la Sostenibilidad: Producir Conservando y Conservar Produciendo**

El pacto actual menciona que Colombia tiene como prioridad contar con la información pertinente y accesible que permita identificar intervenciones estratégicas para prevenir y reducir el riesgo de desastres y lograr la adaptación al cambio climático, que aporte a la construcción de un país resiliente, minimice los impactos de los desastres y mejore las condiciones de seguridad para el territorio, la población y sus medios de vida [31].

**3.7.1 C. Colombia Resiliente: Conocimiento y Prevención para la Gestión de Riesgo de Desastres y la Adaptación del Cambio Climático**

Está línea contribuye al pacto por la sostenibilidad de manera que promueve la implementación de condiciones óptimas para que las distintas regiones y sectores del país puedan prevenir y reducir los riesgos, minimicen los impactos negativos provocados por desastres o

fenómenos naturales, y a su vez desarrollar la capacidad de adaptación a las circunstancias del cambio climático.

Los daños y pérdidas económica y sociales por desastres evidencia que su ocurrencia se debe a condiciones de riesgo creadas en el pasado. Se percibe que los eventos hidrometeorológicos son los más frecuentes, representando el 85% de los desastres registrados durante los años 1998 a 2018, de igual manera en Colombia existen aproximadamente 6.7 millones de personas socialmente vulnerables y expuestas a amenazas por inundaciones, movimientos de masa y avenidas torrenciales. Estas consecuencias se deben a al aumento de temperatura global actualmente, generando el aumento de eventos climáticos extremos y consecutivos.

Estas condiciones predisponen a la población a sufrir efectos negativos por eventos que atenten su integridad física, además impide la oportunidad de acceder y movilizar recursos que permitan reducir las causas de riesgo. Bajo este contexto es prioritario conocer, prevenir y reducir la probabilidad de riesgo, manejar las situaciones de desastre, y asumir los retos del cambio climático, favoreciendo así una economía productiva, competente y sustentable, además de la contribución a la seguridad poblacional, de sus medios de vida y del territorio en su conjunto.

Con el fin de plantear unos objetivos y estrategias idóneas para afrontar el panorama actual, se abordaron cuatro aspectos dando paso a un diagnóstico general:

### ***3.7.2 Conocimiento del riesgo***

Demostó avances en cuanto a monitoreo de fenómenos geológicos e hidrometeorológicos, sistemas de alerta temprana, cobertura de estaciones y actualización de mapas nacionales y regionales de amenazas naturales, sin embargo, se requiere estudiar los fenómenos de variabilidad climática, profundizar en el detalle por inundación y movimiento de masas.

### ***3.7.3 Responsabilidad frente a la reducción del riesgo y la adaptación al cambio climático***

Se estima que de no asumir el compromiso de reducción de riesgos se perderá alrededor del 0.5% del PIB, además existen retos como la incorporación de análisis de riesgo en instrumentos de ordenamiento territorial, la necesaria inversión para reducir las condiciones de riesgo y la falta de mecanismos para el seguimiento de la implementación de los instrumentos y evaluar su efectividad.

### ***3.7.4 Movilización de recursos para la gestión del riesgo y la adaptación***

Se estima que las inversiones en gestión del riesgo alcanzaron los 11.3 billones de pesos, de los cuales el 74% se destina para el manejo de desastres, el 20% para reducción de riesgo, el 4% para gobernanza y solo el 2% para conocimiento de los riesgos. Se recalca que es necesario disponer de criterios de asignación de recursos para cubrir objetivos climáticos, de conocimiento y de reducción del riesgo.

### ***3.7.5 Manejo de desastres y reconstrucción***

Se considera que se realizaran inversiones a 2022 por 1.2 billones de pesos destinados a la rehabilitación de infraestructura física y del tejido social, por lo que se tiene el reto de definir estrategias de inversión desde el punto de vista técnico, institucional y financiero, que orienten procesos de reconstrucción resiliente y adaptada a las condiciones del clima.

A partir del diagnóstico anterior se sintetizaron los objetivos y estrategias propuestas para el apartado C del Pacto IV del Plan Nacional de Desarrollo en la Figura 14.

**Figura 14.** *Objetivos y Estrategias para la prevención y gestión de riesgo en Colombia*



Adaptado de Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022.

## **4. Método y Desarrollo**

### **4.1 Población y Muestra**

La población comprende los datos almacenados en las estaciones meteorológicas del IDEAM al interior de la zona de estudio, esto con el fin de ser incorporadas a la base de datos BD, parcialmente se cuenta con cuatro (4) estaciones activas con registros de temperatura y precipitación. La muestra de datos que se extraerá de las estaciones será un registro histórico de 34 años entre el 01/01/1985 y el 31/12/2018, con un contenido aproximadamente de 12418 datos por cada parámetro de cada estación validada.

#### ***4.1.1 Criterios de Inclusión***

- Estaciones meteorológicas que se encuentren dentro de la Cáchira Sur con fecha de activación previo o desde la fecha 01/01/1985.
- Estaciones meteorológicas con categoría pluviométrica, climatológica, climatológica ordinaria o limnigráficas.

#### ***4.1.2 Criterios de Exclusión***

- Estaciones Meteorológicas que no contengan registro histórico suficientemente pertinente de los parámetros de temperatura máxima diaria, día pluviométrico y caudal medio diario.

### 4.2 Herramientas de Recolección de Datos

Los datos recolectados de las estaciones meteorológicas de manera predeterminada vienen en un formato Excel organizados uno a uno cronológicamente, sin embargo, fue necesario adaptarlos a otro formato para que fueran correctamente incorporados a la base de datos del BID. En las Figura 15, Figura 16 y Figura 17 están ilustrados los formatos usados para la recolección de características climatológicas y geográficas de la subcuenca y de las estaciones meteorológicas.

**Figura 15.** Formato de ficha de recolección de datos de precipitación y temperatura

	Fecha	Valor
1		
2		
3		
...		
12418		

Valores de precipitación en cm o de temperatura en °C

Fechas correspondientes al rango de tiempo establecido

Cantidad de valores recolectados

**Figura 16.** Formato de ficha de recolección de datos geográficos de cuencas

Centroid X	Centroid Y	COMID

Código de identificación de cada microcuenca

Valores en X y Y de los centroides de las microcuencas

**Figura 17.** *Formato de ficha de recolección de características geográficas de las estaciones meteorológica.*

Name	Lat_deg	Long_deg

Nombre de las estaciones utilizadas

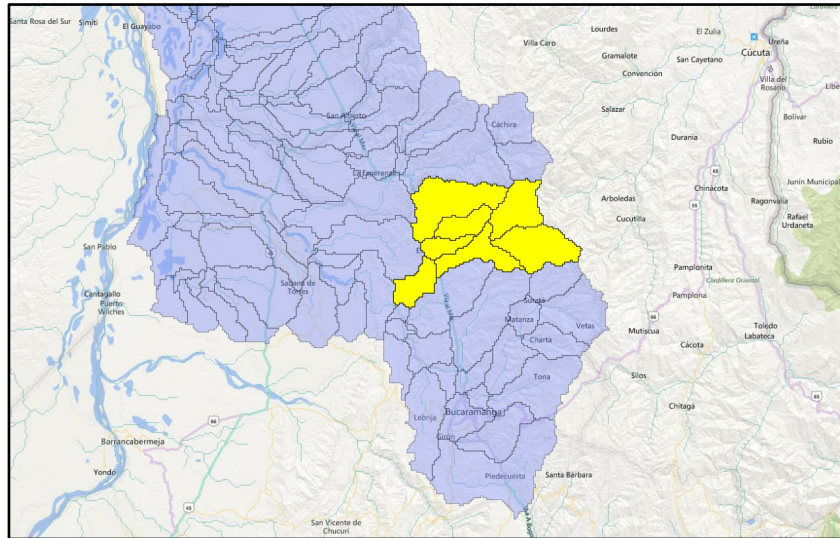
Latitud y Longitud de las estaciones utilizadas

### 4.3 Técnica de Análisis de Datos

La muestra de datos climáticos extraídos de las estaciones meteorológicas requiere de un tratamiento previo antes de ser incorporados a la base de datos, en donde se determinan la cantidad de datos almacenados y faltantes por cada año y mes, además de definir e implementar el método de complementación teórica más adecuado.

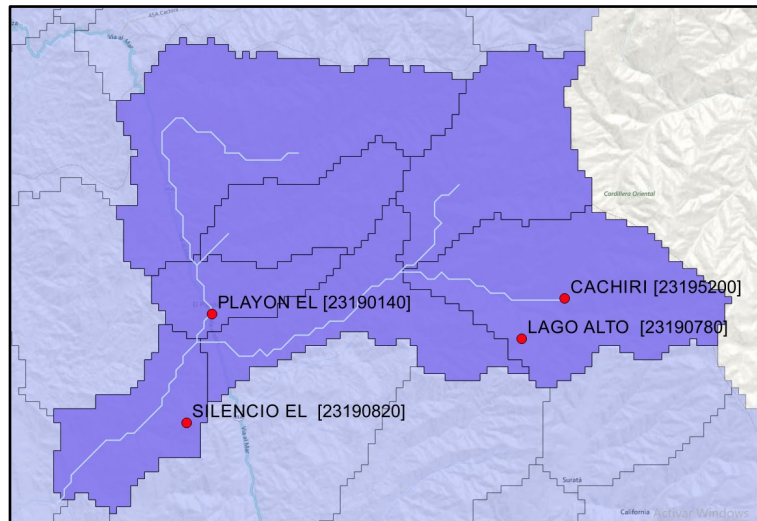
### 4.4 Delimitación Zona de Estudio

Antes de poder extraer la información requerida para llevar a cabo la modelación, fue necesario delimitar el área que abarca la zona de estudio, en este caso la Subcuenca Cáchira Sur, para ello se usó el sistema de información geográfico QGIS, en conjunto con La Base de Datos de hidrología Analítica AHD, además de archivos de formato .shx compatibles con el SIG proporcionados por el BID y el IDEAM.

**Figura 18.** *Delimitación de la Subcuenca Cáchira Sur*

Para obtener la Figura 18 se implementó la herramienta AHDFlow como extensión de QGIS sobre un archivo de zonificación de cuencas de toda la región colombiana proporcionado por el BID, esto permitió definir una ruta desde la desembocadura de la cuenca Magdalena ubicada en Barraquilla, hasta la cuenca Lebrija aguas arriba, donde se pudo extraer la red de drenaje que conforma la Cáchira Sur, este proceso se volvió a realizar pero con un archivo de los drenajes principales que abarca la subcuenca.

Ya definida la zona de estudio se agregaron otros elementos como las estaciones meteorológicas del IDEAM, de las cuales se omitieron las estaciones que se encontraban ubicadas por fuera de la zona de estudio y las que estuvieran en un estado de suspensión. En la Figura 19 se reúnen todos los elementos obtenidos, tanto la red drenaje de cuencas, los afluentes principales y las estaciones meteorológicas.

**Figura 19.** *Elementos de la Subcuenca Cáchira Sur*

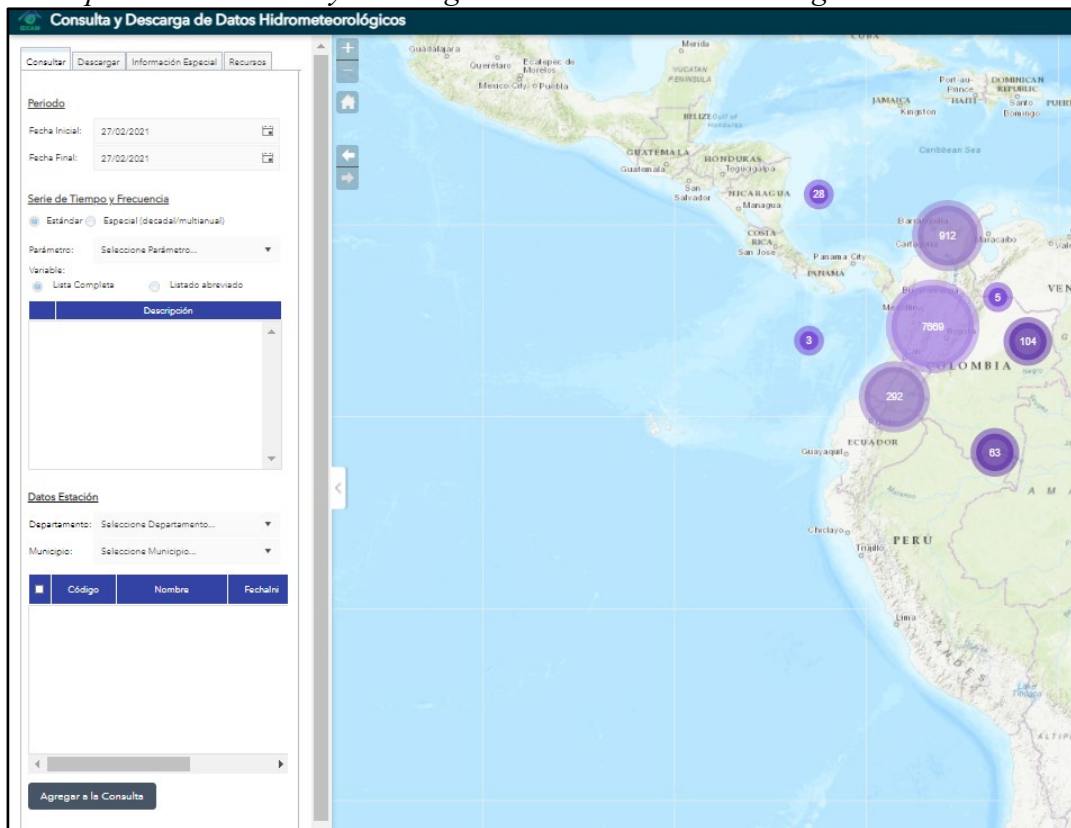
## 4.5 Recopilación de Datos

### 4.5.1 Información Meteorológica

Inicialmente se evaluaron atributos de las estaciones meteorológicas al interior de la zona de estudio para definir una población de datos a recolectar, el primer atributo evaluado fue la categoría de cada estación, una de ellas presento ser Climatológica Ordinaria que permite el registro tanto de precipitación como de temperatura, las demás estaciones solo registraban precipitación siendo estas únicamente pluviométricas. El segundo atributo abarcó la fecha de instalación de cada una, debido a que es necesario partir de fechas en común para llegado el caso de faltar datos, estos pudieran ser complementados. Cabe recalcar que se tomó como fecha de base el año 1985 debido a que la base de datos que reúne la información climatológica y geográfica del BID para la cuenca Lebrija, tiene registro de datos históricos a partir de esta fecha que fue promediada a partir de estaciones que abarca la cuenca.

La consulta de datos se hizo a través del aplicativo del IDEAM, “consulta y descarga de datos hidrometeorológicos” (Figura 20) en un rango de tiempo entre 1985 a 2018, en este proceso se descartaron dos estaciones debido a que aparentemente no se tenían registro de esta o no contaba con una cantidad de datos pertinentes para ser tenidos en cuenta tanto en la modelación como en complementación.

**Figura 20.** *Aplicativo Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*



**Tabla 12.** *Atributos independientes de cada estación y posibles datos almacenados*

# Estación	1	2	3	4
Código	[23195200]	[23190140]	[23190820]	[23190780]
Nombre	CACHIRI-AUNT	PLAYON EL	SILENCIO EL	LAGO ALTO
Estado	Activa	Activa	Suspendida	Suspendida
Categoría	Climatológica Ordinaria	Pluviométrica	Pluviométrica	Pluviométrica
Fecha Inicial	31/12/1984	31/12/1984	01/01/1990	N.A
Fecha Final	01/01/2018	01/01/2018	31/12/1994	N.A
Cantidad Probable	12045	12045	1825	0
Datos Precipitación	Si	Si	Si	Si
Datos Temperatura	Si	No	No	No

*Nota:* Atributos y posible cantidad de datos para las cuatro estaciones “activas” dentro de la zona de estudio. Adaptado del portal principal del IDEAM

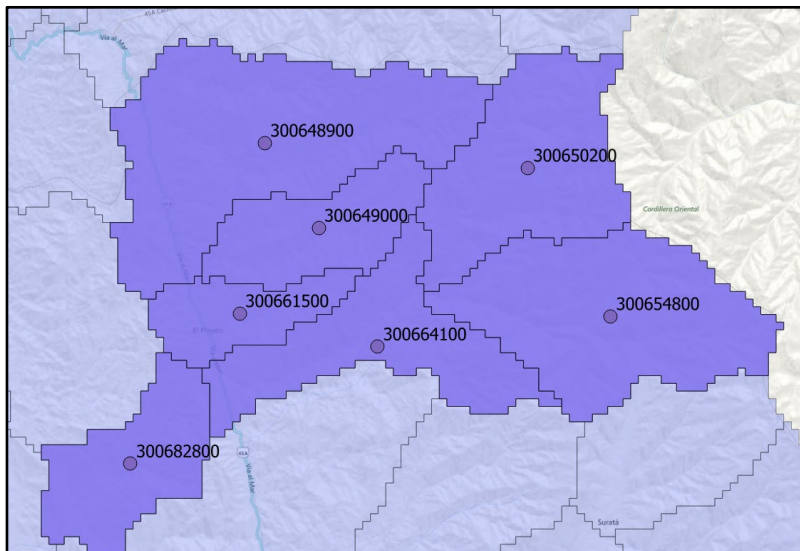
En base a la Tabla 12 se seleccionaron las estaciones 1 y 2 para ser adjuntadas a la base de datos del BID por poseer aparentemente un registro histórico de datos en el rango de tiempo definido previamente.

#### **4.5.2 Información Geográfica**

La información geográfica corresponde en determinar la ubicación de los centroides de cada microcuenca que conforma la zona de estudio, además del COMID correspondiente aguas abajo, de igual manera se requiere las latitudes y longitudes de las estaciones seleccionadas previamente, para este caso la estación 1 y 2 correspondiente a la Tabla 12.

La obtención de centroides se realizó implementando una de las herramientas de geometría que vienen incorporadas en el software QGIS, específicamente “centroides de polígonos”, aquí se toma de base el archivo que delimita la subcuenca para generar los respectivos centroides. En la Figura 21 se evidencian la ubicación de cada centroide con su respectivo COMID por microcuenca.

**Figura 21.** Centroides de cada microcuenca dentro la subcuenca Cáchira Sur y sus respectivos COMID



Las latitudes y longitudes por cada estación se extraen fácilmente del cuadro de atributos de la capa correspondiente, mismo cuadro que se usó para hacer la evaluación de la información meteorológica. Una vez definida esta información se introducen en los formatos establecidos previamente para la recolección de datos geográficos.

**Tabla 13.** *Datos geográficos de la Subcuenca Cáchira Sur*

Centroid X	Centroid Y	COMID
-73.17418705	7.57233836	300648900
-73.14478135	7.52614824	300649000
-73.03101145	7.55878658	300650200
-72.98600157	7.47810239	300654800
-73.18776552	7.47967729	300661500
-73.11279092	7.46161787	300664100
-73.24722432	7.39797961	300682800

*Nota:* Coordenadas en X y Y de cada centroide de las microcuencas de la zona de estudio con sus respectivos COMID.

**Tabla 14.** *Datos geográficos de las estaciones meteorológicas*

Name	Lat_deg	Long_deg
PLYÓN_EL	7.46472	-73.20139
CACHIRA-AUNT	7.473889	-72.991111

*Nota:* Latitudes y Longitudes de las estaciones 1 y 2 ubicadas dentro de la zona de estudio.

#### **4.5.3 Información de Uso y Cobertura del Suelo**

La base de datos proporcionada por el BID ya contiene digitados los valores de clasificación del suelo para cada microcuenca identificadas con sus respectivo COMID, en donde según el código de cobertura terrestre este representa un área específica con su número de curva y grupo hidrológico correspondiente. A continuación, se presentan los datos almacenados en la base de datos del BID.

**Tabla 15.** Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300648900

COMID	Código de cobertura terrestre	Área (km <sup>2</sup> )	Número de Curva	Grupo Hidrológico
300648900	5	1.10	40	A
300648900	6	3.32	40	A
300648900	7	3.55	49	A
300648900	9	0.79	45	A
300648900	10	35.26	49	A
300648900	11	5.35	36	A
300648900	13	96.87	36	A
300648900	21	8.88	45	A

*Nota:* Área, número de curva y grupo hidrológico correspondiente al código de cobertura terrestre identificado dentro de la microcuenca. Adaptado del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

**Tabla 16.** Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300649000

COMID	Código de cobertura terrestre	Área (km <sup>2</sup> )	Número de Curva	Grupo Hidrológico
300649000	7	33.33	49	A
300649000	9	0.78	45	A
300649000	10	4.63	49	A
300649000	11	0.31	36	A
300649000	13	25.21	36	A
300649000	21	0.21	45	A

*Nota:* Área, número de curva y grupo hidrológico correspondiente al código de cobertura terrestre identificado dentro de la microcuenca. Adaptado del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

**Tabla 17.** Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300661500

COMID	Código de cobertura terrestre	Área (km <sup>2</sup> )	Número de Curva	Grupo Hidrológico
300661500	5	1.17	40	A
300661500	7	7.48	49	A
300661500	10	26.08	49	A
300661500	11	0.54	36	A
300661500	13	8.15	36	A

*Nota:* Área, número de curva y grupo hidrológico correspondiente al código de cobertura terrestre identificado dentro de la microcuenca. Adaptado del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

**Tabla 18.** Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300650200

COMID	Código de cobertura terrestre	Área (km <sup>2</sup> )	Número de Curva	Grupo Hidrológico
300650200	2	1.80	64	A
300650200	5	6.00	40	A
300650200	7	27.39	49	A
300650200	8	8.13	45	A
300650200	10	18.33	49	A
300650200	11	3.09	36	A
300650200	13	31.23	36	A
300650200	21	15.53	45	A

*Nota:* Área, número de curva y grupo hidrológico correspondiente al código de cobertura terrestre identificado dentro de la microcuenca. Adaptado del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

**Tabla 19.** Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300654800

COMID	Código de cobertura terrestre	Área (km <sup>2</sup> )	Número de Curva	Grupo Hidrológico
300654800	2	4.00	64	A
300654800	7	24.97	49	A
300654800	8	2.70	45	A
300654800	9	0.45	45	A
300654800	10	4.67	49	A
300654800	11	11.38	36	A
300654800	13	67.86	36	A
300654800	21	31.04	45	A

*Nota:* Área, numero de curva y grupo hidrológico correspondiente al código de cobertura terrestre identificado dentro de la microcuenca. Adaptado del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

**Tabla 20.** Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300664100

COMID	Código de cobertura terrestre	Área (km <sup>2</sup> )	Número de Curva	Grupo Hidrológico
300664100	7	37.27	49	A
300664100	9	2.72	45	A
300664100	10	17.56	49	A
300664100	11	4.46	36	A
300664100	13	11.47	36	A
300664100	21	21.02	45	A

*Nota:* Área, numero de curva y grupo hidrológico correspondiente al código de cobertura terrestre identificado dentro de la microcuenca. Adaptado del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

**Tabla 21.** Clasificación del tipo de suelo para la microcuenca identificada con el COMID: 300682800

COMID	Código de cobertura terrestre	Área (km <sup>2</sup> )	Número de Curva	Grupo Hidrológico
300682800	5	10.53	40	A
300682800	6	29.09	40	A
300682800	10	3.58	49	A
300682800	13	27.25	36	A

*Nota:* Área, numero de curva y grupo hidrológico correspondiente al código de cobertura terrestre identificado dentro de la microcuenca. Adaptado del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Una vez extraídos los datos se hizo una validación de la información en donde se compararon los atributos proporcionados por el BID, con los mapas cartográficos desarrollados por la CDMB en colaboración con el Fondo de Adaptación para el POMCA actualizado de la cuenca Cáchira Sur (Apéndice C. Mapa de cobertura y usos actuales de la tierra cuenca río Cáchira Sur). Se usó de base la adaptación de los grupos hidrológicos del U.S Department of Agriculture (USDA, 1986) para relacionar lo tipos de coberturas de suelos en ambos casos. A continuación, la Tabla 22 corresponde a la clasificación de la USDA y la Tabla 23 contiene la información de los mapas cartográficos de la CDMB.

**Tabla 22.** *Clasificación del tipo de uso de suelo usados por el BID*

Tipo de Uso de Suelo	Grupo Hidrológico
	A
Tierras agrícolas secas y pastizales	64
Tierras agrícolas irrigadas y Pastizales	64
Tierras agrícolas mixtas secas/Irigadas y Pastizales	40
Agricultura/Mosaico de Pastizales	40
Agricultura/Mosaico de bosques claros	40
Pastizales	49
Bosque de Arbustos	45
Bosque mixtos de Arbustos/Pastizales	45
Sabana	49
Bosque Deciduo de hoja ancha	36
Bosque Deciduo de hoja acicular	36
Bosque Siempreverde de hoja ancha	36
Bosque Siempreverde de hoja acicular	36
Bosque Mixto	36
Humedales Herbáceos	49
Humedales Arbolados	49
Tundra Herbácea	45
Tundra Arbolada	45
Tundra Mixta	45

*Nota:* Distintos tipos de uso de suelo del grupo hidrológico “A”, identificados en la caracterización de los suelos de la subcuenca Cáchira Sur de parte del BID. Adaptado de la USDA (1986).

**Tabla 23.** Coberturas actuales del suelo según el POMCA actualizado de la subcuenca Cáchira Sur (2015)

Metodología CORINE LAND COVER					
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	
Territorios Artificializados	Zonas Urbanizadas	Tejido Urbano discontinuo			
Territorios Agrícolas	Pastos	Pastos Limpios			
		Pastos Arbolados			
		Pastos Enmalezados			
	Áreas Agrícolas Heterogéneas	Mosaico de Pastos y Cultivos			
		Mosaico de Cultivos, Pastos, y Espacios Naturales			
		Mosaico de Pastos con Espacios Naturales			
		Bosque Denso	Bosque Denso Alto	Bosque Denso Alto de Tierra Firme	
	Bosques y Áreas Semi naturales	Bosques	Bosque Denso	Bosque Denso Bajo	Bosque Denso Bajo de Tierra Firme
			Bosque Fragmentado	Bosque Fragmentado con Pastos y Cultivos	
			Bosque de Galería y/o Ripario		
Áreas con Vegetación Herbácea y/o Arbustiva		Herbazal	Herbazal Denso	Herbazal Denso de Tierra firme	
		Arbustal	Arbustal Denso		
		Vegetación Secundaria o en Transición	Vegetación Secundaria Alta	Vegetación Secundaria Baja	
		Ríos (50 m)			
Superficie de Agua	Aguas Continentales	Lagunas, Lagos y Ciénegas Naturales			
		Cuerpos de Agua Artificiales	Estanques para Acuicultura Continental		

*Nota:* Tipos de coberturas terrestres por el método CORINE LAND COVER aplicado en el desarrollo del POMCA actualizado de la subcuenca Cáchira Sur (2015).

Una vez organizada la información de ambas fuentes, se compararon los grupos hidrológicos almacenados en la base del BID (Tabla 15-Tabla 21) con los atributos encontrados en los mapas cartográficos, en donde se pudo evidenciar las siguientes similitudes.

**4.5.3.1 Grupo Hidrológico A (64, 40 y 49).** Puede corresponder a las coberturas relacionadas con los territorios agrícolas que se subdividen en pastos y áreas agrícolas heterogéneas abarcando todo lo que se refiere a tipos de pastos, mosaicos, cultivos y espacios naturales que coinciden con el grupo hidrológico analizado.

**4.5.3.2 Grupo Hidrológico A (45, 36 y 49).** Se asemejan a las coberturas de Bosques y Áreas semi naturales, estos se subdividen en varias tipologías de bosques entre ellas, bosques densos, fragmentados y de galería, además, la presencia de vegetación arbustiva y herbácea confirma las similitudes entre ambas contribuciones.

#### **4.6 Complementación de Datos Climáticos**

Una vez descargados los datos de precipitación para cada estación (1 y 2) y de temperatura (1) se organizaron en formato Excel mediante una tabla dinámica, de modo que, se pudo visualizar los datos existentes por año y rastrear los datos faltantes por mes. Posteriormente se consultaron varios métodos de rellenados de datos que pudieran ser aplicados de acuerdo con las condiciones específicas y pertinentes de cada grupo de datos. La cantidad de datos consultados y faltantes de precipitación y temperatura para la estación uno (1) se ven reflejados en las Tabla 24 y Tabla 25, de la misma manera los datos de precipitación consultados y faltantes de la estación dos (2) están organizados en la Tabla 26.

**Tabla 24.** *Datos de precipitación de la estación CACHIRI-AUNT*

Año	Datos Existentes	Datos Faltantes	Año	Datos Existentes	Datos Faltantes
1985	320	45	2002	363	2
1986	362	3	2003	344	21
1987	364	1	2004	365	1
1988	366	0	2005	363	2
1989	365	0	2006	365	0
1990	365	0	2007	365	0
1991	365	0	2008	363	3
1992	366	0	2009	335	30
1993	360	5	2010	359	6
1994	364	1	2011	360	5
1995	364	1	2012	335	31
1996	363	3	2013	360	5
1997	364	1	2014	349	16
1998	365	0	2015	346	19
1999	362	3	2016	340	26
2000	366	0	2017	332	33
2001	358	7	2018	355	10
Total	6139	70	Total	5999	210

*Nota:* Datos de precipitación existentes y faltantes de la estación CACHIRI-AUNT entre los años 1985 a 2018.

**Tabla 25.** *Datos de temperatura de la estación CACHIRI-AUNT*

Año	Datos Existentes	Datos Faltantes	Año	Datos Existentes	Datos Faltantes
1985	203	162	2002	106	259
1986	136	229	2003	172	193
1987	339	26	2004	211	155
1988	199	167	2005	198	167
1989	259	106	2006	253	112
1990	216	149	2007	296	69
1991	276	89	2008	307	59
1992	244	122	2009	244	121
1993	174	191	2010	306	59
1994	157	208	2011	310	55
1995	200	165	2012	306	60
1996	197	169	2013	321	44
1997	235	130	2014	292	73
1998	162	203	2015	248	117
1999	177	188	2016	310	56
2000	141	225	2017	243	122
2001	97	268	2018	299	66
Total	3412	2797	Total	4422	1787

*Nota:* Datos de temperatura existentes y faltantes de la estación CACHIRI-AUNT entre los años 1985 a 2018.

La primera toma de datos de precipitación para la estación 1 reflejados en la Tabla 24 demostró ser bastante beneficiosa debido a que, en su registro histórico para el rango de tiempo definido, hacían falta 280 valores que representa alrededor del 2.3% de los datos totales, sin embargo, en los datos de temperatura registrados en la Tabla 25 se contempló un gran vacío con 4584 valores faltantes que son aproximadamente el 37% de los datos totales.

**Tabla 26.** Datos de precipitación de la estación PLAYON\_EL

Año	Datos Existentes	Datos Faltantes	Año	Datos Existentes	Datos Faltantes
1985	365	0	2002	365	0
1986	365	0	2003	365	0
1987	365	0	2004	366	0
1988	366	0	2005	365	0
1989	365	0	2006	365	0
1990	365	0	2007	365	0
1991	365	0	2008	366	0
1992	366	0	2009	365	0
1993	365	0	2010	365	0
1994	365	0	2011	365	0
1995	365	0	2012	366	0
1996	366	0	2013	365	0
1997	365	0	2014	365	0
1998	365	0	2015	365	0
1999	365	0	2016	366	0
2000	366	0	2017	365	0
2001	365	0	2018	365	0
Total	6209	0	Total	6209	0

*Nota:* Datos de precipitación existentes y faltantes de la estación PLAYON\_EL entre los años 1985 a 2018.

La toma de datos de precipitación para la estación 2 reflejados en la Tabla 26 resultó ser la más beneficiosa debido a su completo registro histórico albergando el 100% de la muestra, la estación 2 será indispensable para realizar la complementación teórica de los datos faltantes en la primera estación.

**Tabla 27.** *Precipitación promedio anual por estación*

Precipitación Promedio Anual (mm)					
Año	CACHIRI AUNT	PLAYON_EL	Año	CACHIRI AUNT	PLAYON_EL
1985	911.6	1876.7	2002	937.2	1827
1986	1414.4	1867.8	2003	1167.9	2213
1987	1132.2	2016	2004	1009.5	2068
1988	1502.2	1901	2005	1342.6	2065
1989	950.9	1738	2006	1053.9	1936.1
1990	1252.5	2011	2007	1237.4	1975.4
1991	783.2	1629	2008	1375.5	1983.9
1992	573.3	1624	2009	911.7	1818.4
1993	897.8	1861	2010	1696	2713.5
1994	1079.3	2195	2011	1662.9	2611.5
1995	1305.4	2158	2012	1254.2	2201.3
1996	1364.2	2433	2013	857.1	1695.8
1997	697.3	1689	2014	850.8	1800.9
1998	1173.7	2031	2015	585.6	1457.3
1999	1328.3	2678	2016	871.5	1348.1
2000	779.5	1629	2017	1331.7	2046.7
2001	673.5	2163	2018	1068.3	1941.1

**4.6.1 Métodos de Rellenado de Datos Climático.**

**4.6.1.1 Promedio Aritmético.** Usa el promedio de estaciones adyacentes para estimar valores faltantes de temperatura y precipitación. Como condición para resultados satisfactorios, se recomienda que la diferencia entre las mediciones anuales de las estaciones utilizadas en el promediado y la estación con los datos faltantes sea inferior al 10%.

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} P_i$$

Donde  $P_x$  es la precipitación/temperatura estimada para el día con dato ausente,  $n$  es el número de estaciones base, y  $P_i$  es la precipitación/temperatura observada de las estaciones base para el día con el dato ausente.

**4.6.1.2 Método razón Q.** Puede aplicarse a pares de estaciones, en donde una contiene los datos y la otra no para un mismo periodo de tiempo, se obtienen los valores sumando los datos de cada estación y luego calculando la relación entre ellas.

$$Q = \frac{\sum B_i}{\sum A_i}$$

Donde A es la estación con los datos completos, B es la estación con los datos faltantes,  $i$  es la frecuencia temporal de las series, y Q la relación entre la sumatoria de las estaciones. Los valores faltantes de B se pueden obtener de la siguiente manera:

$$B_i = Q A_i$$

**4.6.1.3 Interpolación Lineal.** Este método permite rellenar datos faltantes usando los mismos datos registrados de la propia estación, se estiman usando únicamente valores de dos días de registros de la siguiente forma:

$$y = y_1 + (x - x_1) \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Los valores de  $y_1$  y  $y_2$  corresponden al registro de la estación previo y posterior al/los datos a estimar  $y$ , de igual manera  $x_1$ ,  $x_2$  y  $x$  son las fechas respectivas de los datos registrados y estimados. Este método solo puede ser aplicado a registro de temperatura.

**4.6.1.4 Distancia Inversa Ponderada (IDW).** Este método tiene en cuenta la distancia entre puntos de registro, de esta manera los valores registrados más cercanos tendrán mayor influencia sobre el valor que se desea estimar que los que se encuentran más alejados.

$$Z(x) = \frac{\sum w_i z_i}{\sum (w_i)^p} ; w_i = \frac{1}{d_{i,x}} ; Z(x) = \frac{\sum \frac{Z_i}{(d_{i,x})^p}}{\sum (\frac{1}{d_{i,x}})^p}$$

Donde  $Z(x)$  es el valor que se desea estimar para la ubicación  $x$ ,  $w_i$  es el peso del punto  $i$ ,  $Z_i$  son los valores del punto de muestreo  $i$ ,  $d_{i,x}$  es la distancia entre los puntos  $Z_x$  y  $Z_i$ , y  $p$  es el exponente de ponderación asumido como uno (1).

#### 4.6.2 Precipitación

De acuerdo con los métodos de rellenado de datos, es necesario disponer de varias estaciones que permitan una ponderación más acertada de los valores faltantes, por lo que se consultaron nuevamente registros históricos para los periodos de tiempo requeridos desde el portal del IDEAM para las siguientes estaciones pluviométricas.

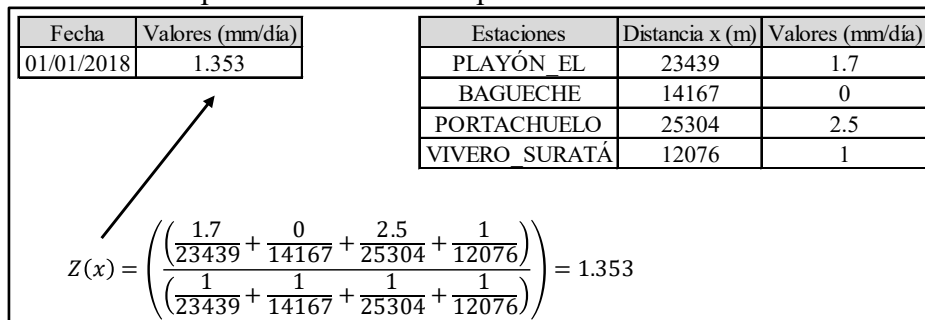
**Tabla 28.** Estaciones pluviométricas consultadas

# Estación	5	6	7
Código	[16020060]	[23190140]	[23190820]
Nombre	BAGUECHE	PORTACHUELO	VIVERO SURATÁ
Latitud	75,836,111,110	73,280,555,560	73,658,333,330
Longitud	-729,275	-731,650	-729,875
Altitud	1750	800	1725

*Nota:* Estaciones pluviométricas con sus respectivas coordenadas para la complementación teórica de las estaciones 1 y 2, Adaptado del portal principal del IDEAM.

Una vez obtenido la muestra de registro histórico para las estaciones 5, 6 y 7 se optó por usar el método de complementación teórica “IDW” ya que al tenerse en cuenta la distancia horizontal entre estaciones, las más cercanas tendrían mayor influencia en los valores ponderados, así como una mayor certeza. En la Figura 22 se demuestra detalladamente la aplicación del método IDW para un ejemplo de valor faltante, además la Tabla 27 recopila los valores de precipitación promedio anual por estación complementada.

**Figura 22.** Proceso de complementación teórica por el método de “IDW”



**Tabla 29.** *Valores de Precipitación Promedio Anual en (mm)*

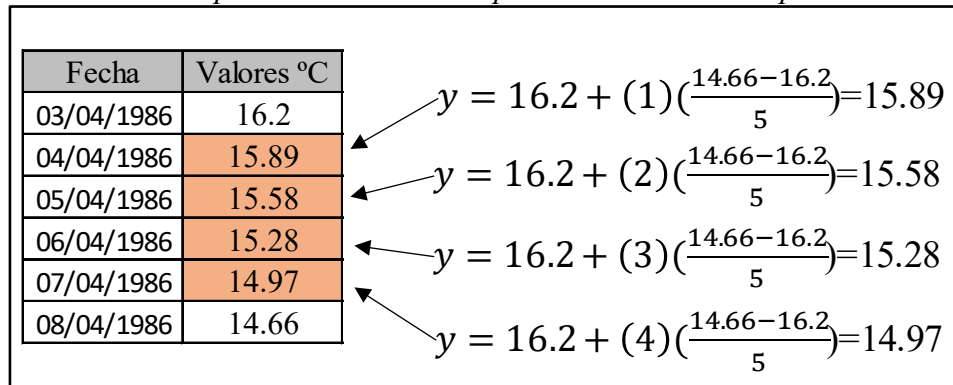
Precipitación Promedio Anual (mm)					
Año	CACHIRI AUNT	PLAYON_EL	Año	CACHIRI AUNT	PLAYON_EL
1985	1125.09	1876.7	2002	951.04	1827.0
1986	1407.17	1867.8	2003	1325.63	2213.0
1987	1135.65	2016.0	2004	1009.50	2068.0
1988	1502.20	1901.0	2005	1343.88	2065.0
1989	950.90	1738.0	2006	1053.90	1936.1
1990	1252.50	2011.0	2007	1237.40	1975.4
1991	783.20	1629.0	2008	1397.09	1983.9
1992	573.30	1624.0	2009	1227.59	1818.4
1993	911.44	1861.0	2010	1755.68	2713.5
1994	1083.79	2195.0	2011	1717.66	2611.5
1995	1311.11	2158.0	2012	1355.97	2201.3
1996	1375.30	2433.0	2013	864.55	1695.8
1997	705.98	1689.0	2014	885.86	1800.9
1998	1169.10	2031.0	2015	602.48	1457.3
1999	1339.82	2678.0	2016	947.89	1348.1
2000	772.40	1629.0	2017	1543.45	2046.7
2001	714.26	2163.0	2018	1122.94	1941.1

*Nota:* Valores de precipitación promedio anual de las estaciones seleccionadas y complementadas por el método IDW.

#### 4.6.3 Temperatura

La complementación de datos de temperatura presenta un caso particular, ya que, debido a la naturaleza de sus valores, pueden ser autocompletados sin recurrir a estaciones adicionales, únicamente con registros previos y posteriores a los datos faltantes que se deseen rellenar usando el método de interpolación lineal. En la Figura 23 se ilustra detalladamente el procedimiento para la aplicación del método de interpolación lineal. De igual manera *la Tabla 23* recopila la temperatura promedio anual de la estación complementada.

**Figura 23.** *Proceso de complementación teórica por el método de Interpolación lineal*



**Tabla 30.** *Temperatura Promedio Anual de la Estación CACHIRI AUNT*

Temperatura Promedio Anual (°C)			
Año	CACHIRI AUNT	Año	CACHIRI AUNT
1985	15.14	2002	16.15
1986	15.89	2003	16.31
1987	16.23	2004	16.18
1988	15.73	2005	16.59
1989	15.79	2006	16.49
1990	16.34	2007	16.01
1991	16.30	2008	16.05
1992	15.76	2009	15.92
1993	15.73	2010	16.20
1994	15.67	2011	15.79
1995	15.96	2012	15.91
1996	15.84	2013	16.38
1997	16.24	2014	16.24
1998	16.67	2015	16.48
1999	15.33	2016	16.31
2000	15.61	2017	16.12
2001	15.80	2018	16.33

*Nota:* Temperatura promedio anual registrada por la estación CAHIRI AUNT complementado a través del método de interpolación lineal.

#### 4.7 Herramienta de Interpolación Climática (CDIT)

La CDIT de una herramienta del software HydroBID que tiene como función vincular los datos climáticos recolectados a la red de cuencas que contiene la información de cobertura terrestre, para ello es necesario ya contar con los valores de precipitación y temperatura completos y en el formato requerido para el rango de tiempo que se va a implementar. En la interfaz del CDIT (Figura 24) se describen los siguientes parámetros:

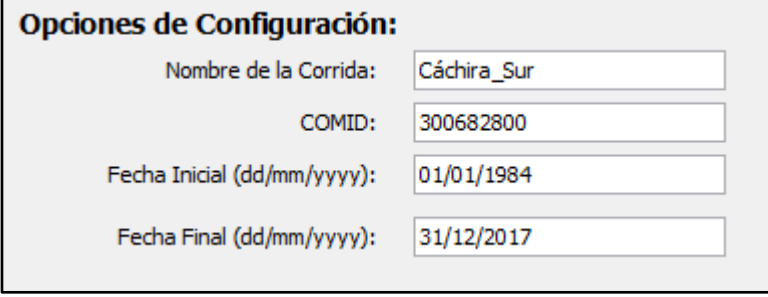
- Fecha inicial y final: son las fechas con datos climáticos disponibles en donde se cubre el periodo de tiempo en el que todas las estaciones tienen datos.
- Coordenadas de Centroides: es el archivo de COMIDs de las cuencas y sus coordenadas de latitud y longitud.
- Coordenadas de las Estaciones: es el archivo con los nombres de las estaciones meteorológicas y sus coordenadas en latitud y longitud.
- Carpeta de Precipitación: archivo con los datos de precipitación recolectados y complementados.
- Carpeta de Temperatura: archivo con los datos de temperatura recolectados y complementados.
- Base de Datos SQLite: Ruta de la base de datos que se utilizará en la corrida de la herramienta. Aquí es donde se guarda la tabla con los datos climáticos interpolados.
- Nombre de la tabla de datos climáticos: Nombre de la tabla que contendrá los datos climáticos interpolados.
- Número de estaciones a utilizar en la interpolación: Especifica el número de estaciones cercanas utilizadas para calcular la variable climática interpolada.

Al realizar la interpolación exitosamente, se creó una tabla con el nombre asignado y con todos los datos de precipitación y temperatura que se hayan generado para cada COMID, los cuales pueden ser consultados a través de la aplicación DB Browser.

**Figura 24.** *Interfaz de la Herramienta de Interpolación de Datos Climáticos del HydroBID*

#### 4.8 Calibración del modelo HydroBID

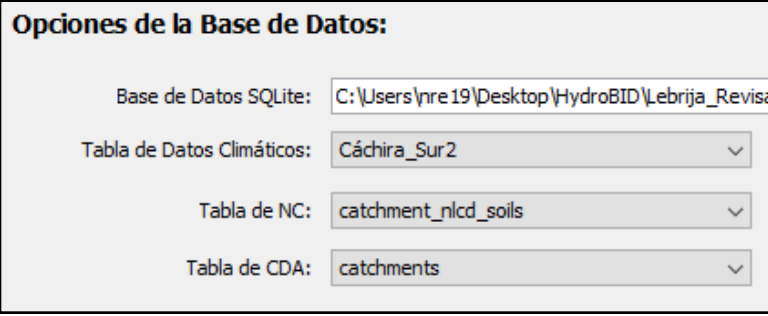
Teniendo la información climática/geográfica registrada en la base de datos se pudo iniciar la calibración del software HydroBID, para ello se llenaron los apartados posibles de la interfaz (ver Figura 25-Figura 29) con los siguientes datos.

**Figura 25.** Opciones de Configuración del software HydroBID

**Opciones de Configuración:**

Nombre de la Corrida:	Cáchira_Sur
COMID:	300682800
Fecha Inicial (dd/mm/yyyy):	01/01/1984
Fecha Final (dd/mm/yyyy):	31/12/2017

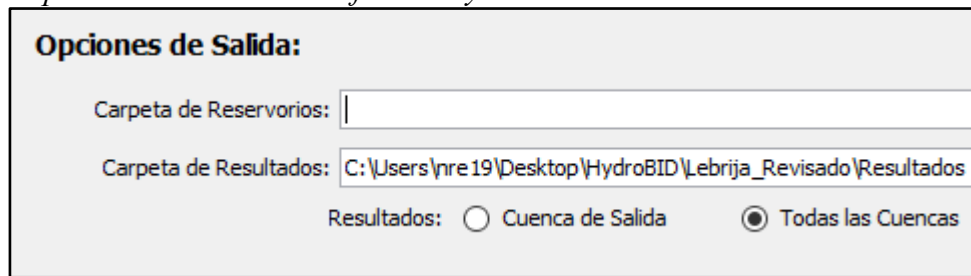
De primera mano en las opciones de configuración (Figura 25) se definió el nombre de la corrida del modelo, en este caso relacionado con la subcuenca Cáchira Sur, el COMID aguas debajo de la cuenca, y la fecha inicial y final con disponibilidad de datos climáticos.

**Figura 26.** Opciones de la Base de Datos del software HydroBID

**Opciones de la Base de Datos:**

Base de Datos SQLite:	C:\Users\nre19\Desktop\HydroBID\Lebrija_Revisa
Tabla de Datos Climáticos:	Cáchira_Sur2
Tabla de NC:	catchment_nlcd_soils
Tabla de CDA:	catchments

En las opciones de la base de datos (Figura 26) se estableció la ruta dentro del equipo donde se encuentra ubicado el archivo BD, se seleccionó la tabla de datos climáticos correspondientes a la interpolación realizada previamente, y se escogieron las tablas que contienen toda la información relacionada con la cobertura terrestre, el uso de suelo y sus características.

**Figura 27.** *Opciones de Salida del software HydroBID*

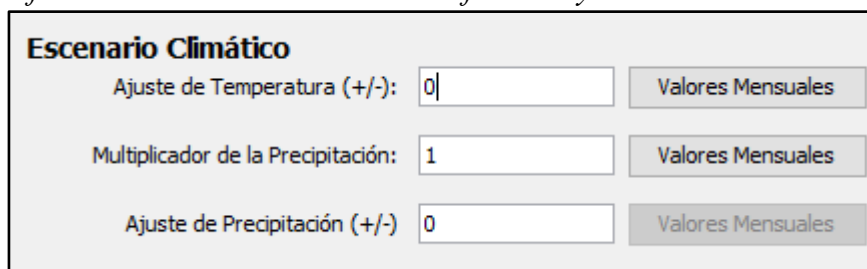
**Opciones de Salida:**

Carpeta de Reservorios:

Carpeta de Resultados:

Resultados:  Cuenca de Salida  Todas las Cuencas

En las opciones de salida (Figura 27) se programó la ruta en donde se almacenarán los resultados de la corrida del modelo, además, se indicó al software una modelación individual por cada cuenca aguas arriba.

**Figura 28.** *Interfaz de Escenario Climático del Software HydroBID*

**Escenario Climático**

Ajuste de Temperatura (+/-):

Multiplicador de la Precipitación:

Ajuste de Precipitación (+/-):

La interfaz de “Escenario Climático” (Figura 28) permite ajustar o modificar valores de temperatura con el fin de modelar posibles cambios climáticos, para esta modelación se contemplaron los valores de temperatura interpoladas por la herramienta CDIT para cada cuenca sin ningún tipo de ajuste.

**Figura 29.** *Parámetros Hidrológicos del software HydroBID*

**Parámetros Hidrológicos:**

Velocidad del Flujo:   Obtener Latitud de la Base de Datos

Latitud (decimales):   Guardar Percolación Profunda

Comienzo de la Temporada de Cultivo (día juliano):

Final de la Temporada de Cultivo (día juliano):

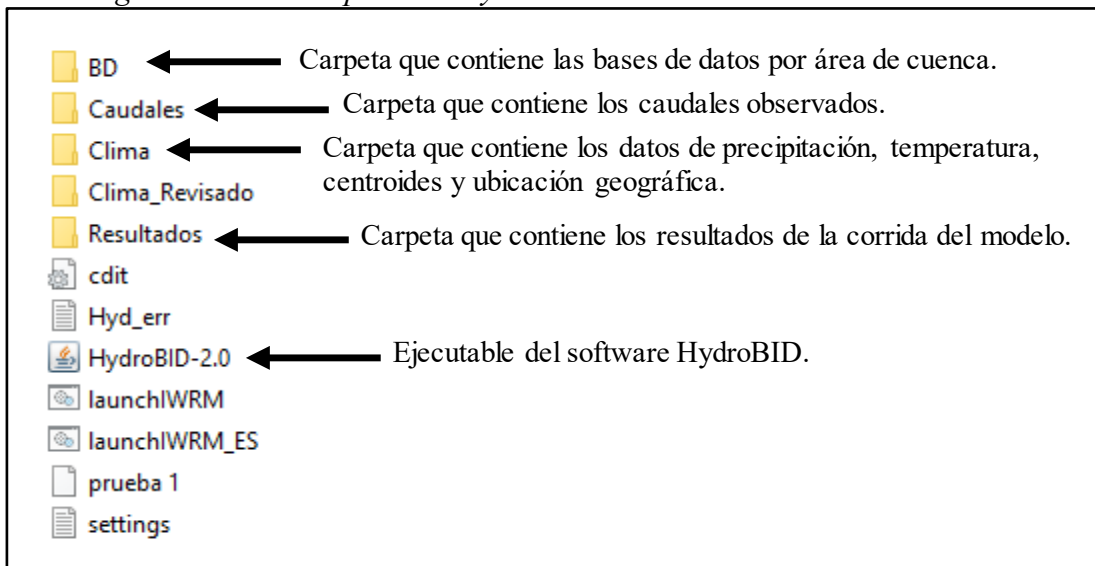
COMID de Calibración Aguas Arriba:

	Valor Único	Multiplicador	Usar Calibrado	Reemplazar Todos	
Numero de Curva (NC):	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="1"/>
Contenido Disponible de Agua (CDA):	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="1"/>
Coef. de Recesión (r):	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="0.003"/>
Coef. de Percolación (s):	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="0.005"/>
Factor de ET en Temporada de Cultivo:	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="1"/>
Factor de ET en Temporada Latente:	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="1"/>
Porcentaje de Cobertura Impermeable:	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="1.0"/>
Umbral de Temperatura:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="0.8"/>
Factor de Fusión:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="0.8"/>

Los parámetros hidrológicos aparentemente son los que tienen mayor influencia en el resultado final de una modelación, se tienen en cuenta valores por defecto como una velocidad de flujo promediada para todos los ríos, al igual que las fechas de inicio y fin de la temporada de cultivo. Por otro lado, hay parámetros que se pueden modificar directamente, ya sea por medio de un multiplicador o un valor único, estas condiciones se aplican a todas las cuencas aguas arriba con la opción de “Reemplazar Todos”. En la Figura 29 se pueden ver los valores que se asignaron a cada parámetro, los cuales se encuentran en un rango sugerido por el BID.

Para ingresar la información de entrada al modelo, es recomendado tener una organización de las carpetas como se muestra en la Figura 30, separadas y diferenciadas según cada apartado que la interfaz del modelo solicite, siendo estas una carpeta que contiene los archivos .sqlite, otra con los caudales o flujos observados, una con toda la información climática y geográfica, y finalmente el destino de salida de las corridas del modelo.

**Figura 30.** Organización de carpetas de HydroBID



## **5. Resultados**

Los resultados que se presentan a continuación abordan los siguientes aspectos, en primera instancia las salidas (outputs) del software HydroBID correspondientes a la proyección del comportamiento climático (precipitación y temperatura) y generación de caudales tanto para el enfoque global de la cuenca CÁCHIRA SUR, como el específico de la microcuenca El Playón, sumado a esto se presenta un análisis estadístico de las variables obtenidas, y finalmente se crearon mapas de diferentes aspectos geográficos de la zona de estudio a partir de la extensión GRASS del Software QGIS.

### **5.1 Climatología**

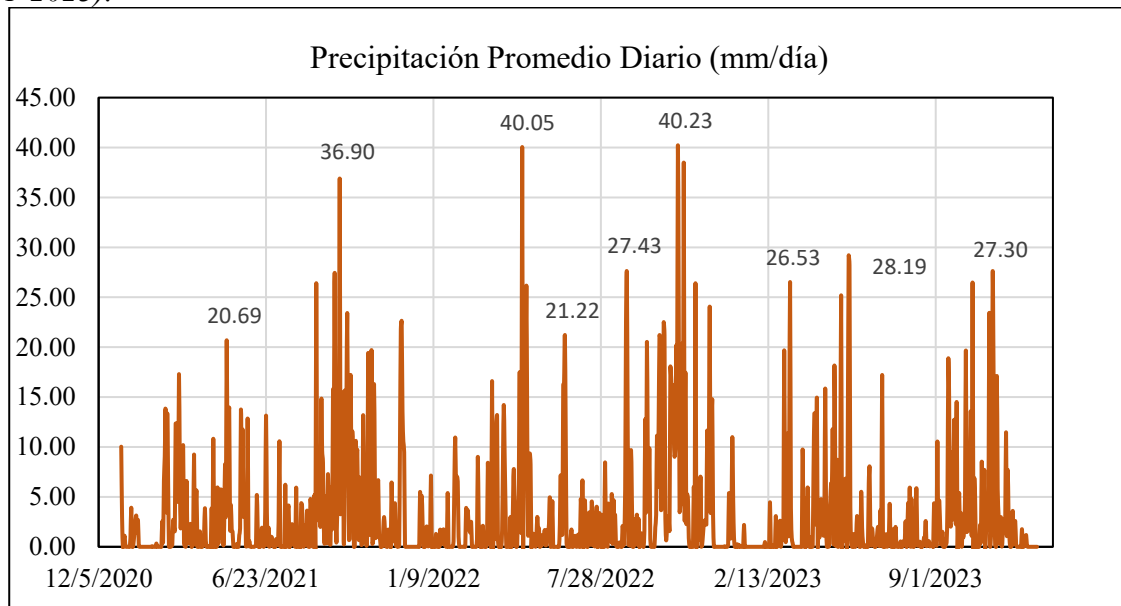
Los datos climáticos que engloban la cuenca CÁCHIRA SUR se organizaron en hietogramas con información equivalente a una cantidad de años específicos proyectados, las precipitaciones máximas más relevantes se encuentran señaladas dentro del gráfico, además, se presenta una tabla resumen del análisis estadístico para cada rango de tiempo.

**Tabla 31.** Resumen estadístico del clima de la cuenca Cáchira Sur (2021-2023).

	Temperatura °C		Precipitación (mm)
Media	16.83	Media	3.25
Error típico	0.02	Error típico	0.17
Mediana	16.81	Mediana	0.73
Moda	#N/D	Moda	0.00
Rango	5.46	Rango	40.23
Mínimo	14.22	Mínimo	0.00
Máximo	19.68	Máximo	40.23
Suma	18431.50	Suma	3560.26
Cuenta	1095.00	Cuenta	1095.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de tres años entre la proyección de 2021 a 2023.

**Figura 31.** Proyección de resultados de la simulación de precipitación de cuenca Cáchira Sur (2021-2023).

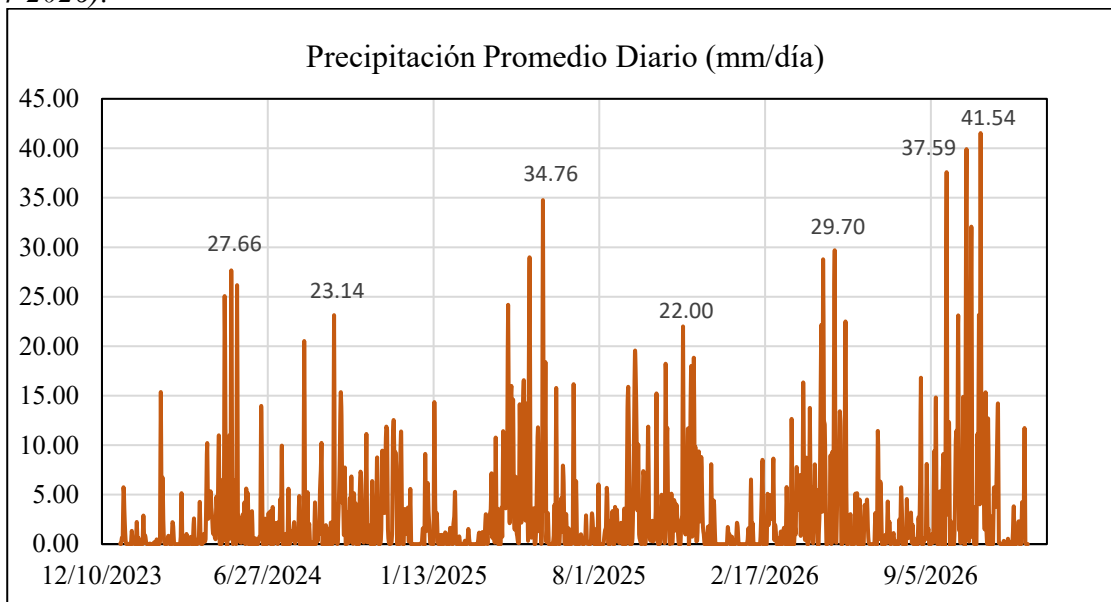


**Tabla 32.** Resumen estadístico del clima de la cuenca Cáchira Sur (2024-2026).

	Temperatura °C		Precipitación (mm)
Media	16.63	Media	2.91
Error típico	0.02	Error típico	0.15
Mediana	16.62	Mediana	0.73
Moda	#N/D	Moda	0.00
Rango	3.86	Rango	41.54
Mínimo	14.53	Mínimo	0.00
Máximo	18.39	Máximo	41.54
Suma	18224.68	Suma	3192.98
Cuenta	1096.00	Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de tres años entre la proyección de 2024 a 2026.

**Figura 32.** Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la cuenca Cáchira Sur (2024-2026).

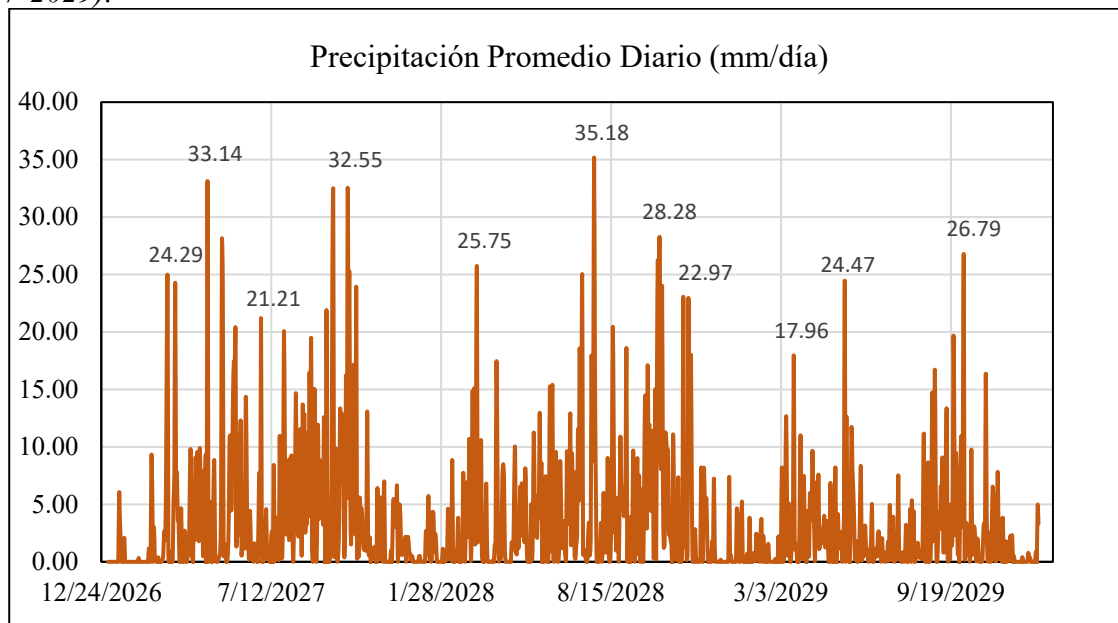


**Tabla 33.** Resumen estadístico del clima de la cuenca Cáchira Sur (2027-2029).

	Temperatura °C		Precipitación (mm)
Media	16.80	Media	3.46
Error típico	0.02	Error típico	0.16
Mediana	16.82	Mediana	1.32
Moda	#N/D	Moda	0.00
Rango	4.65	Rango	35.18
Mínimo	14.40	Mínimo	0.00
Máximo	19.05	Máximo	35.18
Suma	18415.96	Suma	3790.43
Cuenta	1096.00	Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de tres años entre la proyección de 2027 a 2029.

**Figura 33.** Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la cuenca Cáchira Sur (2027-2029).

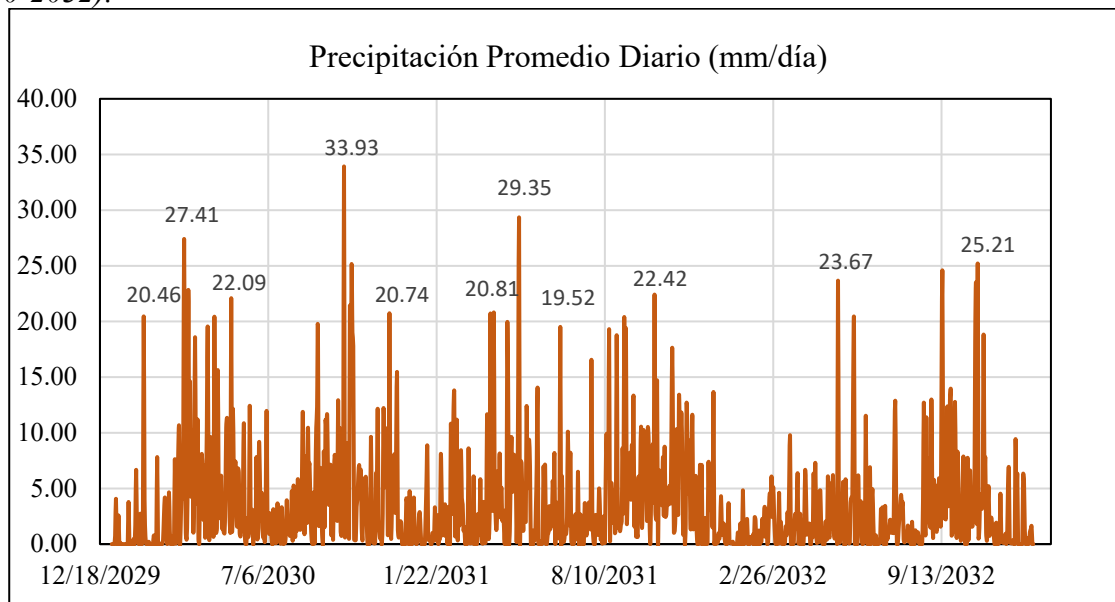


**Tabla 34.** Resumen estadístico del clima de la cuenca Cáchira Sur (2030-2032).

	Temperatura °C		Precipitación (mm)
Media	16.75	Media	3.51
Error típico	0.03	Error típico	0.14
Mediana	16.69	Mediana	1.75
Moda	#N/D	Moda	0.00
Rango	11.76	Rango	33.93
Mínimo	7.44	Mínimo	0.00
Máximo	19.20	Máximo	33.93
Suma	18353.27	Suma	3841.52
Cuenta	1096.00	Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de tres años entre la proyección de 2030 a 2032.

**Figura 34.** Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la cuenca Cáchira Sur (2030-2032).

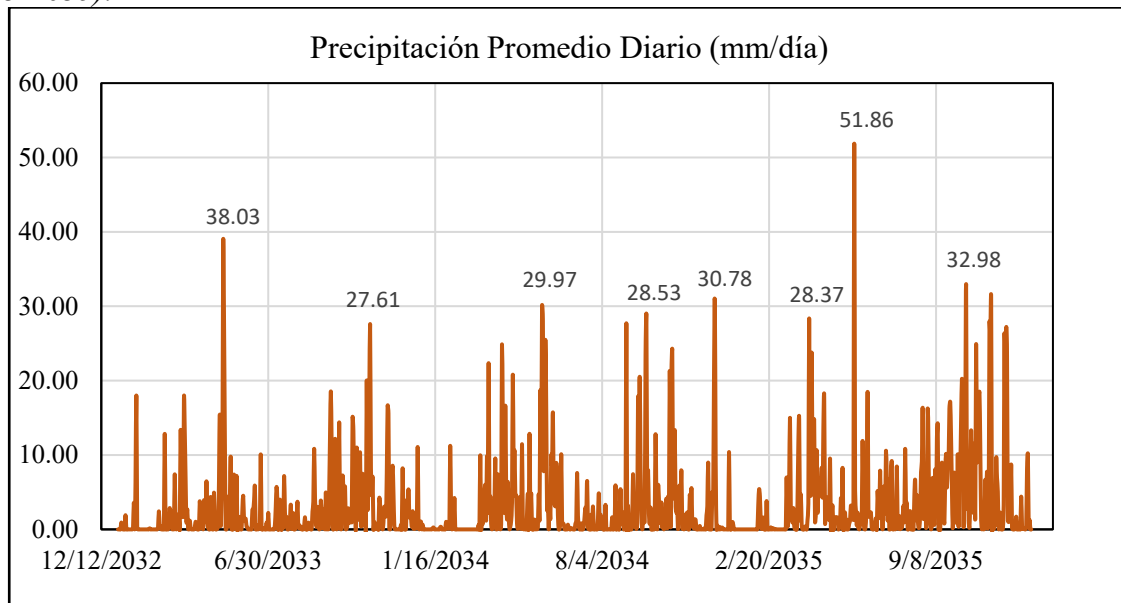


**Tabla 35.** Resumen estadístico del clima de la cuenca Cáchira Sur (2033-2035).

	Temperatura °C		Precipitación (mm)
Media	16.99	Media	3.13
Error típico	0.02	Error típico	0.17
Mediana	17.02	Mediana	0.69
Moda	#N/D	Moda	0.00
Rango	11.69	Rango	51.86
Mínimo	7.22	Mínimo	0.00
Máximo	18.90	Máximo	51.86
Suma	18608.14	Suma	3430.20
Cuenta	1095.00	Cuenta	1095.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de tres años entre la proyección de 2033 a 2035.

**Figura 35.** Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la cuenca Cáchira Sur (2033-2035).

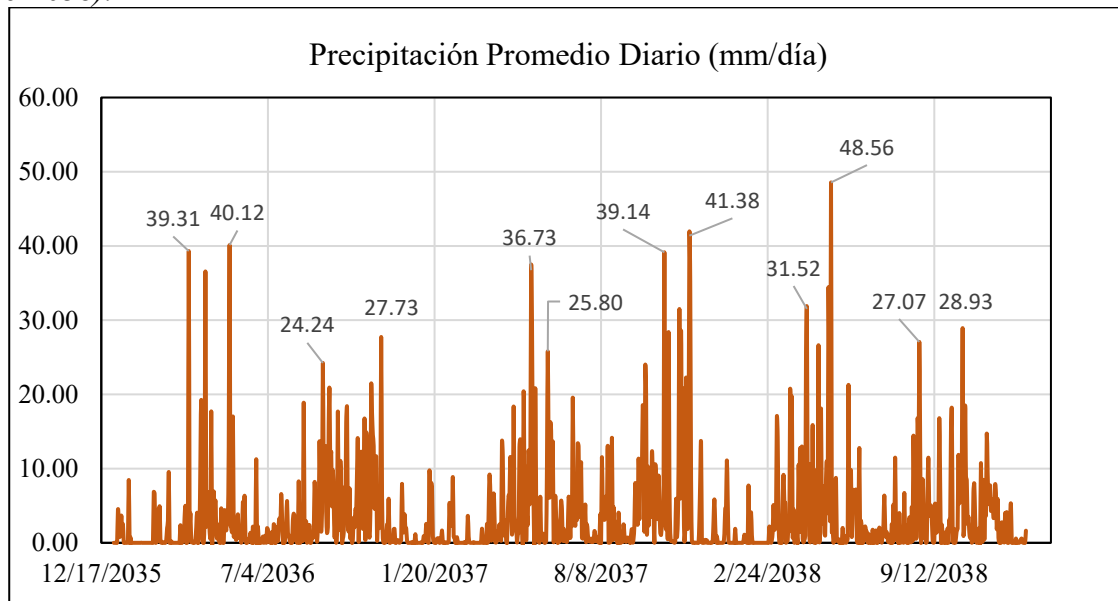


**Tabla 36.** Resumen estadístico del clima de la cuenca Cáchira Sur (2036-2038).

	Temperatura °C		Precipitación (mm)
Media	17.30	Media	3.53
Error típico	0.02	Error típico	0.18
Mediana	17.28	Mediana	0.98
Moda	#N/D	Moda	0.00
Rango	5.03	Rango	48.56
Mínimo	14.44	Mínimo	0.00
Máximo	19.47	Máximo	48.56
Suma	18959.79	Suma	3866.85
Cuenta	1096.00	Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de tres años entre la proyección de 2036 a 2038.

**Figura 36.** Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la cuenca Cáchira Sur (2036-2038).

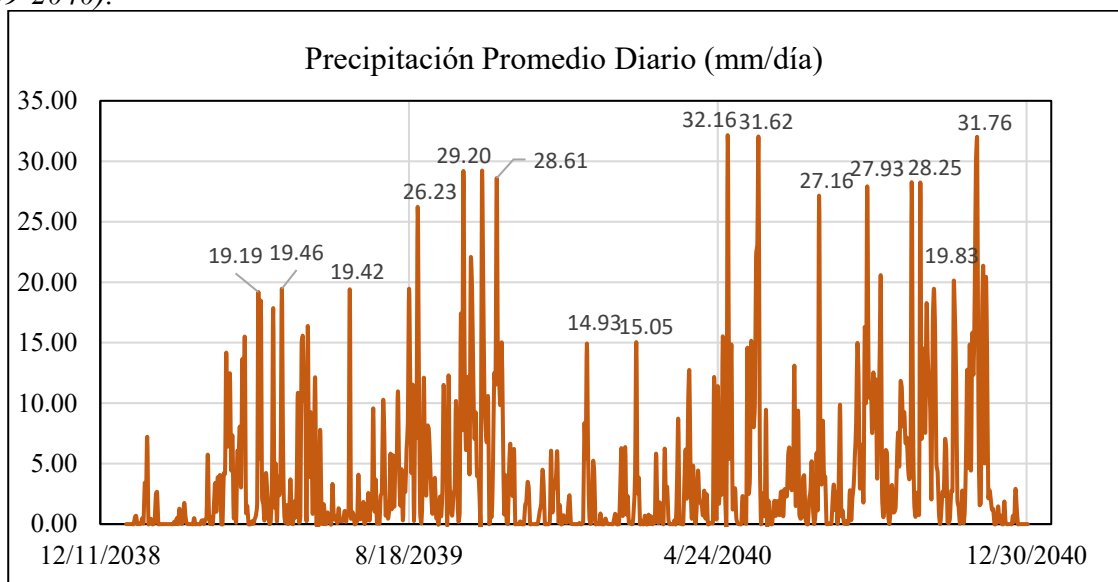


**Tabla 37.** Resumen estadístico del clima de la cuenca Cáchira Sur (2039-2040).

	Temperatura °C		Precipitación (mm)
Media	17.07	Media	3.98
Error típico	0.02	Error típico	0.22
Mediana	17.09	Mediana	1.54
Moda	#N/D	Moda	0.00
Rango	4.03	Rango	32.16
Mínimo	15.13	Mínimo	0.00
Máximo	19.15	Máximo	32.16
Suma	12476.92	Suma	2912.88
Cuenta	731.00	Cuenta	731.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de dos años entre la proyección de 2039 a 2040.

**Figura 37.** Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la cuenca Cáchira Sur (2039-2040).



### ***5.1.1 Climatología Microcuenca El Playón***

El software HydroBID adicionalmente a los resultados globales de la cuenca CÁCHIRA SUR, también se generaron salidas (outputs) para cada microcuenca que la conforma, de manera que, se organizaron los resultados en un resumen estadístico, se graficaron los hietogramas representativos de la precipitación proyectada, se extrajo la información más relevante de cada rango de tiempo, y se definieron los siguientes los límites de eventos máximos posicionados entre 40 a 60 (mm) diarios e intermedios entre 20 a 40 (mm) diarios

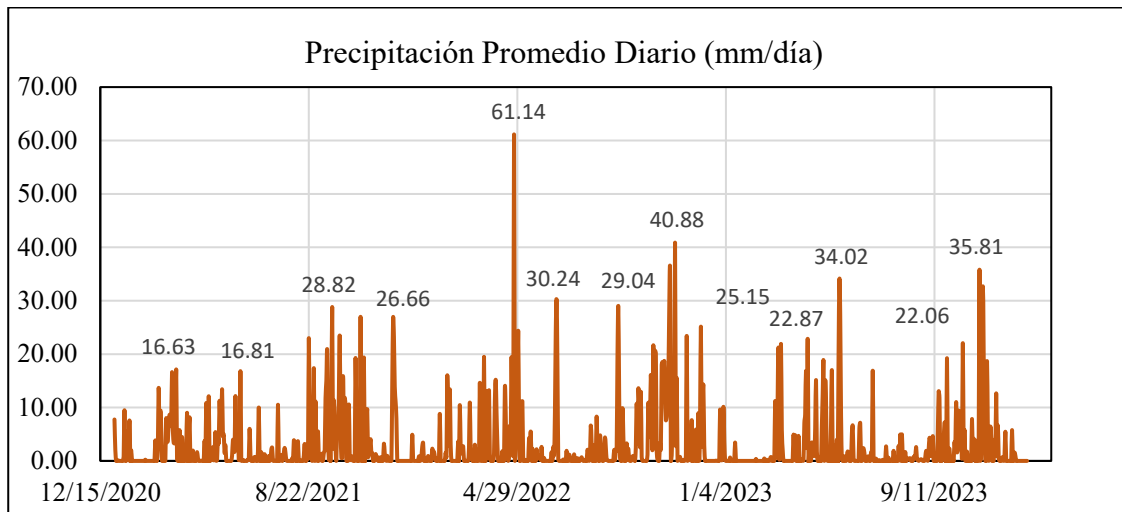
Para la proyección climatológica entre los años 2021 a 2023 representados por el resumen estadístico (Tabla 38) y el hietograma (Figura 38), la temperatura de la microcuenca describe una media de 17.21°C, llegando a un máximo de 19.95 °C y un mínimo de 14.61°C. La precipitación diaria máxima fue proyectada el 25/04/2021 con un valor de 61.14 mm/día, seguida de un segundo evento máximo el 04/11/2022 con valor de 40.88 mm/día, se proyectaron 26 eventos intermedios entre 20-40 mm/día y el resto de los valores que forman el grafico se ubican por debajo de los 20 mm/día.

**Tabla 38.** Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2021-2023).

	Temperatura °C		Precipitación (mm)
Media	17.21	Media	2.87
Error típico	0.02	Error típico	0.18
Mediana	17.19	Mediana	0.14
Moda	17.40	Moda	0.00
Rango	5.34	Rango	61.14
Mínimo	14.61	Mínimo	0.00
Máximo	19.95	Máximo	61.14
Suma	18844.39	Suma	3144.15
Cuenta	1095.00	Cuenta	1095.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de tres años entre la proyección de 2021 a 2023.

**Figura 38.** Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la microcuenca El Playón (2021-2023).



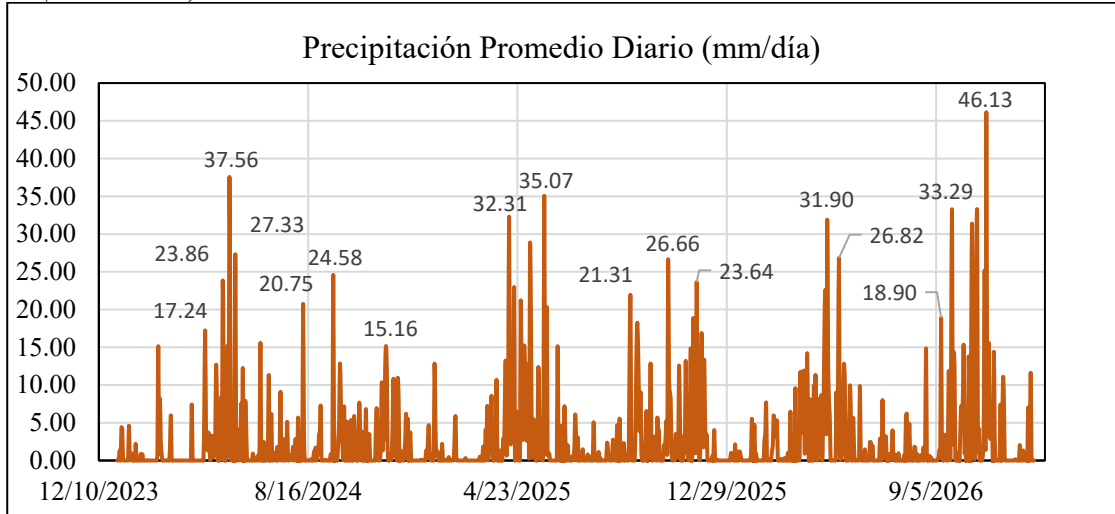
La siguiente proyección climatológica corresponde a los años 2024 a 2026 representados por el resumen estadístico (Tabla 39) y el hietograma (Figura 39), la temperatura de la microcuenca presenta una disminución con respecto al rango de tiempo anterior con una media de 16.97°C, llegando a un máximo de 18.71 °C y un mínimo de 14.55°C. La precipitación diaria máxima proyectada disminuyó considerablemente con un valor de 46.13 mm/día para el día 04/11/2026, la cantidad de eventos intermedios disminuyó con un total de 24, y se destaca que la precipitación total de 2833.41 mm disminuyó un 10% comparado con los 3144.15 mm del rango anterior.

**Tabla 39.** *Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2024-2026).*

Temperatura °C		Precipitación (mm)	
Media	16.97	Media	2.59
Error típico	0.02	Error típico	0.16
Mediana	16.97	Mediana	0.05
Moda	16.76	Moda	0.00
Rango	4.17	Rango	46.13
Mínimo	14.55	Mínimo	0.00
Máximo	18.71	Máximo	46.13
Suma	18594.27	Suma	2833.41
Cuenta	1096.00	Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de tres años entre la proyección de 2024 a 2026.

**Figura 39.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la microcuenca El Playón (2024-2026)*



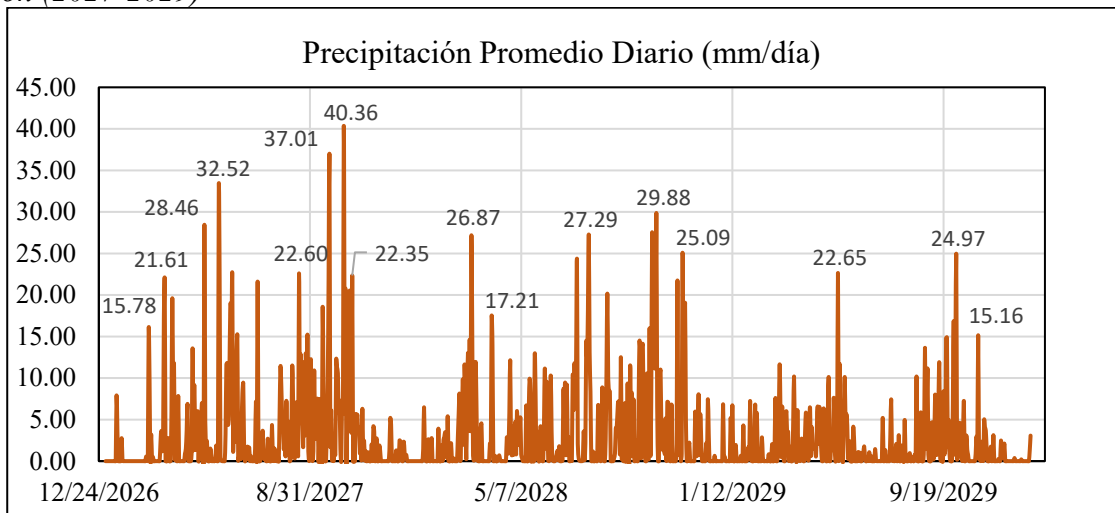
La siguiente proyección climatológica corresponde a los años 2027 a 2029 representados por el resumen estadístico (Tabla 40) y el hietograma (Figura 40), la temperatura de la microcuenca aumentó con respecto al rango de tiempo anterior con una media de 17.15°C, llegando a un máximo de 19.61 °C y un mínimo de 14.85°C. La precipitación diaria máxima proyectada disminuyó con un valor de 40.36 mm/día para el día 10/10/2027, la cantidad de eventos intermedios disminuyó con un total de 23, pero a pesar de esta disminución en los eventos máximos e intermedios, la cantidad de precipitación aumentó un 12% con un total de 3189.3 (mm) acumulados, comparados con los 2833.41 (mm) del rango de tiempo anterior.

**Tabla 40.** Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2027-2029).

Temperatura °C		Precipitación (mm)	
Media	17.15	Media	2.91
Error típico	0.02	Error típico	0.15
Mediana	17.15	Mediana	0.43
Moda	17.27	Moda	0.00
Coefficiente de asimetría	-0.15	Coefficiente de asimetría	2.81
Rango	4.76	Rango	40.36
Mínimo	14.85	Mínimo	0.00
Máximo	19.61	Máximo	40.36
Suma	18793.97	Suma	3189.30
Cuenta	1096.00	Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de tres años entre la proyección de 2027 a 2029.

**Figura 40.** Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la microcuenca El Playón (2027-2029)



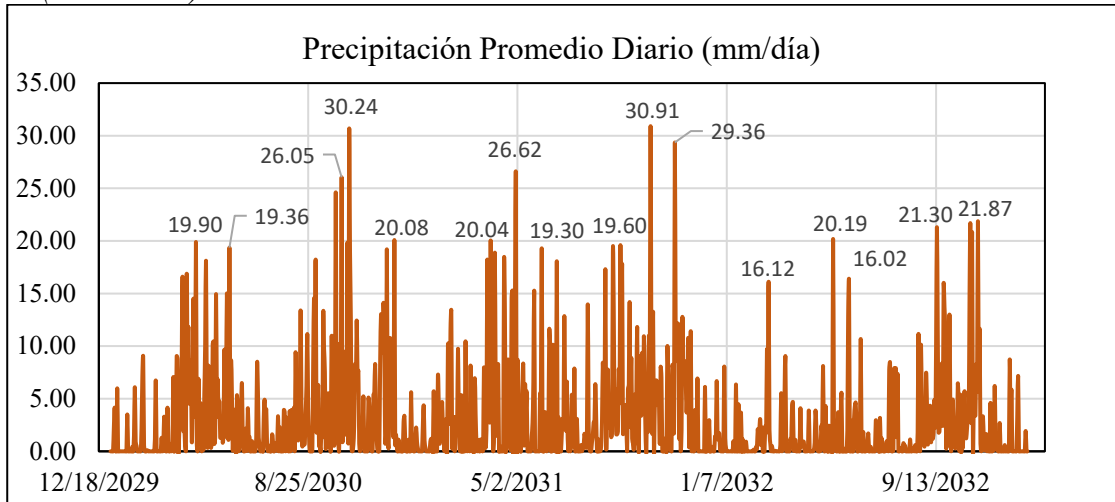
La siguiente proyección climatológica corresponde a los años 2030 a 2032 representados por el resumen estadístico (Tabla 41) y el hietograma (Figura 41), la temperatura media de la microcuenca disminuyó muy mínimamente con respecto al rango de tiempo anterior con un valor de 17.01°C, pero con un máximo superior de 19.66 °C y un mínimo bastante considerable de 8.52°C. No se registraron precipitaciones máximas por encima de los 40 mm/día siendo la máxima un evento de 30.91 mm/día para la fecha 08/10/2031, la cantidad de eventos intermedios disminuyó considerablemente con un total de 13, pero se destaca un ligero aumento de precipitación de 4.56% con un total de 3334.97 (mm) acumulados, comparados con los 3189.3 (mm) del rango de tiempo anterior.

**Tabla 41.** *Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2030-2032).*

Temperatura °C		Precipitación (mm)	
Media	17.01	Media	3.04
Error típico	0.03	Error típico	0.14
Mediana	16.96	Mediana	1.02
Moda	17.11	Moda	0.00
Rango	11.14	Rango	30.91
Mínimo	8.52	Mínimo	0.00
Máximo	19.66	Máximo	30.91
Suma	18646.88	Suma	3334.97
Cuenta	1096.00	Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de tres años entre la proyección de 2030 a 2032.

**Figura 41.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la microcuenca El Playón (2030-2032).*



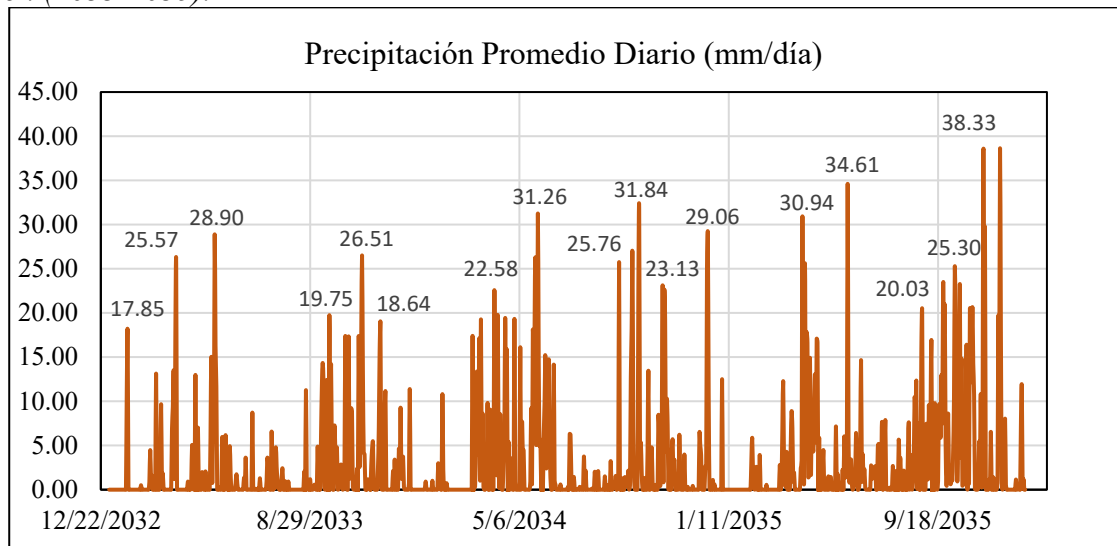
La siguiente proyección climatológica corresponde a los años 2033 a 2035 representados por el resumen estadístico (Tabla 42) y el hietograma (Figura 42). La temperatura media de la microcuenca aumentó muy mínimamente con respecto al rango de tiempo anterior con un valor de 17.18°C, llegando a un máximo de 19.16 °C y un mínimo bastante considerable de 7.74°C. Nuevamente no se registraron precipitaciones máximas por encima de los 40 mm/día siendo la máxima un evento de 38.64 mm/día para la fecha 11/11/2035, la cantidad de eventos intermedios aumentó considerablemente con un total de 28, pero se presentó una disminución del 7.7% de la precipitación total con un valor de 3112.2 (mm) acumulados, comparados con los 3334.97 (mm) del rango de tiempo anterior.

**Tabla 42.** Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2033-2035).

Temperatura °C		Precipitación (mm)	
Media	17.18	Media	2.84
Error típico	0.02	Error típico	0.17
Mediana	17.22	Mediana	0.00
Moda	17.40	Moda	0.00
Rango	11.42	Rango	38.64
Mínimo	7.74	Mínimo	0.00
Máximo	19.16	Máximo	38.64
Suma	18817.24	Suma	3112.20
Cuenta	1095.00	Cuenta	1095.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de tres años entre la proyección de 2033 a 2035.

**Figura 42.** Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la microcuenca El Playón (2033-2035).



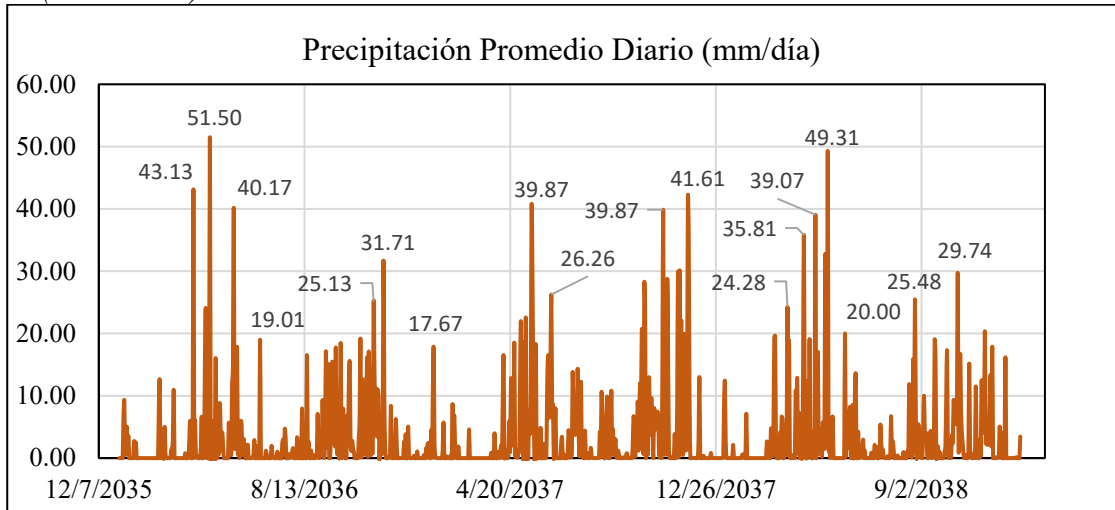
La siguiente proyección climatológica corresponde a los años 2036 a 2038 representados por el resumen estadístico (Tabla 43) y el hietograma (Figura 43). La temperatura media de la microcuenca aumentó muy mínimamente con respecto al rango de tiempo anterior con un valor de 17.45°C, llegando a un máximo de 19.57 °C, y la mínima de temperatura se registró en 14.71°C. Se registraron cinco eventos máximos de 43.13, 51.5 y 40.17 (mm/día) durante el año 2036, un evento de 41.61 para el 2037, y el ultimo de 49.31 correspondiente al año 2038, la cantidad de eventos intermedios disminuyó para un total de 25, la suma total de precipitación aumentó 3430.37 (mm) acumulados, equivalente a un 10% más a comparación del rango de tiempo anterior de 3112.2 (mm).

**Tabla 43.** *Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2036-2038)*

	Temperatura °C		Precipitación (mm)
Media	17.45	Media	3.13
Error típico	0.02	Error típico	0.19
Mediana	17.45	Mediana	0.22
Moda	17.52	Moda	0.00
Rango	4.86	Rango	51.50
Mínimo	14.71	Mínimo	0.00
Máximo	19.57	Máximo	51.50
Suma	19121.49	Suma	3430.37
Cuenta	1096.00	Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura para un rango de tres años entre la proyección de 2036 a 2038.

**Figura 43.** *Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la microcuenca El Playón (2036-2038).*



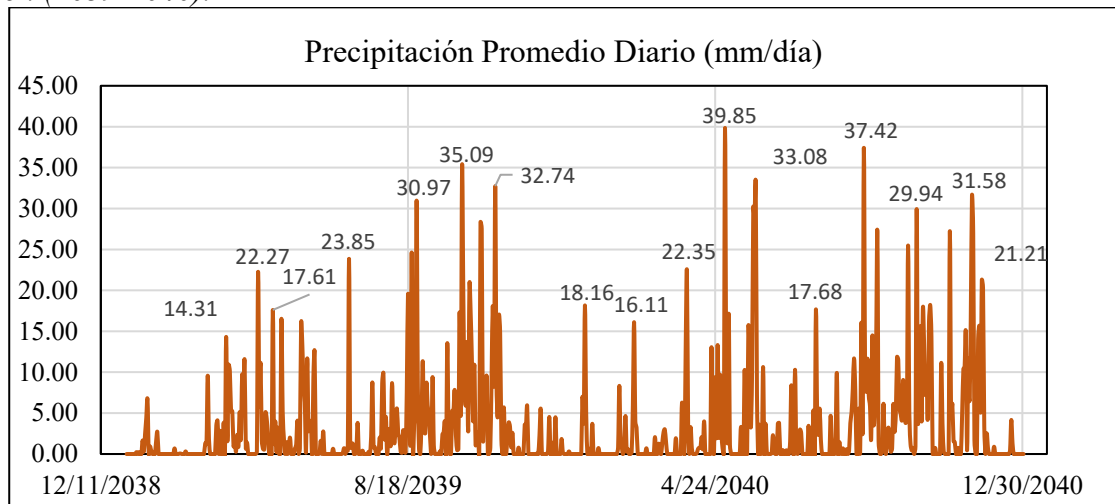
La siguiente proyección climatológica corresponde a los años 2039 a 2040 representados por el resumen estadístico (Tabla 44) y el hietograma (Figura 44). La temperatura media de la microcuenca disminuyó muy mínimamente con respecto al rango de tiempo anterior con un valor de 17.33°C, llegando a un máximo de 19.48 °C, y la mínima de temperatura se registró en 15.37°C. No se registraron eventos máximos por encima de los 40 (mm/día), siendo la máxima un evento de 39.85 (mm/día) para la fecha 02/05/2040, la cantidad de eventos intermedios disminuyó para un total de 23, y la suma total de precipitación es de 2441.72 (mm) acumulados, no se compararon con el rango de tiempo anterior porque se abordaron dos años para este caso.

**Tabla 44.** Resumen estadístico del clima de la microcuenca El Playón (2039-2040)

Temperatura °C		Precipitación (mm)	
Media	17.33	Media	3.34
Error típico	0.02	Error típico	0.23
Mediana	17.36	Mediana	0.43
Moda	17.96	Moda	0.00
Rango	4.11	Rango	39.85
Mínimo	15.37	Mínimo	0.00
Máximo	19.48	Máximo	39.85
Suma	12669.58	Suma	2441.72
Cuenta	731.00	Cuenta	731.00

Nota: Datos estadísticos de precipitación y temperatura dentro de un rango de dos años para la proyección de 2039 a 2040.

**Figura 44.** Proyección de resultados de la simulación de precipitación de la microcuenca El Playón (2039-2040).



**5.2 Caudales Modelados**

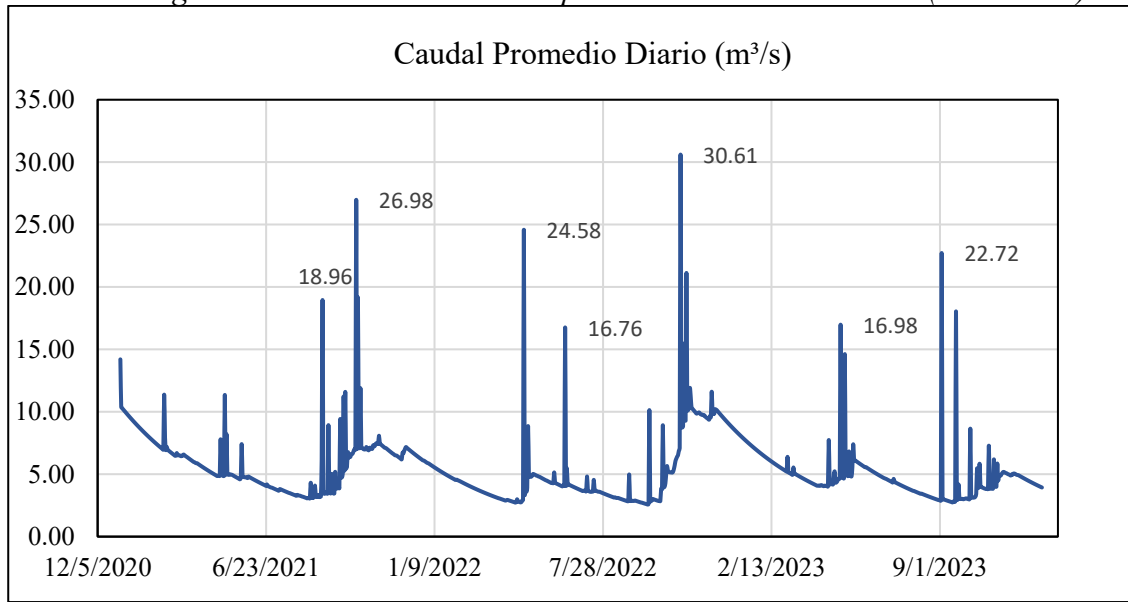
Los caudales simulados que convergen aguas debajo de la cuenca Cáchira Sur se organizaron en hidrogramas con información equivalente a una cantidad de años determinada, las velocidades de flujo máximas se encuentran señaladas dentro de los gráficos, además, se incluye tablas de resumen estadístico para cada rango de tiempo.

**Tabla 45.** *Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2021-2023)*

Caudal (m <sup>3</sup> /día)	
Media	5.38
Error típico	0.08
Mediana	4.76
Moda	#N/D
Rango	28.03
Mínimo	2.57
Máximo	30.61
Suma	5886.54
Cuenta	1095.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2021 a 2023.

**Figura 45.** Hidrograma de caudales simulados para la cuenca Cáchira Sur (2021-2023).

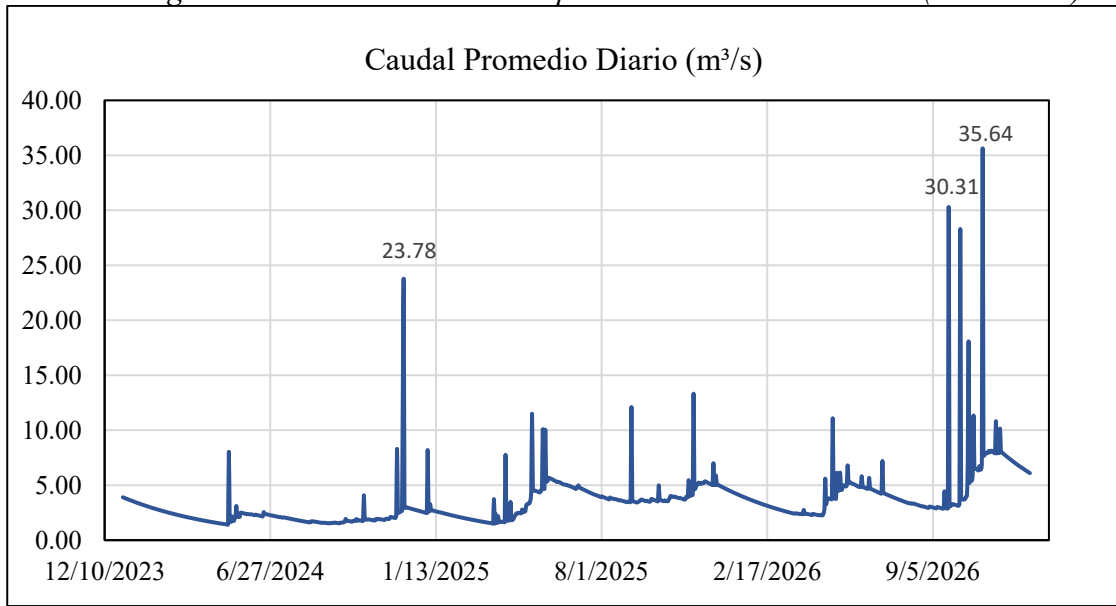


**Tabla 46.** Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2024-2026).

Caudal (m³/día)	
Media	3.55
Error típico	0.07
Mediana	3.10
Moda	#N/D
Rango	34.22
Mínimo	1.42
Máximo	35.64
Suma	3885.68
Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2024 a 2026.

**Figura 46.** Hidrograma de caudales simulados para la cuenca Cáchira Sur (2024-2026).

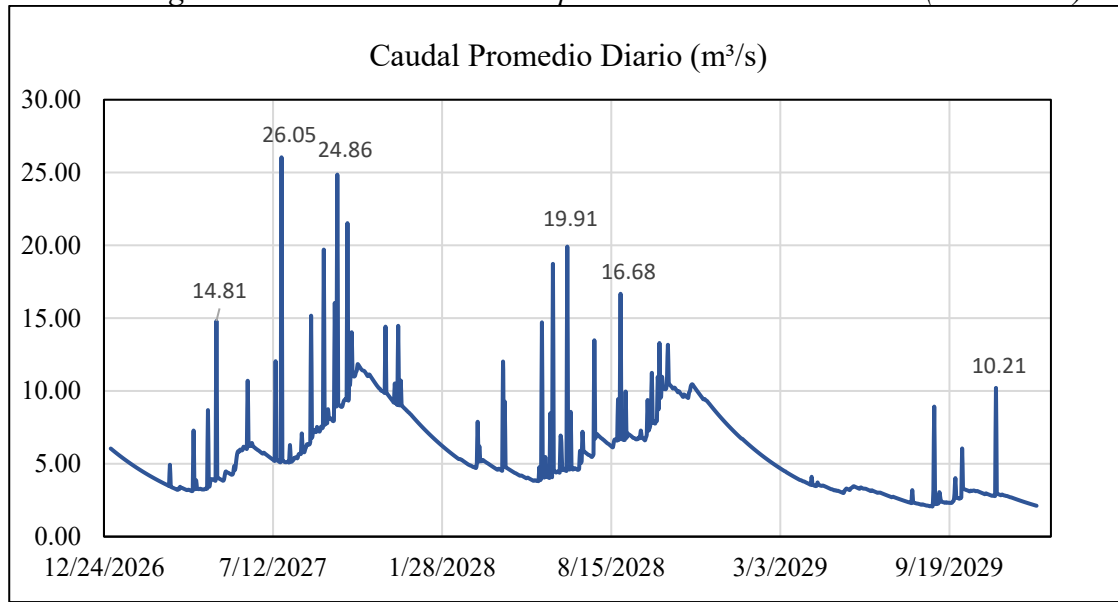


**Tabla 47.** Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2027-2029).

Caudal (m³/día)	
Media	5.66
Error típico	0.09
Mediana	5.07
Moda	#N/D
Rango	23.97
Mínimo	2.07
Máximo	26.05
Suma	6198.82
Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2027 a 2029.

**Figura 47.** Hidrograma de caudales simulados para la cuenca Cáchira Sur (2027-2029).

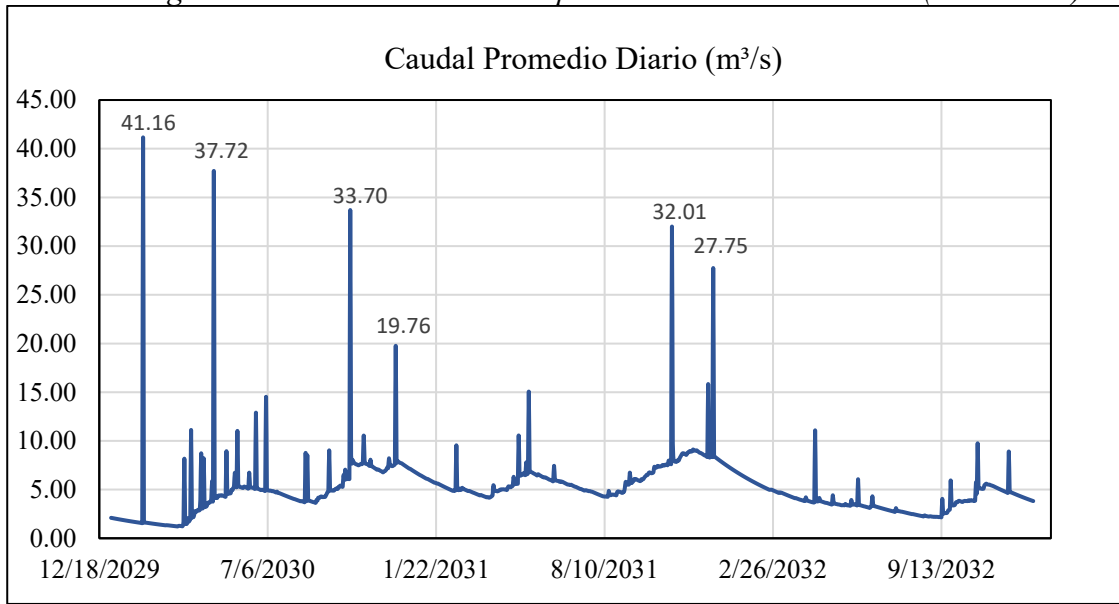


**Tabla 48.** Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2030-2032).

Caudal (m³/día)	
Media	5.08
Error típico	0.09
Mediana	4.86
Moda	#N/D
Rango	39.95
Mínimo	1.22
Máximo	41.16
Suma	5570.50
Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2030 a 2032.

**Figura 48.** Hidrograma de caudales simulados para la cuenca Cáchira Sur (2030-2032).

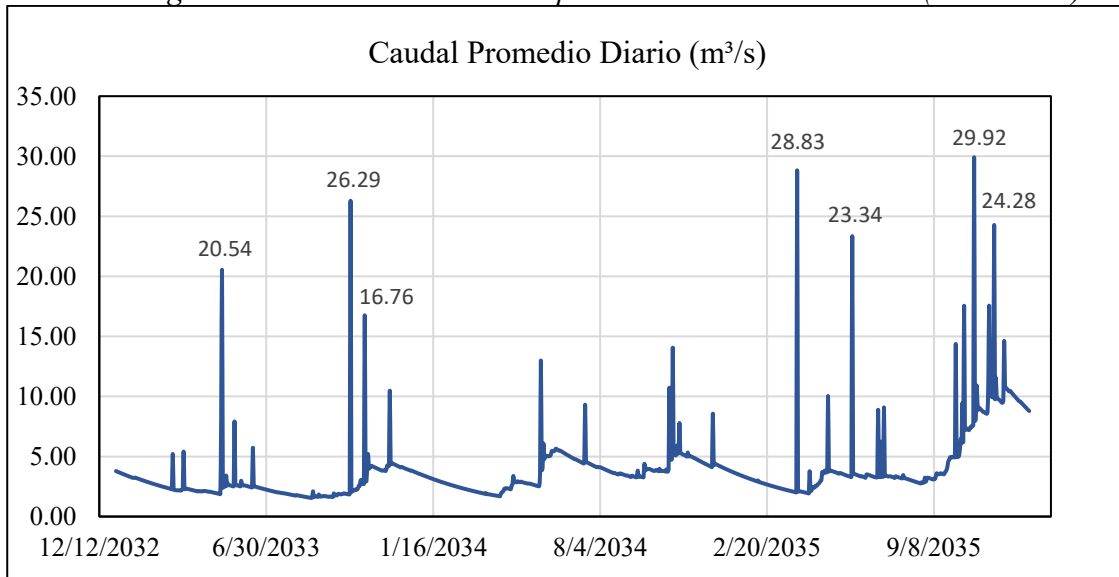


**Tabla 49.** Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2033-2035).

Caudal (m³/día)	
Media	3.83
Error típico	0.08
Mediana	3.27
Moda	#N/D
Rango	28.37
Mínimo	1.55
Máximo	29.92
Suma	4196.91
Cuenta	1095.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2033 a 2035.

**Figura 49.** Hidrograma de caudales simulados para la cuenca Cáchira Sur (2033-2035).

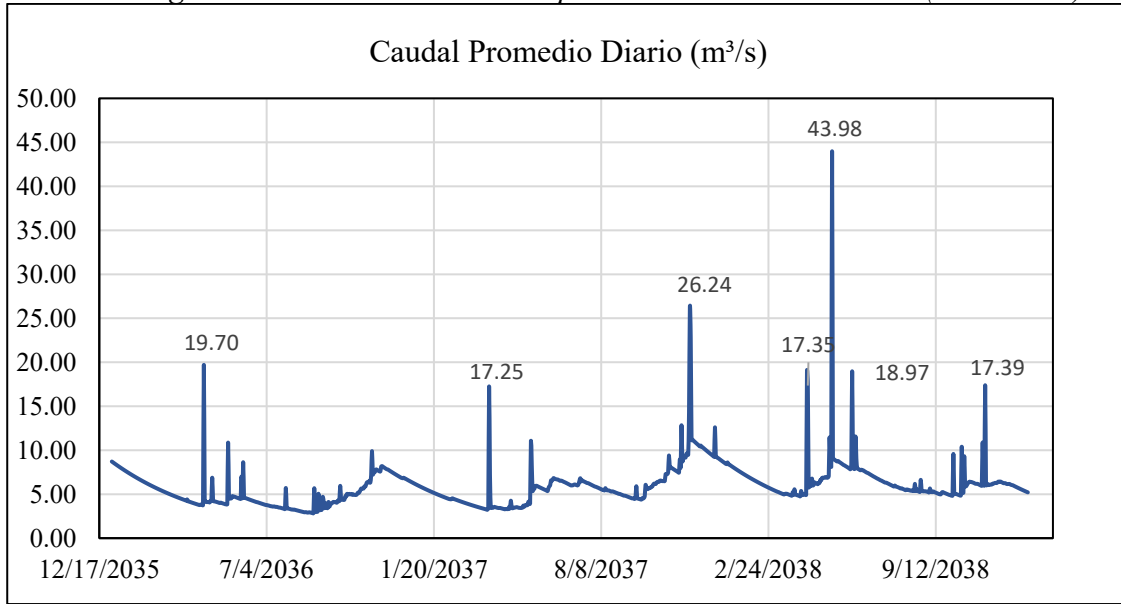


**Tabla 50.** Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2036-2038).

Caudal (m³/día)	
Media	5.91
Error típico	0.07
Mediana	5.64
Moda	#N/D
Rango	41.15
Mínimo	2.83
Máximo	43.98
Suma	6480.52
Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2036 a 2038.

**Figura 50.** Hidrograma de caudales simulados para la cuenca Cáchira Sur (2036-2038).

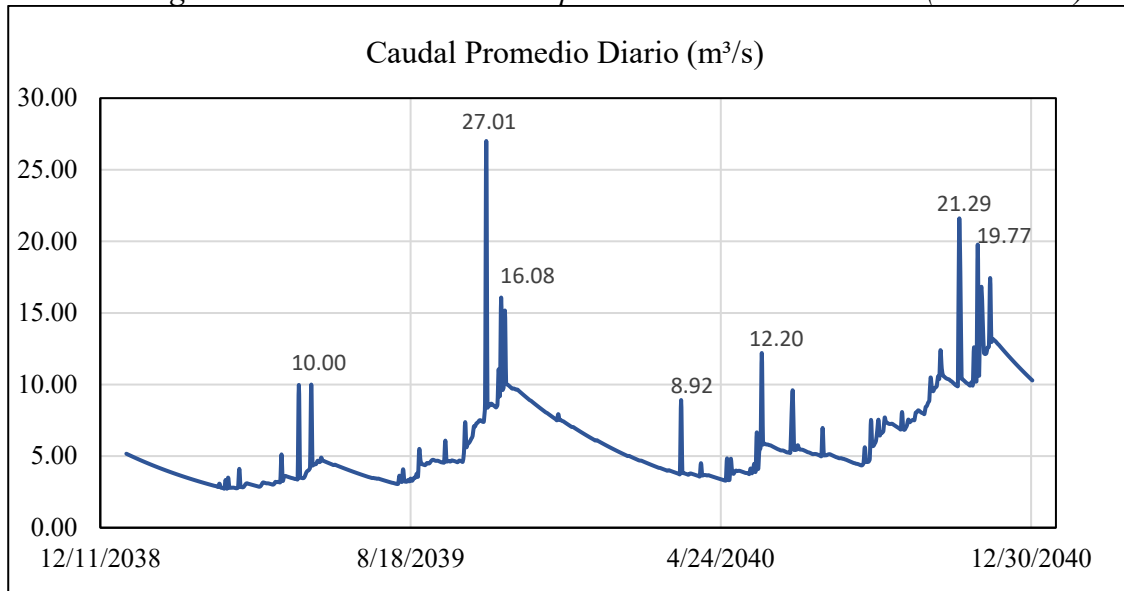


**Tabla 51.** Resumen estadístico de caudales observados de la cuenca Cáchira Sur (2039-2040).

Caudal (m³/día)	
Media	5.87
Error típico	0.11
Mediana	4.74
Moda	#N/D
Rango	24.29
Mínimo	2.72
Máximo	27.01
Suma	4292.03
Cuenta	731.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de dos años para la proyección de 2039 a 2040.

**Figura 51.** Hidrograma de caudales simulados para la cuenca Cáchira Sur (2039-2040).



### 5.2.1 Caudales Modelados Microcuenca El Playón

A continuación, se resumen los resultados de caudales acumulados aguas arriba que desemboca por la microcuenca El Playón, los flujos se organizaron en hidrogramas por intervalos de tiempo, destacando de ellos las velocidades máximas de cada uno, además, se presenta un resumen estadístico para cada rango de tiempo.

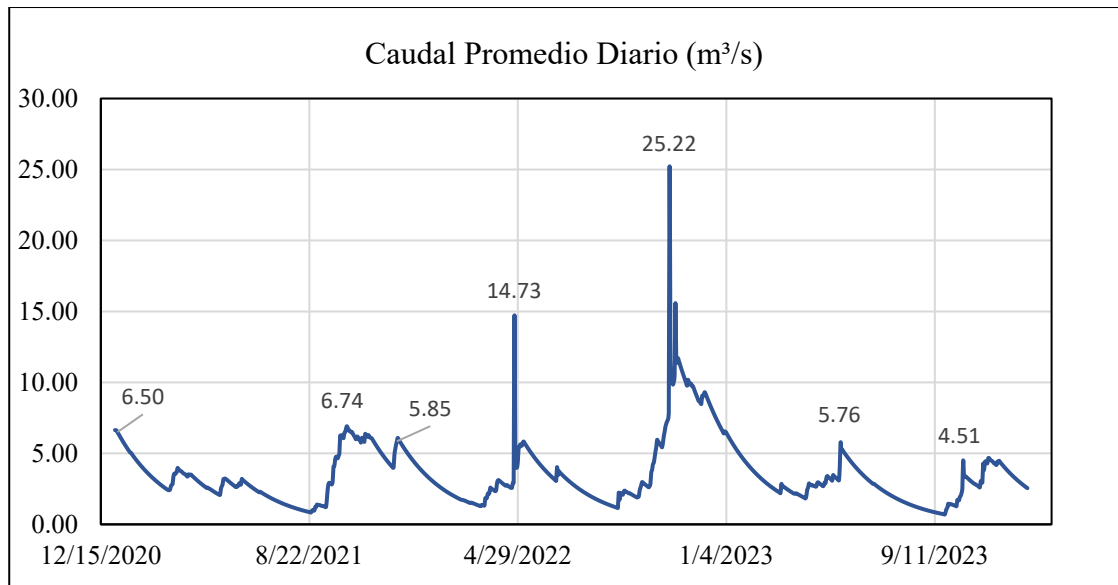
La siguiente proyección de caudales corresponde a los años 2021 a 2023 representados con el resumen estadístico (Tabla 52) y el hidrograma (Figura 52). la velocidad de flujo aguas abajo de la microcuenca presenta una media de 3.53 (m³/s), se proyectaron tres eventos máximos de 14.73 (m³/s), 25.22 (m³/s), y (15.58 m³/s) durante el año 2022, además de una proyección de velocidad mínima de 0.7 m³/s. Adicionalmente se comenta que el comportamiento del río Playón según el hidrograma indica un aumento de velocidad de caudal durante los meses de abril-mayo y octubre-noviembre.

**Tabla 52.** Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2021-2023).

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	
Media	3.53
Error típico	0.07
Mediana	2.94
Moda	#N/D
Rango	24.52
Mínimo	0.70
Máximo	25.22
Suma	3868.82
Cuenta	1095.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2039 a 2040.

**Figura 52.** Hidrograma de caudales simulados para la microcuenca El Playón (2021-2023).



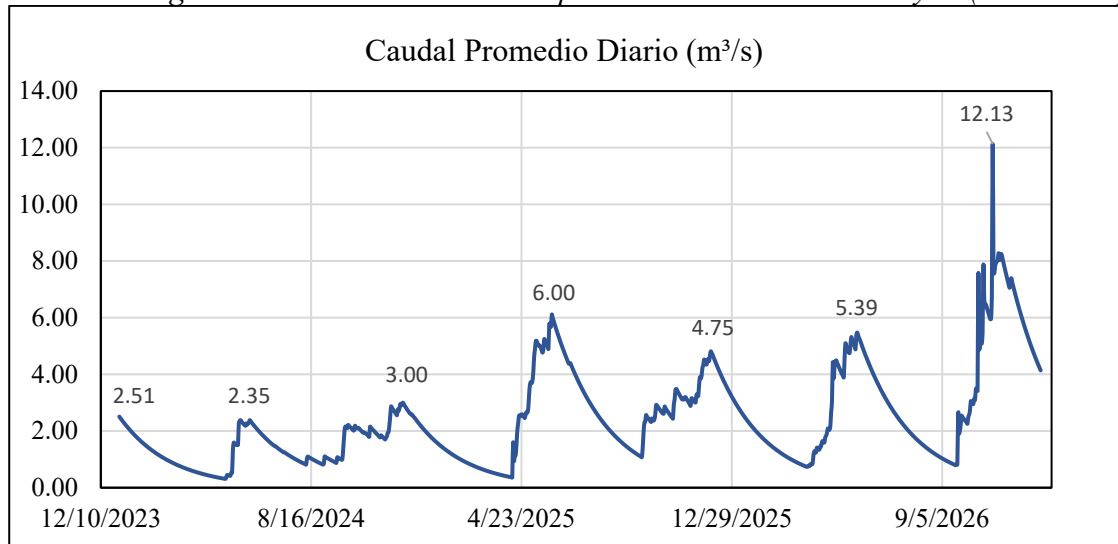
La siguiente proyección de caudales corresponde a los años 2024 a 2026 representados con el resumen estadístico (Tabla 53) y el hidrograma (Figura 53). la velocidad de flujo aguas abajo de la microcuenca disminuyó respecto al rango de tiempo anterior con una media de 2.41 (m<sup>3</sup>/s), se proyectó un evento máximo de 12.3 (m<sup>3</sup>/s) para la fecha 04/11/2026, además de una proyección de velocidad mínima de 0.31 m<sup>3</sup>/s. Se comenta que las velocidades de caudal para este rango de tiempo son menores que las vistas durante el 2021-2023 y su comportamiento indica un aumento durante los meses mayo-junio y noviembre-diciembre.

**Tabla 53.** Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2024-2026).

Caudal (m <sup>3</sup> /día)	
Media	2.41
Error típico	0.05
Mediana	1.99
Moda	#N/D
Rango	11.82
Mínimo	0.31
Máximo	12.13
Suma	2639.11
Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2024 a 2026.

**Figura 53.** *Hidrograma de caudales simulados para la microcuenca El Playón (2024-2026).*



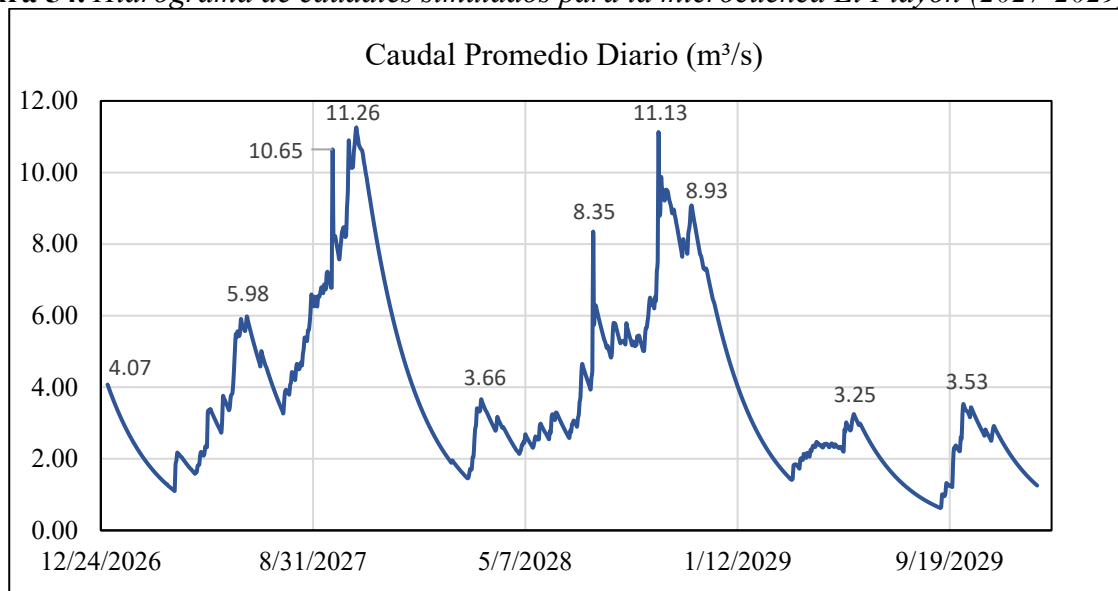
La siguiente proyección de caudales corresponde a los años 2027 a 2029 representados con el resumen estadístico (Tabla 54) y el hidrograma (Figura 54). la velocidad de flujo aguas abajo de la microcuenca aumentó respecto al rango de tiempo anterior con una media de 3.8 (m³/s), se proyectaron dos eventos máximos con valores de 11.26 (m³/s) y 11.13 (m³/s) para las fechas 23/10/2027 y 11/10/2028 respectivamente, además de una proyección de velocidad mínima de 0.62 (m³/s). El comportamiento de la velocidad del caudal indica un aumento constante en dos periodos de tiempo, uno durante los meses julio a octubre del 2027 de donde pasó de un caudal con valor 3.27 (m³/s). hasta llegar al máximo de 11.26 (m³/s), llegado al máximo, decaería de manera constante hasta el mes de febrero del 2028 con un valor de 1.46 (m³/s), el segundo periodo inicia poco después en abril hasta octubre, pasando de un caudal de 2.14 (m³/s) a 11.13 (m³/s), aunque este aumento se presenta de manera más irregular y no tan constante, finalmente llegado al máximo de su valor decae casi constantemente hasta el mes de marzo del 2029 con valor de 1.41 (m³/s).

**Tabla 54.** Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2027-2029).

Caudal (m <sup>3</sup> /día)	
Media	3.80
Error típico	0.07
Mediana	2.98
Moda	#N/D
Rango	10.64
Mínimo	0.62
Máximo	11.26
Suma	4160.99
Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2027 a 2029.

**Figura 54.** Hidrograma de caudales simulados para la microcuenca El Playón (2027-2029).



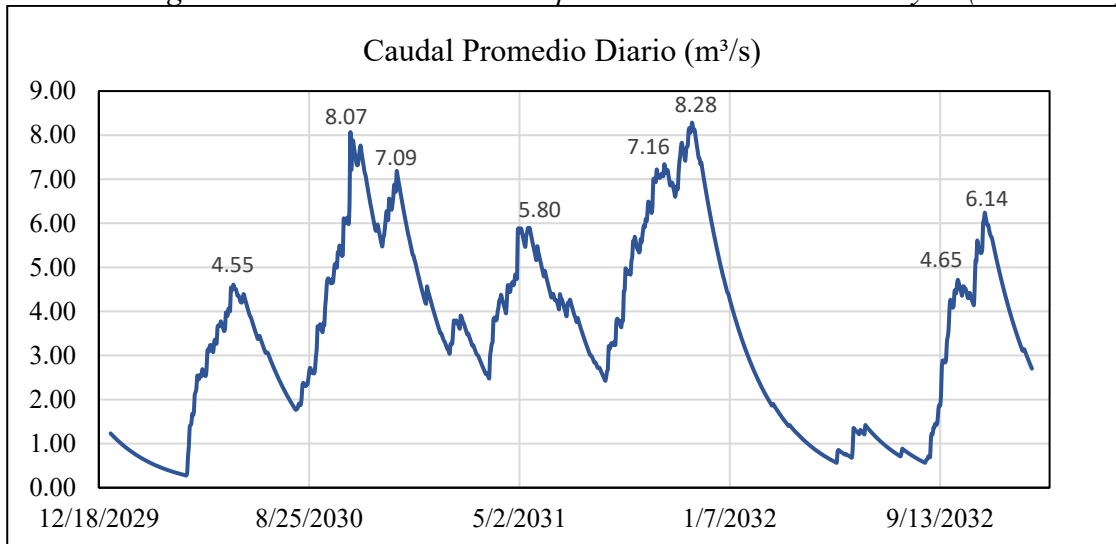
La siguiente proyección de caudales corresponde a los años 2030 a 2032 representados con el resumen estadístico (Tabla 55) y el hidrograma (Figura 55). la velocidad de flujo aguas abajo de la microcuenca disminuyó respecto al rango de tiempo anterior con una media de 3.48 (m<sup>3</sup>/s), se proyectaron dos eventos máximos con valores de 8.07 (m<sup>3</sup>/s) y 8.28 (m<sup>3</sup>/s) para las fechas 17/10/2030 y 23/11/2031 respectivamente, además de una proyección de velocidad mínima de 0.28 (m<sup>3</sup>/s). según el hidrograma el comportamiento de la velocidad del caudal parece aumentar durante los meses mayo y octubre del 2030 y 2031, sin embargo, se presente un descenso constante del caudal durante los primeros meses del 2032 llegando a los 0.58 (m<sup>3</sup>/s) en mayo, seguido de un aumento muy pequeño en junio y retoma una velocidad mucho mayor para final de este año llegando a los 6.14 (m<sup>3</sup>/s) en noviembre.

**Tabla 55.** Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2030-2032).

Caudal (m <sup>3</sup> /día)	
Media	3.48
Error típico	0.06
Mediana	3.49
Moda	#N/D
Rango	8.01
Mínimo	0.28
Máximo	8.28
Suma	3811.71
Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2030 a 2032.

**Figura 55.** Hidrograma de caudales simulados para la microcuenca El Playón (2030-2032).



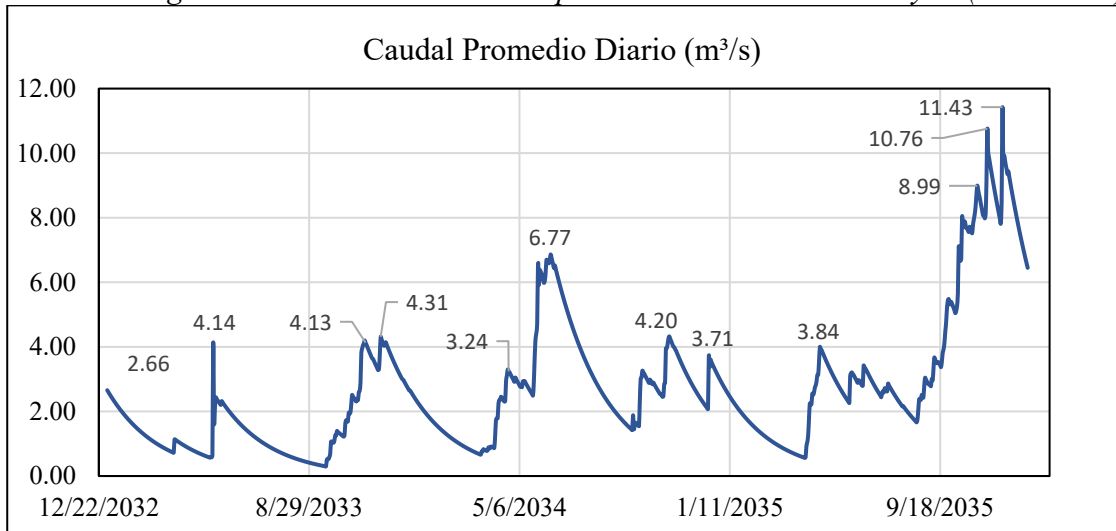
La siguiente proyección de caudales corresponde a los años 2033 a 2035 representados con el resumen estadístico (Tabla 56) y el hidrograma (Figura 56). la velocidad de flujo aguas abajo de la microcuenca disminuyó considerablemente respecto al rango de tiempo anterior con una media de 2.72 (m³/s), se proyectaron dos eventos máximos con valores de 10.76 (m³/s) y 11.43 (m³/s) para las fechas 14/11/2035 y 01/12/2035 respectivamente, además de una proyección de velocidad mínima de 0.30 (m³/s). Según el hidrograma durante el año 2033 los periodos de aumento de caudal corresponden a los meses de mayo, noviembre-diciembre, los del año 2034 son durante mayo-junio y noviembre-diciembre, y finalmente para el año 2035, hay un ligero aumento durante mayo y el periodo más extenso de agosto-diciembre, donde se presenta la velocidad máxima de caudal para este rango de tiempo.

**Tabla 56.** Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2033-2035).

Caudal (m <sup>3</sup> /día)	
Media	2.72
Error típico	0.06
Mediana	2.34
Moda	#N/D
Rango	11.13
Mínimo	0.30
Máximo	11.43
Suma	2980.75
Cuenta	1095.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2033 a 2035.

**Figura 56.** Hidrograma de caudales simulados para la microcuenca El Playón (2033-2035).



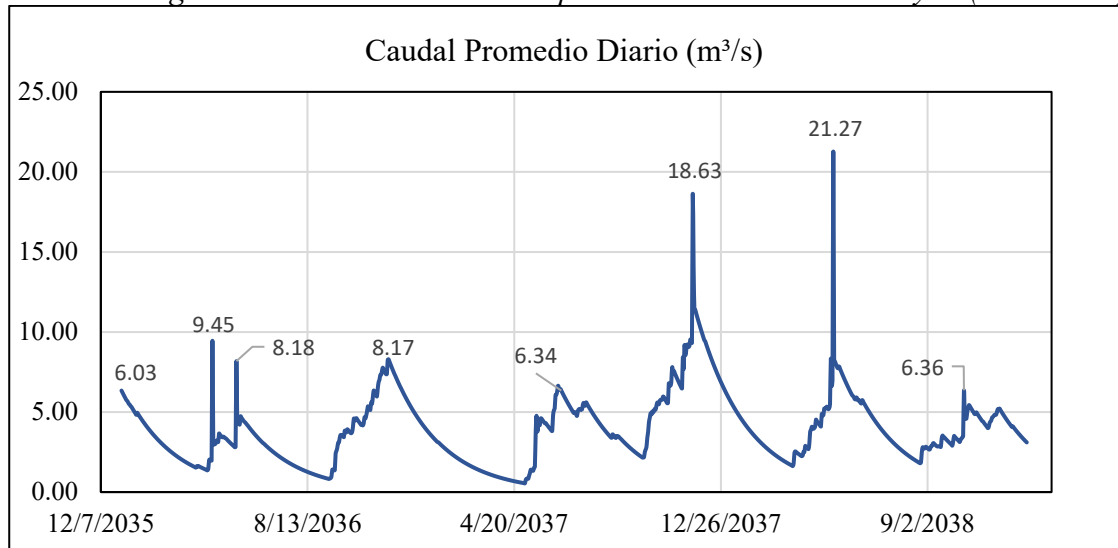
La siguiente proyección de caudales corresponde a los años 2036 a 2038 representados con el resumen estadístico (Tabla 57) y el hidrograma (Figura 57). la velocidad de flujo aguas abajo de la microcuenca aumentó considerablemente respecto al rango de tiempo anterior con una media de 3.91 (m<sup>3</sup>/s), se proyectaron dos eventos máximos con valores de 18.63 (m<sup>3</sup>/s) y 21.27 (m<sup>3</sup>/s) para las fechas 22/11/2037 y 11/05/2038 respectivamente, además de una proyección de velocidad mínima de 0.55 (m<sup>3</sup>/s). Según el hidrograma, el comportamiento de la velocidad de caudal aumenta para el 2036 durante los meses abril-mayo y octubre-noviembre, para el año 2038 el comportamiento aumentó durante los meses mayo-junio y noviembre-diciembre, para el cual se registró uno de los eventos máximos, finalmente para el año 2038 se registró el segundo evento máximo en los meses de abril-mayo, después del descenso de velocidad, aumentaría muy mínimamente entre los meses septiembre-octubre.

**Tabla 57.** Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2036-2038).

Caudal (m <sup>3</sup> /día)	
Media	3.91
Error típico	0.07
Mediana	3.58
Moda	#N/D
Rango	20.72
Mínimo	0.55
Máximo	21.27
Suma	4289.21
Cuenta	1096.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2036 a 2038.

**Figura 57.** Hidrograma de caudales simulados para la microcuenca El Playón (2036-2038).



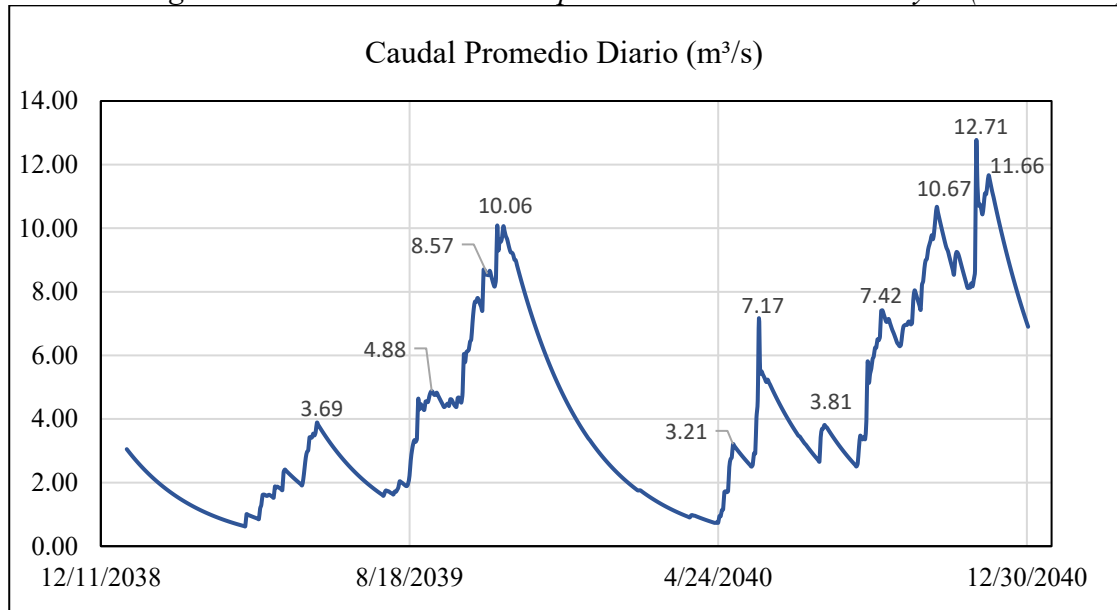
La siguiente proyección de caudales corresponde a los años 2039 a 2040 representados con el resumen estadístico (Tabla 58) y el hidrograma (Figura 58). la velocidad de flujo aguas abajo de la microcuenca aumentó considerablemente respecto al rango de tiempo anterior con una media de 4.12 (m³/s), además de una proyección de velocidad mínima de 0.55 (m³/s). Según el hidrograma, el comportamiento de la velocidad de caudal presenta dos aumentos para cada año, durante el 2039 el primer aumento se registra durante los meses mayo-junio, el segundo y más importante desde agosto a noviembre alcanzando un flujo de 10.06 (m³/s), seguido de un decaimiento constante en su velocidad hasta iniciar el 2040, aquí se presentan durante los meses de abril-mayo y agosto-noviembre nuevamente llegando a una velocidad máxima de 12.71(m³/s).

**Tabla 58.** Resumen estadístico de caudales observados de la microcuenca El Playón (2039-2040).

Caudal (m <sup>3</sup> /día)	
Media	4.12
Error típico	0.11
Mediana	3.11
Moda	#N/D
Rango	12.08
Mínimo	0.63
Máximo	12.71
Suma	3009.11
Cuenta	731.00

Nota: Datos estadísticos de caudales simulados dentro de un rango de tres años para la proyección de 2036 a 2038.

**Figura 58.** Hidrograma de caudales simulados para la microcuenca El Playón (2039-2040).



## 5.3 Análisis de Resultados

### 5.3.1 Análisis Morfométrico

El análisis morfométrico se hizo a partir de la Tabla 2 y Tabla 3, donde se extrajeron las tendencias de la cuenca en relación con los resultados de las mismas, en primera instancia se abordó la pendiente promedio del área de drenaje, la pendiente influye directamente en el escurrimiento de las aguas lluvia, esto en cuanto a magnitud y tiempo de formación de una crecida, para este caso, la microcuenca de El Playón tiene un porcentaje de pendiente del 48% definiéndose con un tipo de relieve “muy fuertemente accidentado” según [32].

El siguiente parámetro por describir es el factor de forma, este mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas o lentas y sostenibles, según este factor tienda a valores extremos grandes o pequeños, la microcuenca de El Playón presenta un “Kf” de 0.39, catalogado como “alargada y baja susceptibilidad a las avenidas” [32].

Para concluir con las características física se presenta la tendencia según la densidad del drenaje, se tiene en cuenta la longitud total de los cursos de agua de todas las jerarquizaciones de la cuenca y su área, a mayor densidad de drenaje, menor será el tiempo de escorrentía por lo cual se considera un indicador de peligrosidad [33], la microcuenca El Playón tiene un valor asignado de 2.22 km/km<sup>2</sup> con una clasificación de red de drenaje “moderado”.

La microcuenca El Playón no presenta indicadores extremos que la cataloguen como altamente susceptible a ocurrencia de crecidas, sin embargo, sus valores indican que tiene cierto potencial de riesgo debido a su pendiente promedio y densidad de drenaje que son influyentes directos en la formación de escorrentía, además, a partir del Apéndice B y la Tabla 9, el casco

urbano del municipio se encuentra en el 1% de zona de alto riesgo por inundación correspondiente al curso que lleva el río principal de la microcuenca.

### *5.3.2 Análisis Climático*

Los resultados obtenidos a partir de los resúmenes estadísticos, gráficos de hietograma e hidrogramas parecen indicar que los eventos climáticos de precipitación influyen directamente en la velocidad del caudal del río Playón, no obstante, no siempre se van a generar eventos máximos destacados como, por ejemplo: las proyecciones del 28/10/2022 y 11/05/2038 con valores de 25.22 y 21.27 (m<sup>3</sup>/s), esto puede deberse a la interpretación del software HydroBID sobre la cobertura terrestre y como las propiedades de los suelos retienen la escorrentía, lo que se ve reflejado en que el afluente no supere el nivel freático, de igual manera se identifican los periodos húmedos para temperaturas promedios entre 17 a 18°C, siendo estos marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre para los cuales se deben tener en observación por su posible comportamiento de desastre.

Las precipitaciones son el principal factor determinante para las inundaciones y la predicción de inundaciones depende en gran medida de la precisión de las entradas de lluvias, sin embargo, [16] menciona que la precisión en el pronóstico de lluvia no es suficiente para el pronóstico de inundaciones debido a la complejidad del movimiento atmosférico, así que para reducir estas incertidumbres se pueden considerar modelo de filtrado avanzado, como lo son el filtro del conjunto Kalman para obtener resultados de predicción más precisos.

Incluso con las limitaciones en cuanto a información disponible tanto climática como geográfica, esta se pudo integró al sistema HydroBID, sumado a una interpretación morfométrica de la zona de estudio, se pudo construir un comportamiento inicial de la microcuenca El Playón, donde resulta evidente la necesidad de incorporar sistemas de gestión de riesgos, el estudio [34] hace una mención a diferentes estrategias de mitigación de riesgo basándose en la correlación de estos para los criterios sociales, económicos, ambientales y de infraestructura, en donde según estas condiciones se pueden incorporar soluciones híbridas, las cuales son más flexibles que los sistemas estructurales tradicionales en cuanto a la inversión de recursos, tiempo de ejecución y adaptación a largo plazo, además programas de concientización enfocados en la preparación para inundaciones y finalmente la financiación de seguros de protección contra inundaciones, estas propuestas se basan en la distribución espacial de riesgos de inundación teniendo en cuenta las incertidumbres asociadas con las predicciones a largo plazo.

## 6. Conclusiones

Se construyó un modelo hidrológico de la cuenca Cáchira Sur por medio del software HydroBID a partir de una base de datos ya creada para la cuenca Lebrija, teniendo en cuenta toda la información que se dispone de esta tanto climática como geográfica, de la misma manera se complementaron los datos recolectados por medios teóricos que resultara más pertinente para cada tipo de dato, fueron un total de 290 datos de precipitación y 4584 de temperatura, sin embargo, la incorporación de datos por medio del CDIT presentó dificultades en su ejecución por algún tipo de incompatibilidad lo cual impidió integrar la información de una estación meteorológica a la base de datos.

La calibración del software se llevó a cabo de acuerdo con valores sugeridos por el BID para cada parámetro, sin aplicar variaciones en la temperatura ni número de curva (NC), los resultados arrojados de la calibración generaron series de caudales que no pudieron ser validados mediante gráficos de dispersión debido a la falta de registro previo o la ausencia de estaciones limnigráficas a lo largo de los afluentes principales, no obstante, se construyeron hidrogramas y hietogramas a partir de la simulación, los cuales permitieron identificar eventos hipotéticos de importancia que representen un riesgo para el casco urbano del municipio.

El análisis de resultados se realizó a partir de las salidas (outputs) del Software HydroBID correspondientes a la microcuenca El Playón, donde se identificaron tres eventos relevantes de velocidad de caudal para las fechas: 28/10/2022, 22/11/2037 y 11/05/2038, identificados con los siguientes valores: 25.22, 18.63 y 21.27 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), estos caudales se acompañan de una precipitación diaria de 27.84, 41.61 y 49.31 ( $\text{mm}/\text{día}$ ), sumado a esto se identifica una tendencia o susceptibilidad a crecidas, determinadas por las características morfométricas de la microcuenca para el rango de tiempo proyectado entre 2021-2040, para cual se puede catalogar como una cuenca

con tendencias moderadas a inundaciones durante periodos húmedos, pero con un alto riesgo para la zona del casco urbano del municipio de El Playón en donde se deben implementar estrategias de mitigación de riesgo competentes.

La metodología descrita para el desarrollo de este trabajo de grado presenta conceptos y elementos útiles para la modelación de cuencas a partir del software HydroBID, se describe de forma precisa la delimitación y extracción de datos geográficos de la cuenca entorno a la implementación del SIG y la consulta de elementos climáticos a través del IDEAM con varias alternativas de complementación teórica de datos, de igual forma se describe la interfaz del software, del CDIT y los formatos que requieren los datos para su interpolación. Concluyendo que la metodología implementada es replicable para la red de cuencas alrededor de América Latina y el Caribe.

## 7. Discusión

La simulación de caudal y precipitación demuestran un comportamiento brindado por una configuración estándar de parámetros hidrológicos, de los cuales se identifican eventos máximos asociados a la temporada húmeda de la zona de estudio, sin embargo, los hidrogramas creados a partir de los resultados pueden resultar en un poco imprecisos, ya que no hay posibilidad de su validación con un registro histórico parcial o continuo de los caudales observados. [16] Evalúa la simulación de cuatro tormentas con diferentes configuraciones de parámetros físicos, la precisión del modelo consiste en la validación de flujos reales con los generados, además, se incorpora herramientas de asimilación de datos para reducir la incertidumbre de los modelos. No obstante, [35] destaca el potencial de modelos hidrológicos a partir de escasa información, para producir mapas de inundación que reemplacen los mapas regionales de resolución gruesa, el método aplicado consiste en utilizar mediciones espaciales posteriores a los eventos, testigos locales, imágenes y videos. Esta información colaborativa es una forma de amortiguar los escasos de datos por parte de las redes de mediciones tradicionales, siendo una situación similar dentro de la subcuenca Cáchira Sur que cuenta con pocas fuentes de información meteorológica que registren datos continuamente.

Este estudio destaca en su método la implementación del software HydroBID para el cual se consideraron las limitaciones presentes en cuanto a información hidrológica se refiere, presenta ventajas en su fácil articulación con los sistemas de información geográfica para la zonificación de cuencas, además, establece una base de datos que incorpora las características terrestres y usos de suelo para la región de Latinoamérica y el Caribe, el modelo en conjunto con los SIG, herramientas de simulación de inundación y el análisis de riesgos de inundación permiten un

potencial para la identificación de desastres, la intervención temprana de estos, y la fomentación de nuevas estrategias en zonas de asentamiento urbano a corto y largo plazo.



- [8] A. Nuñez Collado, A. Salgado Cámara, y D. Martín Anta, «Recomendaciones para la Construcción y Rehabilitación de Edificaciones en Zonas Inundables». ©Ministerio para la Transición Ecológica, 2019. [En línea]. Disponible en:  
[https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/guia-recomendaciones-construccion-y-rehabilitacion-edificaciones-zonas-inundables\\_tcm30-503724.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/guia-recomendaciones-construccion-y-rehabilitacion-edificaciones-zonas-inundables_tcm30-503724.pdf)
- [9] «Decreto 1807 de 2014». <http://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?id=1354137> (accedido ago. 19, 2020).
- [10] E. Jorquera, S. Reyna, y J. Weber, «Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada». oct. 20, 2014.
- [11] S. Burges, «History of the Stanford Watershed Model». abr. 30, 2015.
- [12] G. Amaya, C. Restrepo, y V. Vélez, «Modelación del comportamiento hidrológico de tres cuencas en el Urabá Antioqueño-Colombia». abr. 19, 2009.
- [13] A. Duque y C. Restrepo, «Calibración e implementación del modelo MG para la estimación de caudales máximos en Colombia». Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 14, p. 9-22., 2010.
- [14] J. Romero, A. Buitrago, y T. Quintero, «Simulación hidrológica de los impactos potenciales del cambio climático en la cuenca hidrográfica del río Aipe, en Huila, Colombia». may 02, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/loi/trib20>
- [15] H. Chen, D. Yang, Y. Hong, J. J. Gourley, y Y. Zhang, «Hydrological data assimilation with the Ensemble Square-Root-Filter: Use of streamflow observations to update model

- states for real-time flash flood forecasting», *Adv. Water Resour.*, vol. 59, pp. 209-220, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2013.06.010>.
- [16] J. Tian, J. Liu, D. Yan, L. Ding, y C. Li, «Ensemble flood forecasting based on a coupled atmospheric-hydrological modeling system with data assimilation», *Atmospheric Res.*, vol. 224, pp. 127-137, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.03.029>.
- [17] D. B. Wijayarathne y P. Coulibaly, «Identification of hydrological models for operational flood forecasting in St. John's, Newfoundland, Canada», *J. Hydrol. Reg. Stud.*, vol. 27, p. 100646, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100646>.
- [18] B. Lux Cardona, «Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas». [En línea]. Disponible en:  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- [19] «Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras del País Capítulo IV Uso Adecuado y Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia». 2002. [En línea]. Disponible en:  
[http://observatorio.unillanos.edu.co/portal/archivos/99Zon\\_conf\\_uso\\_tierra\\_\(cap.4%20Uso\\_conflic\).pdf](http://observatorio.unillanos.edu.co/portal/archivos/99Zon_conf_uso_tierra_(cap.4%20Uso_conflic).pdf)
- [20] «POMCA Cachira Sur actualización». 2015. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.cdmb.gov.co/web/planes-de-ordenacion-pomcas>
- [21] «Elaboración de Cartografía Geomorfológica Aplicada a Levantamiento de Suelos a Partir de Técnicas Análogas». 2017. [En línea]. Disponible en:  
<http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/procedimientos%202008/>

2017/I40700-05-

17%20V1%20Elaboracion%20de%20carto%20geomorf%20aplicada%20a%20levantams%20de%20suelos%20a%20partir%20de%20tecnicas%20analogas.pdf

- [22] A. Gonzáles, «Análisis Morfométrico de la Cuenca y de la Red de Drenaje del Río Zadorra y su Afluentes Aplicados a la Peligrosidad de Crecidas». Boletín de la A.G.E. N°38-2004, págs. 311-329, 2004.
- [23] A. Newell Strahler, «Quantitive geomorphology of drainage basins and channel networks». Handbook of applied hydrology, 4-39/4-76, 1964.
- [24] F. Moreda y J. Corrales, «Entrenamiento de Hydro-BID Calibración y Validación».
- [25] Á. Diaz Carvajal y T. Mercado Fernández, «Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG». 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v35n2/2145-9371-inde-35-02-00452.pdf>
- [26] «Module 205 SCS Runoff Equation». 1999. [En línea]. Disponible en: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1083015.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1083015.pdf)
- [27] J. A. A. Pérez Sesma y L. E. Maderey Rascón, «Estimación de la creciente de diseño utilizando el hidrograma unitario instantáneo: el caso de la cuenca del río Tecolutla, México». sep. 03, 2010. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112012000300003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112012000300003)
- [28] J. Rineer y M. Bruhn, «Base de Datos de Hidrología Analítica para América Latina y el Caribe. Parte 1». 2014.

- [29] E. López Lara y C. Posada Simeón, «LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA». [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/51403511.pdf>
- [30] A. Botella Plana y A. Muñoz Bolas, *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática*. UOC, 2011.
- [31] «Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad».
- [32] «Capítulo 7 Morfometría». [En línea]. Disponible en: [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes\\_y\\_Programas/Planes\\_de\\_Ordenacion\\_y\\_Manejo\\_de\\_Cuencas\\_Hidrografica/La%20Vieja%20-%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7\\_CapituloI\\_Diagnostico\\_Morfometria.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20-%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7_CapituloI_Diagnostico_Morfometria.pdf)
- [33] M. Camino, M. Bó, J. Cionchi, J. Del Río, A. Lopez de Armenia, y S. De Marco, «Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires». 2018. [En línea]. Disponible en: Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=383257036005>
- [34] S. Pathak, M. Liu, D. Jato-Espino, y C. Zevenbergen, «Social, economic and environmental assessment of urban sub-catchment flood risks using a multi-criteria approach: A case study in Mumbai City, India», *J. Hydrol.*, vol. 591, p. 125216, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125216>.
- [35] R. Hdeib, C. Abdallah, F. Colin, L. Brocca, y R. Moussa, «Constraining coupled hydrological-hydraulic flood model by past storm events and post-event measurements in

data-sparse regions», *J. Hydrol.*, vol. 565, pp. 160-176, 2018, doi:

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.008>.

## Apéndices

### **Apéndice A.** *Mapa de acumulaciones de la subcuenca Cáchira Sur*

Mapa de la Subcuenca Cáchira Sur desarrollado mediante el SIG Qgis en donde se pueden identificar la jerarquización de los drenajes que abarcan el área de la cuenca.

### **Apéndice B.** *Mapa de amenazas por inundaciones en zonas priorizadas cuenca río Cáchira Sur*

Mapa desarrollado por la CDMB en colaboración con el Fondo de Adaptación para el POMCA actualizado de la subcuenca Cáchira Sur, ilustra a partir del diagnóstico de inundación las zonas vulnerables a este acontecimiento, en donde se destaca la ubicación del caso urbano del municipio de el Playón en zona de alto riesgo.

### **Apéndice C.** *Mapa de cobertura y usos actuales de la tierra cuenca río Cáchira Sur*

Mapa desarrollado por la CDMB en colaboración con el Fondo de Adaptación para el POMCA actualizado de la subcuenca Cáchira Sur en donde se destaca la distribución del área por usos y coberturas de suelos actuales a través del método Corine Land Cover

