



**AFECTACIONES SOCIO-AMBIENTALES GENERADAS POR
EL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA OFERTA HÍDRICA, DE
ACUERDO A LAS PROYECCIONES DE TEMPERATURA Y
PRECIPITACIÓN EN EL PERIODO 2040-2099.**

**ESTUDIO DE CASO: CUENCA RÍO CRAVO SUR EN EL
MUNICIPIO DE YOPAL, DEPARTAMENTO DE CASANARE.**

MIGUEL ANGEL BECERRA VARGAS I. RH Esp.

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia

2023

**AFECTACIONES SOCIO-AMBIENTALES GENERADAS POR
EL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA OFERTA HÍDRICA, DE
ACUERDO A LAS PROYECCIONES DE TEMPERATURA Y
PRECIPITACIÓN EN EL PERIODO 2040-2099.**

**ESTUDIO DE CASO: CUENCA RÍO CRAVO SUR EN EL
MUNICIPIO DE YOPAL, DEPARTAMENTO DE CASANARE.**

MIGUEL ANGEL BECERRA VARGAS

I.RH. Esp. Candidato a Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de
Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

Juan Carlos Granobles I.A MSc.

Línea de Investigación:

Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2023

Acta de Calificación

Nota de aceptación

Director de Tesis

Jurado 1

Jurado 2

Manizales, febrero del 2023

Agradecimientos

Agradezco a Dios Padre todopoderoso por ser mi soporte, mi compañero y guía, quien me otorgó sabiduría y paciencia para culminar con éxito mi Maestría, a mi esposa e hijo por alentarme y ceder su tiempo en familia para poder estudiar, a mis padres y hermano por estar pendientes de lo necesario, y brindarme esa voz de aliento.

Agradezco de manera especial, al Docente Juan Carlos Granobles director de mi proyecto de investigación quien con paciencia siempre se encontraba presto a orientarme con sus conocimientos y experiencia, de vital importancia en la culminación de la investigación.

A la empresa Rhydro Ingenieros del Perú, por el desarrollo del curso manejo de software Rs-Minerve, y orientación en software QGIS.

A la Universidad de Manizales y a todos los docentes de la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, que en el transcurso de la misma transmitieron y gestionaron conocimiento, experiencias, fomentaron la discusión, la lectura, el análisis crítico y la investigación, partes fundamentales para mi formación como maestrante.

Contenido

Resumen	14
Abstract	15
1. Planteamiento del Problema.....	17
1.1 Problemática Preliminar.....	18
1.1.1 Afectaciones Sociales y Ambientales.....	18
1.2 Formulación del Problema- Pregunta de Investigación.....	19
2. Justificación	20
3. Marco Teórico	22
3.1 Cambio Climático	22
3.2 Subcategoría Cambio Climático Local.....	23
3.3 Oferta Hídrica.....	24
3.4 Subcategoría Efectos del Cambio Climático.....	25
3.5 Desarrollo Sostenible	26
3.6 Antecedentes de la Investigación	27
3.6.1 Antecedentes Internacionales	27
3.6.2 Antecedentes Nacionales.....	28
3.6.2 Antecedentes Locales	29
4. Objetivos	30
4.1 Objetivo General	30
4.2 Objetivos Específicos.....	30
5. Descripción del Área de Estudio	31
5.1 Localización General de la Cuenca Hídrica y Cauce Principal Río Cravo Sur.....	31
5.2 Área de Estudio	32
5.2.1 Delimitación de la Cuenca y Cauce Principal	33
5.2.2 Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca y Cauce Principal	34
6. Población y Muestra	36
7. Fases de la Investigación	37
8. Resultados y Discusión	39
Construcción de escenarios del efecto del cambio climático sobre la oferta hídrica del río Cravo Sur, de acuerdo a las proyecciones de temperatura y precipitación en el municipio de Yopal, para el periodo 2040-2099.	39
8.1 Oferta Hídrica.....	39
8.1.1 Ubicación de las Estaciones Hidrológicas.....	40
8.1.2 Análisis de Datos de Oferta Hídrica.....	41
8.1.3 Análisis de Caudal de Seguridad, Caudal Ecológico e Índice de Escasez	44
8.1.3.1 Caudal de Seguridad.....	44
8.1.3.2 Caudal de Calidad	44
8.1.3.3 Caudal Ecológico	44
8.1.3.3 Índice de Escasez	46
8.2 Demanda Hídrica	47
8.2.1 Análisis de Datos de Demanda.....	47
8.3 Precipitación y Temperatura	50
8.3.1 Ubicación de las Estaciones Climáticas	50
8.3.2 Estimación de Datos Faltantes de Temperatura y Precipitación	52
8.4 Fuentes Complementarias de Información Climática	54
8.4.1 PROJETA: Proyecciones de Cambio Climático Regionalizado para América del Sur	54
8.4.1.1 MIROC5 Modelo de Simulación de Cambio Climático Implementado	56

8.4.1.2 RCP Escenarios de Emisión del IPCC Implementados.....	57
8.4.2 Vías Corrección, Técnica de Corrección de Sesgo del Modelo Climático Regional	58
8.4.3 Resultados Corregidos de Proyecciones Precipitación y Temperatura	59
8.5 Dependencia e importancia del agua del río Cravo Sur, perspectivas y conocimiento de cambio climático, en la comunidad de Yopal.	63
8.5.1 Percepción de la Comunidad de Yopal.	64
8.5.1.1 Sección de Cambio Climático	65
8.5.1.2 Sección de Utilización del Recurso Hídrico (Río Cravo Sur).....	68
8.5.1.3 Sección de Adaptación al Cambio Climático -Recurso Hídrico (Río Cravo Sur).....	75
8.5.1.4 Observaciones Generales.	76
8.6 Modelación de la Oferta Hídrica del Río Cravo Sur en el Municipio de Yopal, Respecto a los Escenarios Futuros de Temperatura y Precipitación por el Cambio Climático: Escenario 1- año 2040, y escenario 2- año 2099.....	78
8.6.1 Software RS-Minerve.....	78
8.6.2 Modelo SOCONT (Soil Contribution).....	79
8.6.3 Entradas de la Modelación con RS- Minerve.....	80
8.6.3.1. Datos Climáticos e Hidrológicos.....	80
8.6.3.1 Creación del Modelo Hidrológico.....	80
8.6.3.1 Modelación.....	80
8.6.4 Resultados de la Modelación con RS- Minerve	81
8.7 Análisis de Resultados de Modelación.....	87
8.7.1 Análisis de resultados de la Modelación al Año 2040	87
8.7.1.1 RCP 4.5 - Año 2040	87
8.7.1.2 RCP 8.5 - Año 2040	90
8.7.1.3 Oferta VS Demanda Hídrica e Índice de - Año 2040.....	93
8.7.2 Análisis de resultados de la Modelación al Año 2099	98
8.7.2.1 RCP 4.5 - Año 2099	98
8.7.2.2 RCP 8.5 - Año 2099	100
8.7.1.3 Oferta VS Demanda Hídrica e Índice de Escasez - Año 2099	103
8.7.3 Análisis de Resultados del Año Crítico.....	107
8.7.3.1 RCP 8.5 - Año Crítico 2029.....	107
8.7.4 Conclusiones de la Modelación.....	110
9. Afectaciones Socio-Ambientales.....	112
Identificación y análisis de las afectaciones Socio-Ambientales que generan por el cambio climático de acuerdo con los escenarios obtenidos de oferta hídrica del río Cravo Sur, en el municipio de Yopal para el periodo 2040-2099.	112
9.1 Valoración de Afectaciones Socio-Ambientales.....	112
9.1.1 Matriz Leopold Modificada	115
9.1.2 Análisis de Resultados Matriz Leopold Modificada	117
9.1.2.1 Modelación y Tramos del Río Cravo Sur con Mayor Afectación.....	117
9.1.2.2 Conflictos Ambientales	118
9.1.2.3 Conflictos Sociales.....	119
10. Estrategias de Mitigación y Adaptación.....	120
Estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático para el municipio de Yopal a partir de los cambios esperados	120
11. Discusión de Resultados.....	128
11.1 Con Resultados Internacionales	128
11.2 Con Resultados Nacionales y Locales.....	130
12. Conclusiones	135
13. Recomendaciones	137
14. Referencias.....	138

14. Anexos	143
14.1 Anexo 1. Metodología de Delimitación de la Cuenca y Cauce Principal	143
14.2 Anexo 2. Metodología Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca y Cauce Principal	149
14.2.1 Parámetros de Forma.....	149
14.2.2 Tamaño de la Cuenca o Área (A).....	151
14.2.3 Perímetro de la Cuenca	152
14.2.4 Longitud del Cauce Principal (L).....	152
14.2.5 Ancho Promedio de la Cuenca (Ap).....	152
14.2.6 Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (1914).....	152
14.2.7 Razón de Elongación.....	153
14.2.8 Factor de Forma	154
14.2.9 Rectángulo Equivalente.....	154
14.2.10 Radio de Circularidad.....	155
14.2.11 Parámetros de Relieve	155
14.2.12 Altitud más Frecuente	156
14.2.13 Pendiente Media de la Cuenca	156
14.2.14 Coeficiente de Masividad (Cm)	156
14.2.15 Curva Hipsométrica.....	157
14.3 Anexo 3. Metodología de Estimación de Datos Faltantes de Temperatura y Precipitación por el Método de Regresión Lineal Simple	157
14.4 Anexo 4. Metodología de Obtención de Datos Climáticos Complementarios y Proyectados .	165
14.5 Anexo 5. Metodología y Modelo de Encuesta.	174
14.5.1 Prueba Piloto, y Ajustes a Realizar	176
14.5.1.1 Ajustes a Realizar.....	176
14.5.2 Identificación y Codificación de las Encuestas	177
14.5.3 Encuestas Diligenciadas, Trabajo de Campo	180
14.5.4 Matriz de Resultados de las Encuestas.....	181
14.6 Anexo 6. Metodología de Creación Modelo Hidrológico Cuenca Cravo Sur.....	183
14.6.1 Modificación de Atributos Archivos Shapefile en Qgis.....	183
14.6.2 Creación Modelo Hidrológico en RS- Minerve	187
14.6.3 Entrada de Datos Climáticos en RS- Minerve.....	190
14.7 Anexo 7. Metodología de Modelación de la Oferta Hídrica del Río Cravo Sur en el Municipio de Yopal	193
14.7.1 Primeras Iteraciones del Modelo Hidrológico.....	193
14.7.2 Calibración y Validación del Modelo Hidrológico	195
14.7.2.1 Calibración	195
14.7.2.2 Validación	201
14.8 Anexo 8. Descripción de los Componentes Matriz Leopold Modificada.	203

Índice de Tablas

Tabla 1. Resultado de principales parámetros geomorfológicos de la cuenca y cauce principal río Cravo Sur.	35
Tabla 2. Veredas identificadas en la zona de estudio. Un total de 28 veredas del municipio de Yopal, departamento de Casanare.....	36
Tabla 3. Técnicas de recolección y herramientas utilizadas para el análisis de la información de acuerdo a los objetivos propuestos.....	38

Tabla 4. Estaciones hidrológicas río Cravo Sur. utilizadas para conocer la oferta hídrica (caudal diario m ³ /seg), municipio de Yopal, departamento de Casanare.....	39
Tabla 5. Análisis de datos de caudales Medios Diarios Multianuales (m ³ /seg) de las estaciones hidrométricas. Se muestran valores mínimos y máximos registrados en un periodo de más de 30 años en el río Cravo Sur.	41
Tabla 6. Categorías del Índice de escasez.	46
Tabla 7. Demanda hídrica (m ³ /seg), concesiones de agua otorgadas por Corporinoquia sobre la corriente principal del río Cravo Sur, año 2022, municipio de Yopal, departamento de Casanare.	49
Tabla 8. Estaciones climatológicas en la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur. Utilizadas para conocer temperatura y precipitación, en los departamentos de Boyacá y Casanare.	51
Tabla 9. Resultados de Temperatura y precipitación media diaria multianual de cinco estaciones climatológicas, cuenca del río Cravo Sur, departamento de Casanare.	53
Tabla 10. Escenarios de emisiones de CO2 de referencia mundial.	57
Tabla 11. Resultados de Corrección por sesgo de Temperatura y Precipitación.	59
Tabla 12. Cálculo estadístico de número de encuestas realizadas y lugares. Determinadas según el porcentaje de los principales actores que captan o ejercen presión en la corriente principal de la fuente hídrica.	63
Tabla 13. Resultados de Modelación de la oferta hídrica del río Cravo Sur en el municipio de Yopal, Periodo 01/01/1983 - 31/12/2099. Se muestran los caudales promedios, máximos y mínimos, de acuerdo a la temperatura y el escenario de emisiones de CO2.	83
Tabla 14. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 1 – RCP 4.5 y 8.5, año 2040.	93
Se tiene resultado de Oferta Neta, Índice de Escasez hídrica, Caudal faltante, caudal sobrante y análisis si se puede otorgar concesión por parte de la autoridad ambiental.	93
Tabla 15. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 2 – RCP 4.5 y 8.5, año 2040.	95
Tabla 16. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 3 – RCP 4.5 y 8.5, año 2040.	97
Tabla 17. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 1 – RCP 4.5 y 8.5, año 2099.	103
Tabla 18. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 2 – RCP 4.5 y 8.5, año 2099.	104
Tabla 19. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 3 – RCP 4.5 y 8.5, año 2099.	106
Tabla 20. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 1,2,3 – RCP 8.5, año Crítico 2029.	108
Tabla 21. Criterios de evaluación de las afectaciones.	113
Tabla 22. Matriz Leopold Modificada.	115
Tabla 23. Estrategia de adaptación, mejoramiento genético.	120
Tabla 24. Estrategia de adaptación, cosecha de agua.	121
Tabla 25. Estrategia de adaptación, seguros contra pérdidas agropecuarias.	121
Tabla 26. Estrategia mixta de adaptación y mitigación, sistemas silvopastoriles.	122
Tabla 27. Estrategia mixta de adaptación y mitigación, sustitución de cultivos.	122
Tabla 28. Estrategia de mitigación, protección de zonas de nacimiento del río Cravo Sur.	123
Tabla 29. Estrategia de mitigación, vertimientos cumpliendo la norma.	123
Tabla 30. Estrategia de adaptación, Fomentar la legalidad de concesiones de agua.	124
Tabla 31. Estrategia de adaptación, programas de uso eficiente y ahorro del agua PUEAA.	124
Tabla 32. Estrategia de adaptación, monitoreo en tiempo real del caudal del río Cravo Sur.	125
Tabla 33. Estrategia de adaptación, Reglamentación de los usos del agua.	125
Tabla 34. Estrategia de adaptación, fuentes alternas de suministro de agua.	126
Tabla 35. Estrategia mixta de adaptación y mitigación, control de la deforestación y realizar reforestación de las márgenes del río Cravo Sur.	126
Tabla 36. Clasificación de cuencas por superficie según Campos.	152
Tabla 37. Formas de las cuencas de acuerdo al coeficiente de compacidad.	153
Tabla 38. Valores interpretativos del factor de forma.	154
Tabla 39. Datos de precipitación de la estación el Morro ordenados por fecha, se obtuvieron 16.337 datos de precipitación.	158

Tabla 40. Complemento de serie de datos con fechas faltantes, se obtienen alrededor de 17.088 datos.	159
Tabla 41. Comparación de datos faltantes de la serie estación El morro con la serie estación Aeropuerto Yopal la cual que posee datos en las fechas faltantes para el Morro.	160
Tabla 42. Resultado de datos faltantes de la serie estación El Morro vs serie estación Aeropuerto Yopal. utilizando la regresión lineal simple y el resultado de la gráfica de dispersión.....	161
Tabla 43. Serie completa de Precipitación Diaria PTPD, estación El Morro. Contiene 17.088 datos de 19/11/174 al 31/08/2021, con valores mínimos de 0 mm/día y máximo de 185 mm/día.	162
Tabla 44. Muestra de Tabla de datos en Excel descargados.	167
Tabla 45. Bases de datos descargados de PROJETA, por estación y por RCP.....	168
Tabla 46. Comparación entre los promedios Históricos y Proyectados.	171
Tabla 47. Ficha técnica encuesta.	174
Tabla 48. Identificación de los 67 encuestados, nombre, teléfono predio vereda y fecha de la realización de la encuesta; se asignaron códigos, el primer encuestado es el código E01 y el último E67.	177
Tabla 49. Matriz de Resultado de las encuestas, se muestran solo cinco encuestados codificados y las respuestas dadas por cada uno de ellos a las preguntas, la columna final muestra la sumatoria de cada una de las respuestas de los 67 encuestados. Para ver toda la matriz dirigirse al anexo magnético. ...	181
Tabla 50. Resultado de parámetros iniciales de la modelación, y parámetros finales de la calibración y validación. Ejemplo: Modelación Temperatura Mínima Diaria TMN-D RCP 4.5, Río Cravo Sur Parámetros Iniciales.	199
Tabla 51. Descripción de las afectaciones y los resultados en la investigación y/o modelación y los documentos que sirven como soportes, para la Matriz Leopold.	203

Índice de Imágenes

Imagen 1. Imagen Satelital, Ubicación de 3 Estaciones Hidrológicas, Sobre la Corriente Principal río Cravo Sur.	40
Imagen 2. Imagen Satelital, Ubicación de las Estaciones Hidrológicas, Sobre la Corriente Principal río Cravo Sur, incluye La Estación en el Municipio de Orocué, Casanare.	40
Imagen 3. Fórmula del Índice de escasez.....	46
Imagen 4. Imagen Satelital, Ubicación de las Estaciones Climáticas, Sobre la Cuenca del río Cravo Sur.	50
Imagen 5. Ecuación de corrección de vías utilizada en el modelo regional de cambio climático.....	58
Imagen 6. RCP 4.5 vs 8.5, Proyección de temperatura 1983-2099 estación Yopal. Pico máximo de 42.93 °C/día.....	60
Imagen 7. RCP 4.5 vs 8.5, Proyección de Precipitación 1983-2099 estación Yopal. Pico máximo de 305.60 mm/día y mínimos menores a 50mm/día.	61
Imagen 8. Respuestas a la pregunta 7. ¿Conoce el término de cambio climático?, a que lo relaciona. .	65
Imagen 9. Respuestas a la pregunta 8. ¿Por qué se presenta el cambio climático?.....	66
Imagen 10. Respuestas a la pregunta 9. ¿Qué considera que es la causa del cambio climático?.....	67
Imagen 11. Respuestas a la pregunta 10. Comparado las siguientes variables, como considera su comportamiento respecto a años atrás (20-30 años).	68
Imagen 12. Respuestas a la pregunta 11. ¿Qué actividades desarrolla en su predio?	69
Imagen 13. Respuestas a la pregunta 12. ¿En qué actividad utiliza más el agua?	69
Imagen 14. Respuestas a la pregunta 13. ¿Utiliza agua de la cuenca del río Cravo Sur para sus actividades? Cómo la consigue.	70

Imagen 15. Respuestas a la pregunta 14. ¿Qué tan importante es el agua de la cuenca del río Cravo Sur para el desarrollo de sus actividades?	71
Imagen 16. Respuestas a la pregunta 15. ¿Existen conflictos por el uso del agua en la vereda o vivienda?	72
Imagen 17. Respuestas a la pregunta 16. ¿Cómo relaciona el cambio climático en el río Cravo Sur?..	73
Imagen 18. Respuestas a la pregunta 17. ¿Considera que el cambio del clima ha afectado la disponibilidad de agua en el río Cravo Sur?.....	74
Imagen 19. Respuestas a la pregunta 18. ¿Considera que esta disponibilidad de agua lo afecta o lo afectará en sus actividades?.....	74
Imagen 20. Respuestas a la pregunta 19. ¿Ha realizado alguna actividad para ayudar a disminuir el cambio climático?	75
Imagen 21. Respuestas a la pregunta 19. ¿Ha tomado alguna medida referente al posible aumento o disminución del agua en el río Cravo Sur?	76
Imagen 22. Diferentes modelos hidrológicos del software RS-Minerve. Se muestran los diferentes parámetros de entrada para cada uno.	79
Imagen 23. Tramos de interés y análisis de resultados, corriente principal río Cravo Sur.	81
Imagen 24. Grafica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 1, Año 2040.	94
Imagen 25. Grafica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 2, Año 2040.	95
Imagen 26. Gráfica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 3, Año 2040.....	96
Imagen 27. Gráfica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 1, Año 2099.....	103
Imagen 28. Grafica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 2, Año 2099.....	105
Imagen 29. Gráfica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 3, Año 2099.....	105
Imagen 30. Grafica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 1,2 y 3, Año Crítico 2029.....	109
Imagen 31. Selección del área de estudio, rásters de elevación Earth Data de la NASA.	143
Imagen 32. Carga al QGIS el mapa y los archivos DEM del área de estudio.....	144
Imagen 33. Página de DAMCRA mapa de las Subzonas hidrográficas de Colombia. (Cuencas hídricas y ríos).	145
Imagen 34. Carga al QGIS el mapa de la cuenca y los archivos DEM del área de estudio.	145
Imagen 35. Carga al QGIS de la imagen satélite o mapa de los ríos del área de estudio desde la herramienta OpenStreetMap (OSM).	146
Imagen 36. Carga al QGIS de la imagen satélite o mapa de los ríos del área de estudio y el DEM proyectado de elevación.	147
Imagen 37. Resultado final de la Cuenca río Cravo Sur delimitada en QGIS con la herramienta Whitebox Geoespacial inc.....	148
Imagen 38. Se cargan al QGIS la capa de delimitación de la cuenca y rásters de elevación.	149
Imagen 39. Capa o DEM recortado de elevación de la cuenca río Cravo Sur.	150
Imagen 40. Tabla de atributos de QGIS, se utilizó para calcular el área de la cuenca y perímetro.	150
Imagen 41. Con la tabla de atributos de QGIS, se calculó el área de la cuenca y perímetro.	151
Imagen 42. Gráfica de dispersión de la Comparación de serie de datos de la estación El Morro Vs estación Aeropuerto Yopal, Excel calcula la ecuación del gráfico y el R2.....	161
Imagen 43. Resultados de estimación de datos faltantes por el método de regresión lineal simple. ...	163
Imagen 44. Precipitación histórica MIROC5, con frecuencia diaria, localización por punto con las coordenadas de la estación, en formato CSV (Excel), desde enero de 1961 hasta diciembre de 2005.	165
Imagen 45. Muestra la georreferenciación del punto donde se van a descargar los datos.	166
Imagen 46. Datos de usuario de descarga, y utilización a ser utilizados dichos datos.....	166
Imagen 47. Resumen de lo descargado PROJETA.	167
Imagen 48. Fragmento de base de datos y la tabla dinámica, IDEAM completa del 19/11/1974, hasta 31/08/2021.....	170
Imagen 49. Fragmento de base de datos y la tabla dinámica, PROJETA MIROC5 RCP 4.5 del 19/11/1974, hasta 31/08/2021.	170

Imagen 50. Ecuación de Vías Correction o Corrección de vías, utilizada en el modelo regional de cambio climático.	171
Imagen 51. Gráfica Comparación de Promedios de Precipitación por meses, Histórico IDEAM (1974-2021) Vs Proyectada PROJETA MIROC5 RCP 4.5 (2021-2099).....	172
Imagen 52. Ejemplo de corrección de sesgo, calculo técnica vías Correction.	172
Imagen 53. Serie final de Precipitación Diaria PTPD, estación El Morro, resultado después de realizarse la corrección de sesgo por la técnica de vías correction. Contiene 45.699 datos de 19/11/1974 al 31/12/2099, con valores mínimos de 0 mm/día y máximo de 185 mm/día.....	173
Imagen 54. Encuesta modelo.	175
Imagen 55. Dos fotografías de encuestados con sus respectivas encuestas, como soporte del trabajo de campo.	180
Imagen 56. Carga al QGIS, Shapefile y los archivos DEM del área de estudio.	183
Imagen 57. Edición de tabla de atributos Shape Sub-Cuencas, se especificaron las uniones de las cuencas y se calculó el área de cada una.	184
Imagen 58. Utilización de Herramienta geométrica en Qgis, se calculan los centroides de cada subcuenca, se representan con punto rojo.	185
Imagen 59. Edición de tabla de atributos Shape Sub-Cuencas, se calculan los centroides, se buscan las coordenadas X, Y, Z de los centroides de cada subcuenca.	185
Imagen 60. Tabla de atributos final del archivo Shapefile Sub-Cuencas, contiene las casillas de uniones, área m2, X, Y, Z.	185
Imagen 61. Desembocadura del río y la tabla de atributos del archivo Shape, Río Cravo Sur – Corriente principal.....	186
Imagen 62. Edición de la tabla de atributos del archivo Shape, uniones, se muestra que las uniones 1 y 2 desembocan en la corriente principal del río Cravo Sur.....	186
Imagen 63. Edición de la tabla unidades de RS- Minerve, se selecciona el cálculo de evapotranspiración por el método de ODIN y se indica la Latitud 5° que corresponde a Colombia...	187
Imagen 64. Módulo de SIG dentro del RS- Minerve, con los archivos Shapefile.	188
Imagen 65. Configuración del modelo Hidrológico los archivos Shapefile y según sus tablas de atributos se colocaron en los campos correspondientes.	188
Imagen 66. Representación del Modelo Hidrológico de la cuenca del río Cravo Sur, generado desde el software RS- Minerve.	189
Imagen 67. Representación del Modelo Hidrológico de la cuenca del río Cravo Sur, generado desde el software RS- Minerve.	189
Imagen 68. Corroboración de modelo hidrológico y la Cuenca Río Cravo Sur, concuerdan los dos archivos resultantes.	190
Imagen 69. Selección de unidades de entrada y salida del modelamiento.	191
Imagen 70. Database climática en RS-Minerve, se evidencian las 5 estaciones y los parámetros de cada una, las fechas y los valores en las columnas ingresados.....	192
Imagen 71. Pestaña de gráficas, en esta pestaña se pueden observar gráficamente los datos de entrada, gráficas pluviométricas y de temperaturas.	192
Imagen 72. Ecuación de calibración.	193
Imagen 73. Validación del modelo, se obtiene como resultado “Model is valid”	194
Imagen 74. Database Estaciones Hidrológicas en RS-Minerve, crean 4 estaciones y se les anexan los parámetros, las fechas y los valores en las columnas.....	195
Imagen 75. Pestaña de gráficas, en esta pestaña se pueden observar gráficamente los datos de entrada, gráficas de caudales o hidrógramas.....	195
Imagen 76. Se insertan en el modelo hidrológico los objetos Source y Comparator, para cada uno de los puntos donde existen estaciones hidrométricas.	196
Imagen 77. Database Estaciones Hidrológicas en RS-Minerve, crean 4 estaciones y se les anexan los parámetros, las fechas y los valores en las columnas.....	197

Imagen 78. Calibración de la modelación, se configuran las casillas y como resultado se obtienen los mejores valores de indicadores y gráfica de comparación de caudal de referencia (estaciones) caudal simulado (modelado).....	197
Imagen 79. Indicadores establecidos por RS- Minerve para calibración de la modelación, se observan los rangos y los valores ideales.	198
Imagen 80. Ecuación de calibración.	198
Imagen 81. Gráfica resultado de calibración Ejemplo: Modelación Temperatura Mínima Diaria TMN-D RCP 4.5, Río Cravo Sur Tramo 1 Vs Est. Puente La Cabaña, periodo 1983-2020.....	200
Imagen 82. Indicadores, caudales y gráficas de comparaciones de los caudales de la estación Puente La Cabaña (referencia) Vs los caudales de Simulados al año 2020.	201
Imagen 83. Resultado de caudales, periodo (1983-2099) para el río Cravo Sur Tramo 1, Modelación Temperatura Mínima Diaria TMN-D RCP 4.5.	202

Índice de Figuras

Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible -ODS articulados a la investigación.....	20
Figura 2. Fundamentos teóricos de la investigación, se dividen en tres categorías y 2 subcategorías...	22
Figura 3. Localización general cuenca hídrica río Cravo Sur en Colombia, en el departamento de Casanare y en el municipio de Yopal.....	31
Figura 4. Localización general río Cravo Sur en el departamento de Casanare y el municipio de Yopal.	32
Figura 5. Localización cauce principal río Cravo Sur en el municipio de Yopal- POMCA 2018.	33
Figura 6. Delimitación de la cuenca, cauce principal río Cravo Sur y municipio de Yopal	34
Figura 7. Histograma de frecuencia altimétrica y curva hipsométrica. En la cuenca del río Cravo Sur más del 80% de su área se encuentra en altitudes menores de 500 m.s.n.m.	34
Figura 8. Tipo de investigación, desarrollo del ciclo empírico analítico.	37
Figura 9. Comportamiento promedio Multianual de Medios Diarios (m ³ /seg), en cuatro estaciones hidrológicas del río Cravo Sur, periodos entre 1977-2020.	42
Figura 10. Resolución horizontal de los modelos Globales y Regionales.	55
Figura 11. Representación gráfica del proceso del modelo hidrológico GSM.....	79
Figura 12. Resultados de Modelación de Caudales (m ³ /seg), por tramos seleccionados del río Cravo Sur, de acuerdo a Temperatura Mínima Diaria y Temperatura Máxima Diaria y escenarios de emisiones para RCP 4.5 y RCP 8.5, periodo comprendido del 01/01/1983 hasta 31/12/2099.	84
Figura 13. Gráficas de barras, comportamiento multianual de los Caudales Medios Diarios en m ³ /seg, por tramos de la oferta hídrica río Cravo Sur. Periodo 1983- 2040-RCP4.5.	88
Figura 14. Hidrogramas de la oferta hídrica, por tramos río Cravo Sur. Para el año 2040- RCP4.5.	89
Figura 16. Gráficas de barras, comportamiento multianual de los Caudales Medios Diarios en m ³ /seg, por tramos de la oferta hídrica río Cravo Sur. Periodo 1983- 2040-RCP8.5.	90
Figura 17. Hidrogramas de la oferta hídrica, por tramos hídrica río Cravo Sur. Para el año 2040- RCP8.5.	91
Figura 18. Gráficas de barras, comportamiento multianual de los Caudales Medios Diarios en m ³ /seg, por tramos de la oferta hídrica río Cravo Sur. Periodo 2041- 2099-RCP4.5.	98
Figura 19. Hidrogramas de la oferta hídrica, por tramos hídrica río Cravo Sur. Para el año 2099- RCP4.5	99
Figura 20. Gráficas de barras, comportamiento multianual de los Caudales Medios Diarios en m ³ /seg, por tramos de la oferta hídrica río Cravo Sur. Periodo 2041- 2099-RCP8.5.	100
Figura 21. Hidrogramas de la oferta hídrica, por tramos hídrica río Cravo Sur. Para el año 2099- RCP8.5	102

Índice de Carpetas Magnéticas

- Carpeta Magnética 1. Shapefile de Delimitación de la Cuenca y Cauce Principal Río Cravo Sur.
- Carpeta Magnética 2. Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca.
- Carpeta Magnética 3. Datos de Oferta Hídrica Suministrados por IDEAM.
- Carpeta Magnética 4. Datos de Demanda Hídrica Suministrados por CORPORINOQUIA.
- Carpeta Magnética 5. Datos de Temperatura y Precipitación suministrados por el IDEAM.
- Carpeta Magnética 6. Series de Datos Completos de Temperatura y Precipitación, Resultado de la Regresión Lineal Simple.
- Carpeta Magnética 7. Bases de Datos Descargados de PROJETA.
- Carpeta Magnética 8. Bases de Datos Finales.
- Carpeta Magnética 9. Identificación de Encuestados. (Encuesta Modelo, Cálculo de Encuestas a Realizar).
- Carpeta Magnética 10. Resultados de las Encuestas, Encuestas Escaneadas, Anexos Fotográficos, Matriz de Resultados de las Encuestas.
- Carpeta Magnética 11. Análisis de Resultados de las Encuestas.
- Carpeta Magnética 12. Shapefile Editados, Insumos para RS- Minerve.
- Carpeta Magnética 13. Modelo Hidrológico en RS- Minerve.
- Carpeta Magnética 14. Database de RS- Minerve.
- Carpeta Magnética 15. Calibración y Validación del Modelo Hidrológico.
- Carpeta Magnética 16. Resultados de la Modelación (Bases de Datos, Gráficas, Oferta vs Demanda).
- Carpeta Magnética 17. Matriz Leopold Modificada.

Resumen

El cambio climático está afectando a todo el mundo, en especial al recurso hídrico, el aumento paulatino del calentamiento global por las emisiones de gases de efecto invernadero, hace que se presente aumento en la temperatura y variaciones en la precipitación, ocasionando directamente cambios en la oferta hídrica dados en aumento o escasez drástica; actualmente existe un desconocimiento de cómo será el comportamiento de la oferta hídrica del río Cravo Sur, fuente principal de la población de Yopal para realizar diferentes actividades. La investigación analizó las afectaciones Socio-Ambientales generadas por el cambio climático sobre la oferta hídrica del río Cravo Sur, de acuerdo a las proyecciones de temperatura y precipitación para el periodo 2040 - 2099, en el municipio de Yopal, departamento de Casanare. Para este fin, se realizó la modelación de la oferta hídrica del río Cravo Sur por medio del software RS-Minerve y el modelo SOCONT, utilizando los escenarios representativos de concentración de cambio climático RCP4.5 y 8.5. Para obtener los insumos de la modelación: Inicialmente, por medio del software QGIS y de rásters de la página Earth Data de la NASA, se crearon archivos Shapefile con la delimitación y parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Cravo Sur. Posteriormente, se realizó análisis de la demanda hídrica suministrada por Corporinoquia, obteniendo un caudal demandado de 8,86 m³/seg. Consecutivamente, se realizó análisis de datos históricos periodo 1975 al 2021 de la oferta hídrica y climática suministrada por el IDEAM, en el que se consideraron más de 30 años de datos de caudales medios diarios (m³/seg) de 4 estaciones hidrométricas, y más de 35 años de datos diarios de precipitación (mm/día) y temperatura (°C/día) de 5 estaciones climáticas; información que se completó con la metodología de estimación de datos faltantes por regresión lineal simple. Así mismo, se realizó análisis de datos proyectados periodo 2022 al 2099 de temperatura y precipitación; para lo cual, se utilizó como fuente complementaria de información, el modelo regional para América del sur PROJETA y su modelo de simulación de cambio climático MIROC5. Con los datos históricos y proyectados de temperatura y precipitación, se realizó la corrección del sesgo por el método de vías corrección, y como principal resultado se evidencia un aumento de temperatura sostenida a través del siglo, con picos máximos de temperatura en los meses de febrero, RCP4.5 año 2049 de 41.05°C, y RCP8.5 año 2098 de 42.93°C, así mismo se evidencia que la precipitación tiende a descender drásticamente con resultados en RCP4.5 y 8.5 que no superan los 100 mm/día. Después, por medio de una encuesta a la comunidad, se conoció la percepción que tienen sobre la dependencia e importancia del agua, del cambio climático y las posibles afectaciones que este acarrearía sobre la oferta hídrica del río Cravo Sur. Ya con los insumos obtenidos anteriormente, se procede a modelar la oferta hídrica del cauce principal del río Cravo Sur, logrando datos de caudales de oferta hídrica e hidrogramas para el periodo (1983-2099) en los diferentes tramos del río Cravo Sur. Posteriormente, se realizó el análisis de oferta vs demanda, donde los caudales de oferta hídrica obtenidos en la modelación, se afectaron por los porcentajes de caudal de seguridad y ecológico establecidos en la Resolución 865 de 2004; Como resultado se obtiene que en los tramos 1 y 2 del río Cravo Sur, y para los años 2040, 2099, la mayor parte del tiempo, la comunidad de Yopal, no podrá suplir la demanda de agua a través de las concesiones otorgadas por Corporinoquia; con extremo de escasez hídrica proyectada para el año 2029, donde se presenta caudales de oferta menores de 1m³/seg, lo que pone en riesgo el caudal ecológico y de seguridad, lo que puede repercutir directamente en

Resumen - Abstract

perdida de fauna y flora del ecosistema. Finalmente, por medio de una matriz de Leopold modificada y teniendo en cuenta el análisis de las encuestas, se valoró cuantitativamente las posibles afectaciones ambientales y conflictos sociales generados por el cambio climático sobre la oferta hídrica del río Cravo Sur; con los principales resultados obtenidos, se construyeron 13 estrategias de mitigación y adaptación a los cambios esperados, herramientas útiles para enfrentar el cambio climático y ser resilientes a este. La investigación, pretende servir de instrumento de consulta, en la planificación del uso del agua y de la ocupación del territorio con una visión a largo plazo. Adaptarnos a la variabilidad hídrica es parte de los retos que genera el cambio climático, nos incita a prepararnos para estos, a ser más resilientes, lo que implica, que la comunidad de Yopal, las entidades y nuestros dirigentes den vuelta a nuestro destino “cambiar radicalmente nuestras formas de percibir y vivir la realidad hídrica”, se debe apuntar a desarrollar una nueva conciencia más ecológica y más solidaria, ejercer un cambio más respetuoso con el medio ambiente, se debe iniciar la búsqueda del desarrollo sostenible del recurso hídrico en el río Cravo Sur.

Palabras claves: Cambio Climático, Oferta Hídrica, Afectaciones Socio-Ambientales, Desarrollo Sostenible.

Abstract

Nowadays, Climate change is a issue that affected the whole world, especially our water resources. A gradual increase in global warming due to greenhouse gas emissions has caused an increase in temperature and variations in precipitation, where it directly causes changes in the water supply, given in increase or drastic scarcity; Currently, there is a lack of knowledge about how the behavior of the water supply of the Cravo Sur river will be, where it is the main water source of the population of Yopal to carry out different activities in it. The research analyzed the socio-environmental effects generated by climate change on the water supply of the Cravo Sur river, where two main factors were taken, the temperature and precipitation projections for the period 2040 - 2099, in the city of Yopal, department of Casanare. For that purpose, an analysis was performed the modeling of the water supply of the Cravo Sur river by the RS-Minerve software and the SOCONT model, using the representative scenarios of concentration of climate change RCP4.5 and 8.5. To obtain the modeling data's: Initially, Shapelite's files were made with delimitation geomorphological parameters of the Cravo Sur river basin by using the QGIS software and rasters from NASA's Earth Data page. Afterwards, an analysis of the water demand supplied by Corporinoquia company was carried out, where it gave us as result a demanded flow of 8.86 m³/sec. Successively, Analysis of historical data from the period 1975 to 2021 of the water and climate supply provided by IDEAM were analyzed, in which years were considered, more than 30 years of data on average daily flows (m³/sec) from 4 hydrometric stations and more than 35 years of daily precipitation (mm/day) and temperature (°C/day) data from 5 weather stations as well. The information was

Resumen - Abstract

completed with methodology of estimation of missing data by simple linear regression. Likewise, analysis of projected data for the period 2022 to 2099 of temperature and precipitation were analyzed, where the regional model for South America PROJETA and its climate change simulation model MIROC5 were used as a complementary source of information. Therefore, the results of the historical and projected data of temperature and precipitation that were taken, the correction was made through different ways by the method of correction routes, and as a main result, a sustained increase in temperature is evidenced throughout the century with maximum temperature peaks in the months of February. , RCP4.5 year 2049 of 41.05°C, and RCP8.5 year 2098 of 42.93°C, furthermore, it is evidenced that precipitation tends to drop drastically with results in RCP4.5 and 8.5 that do not exceed 100 mm/day. Then, a community survey was made, where the perception was known about how people thought on the dependence and importance of water, climate change and the possible effects that this would cause on the water supply of the Cravo Sur river. Previously, the results that was gotten, it is proceeded to model the water supply of the main channel of the Cravo Sur river, data results were gotten on water supply flows and hydrographs for the period (1983-2099) in the different sections of the Cravo Sur river. Subsequently, the supply factor vs. Demand factor analysis was carried out, where the water supply flows that were obtained in the modeling, they were affected by the percentages of safety and ecological flow that were established in Resolution 865 of 2004. As a result, it is obtained that in the sections 1 and 2 of the Cravo Sur river, and for the years 2040, 2099, most of the time, the community of Yopal will not be able to meet the demand for water through the concessions granted by Corporinoquia company. There will be An extreme water scarcity projected for the year 2029, where supply flows are less than 1m³/sec, which it puts the ecological and safety flow at risk. Finally, by means of a modified of Leopold matrix and taking into account the analysis of the surveys, the possible environmental effects and social conflicts generated by climate change on the water supply of the Cravo Sur river were assessed quantitatively; With the main results obtained, 13 mitigation and adaptation strategies to the expected changes were built, useful tools to face climate change and be resilient to it. The research aims to serve as a consultation tool in planning the use of water and the occupation of the territory with a long-term vision. Adapting to water variability is part of the challenges generated by climate change, it encourages us to prepare for these, to be more resilient, which implies that the community of Yopal, the different Entities and our leaders turn our destiny around "change radically our ways of perceiving and living the reality of our water resources", An awareness should aim to develop a new way that is more ecological and more supportive, perform a change that is more respectful of the environment, the search for sustainable development of the water resource should begin on the Cravo South river, as soon as possible.

Keywords: Climate Change, Water Supply, Socio-Environmental Effects, Sustainable Development

1. Planteamiento del Problema

El cambio climático en la actualidad afecta a todo el mundo, en especial al recurso hídrico ya que el aumento paulatino del calentamiento global por las emisiones de gases de efecto invernadero hace que se presenten variaciones en la precipitación y por lo tanto aumentos o escasez drástica de caudal de las fuentes hídricas.

El agua es el líquido necesario para vivir, y es indispensable para la fauna y la flora como para el ser humano, en Colombia el agua tiene un acápite especial según la WWF por mucho tiempo Colombia se consideraba una potencia hídrica. Con seis nevados, 44% de los páramos de Sudamérica, cinco vertientes hidrográficas, 30 grandes ríos, 1277 lagunas y más de 1.000 ciénagas, el agua es una de las mayores riquezas del país. No obstante, los escenarios de cambio climático más pesimistas analizados proyectan reducciones de precipitaciones hasta del 36% con respecto al periodo de referencia 1971-2000, especialmente hacia finales de siglo XXI (2071-2100). (IDEAM, 2011).

Se prevé que en 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua en un escenario climático en que todo sigue igual (WRG, 2009).

El departamento de Casanare es especialmente vulnerable al cambio climático, los escenarios de la tercera comunicación del IDEAM, indican que en el departamento para fin de siglo (2100), en promedio podrá presentar aumentos de temperatura de hasta 2,4 °C, no presentará aumentos de precipitación y podrá decaer el porcentaje de precipitación hasta en un 30%. (IDEAM, 2011).

Todos estos cambios afectarán a su vez a la economía, a la población y al medio ambiente, aunque de manera desigual, la potencial severidad de estos cambios, de materializarse, hará sentir los efectos cada vez más extremos y contrastantes entre excesos de agua y sequía, que demandará recursos muy importantes al departamento del Casanare para implementar estrategias que los contrarresten o reduzcan. (PRICCO, 2018).

En el río Cravo Sur, el agua y la cantidad de esta (oferta), es la razón del proceso de planificación y administración de la mayoría de actividades de los habitantes de Yopal, sin embargo, el problema de desconocimiento de que el cambio climático genera presión sobre la oferta hídrica está generando y generará conflictos socio ambientales por la competencia por el agua para los diferentes usos y usuarios.

1.1 Problemática Preliminar

Es necesario entender que por el cambio climático en los primeros años existirá un aumento de caudal por presencia de mayores precipitaciones en temporada de lluvias, pero así mismo la escasez de agua llegará de manera más pronta y el periodo seco será más largo, lo genera Afectaciones Socio - Ambientales, como ejemplos los problemas encontrados a continuación:

1.1.1 Afectaciones Sociales y Ambientales

Existen todos los años denuncias y Conflictos sociales entre los concesionados agrícolas y la comunidad, por la falta de agua en diferentes tramos de los ríos, donde se culpa a los concesionados.

Comunidades rurales de Yopal lograron lo que parecía imposible, que la CAR saliera de su estado de negligencia y se comprometiera con soluciones reales a las peticiones expuestas durante el plantón, denunciando que pequeños y medianos empresarios del agro, vienen sembrando y cosechando diversos productos, haciendo uso inadecuado del recurso hídrico en temporada de sequía y cómo esto les está afectando directamente al resto de familias. (Violeta estéreo.com, 2019)

Amenazan de muerte a líder comunal en Yopal por denuncias contra Corporinoquia: Luis Ángel Luna, líder comunal del corregimiento de Punto Nuevo en Yopal fue amenazado de muerte por hacer pública las denuncias contra Corporinoquia por presunta omisión en el secamiento de diversas fuentes hídricas al parecer por malos manejos de arroceros y otros agricultores. Según el líder comunal estarían haciendo una errónea e ilegal captación del líquido para los cultivos. (eldiariodelllano.com, 2019).

Corporinoquia otorga Concesiones sobre esta fuente hídrica sin tener un límite de uso del recurso y como se afecta la oferta hídrica por el cambio climático; cada vez es más notoria la disminución de caudal de esta fuente hídrica y aumento de la presión al recurso hídrico por las concesiones en especial en temporada seca.

- Se amenaza la sostenibilidad del caudal ecológico, lo que pone en riesgo la supervivencia ecosistémica de la fuente hídrica.
- Aumento del impacto en calidad del agua de esta fuente hídrica por los vertimientos; con menos agua los vertimientos se demoran más en ser depurados naturalmente por las fuentes hídricas, lo que trae consigo más contaminación e impactos Sociales, Económicos y Ambientales.

Comunidad y ecosistemas vulnerables a eventos hídricos, aumentando el riesgo de pérdidas humanas, económicas y ambientales:

Según el POMCA del río Cravo Sur, de 231 reportes oficiales sobre el área de influencia de la Cuenca del Río Cravo Sur entre 1972 y 2016, los cuales han afectado en mayor proporción los municipios de Yopal, Nunchía y Labranzagrande. Los eventos amenazantes más comunes sobre la zona de estudio son los movimientos en masa con 109 reportes, seguido de las inundaciones con 56 y los incendios forestales con 62. El evento crítico con menor cantidad de ocurrencia son las avenidas torrenciales con un total de 4 reportes en 22 años, la ciudad de Yopal está priorizada por riesgo de inundación los sectores de Quebrada Seca, Palomas, Agua Verde, Punto Nuevo, El Amparo, San José de Caño Seco, Mata Negra y San Pascual. (POMCA río Cravo Sur, 2018)

Pérdidas por creciente del río Cravo Sur en Punto Nuevo: Varias fincas anegadas, casas inundadas y especies menores afectadas, dejaron inundaciones registradas ayer en el centro poblado del corregimiento de Punto Nuevo en Yopal. Elsa Hurtado, residente del corregimiento dijo que varias casas del centro poblado sufrieron inundaciones, pero las afectaciones más grandes se dieron en los conucos donde el agua acabó con los cultivos de maíz, yuca y otros productos. (prensalibrecasanare.com, 2017)

Un estudio de la Universidad Industrial de Santander en el 2008 denominado “Análisis de los Factores de Amenaza y Riesgo Por Inundación de Áreas Adyacentes al río Cravo Sur, en Yopal”. Que destaca que en Yopal ocurrió una avalancha en 1936 y que está en riesgo de presentarse de nuevo. (Celis Rivera, P y Pedraza Gómez R, 2008).

No se tiene un Sistema de alerta tempranas SAT, ni Plan de emergencias por inundación, avenidas torrenciales o avalancha. Los medios de comunicación como estaciones de radio, teléfono y la internet son los únicos medios que utilizan las autoridades para anunciar eventos naturales sobre el río Cravo Sur, lastimosamente las acogidas de estos medios dependen mucho de la hora de transmitir la información: y de la señal del celular para comunicarse con los presidentes de las juntas de acción comunal de las veredas. Lastimosamente como se han presentado en diferentes ocasiones en Yopal, estos medios de comunicación se han utilizado para transmitir situaciones inexistentes de alarma por avalancha que dejaron ver que la comunidad no estaba preparada y no tiene conocimiento de qué hacer en caso de presentarse esta situación, por lo que provocaron pánico en la comunidad.

Se prevé que, por el cambio climático, en la zona media, las subcuencas hidrográficas del río Cravo Sur, aumentarán su probabilidad de inundación en 29%, 41%, respectivamente, sobre los municipios de Yopal, Aguazul (PRICCO, 2018).

Los problemas anteriormente mencionados y la combinación de ellos muestran la necesidad de abordar la investigación.

1.2 Formulación del Problema- Pregunta de Investigación

¿Cuáles serían las afectaciones Socio- Ambientales generadas por el cambio climático sobre la oferta hídrica del río Cravo Sur, de acuerdo a las proyecciones de temperatura y precipitación para periodo 2040-2099, en el municipio de Yopal, departamento de Casanare?

2. Justificación

El departamento de Casanare es especialmente vulnerable al cambio climático. Los cambios actuales y futuros del clima unido a los de los sistemas naturales del departamento (verano, invierno, fenómenos de la niña y el niño), causados por estas mismas variaciones del clima, tendrán un efecto importante sobre la dinámica hídrica del departamento.

La firma del acuerdo de París COP21, nos impulsa en Colombia y en nivel local en Yopal a asumir una responsabilidad del apuntar al cumplimiento de los 17 objetivos de desarrollo sostenible, se deberá fortalecer las actuaciones locales ya que repercuten en el medio ambiente mundial, por lo tanto, establecer desde la comunidad conciencia de que el cambio climático es una realidad y justifica abordar los impactos para poder prepararnos a estos; la investigación está articulada ayudar al cumplimiento de algunos objetivos de desarrollo sostenible-ODS de la ONU, como lo son:

Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible -ODS articulados a la investigación.

Objetivo	Metas
	Para 2030, fomentar la resiliencia de los pobres y las personas que se encuentran en situaciones vulnerables y reducir su exposición y vulnerabilidad a los fenómenos extremos relacionados con el clima y otras crisis y desastres económicos, sociales y ambientales.
	Para 2030, asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra.
	Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.
	De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua. De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos. Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento
	De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad. De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.
	De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.
	De aquí a 2030, asegurar que las personas de todo el mundo tengan la información y los conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza. Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países. Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales
	Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.
	Para 2020, velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas, en consonancia con las obligaciones contraídas en virtud de acuerdos internacionales.

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

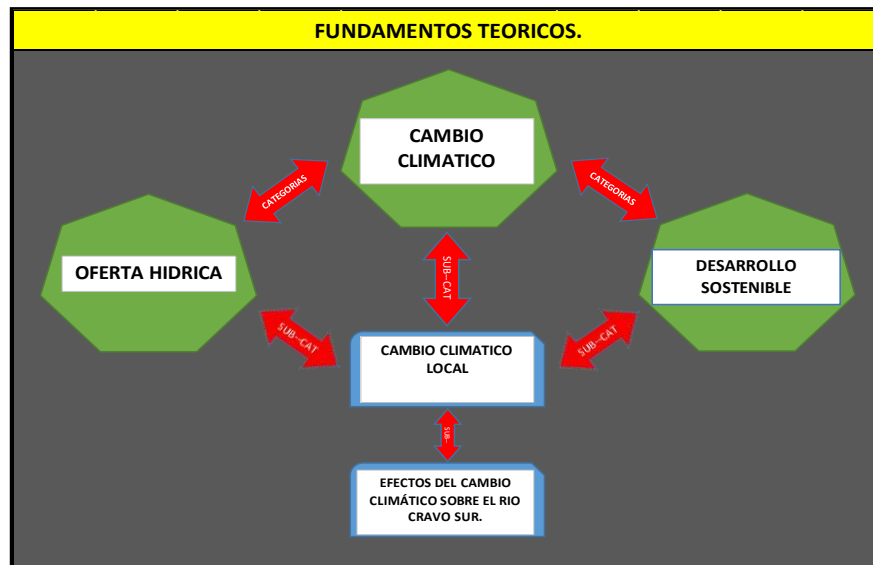
El cambio en la oferta hídrica del río Cravo Sur, forma parte de la cotidianidad y aunque por muchos años nos acomodamos a estas y aprovechamos sus potencialidades, con el cambio climático está variaría repentinamente y en extremos lo que puede convertir a la oferta hídrica en fenómenos arrasadores de nuestra interacción social, económica y ambiental.

Todos estos cambios afectarán a su vez a la economía, a la población y al medio ambiente, aunque de manera desigual, dependiendo de las características del entorno (desde el nivel de paisaje hasta las escalas más detalladas) donde se localizan. La potencial severidad de estos cambios, de materializarse, hará sentir los efectos cada vez más extremos y contrastantes entre excesos de agua y sequía, que demandará recursos muy importantes al departamento del Casanare para implementar estrategias que los contrarresten o reduzcan. (PRICCO, 2018).

La investigación busca mostrar un contexto de la variación hídrica a través del tiempo y como esta afectará o impactará a la población que se beneficia diariamente del recurso hídrico de esta fuente hídrica; es importante estar al tanto de los impactos, así como de las medidas de adaptación y mitigación, con el fin de enfrentar estos fenómenos y que se pueda tomar decisiones ambientales acertadas y generar una sociedad más resiliente al cambio climático inevitable; es apuntar a la construcción de la racionalidad ambiental con el uso del conocimiento local de la variación hídrica, con el fin dar solución a los problemas locales esperados , apuntar a un verdadero desarrollo sostenible del recurso hídrico.

3. Marco Teórico

Figura 2. Fundamentos teóricos de la investigación, se dividen en tres categorías y 2 subcategorías.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

3.1 Cambio Climático

A **nivel mundial**, a mediados de los setenta, científicos especificaron que la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera podría ocasionar calentamiento global; en los años noventa las Naciones Unidas tomó las banderas del Cambio climático y que creó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC, integrado por cientos de científicos, hoy en día este es más aceptado en la mayoría de países del mundo, ya que este organismo emite informes donde demuestran que el cambio climático es una realidad, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC en su quinto informe emitido en el 2019, estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8 °C a 1,2 °C. “Es probable que el calentamiento global llegue a 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual”. (IPCC, 2019).

La Organización Meteorológica Mundial reveló que la época del 2015-2019 fue la más cálida de cualquier otro periodo equivalente registrado. Actualmente se estima en 1,1° C, un grado más por encima de los tiempos preindustriales (1850–1900). “Las olas de calor en los últimos años han sido las más letales, afectaron a todos los continentes y establecieron registros récord de temperatura a nivel nacional”. (OMM, 2020).

El Secretario General de la OMM, Petteri Taalas. “Si se mantiene la tendencia actual en cuanto a emisiones de dióxido de carbono, todo apunta a que hacia finales de siglo el aumento de la temperatura será de 3 a 5 grados Celsius”. (OMM,2020).

La mayor amenaza a la que se enfrenta la humanidad es el cambio climático. (Al Gore, 2006), Gore llamó al cambio climático "la lucha de vida y muerte de las personas vivas hoy".

Antonio Guterres, secretario general de la ONU-2019. En un discurso, advirtió que el cambio climático es:

“La mayor amenaza de nuestro tiempo”

“Tenemos que abandonar la senda “suicida” de las emisiones de carbono”

“El cambio climático sigue avanzando a mayor velocidad que nuestros esfuerzos por hacerle frente”

“Si no cambiamos el rumbo para 2020, corremos el riesgo de perder la oportunidad de evitar que el cambio climático sea incontrolable, con consecuencias desastrosas para los seres humanos y todos los ecosistemas que nos sostienen”.

El cambio climático no es de unos pocos, estamos todos involucrados como lo expresó el Papa Francisco “en nuestro tiempo, parece que las ganancias y las pérdidas son más consideradas que las vidas y las muertes, y que los activos netos de una empresa tienen prioridad sobre el valor infinito de la humanidad”. Tenemos que combatir el cambio climático antes de que sea tarde (Papa Francisco. 2019)

En Colombia como en el resto del mundo, la temperatura media en el territorio nacional continuará incrementándose durante el transcurrir del siglo XXI de tal manera que para el periodo 2011-2040 habría aumentado en $1.4\pm 0.4^{\circ}\text{C}$, para 2041- 2070 en $2.4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y para 2071-2100 en $3.2\pm 0.7^{\circ}\text{C}$.

En cuanto a la precipitación, las proyecciones indican que habrá lugares donde aumentaría y sectores donde se reduciría. En promedio, para el periodo 2011-2070 la precipitación anual decrecería en no más de un 15% del valor del periodo 1971-2000. No obstante, los escenarios de cambio climático más pesimistas analizados proyectan reducciones de precipitaciones hasta del 36% con respecto al periodo de referencia 1971-2000, especialmente hacia finales de siglo XXI (2071-2100). (IDEAM, 2011).

3.2 Subcategoría Cambio Climático Local

IDEAM: Los escenarios de la tercera comunicación indican para **CASANARE**, en el fin de siglo (2100) el departamento en promedio podrá presentar aumentos de temperatura de hasta $2,4^{\circ}\text{C}$, no presentará aumentos de precipitación y podrá decaer el porcentaje de precipitación hasta en un 30%. (IDEAM, 2011).

Precipitación: En general el Departamento de Casanare no presentará aumentos de precipitación para el fin de siglo según los escenarios modelados. La reducción en la escorrentía media anual, se presentará entre el 10% y el 30%. Aquí se incluyen cuencas como las de los ríos Cravo Norte y Sur, entre otros. (ENA, 2011).

PRICCO: Plan Regional Integral de Cambio Climático Para la Orinoquia-PRICCO presenta impactos en un horizonte de tiempo de mediano plazo (año 2040); dentro de estos impactos se prevén para **Casanare** aumentos de temperatura superiores a 38°C, donde la probabilidad de días con temperaturas superiores a 38°C puede incrementarse en más de 20%. La probabilidad de aumento de sequías en la región también irá en aumento, acompañado de un aumento en el número de días sin lluvia. No obstante, los excesos de lluvia también se incrementarán, aguaceros por encima de 90mm serán más comunes. (PRICCO, 2018).

Con respecto al análisis de riesgos, cabe resaltar la cuenca del **río Cravo Sur**, la cual presenta una sensibilidad media y una muy baja capacidad de adaptación, por lo que su vulnerabilidad es más alta que en las demás cuencas. Se prevé que, en la zona media, las subcuenca hidrográfica del río Cravo Sur, aumentarán su probabilidad de inundación en 29%, llamando la atención el municipio de **Yopal**. (PRICCO, 2018).

3.3 Oferta Hídrica

Los impactos del cambio climático sobre los sistemas de agua dulce se deben a los incrementos observados y proyectados en la temperatura, y variabilidad de precipitación. (García et al, 2012).

En Colombia, en un escenario de cambio climático progresivo, las regiones donde existen mayor nivel de lluvias se verán afectadas por niveles de lluvias aún mayores, lo que ocasionaría constantes inundaciones de ríos, deslizamiento de tierras, avalanchas, entre otros desastres relacionados; y en las regiones donde los niveles son bajos se tornarán aún más bajos ocasionando graves sequías y desabastecimiento del recurso hídrico para las poblaciones. (Betancur Mesa, 2009)

La academia debe dedicarse a reducir las incertidumbres de los modelos de clima global y a modelar los impactos locales en el país. Temas como el impacto de los cambios de precipitación y temperatura en la escorrentía, la tasa de almacenamiento de CO₂ en las turberas de los páramos, el costo extra en que la nación tendrá que incurrir para enfrentar el cambio climático (que debería ser financiado por los países responsables del cambio climático), entre muchos otros, requieren de investigación. (Posada Carlos, 2007).

Las estimaciones cuantitativas de los efectos del cambio climático son esenciales para entender y resolver los problemas potenciales del recurso hídrico que podrían ocurrir en el futuro (Guo y Ying, 1997).

No obstante, pese a la incertidumbre, la información actualmente disponible apunta hacia la necesidad de generar políticas que permitan dar respuestas inmediatas a las afectaciones del recurso hídrico asociadas con el cambio climático y la variabilidad climática, además de orientar la planificación del uso del agua y de la ocupación del territorio con una visión a largo plazo. Adaptarse a la variabilidad climática es parte de los retos que genera el cambio climático. (García et al, 2012).

El río Cravo Sur experimenta condiciones hídricas extremas de aumento y disminución de la oferta hídrica, esta variación hídrica es sentida por la comunidad de Yopal, pero al paso del tiempo se asimilan como normales, lo que pone a la comunidad más vulnerables a cambios con mayor magnitud a los ocurridos. Estamos al límite de nuestros recursos naturales y es necesario entender todo lo que está pasando, la oferta hídrica seguirá cambiando en el río Cravo Sur, se presentaran más seguidos eventos extremos de sequía y de aumentos de caudal, lo que incita a entender más estos para ser más resilientes al cambio climático.

3.4 Subcategoría Efectos del Cambio Climático

La subcategoría de efectos del cambio climático, relaciona los impactos Socio-ambientales, el aumento y disminución del caudal es una materialización del impacto del cambio climático ya que afecta tanto a los ecosistemas como a las actividades antrópicas que demandan agua.

Los problemas relacionados con el agua desempeñan un papel crucial en el conjunto de las vulnerabilidades regionales y sectoriales clave. Por ello, la relación entre el cambio climático y los recursos hídricos suscita una preocupación y un interés de primer orden (Bates et al., 2008: 210).

En Casanare en los escenarios del cambio climático dado por el PRICCO, establece que los principales impactos se podrán encontrar en los sectores agrícolas y ganaderos, dado el aumento de temperatura sostenida a través del siglo; la ganadería podría verse afectada en pérdida por la posibilidad de sequías, las pérdidas de Biodiversidad se asocia a grandes planicies y aumentos de temperatura que impiden el desplazamiento adaptativo, pérdidas en los principales cultivos de la región (plátano, arroz, maíz, café, etc.), aumento de propagación de enfermedades población urbana que está expuesta en un futuro próximo a especies del género Anopheles, responsables de la transmisión de la malaria, entre otros impactos.

En el recurso hídrico se espera la pérdida por cambios en el régimen hidrológico y aumentos de riesgo por excesos hídricos que generan flujos de agua, tierra y material vegetal que pueden afectar fuertemente los asentamientos humanos y la infraestructura. (PRICCO, 2018).

En conclusión, los cambios en la producción hídrica alteran la oferta de caudal de los ríos y a su vez pueden afectar asentamientos humanos, infraestructura, biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a este recurso.

3.5 Desarrollo Sostenible

En los lugares que fueron ricos en recurso hídrico, hoy en día la variabilidad hídrica por el cambio climático hace impredecible la disponibilidad del recurso; sumado al cambio climático se encuentra la presión por demanda de agua que crece a un ritmo acelerado por el incremento de la población y la producción, la competencia por el agua para los diferentes usos y usuarios, aumenta los conflictos sociales-ambientales.

Como lo expone Antonio Elizalde en su escrito “ecología, ética, epistemología y economía: relaciones difíciles pero necesarias” la crisis ambiental de carácter global que estamos viviendo nos está dando la posibilidad de cambiar radicalmente nuestras formas de percibir la realidad, de desarrollar una nueva conciencia más ecológica y más solidaria, de superar la ebriedad tecnológica que caracteriza nuestras formas de vida y asumir una manera de vivir que se caracterice por la sobriedad ecológica. Es necesario crear un desarrollo de una nueva conciencia moral en la especie humana: una conciencia solidaria y ecológica. (Elizalde A. 1997)

En las conferencias de cambio climático y medio ambiente de la ONU, se empezó a desarrollar un nuevo enfoque, el desarrollo Sostenible, el cual es aquel desarrollo económico y social respetuoso con el medio ambiente; las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 que contiene los Objetivos de Desarrollo Sostenible, una serie de metas comunes para proteger el planeta y garantizar el bienestar de todas las personas, Colombia participa activamente en las negociaciones internacionales de cambio climático, en este proceso, los países acordaron que presentarían de manera autónoma su "Contribución Nacional" para cumplir con la meta mundial de evitar el aumento de la temperatura promedio global por encima de los 2 °C.

Cada lugar específico es artífice de aportes desde la identidad cultural, social, económica, ambiental; y no simplemente realizar una copia de acciones sostenibles realizadas en otras latitudes que difieren mucho de nuestro clima, ecosistemas, economía, recursos naturales, etc. Nussbaum (2015) afirma que nada de lo prescrito para una nación puede ser aplicado sin un mínimo de reinversión en ninguna otra.

Arturo Escobar expresa que en la historia se ha manejado mal el concepto de desarrollo porque no tenemos avances significativos en la sociedad, hoy en día estamos viviendo el concepto de Post-desarrollo (desarrollo sostenible) y tiene que ver con ir más allá de la modernidad, de la explotación de la naturaleza, consumismo, monetario, de la guerra entre otras teorías ya vividas y sin frutos. Ver el pasado para aprender y evolucionar. (Escobar A., 2005)

Leff (2009) Habla de generar un disenso frente al discurso institucionalizado, los niveles de construcción de la racionalidad ambiental y el uso del conocimiento propio para dar solución a los problemas locales. Escobar (2012) La Naturaleza de las alternativas como problema de investigación y práctica social puede vislumbrarse mejor desde sus manifestaciones específicas.

Es necesario entender cómo afecta el cambio climático la oferta hídrica del río Cravo Sur, y buscar un desarrollo sostenible del recurso hídrico desde lo local, generar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático específicas es todo un reto, donde el desarrollo social, el crecimiento económico, la política, etc. Propias de Yopal, van de la mano con el cuidado y equilibrio del agua, líquido esencial para los ciudadanos de Yopal.

3.6 Antecedentes de la Investigación

3.6.1 Antecedentes Internacionales

Hoy en día numerosas organizaciones gubernamentales, universitarias y científicas en todo el mundo voltean sus investigaciones a establecer cómo se está presentando y como el cambio climático va provocar el crecimiento de la temperatura y la disminución de la precipitación y las consecuencias que esta acarrearía para los sistemas hídricos y sus ecosistemas existentes en el mundo.

Diferentes investigaciones internacionales se utilizaron como norte para la investigación, entre los cuales se relacionan a continuación cuatro, que sirvieron como guía y justificación para la modelación y ajuste de la misma, escogencia del Software RS Minerve y modelo SOCONT en la modelación del cambio climático, de la escogencia de las trayectorias representativas de Concentración (RCP4.5 y RCP8.5), pronósticos climáticos al 2100, así como en la interpretación y presentación de resultados de la modelación.

- **Modelización hidrológica con un enfoque semidistribuido en la cuenca del río Chillón, Perú:** Ejecutó análisis comparativo de diferentes modelos hidrológicos (GR4J, SOCONT, HBV y SAC) en la cuenca del río chillón, para la modelación se utilizó el programa RS-Minerve; como resultado se obtuvo que los modelos GR4J y SOCONT con menores parámetros tienden a representar con mayor detalle los resultados. (Instituto Nacional de Meteorología de Perú-2015).
- **Efecto del Cambio Climático en la Oferta Hídrica Superficial de la Cuenca del Río Llave – Puno, Perú:** Realizó modelaciones con el software RS-Minerve, en dos Trayectorias Representativas de Concentración (RCP4.5 y RCP8.5) tanto para el futuro cercano (2020-2050) y futuro lejano (2070-2100). Como resultado se obtuvo que la oferta hídrica disminuiría en menos de 24% en un futuro lejano con RCP 8.5. (Universidad del altiplano Puno-Perú. 2019).
- **Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de la Subcuenca Quilcayhuanca, Perú:** Efectuó modelación mediante varios modelos climático globales (GCMs), los escenarios de cambio climático evaluados fueron el RCP 2.6 y RCP 8.5 por ser los más y menos optimistas, en el periodo 2021 - 2050. Los resultados muestran que tanto en

el escenario RCP 2.6 y 8.5 habrá un incremento de temperatura y una reducción generalizada de la precipitación. (Universidad Politécnica de Valencia- 2017).

- **Aplicación de un Modelo Semidistribuido de Precipitación- Escorrentía para la Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Jalón, España:** Manejó modelaciones con el software RS-Minerve, mostrando la ejecución del modelo, el proceso de calibración y validación del mismo y como suministrar los resultados. (Universidad Politécnica de Valencia- 2016).

3.6.2 Antecedentes Nacionales

Los trabajos investigativos a nivel nacional que se relacionan a continuación son algunos documentos que sirvieron como guía en la investigación, ya que en ellos cobra importancia la modelación de la oferta de diferentes fuentes hídricas en escenarios de cambio climático, se establecen las afectaciones de los resultados y se plasman estrategias de mitigación y adaptación.

En Colombia el principal insumo y guía para la realización de la investigación fue el IDEAM, como generador de datos climáticos, de 3 comunicaciones sobre el cambio climático, y de estudios nacionales del agua ENA, lo que ha servido como insumo y conocimiento de los impactos que sobre el recurso hídrico podría ejercer el cambio climático.

- **Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. 2011-2100. Tercera comunicación de cambio climático-IDEAM-Nuevos escenarios de Cambio Climático Para Colombia 2011-2100:** da a conocer, pronósticos al fin de siglo 2100 de aumentos de temperatura y disminución de precipitación en toda Colombia, se inquirió para Casanare, insumo de la problemática preliminar, justificación y comparación de resultados de la investigación. (IDEAM, 2011)
- **Cambio Climático Y Variabilidad Climática Para El Periodo 1981- 2010 En Las Cuencas De Los Ríos Zulia Y Pamplonita, Norte De Santander – Colombia:** Fundamentación teórica que soporta una estructura metodológica tendiente al cálculo de cambio climático, en el territorio de las cuencas de los ríos Zulia y Pamplonita en Norte de Santander y la identificación inicial de medidas potenciales de adaptación al cambio climático y la variabilidad climática. (Álzate D. -2014).
- **Efectos de la variabilidad climática (vc) y el cambio climático (cc) en los recursos hídricos en Colombia.** Establece posibles impactos de la VC y el CC en los recursos hídricos de Colombia que potencialmente acentuarían las actuales problemáticas. Además, desarrolla estrategias de adaptación como: la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), el principio de precaución, de sostenibilidad ecológica, de equidad de participación, entre otros. (IDEAM, 2012)

- **Impactos económicos del cambio climático en Colombia: Recurso Hídrico:** Este estudio analiza los impactos económicos que traerá el cambio climático en varias cuencas en Colombia. Como resultado se tiene diferentes cambios a nivel de cuenca, tanto en temperatura como en precipitación. Los resultados muestran por ejemplo que en el Guavio el balance en la producción de energía sería positivo los primeros años. En la cuenca el Fraile, el aumento de lluvias y de temperatura permitiría mejorar las condiciones para la producción de caña de azúcar. No obstante, también aumentaría el riesgo de inundaciones en las épocas lluviosas. En la cuenca de la Laguna de Fúquene, las condiciones ambientales mejorarían para la producción de leche, pero para el cultivo de papa las condiciones óptimas se desplazarán hacia las zonas de páramo. (BID, 2014)

3.6.2 Antecedentes Locales

Se utilizaron diferentes documentos y estudios específicos del río Cravo Sur para la investigación, el más completo y técnico es el POMCA de la cuenca río Cravo Sur, de la misma forma se utilizaron herramientas como los datos de las estaciones climáticas, e hidrológicas; sin embargo, como el único documento y antecedente de la investigación, trata el tema de proyecciones a mediano plazo, de temperatura y precipitación por el cambio climático en el departamento de Casanare, es el Plan Regional Integral de Cambio Climático Para la Orinoquia. PRICCO. El cual ha servido como insumo de la problemática preliminar, justificación, guía y comparación de resultados de la investigación.

- **Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia, CORPORINOQUIA .2016. Plan Regional Integral de Cambio Climático Para la Orinoquia PRICCO.** Este documento presenta proyecciones de temperatura y precipitación para Casanare y sus impactos, así como medidas de mitigación y adaptación, todo dado en un horizonte de tiempo de mediano plazo año 2040. (CORPORINOQUIA. 2016)

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Analizar las afectaciones Socio-Ambientales generadas por el cambio climático sobre la oferta hídrica del río Cravo Sur, de acuerdo a las proyecciones de temperatura y precipitación para el periodo 2040 - 2099, en el municipio de Yopal, departamento de Casanare.

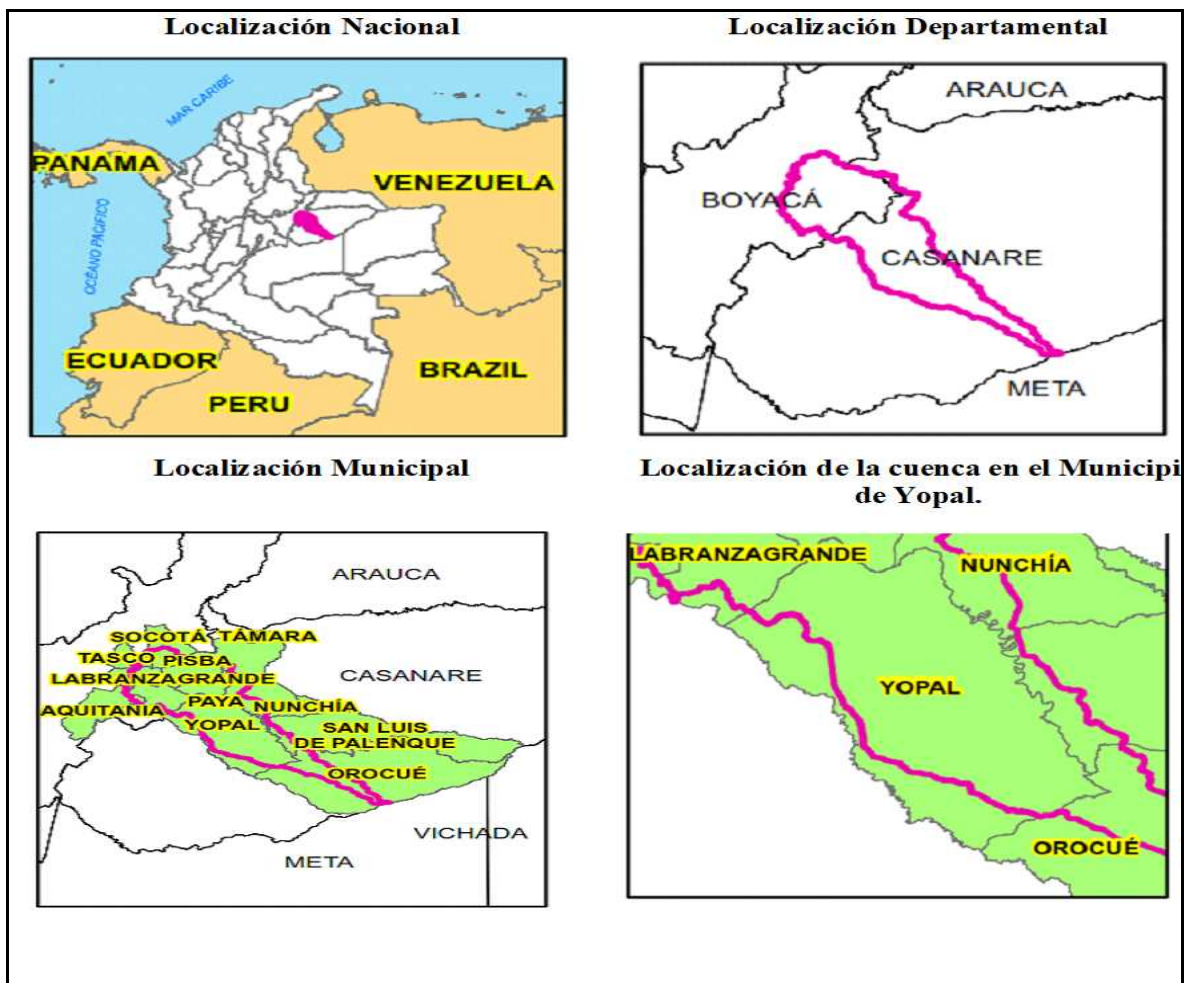
4.2 Objetivos Específicos

1. Construir escenarios del efecto del cambio climático sobre la oferta hídrica del río Cravo Sur, de acuerdo a las proyecciones de temperatura y precipitación en el municipio de Yopal, para el periodo 2040-2099.
2. Identificar y analizar las afectaciones Socio-Ambientales que se pueden generar por el cambio climático de acuerdo con los escenarios obtenidos de la oferta hídrica del río Cravo Sur, en el municipio de Yopal para el periodo 2040-2099.
3. Proponer estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático para el municipio de Yopal a partir de los cambios esperados.

5. Descripción del Área de Estudio

5.1 Localización General de la Cuenca Hídrica y Cauce Principal Río Cravo Sur

Figura 3. Localización general cuenca hídrica río Cravo Sur en Colombia, en el departamento de Casanare y en el municipio de Yopal.



Fuente: Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia, CORPORINOQUIA. 2018. Actualización del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Cravo Sur, POMCA.

La cuenca del río Cravo Sur se localiza entre los 4°41'13" y los 5°56'37" de Latitud Norte y entre los 71°34'09" y 72°46'28" de Longitud al Oeste de Greenwich. El río se desarrolla inicialmente con una dirección N 55NW °, a lo largo de Boyacá y luego hace un quiebre de N35NW °, en inmediaciones de Yopal, para tomar finalmente hasta su desembocadura, en el río Meta, un rumbo N80 °E, en inmediaciones del Municipio de Orocué.

El área de influencia directa de la cuenca del río Cravo Sur es: municipio de Mongua, Labranzagrande, Yopal, San Luis de Palenque, Orocué, para un total de 565.113 Has. (POMCA-2018).

5.2 Área de Estudio

El río Cravo Sur nace en la cordillera oriental en territorio del municipio de Mongua Boyacá, en la cota 3600 metros (páramo de Pisba), bañando a los municipios de Mongua y Labranzagrande en el departamento de Boyacá, los municipios de Yopal, San Luis de Palenque y Orocué en el departamento de Casanare, presentando un tramo navegable de 138 km, desde el corregimiento del Algarrobo en Orocué, hasta su desembocadura en el río Meta, tramo que ha perdido su navegabilidad al presentarse disminución del caudal. El cauce del río Cravo Sur es considerado uno de los cuatro ríos de mayor caudal en Casanare.

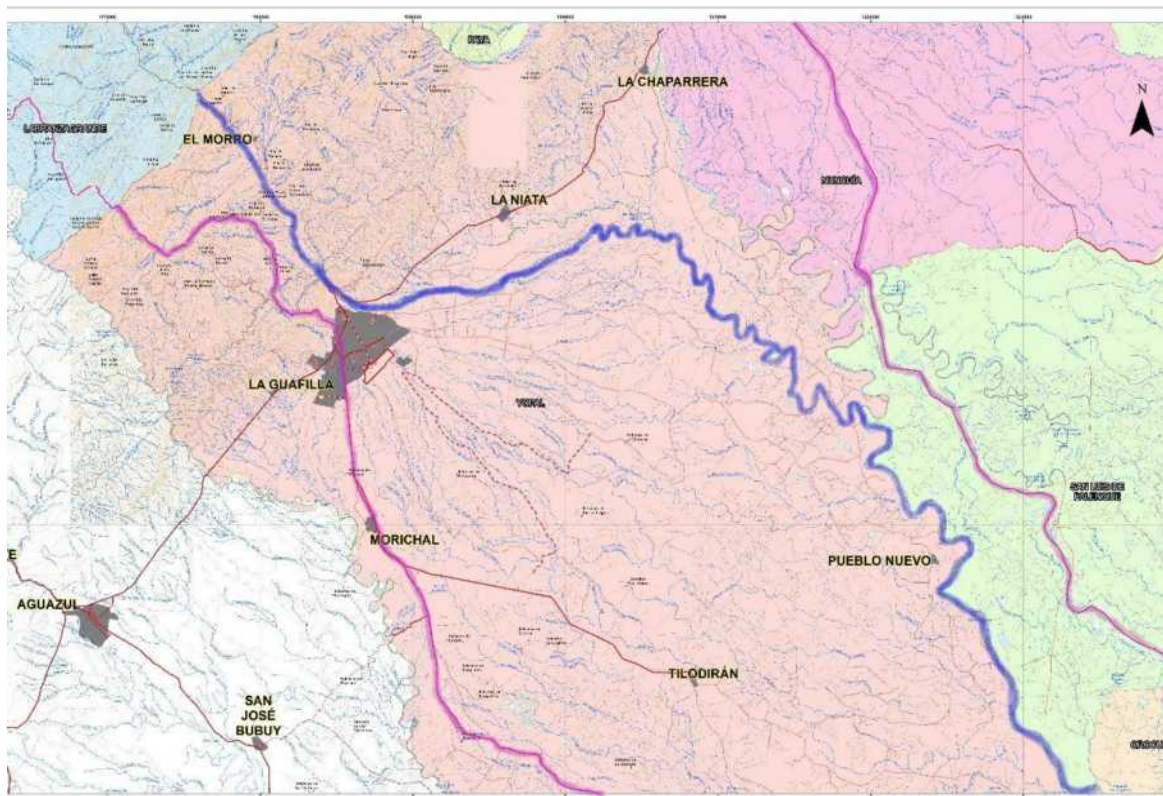
Figura 4. Localización general río Cravo Sur en el departamento de Casanare y el municipio de Yopal.



Fuente: <https://www.colombia-sa.com/departamentos/casanare/casanare.html>

Las cuenca hidrográfica del río Cravo Sur es muy grande con una longitud de cauce principal de 260,15 km atravesando los departamentos Boyacá y Casanare, y en diferentes municipios y veredas, sin embargo la zona de interés directa de la investigación o donde se focaliza, es en el cauce principal del río Cravo Sur, que pasa por el municipio de Yopal-Casanare, esto por ser capital del departamento, donde se concentra mayor población y demanda de agua, y por su representación e importancia, ya que en el municipio de Yopal realizan captación de agua para el acueducto y por concentrar gran cantidad de captaciones agrícolas, además por toda la problemática mencionada anteriormente, de aumento y escasez hídrica.

Figura 5. Localización cauce principal río Cravo Sur en el municipio de Yopal- POMCA 2018.



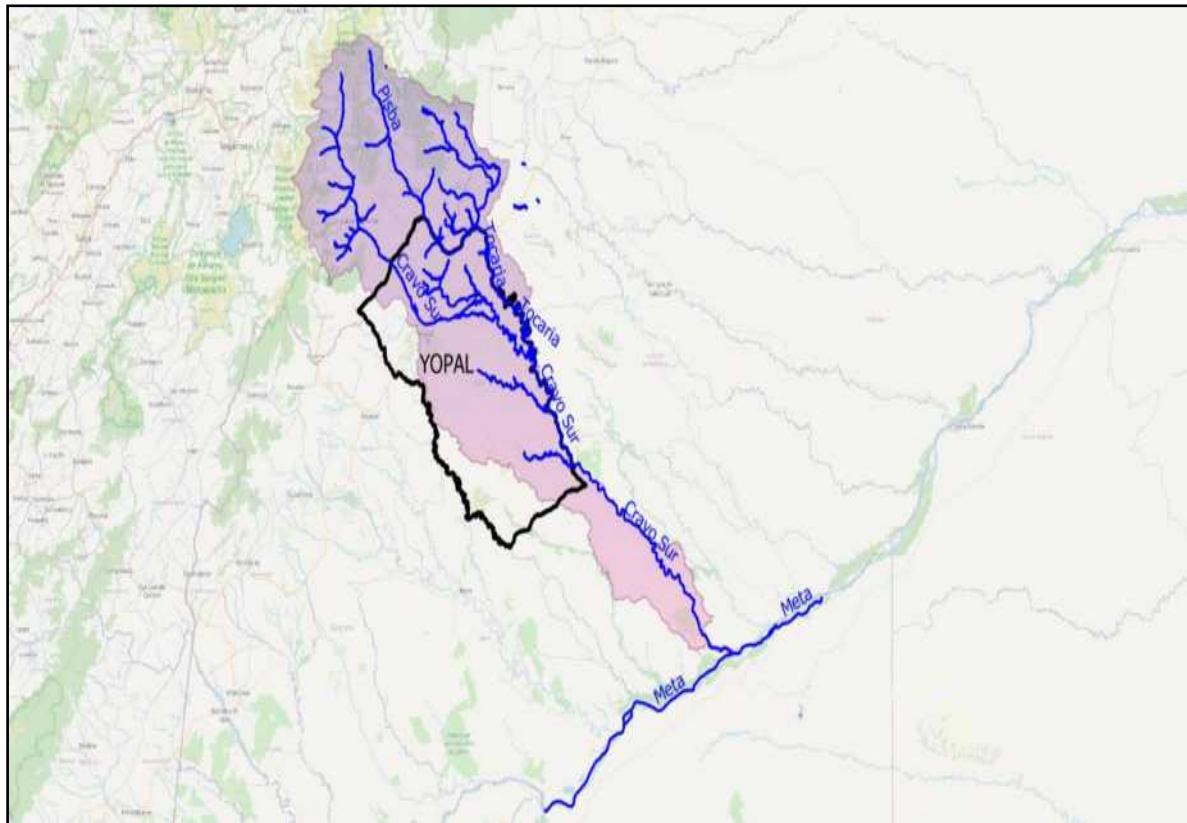
Fuente: Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia, CORPORINOQUIA. 2018. Actualización del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Cravo Sur, POMCA. - Modificado por el autor.

5.2.1 Delimitación de la Cuenca y Cauce Principal

Para la delimitación y obtención de los parámetros de la cuenca se utilizó el software libre QGIS versión 3.16.9, se descargaron rásters de elevación del área de estudio de la página Earth Data de la NASA y por medio de diferentes complementos de QGIS se obtuvo la delimitación de la cuenca del río Cravo Sur, las principales corrientes hídricas, la corriente principal, y características geomorfológicas.

Ver Anexo 1. Metodología de Delimitación de la Cuenca y Cauce Principal

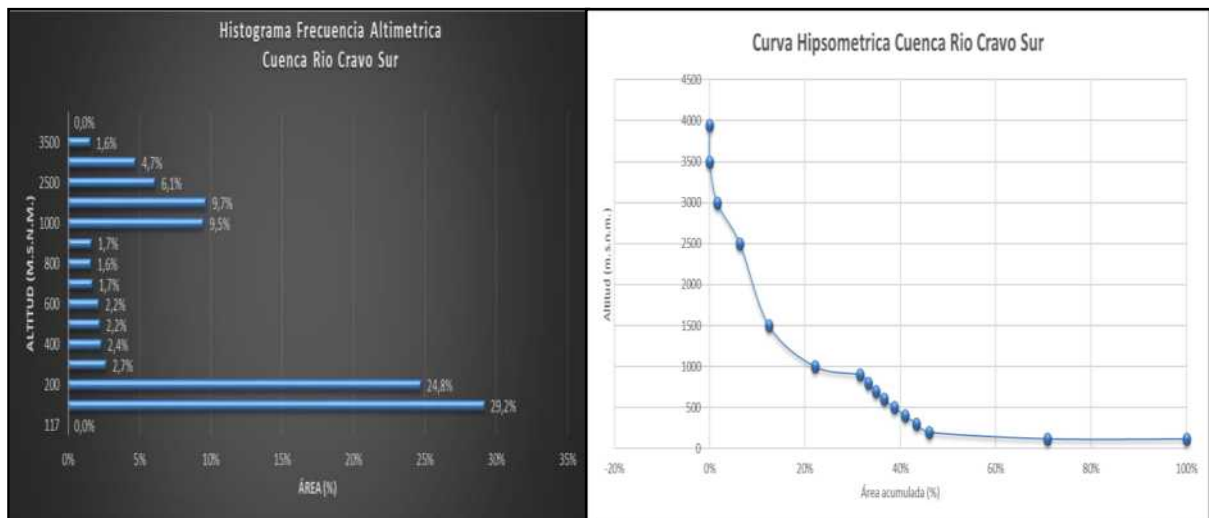
Figura 6. Delimitación de la cuenca, cauce principal río Cravo Sur y municipio de Yopal.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

5.2.2 Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca y Cauce Principal

Figura 7. Histograma de frecuencia altimétrica y curva hipsométrica. En la cuenca del río Cravo Sur más del 80% de su área se encuentra en altitudes menores de 500 m.s.n.m.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Tabla 1. Resultado de principales parámetros geomorfológicos de la cuenca y cauce principal río Cravo Sur.

Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca Río Cravo Sur			
	Parámetros	Medida	Cantidad
Forma	Área	km²	4978
	Perímetro	km	873,35
	Longitud de la cuenca	km	182,42
	Ancho promedio cuenca	km	27,29
	Coefficiente Compacidad	-	3,49
	Razón elongación	-	0,44
	Factor de forma	-	0,15
	Lado mayor del rectángulo	km	424,96
	Lado menor del rectángulo	km	11,71
	Radio de circularidad	-	0,08
Relieve	Altura media	msnm	582,46
	Pendiente media cuenca	m/m	0,103
	Coefficiente de masividad	m/km ²	0,12
Río	Longitud cauce principal	km	260,15
	Altura máx. río	msnm	3086
	Altura mín. río	msnm	126,0
	Pendiente cauce	m/m	0,011

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Los parámetros Geomorfológicos se estiman con el fin de caracterizar la cuenca y determinar sus características físicas, así mismo estos parámetros se utilizan para diferentes fines hidrológicos; los resultados muestran que la cuenca del río Cravo Sur es una cuenca Grande con 4978 Km² de área, y un cauce principal de 260,15 km, que nace a una altura de 3086 m.s.n.m y desemboca a una altura de 126,0 m.s.n.m, la cuenca posee una forma oblonga y alargada, y más del 80% de su área se encuentra en terrenos bajos o llanos.

Ver Anexo 2. Metodología Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca y Cauce Principal

6. Población y Muestra

La población del casco urbano del municipio de Yopal con 156.942 habitantes (DANE, 2019), la cual se surte de agua de la quebrada La Tablona y de la fuente principal del río Cravo Sur y parte de los usuarios concesionados de la zona rural.

El ámbito rural del municipio de Yopal, cuenta con 93 veredas de las cuales el territorio de tres (3) no se localiza dentro del área de la cuenca del río Cravo Sur y estas corresponden a la vereda gaviotas, la mapora y la porfía, sin embargo, dentro del límite de este estudio se encuentra solamente lo correspondiente a veredas que se encuentran sobre el cauce principal del río Cravo Sur, las cuales son las que se verán influenciadas por posible disminución de caudal por el cambio climático.

Tabla 2. Veredas identificadas en la zona de estudio. Un total de 28 veredas del municipio de Yopal, departamento de Casanare.

Veredas Identificadas en la Zona de Estudio		
Corregimientos	Veredas	#
El Charte	Vereda Bellavista, Brisas Del Cravo.	2
El Morro	El perico, El Morro, El Perico, La Cabaña, La Guamalera, La colorada, La Vega.	7
Alcaraván La Niata	Vista Alta, Vista Baja	2
Quebrada Seca	Quebrada Seca, San José de Caño Seco	2
Tacarimena	El Tiestal, La Calceta, La Manga, Manantiales, Palomas, Sirivana, Tacarimena	7
Punto Nuevo	Amparo, Palomas Agua Verde, Punto Nuevo, San Pascual	4
El Taladro	El Taladro, Rincón de Moriche, San Antonio, San Nicolás	4
Total		28

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Para la muestra se recopiló información base del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca hidrográfica, así mismo se buscó información en la Corporación Autónoma regional de la Orinoquia Corporinoquia, entre otras entidades, información referente a quienes realizan captaciones o usuarios que se abastecen del recurso hídrico y la cantidad de agua captada, específicamente sobre el área del municipio de Yopal se tienen un total de 62 concesiones, muestra que se tratara y utilizará para las encuestas en la investigación.

7. Fases de la Investigación

La investigación es de tipo cuantitativo por que se recogen, procesan e interpretan datos de temperatura, precipitación y caudal; su enfoque es empírico analítico, porque no se reduce únicamente a la presentación de resultados tabulados o diagramados, si no que se realizó análisis e interpretación de datos desde el conocimiento.

Figura 8. Tipo de investigación, desarrollo del ciclo empírico analítico.



Fuente: <https://sites.google.com/site/investigacioncsociales/investigacion-empirico-analitica>

Se realizaron encuestas con el fin de conocer la Importancia del agua para los habitantes que captan de esta fuente hídrica, así como conocer las perspectivas y conocimiento de cambio climático que tienen, las proyecciones en el aumento de temperatura y las posibles afectaciones que esto traería en la disminución del agua, en su dependencia de este líquido y en sus actividades, las fichas técnicas de estas encuestas y sus resultados se pueden ver más adelante y en los anexos correspondientes.

A continuación, se presenta una tabla de las Técnicas de recolección y herramientas utilizadas para el análisis de la información; el paso a paso de las técnicas realizadas para la obtención de los resultados en el desarrollo de la investigación se encuentra en los Anexos correspondientes.

Tabla 3. Técnicas de recolección y herramientas utilizadas para el análisis de la información de acuerdo a los objetivos propuestos.

FASE	OBJETIVOS ESPECIFICOS	CATEGORIAS	PERSPECTIVAS TEORICAS PRINCIPALES AUTORES	METODOS	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN	HERRAMIENTAS ANALISIS DE LA INFORMACIÓN
1	Construir escenarios del efecto del cambio climático sobre la oferta hídrica del Río Cravo Sur en el municipio de Yopal para los periodos 2040-2100	Cambio Climático y Oferta Hídrica				
1.1	Conocer la oferta hídrica y la presión o demanda que ejercen sobre el Río Cravo Sur los diferentes usuarios en el municipio de Yopal.	Oferta Hídrica	SIRH, IDEAM, Corporinoquia, POMCA	Estadístico	Información Primaria : estaciones hidrológicas y meteorológicas, SIRH, IDEAM, Corporinoquia, POMCA	Plasmar informacion Util de forma resumida, ordenada y entendible en Excel. Ubicación Cartografic- Google Earth Pro.
1.2	Entender la importancia del agua para los habitantes , conocer las perspectivas y conocimiento de cambio climático que tienen , las proyecciones en el aumento de temperatura y las posibles afectaciones que esto traería en la disminución del agua, en su dependencia de este líquido para sus actividades.	Cambio Climático	(García et al, 2012). (2030 WRG, 2009). (Betancur Mesa, 2009) (Elizalde, A 1994). (Guo y Ying, 1997). (Posada Carlos, 2007).	Encuesta	Encuesta en campo y análisis de la información recolectada.	Plasmar informacion Util de forma resumida, ordenada y entendible en Excel, Word.
1.3	Establecer como se verá afectada la oferta hídrica del río en el Municipio de Yopal, respecto a los escenarios futuros de temperatura por el cambio climático; escenario 1. año 2040 y escenario 2. año 2100 IDEAM.	Cambio Climático Local, efectos del Cambio climático sobre el río Cravo Sur.	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC. Proyecciones de temperatura y precipitación dados para los años 2040 PRICCO y 2100 por el IDEAM. Proyeccion de Temperatura y Precipiraciones , Modelos regionales (Proyecta)	Estadístico	Información secundaria de cambio climático. PRICCO, IDEAM.	Plasmar informacion resumida, ordenada y entendible en excel. Gráficos en excel. Proyecciones escenario futuros: Consulta a expertos, toma de cursos de modelacion, descarga de proyecciones por modelo regional Proyecta Brasil, Software SIG libre QGIS, Software libre para modelacion de escenarios de cambio climatico Rs- Mineve.
2	Identificar y analizar algunas afectaciones Socio-Ambientales generados por el cambio climático sobre la oferta hídrica del Río Cravo Sur en el municipio de Yopal para los periodos 2040-2100.	Cambio Climático Local, efectos del Cambio climático sobre el río Cravo Sur.	Matriz de aspectos e impactos ambientales. Leopold (1971) Conesa Simplificada (1997)	Analítico	Resultados de Caudales en los dos periodos, análisis de oferta vs demanda , índice de escasez. Matriz de aspectos e impactos.	Plasmar informacion resumida, ordenada y entendible en excel, tablas y gráficos
3	Construir estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático para el municipio de Yopal a partir de los cambios esperados	Desarrollo Sostenible	(Max-Neef,1994) (Elizalde A. 1997) (Escobar A,2005) (Leff 2009) ONU, PNUMA, CEPAL, OMM,Minambiente IDEAM;	Analítico	Análisis de resultados, búsqueda de información en Cartillas, normatividad, etc.... formular estrategias al cambio climático.	Word, excel.

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

8. Resultados y Discusión

Construcción de escenarios del efecto del cambio climático sobre la oferta hídrica del río Cravo Sur, de acuerdo a las proyecciones de temperatura y precipitación en el municipio de Yopal, para el periodo 2040-2099.

8.1 Oferta Hídrica

Por ser una investigación de corte cuantitativo, se ejecutó análisis de datos estadísticos de la información de caudales facilitada por el IDEAM, así mismo se corroboró la información suministrada, con los datos que se encuentran en el Sistema de Información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos – DHIME.

Tabla 4. Estaciones hidrológicas río Cravo Sur. utilizadas para conocer la oferta hídrica (caudal diario m³/seg), municipio de Yopal, departamento de Casanare.

Estaciones Hidrológicas Corriente Principal Río Cravo Sur								
Clase	Estación	Muni.	Categoría	Long.	Lat.	Alti.	Periodo de Datos	# Datos
HIDROLÓGICA	PUENTE LA CABANA [35217030]	Yopal	Limnigráfica: Automática con Telemetría	-72,46	5,44	497	1/04/1982 al 31/12/2020	12150
	PUENTE YOPAL AUT [35217010]	Yopal	Limnigráfica: Automática con Telemetría	-72,41	5,37	343	1/01/1977 al 31/12/2012	11540
	PUENTE CARRETERA [35217040]	Yopal	Limnimétricas: Convencional	-72,33	5,40	224	1/01/1985 al 31/12/2005	2723
	LA ESTACIÓN [35217020]	Orocué	Limnimétricas: Convencional	-71,56	4,69	134	7/03/1979 al 15/09/2014	7856

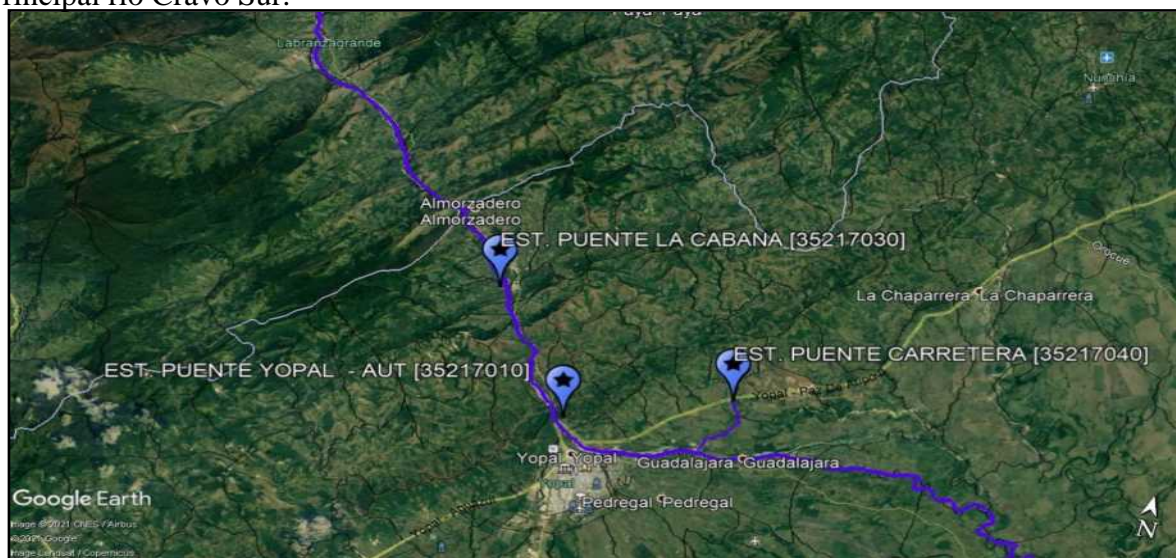
Fuente: Becerra V., M. A., 2022

La estación Puente Carretera es la que posee menos datos de caudal diario multianual registrados con 2723, así mismo la estación Puente La Cabaña registra más datos de caudal diario multianual con 12150 datos.

8.1.1 Ubicación de las Estaciones Hidrológicas

Las estaciones, se encuentran sobre la corriente principal, en orden descendente aguas abajo se encuentra La Cabaña como la estación más alta y La Estación como la estación más baja.

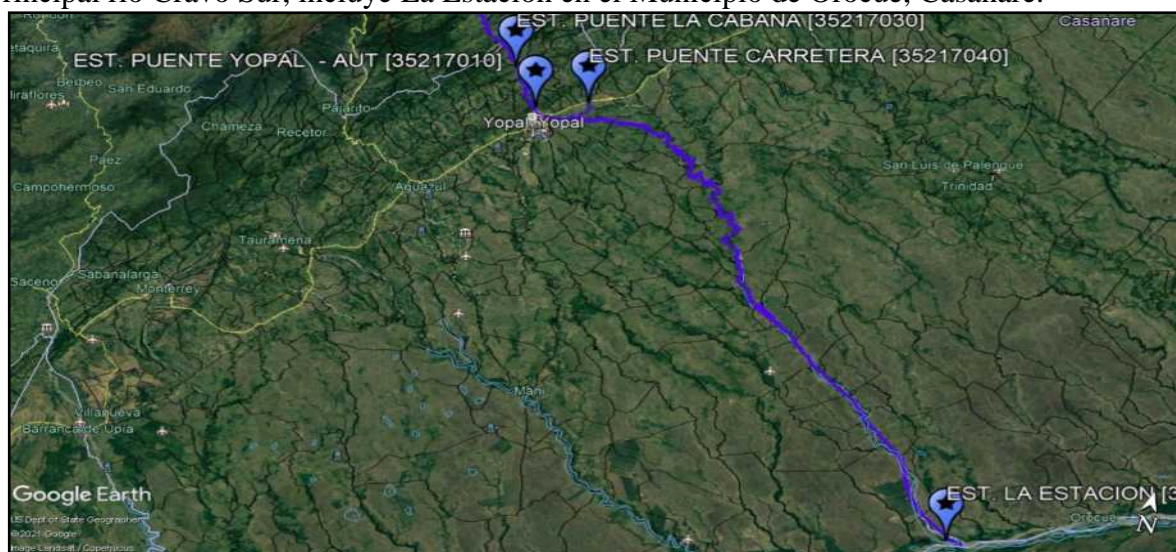
Imagen 1. Imagen Satelital, Ubicación de 3 Estaciones Hidrológicas, Sobre la Corriente Principal río Cravo Sur.



Fuente: Google Earth- Becerra V., M. A., 2022

En esta imagen se observa la representación de las estaciones para el municipio de Yopal y su cercanía, así mismo se observa que la estación Puente Carretera se encuentra sobre la cuenca del Cravo Sur sin embargo no se encuentra sobre la corriente principal, razón por la cual se descarta para la calibración de la modelación a realizar.

Imagen 2. Imagen Satelital, Ubicación de las Estaciones Hidrológicas, Sobre la Corriente Principal río Cravo Sur, incluye La Estación en el Municipio de Orocué, Casanare.



Fuente: Google Earth- Becerra V., M. A., 2022

Esta segunda imagen muestra la ubicación general de todas las estaciones aguas abajo de la corriente principal río Cravo Sur, incluye La Estación en el municipio de Orocué, Casanare, esta estación se encuentra al final del recorrido de la corriente principal aprox. 261 km, así mismo es límite de la cuenca, ya que se encuentra al final de su delimitación y desemboca el río Cravo Sur en el río Meta.

8.1.2 Análisis de Datos de Oferta Hídrica

Se analizaron más de 30 años de datos diarios suministrados por el IDEAM en estas estaciones; donde se evidencia que el caudal varía constantemente dependiendo de la parte donde se estudie la cuenca, y que los valores de Caudales Medios Diarios Multianuales van aumentando al pasar de trayecto por que se van acumulando por los aportes de afluentes aguas abajo.

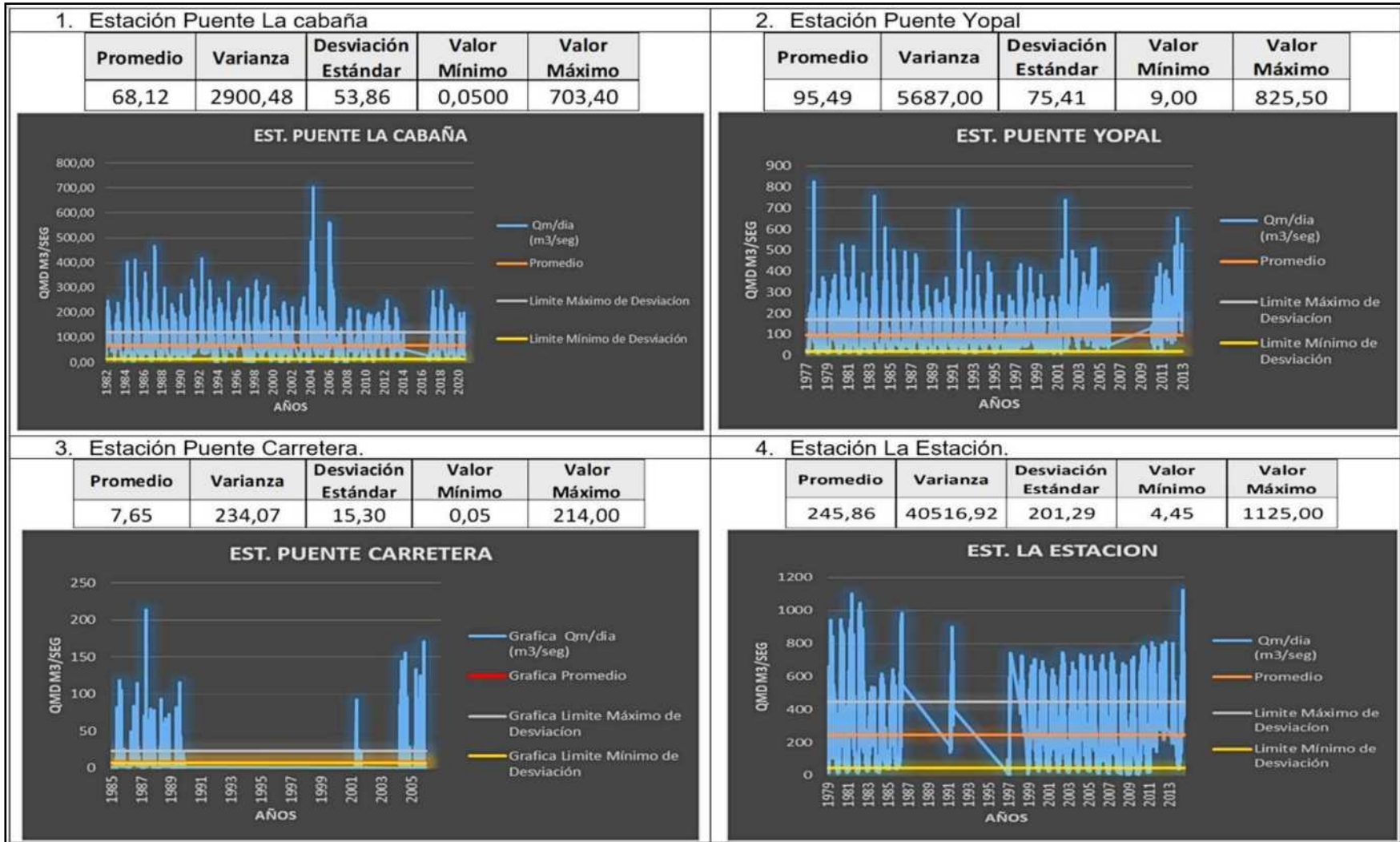
Tabla 5. Análisis de datos de caudales Medios Diarios Multianuales (m^3/seg) de las estaciones hidrométricas. Se muestran valores mínimos y máximos registrados en un periodo de más de 30 años en el río Cravo Sur.

Análisis Estadístico de los Caudales Medios Diarios Multianuales					
Estación Hidrométrica	# de datos Analizados	Caudales Medios Diarios Multianuales (m^3/seg)			
		Promedio	Desviación estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
PUENTE LA CABANA [35217030]	12150	68,12	53,86	0,05	703,40
PUENTE YOPAL AUT [35217010]	11540	95,49	75,41	9,00	825,50
PUENTE CARRETERA [35217040]	2723	7,65	15,30	0,05	214,00
LA ESTACIÓN [35217020]	7856	245,86	201,29	4,45	1125,00

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Los datos de cada estación fueron ordenados por fecha y analizados estadísticamente en tablas en Excel y graficados, donde se obtuvo el comportamiento promedio multianual de caudales diarios (m^3/seg), en cuatro estaciones hidrológicas del río Cravo Sur, periodos entre 1977-2020

Figura 9. Comportamiento promedio Multianual de Medios Diarios (m^3/seg), en cuatro estaciones hidrológicas del río Cravo Sur, periodos entre 1977-2020.



Fuente: Becerra V., M. A., 2021

La oferta hídrica me muestra cómo ha sido el comportamiento del agua en esta fuente hídrica a través del tiempo, y que promedio de agua tiene esta fuente hídrica, insumo indispensable de las condiciones iniciales para realizar la modelación y establecer como se verá afectada en un futuro por el cambio climático.

La estación Puente Carretera [35217040] no se utilizó para la investigación, puesto que no es representativa, esta no se encuentra ubicada en un afluente denominado Quebrada La Niata y no sobre la corriente principal, además, se encuentra fuera de servicio o suspendida desde el año 2005, razón por la cual los resultados estadísticos no son confiables variando mucho de las otras.

La estación La Cabaña, Puente Yopal y la Estación, poseen datos coherentes al comportamiento del río y similares entre estas, la ubicación de cada una de las estaciones representa un aumento de caudal ya que este se va acumulando aguas abajo, por lo tanto, la estación La cabaña tiene el promedio más bajo por ser la primera ubicada aguas arriba, seguida de la de Yopal y el promedio más alto de caudales es la de la estación La Estación que se encuentra al final de la fuente hídrica. El río Cravo Sur pasando por el municipio de Yopal tiene un promedio multianual de caudales diarios de $95,49 \text{ m}^3/\text{seg}$ lo que significa una buena cantidad de agua en la fuente, sin embargo, es de tener en cuenta que los caudales mínimos son en época de bajas precipitaciones y bajos cuando pasa por el municipio, tanto así que el menor registrado fue de $9 \text{ m}^3/\text{seg}$, lo que se supone muy poca agua para abastecer las captaciones y posibles afectaciones socio ambientales, que se verán incrementadas con el cambio climático.

Se destaca que en las tres estaciones existen años sin datos de caudal, esto ocurre cuando no se registran datos en estos periodos, ya sea por daños o fallas humanas, lo mismo ocurre con el dato de $0,05 \text{ m}^3/\text{seg}$ valor mínimo de la estación Puente La Cabaña, por ser tan bajo se estima que al mismo se le realizó mal su toma o registro.

Los datos obtenidos de las estaciones Puente La Cabaña, Puente Yopal y la Estación, se utilizaron como datos iniciales de la modelación hidrológica de caudal del río Cravo Sur, por encontrarse sobre la corriente principal y tener gran cantidad de datos diarios multianuales, así mismo sirven en desarrollo de la investigación para realizar el análisis de oferta cuando se obtengan los resultados de la modelación de los caudales afectados por el cambio climático.

Ver Anexo - Carpeta Magnética 3. Datos de Oferta Hídrica Suministrados por IDEAM

8.1.3 Análisis de Caudal de Seguridad, Caudal Ecológico e Índice de Escasez

Mediante la Resolución 865 de 2004, el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, hoy ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales desarrollada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM.

Esta resolución vigente, establece que, para la obtención de la Oferta Neta Disponible, se debe proceder a reducir la Oferta Hídrica Total, en unos porcentajes establecidos de reducción por calidad de agua y por el caudal mínimo ecológico.

Mediante la Resolución No 200.41-10.1397 de 08 de octubre de 2010, Corporinoquia regula el uso y aprovechamiento del recurso hídrico en el río Cravo Sur; del mismo modo acoge la Resolución 865 de 2004, y Corporinoquia establece que la Oferta hídrica Neta se tiene que afectar por 50 %, *correspondiente a 25% caudal de calidad y 25% al caudal ecológico*.

8.1.3.1 Caudal de Seguridad

El caudal de seguridad hace referencia al caudal que necesita la fuente hídrica para suplir la demanda hídrica de los usuarios, este es el mismo caudal de demanda, se analizará en el punto 8.2

8.1.3.2 Caudal de Calidad

De acuerdo con lo establecido por Corporinoquia en la Resolución No 200.41-10.1397 de 08 de octubre de 2010 por medio de la cual se regula el uso y aprovechamiento del recurso hídrico en el río Cravo Sur, la oferta hídrica se tiene que *afectar por 25%* que corresponde al caudal de calidad de agua, rango que se establece para que el agua de la fuente hídrica conserve su calidad hídrica natural y pueda realizar autodepuraciones de posibles vertimientos sobre el sistema.

Para el desarrollo de la investigación, el cálculo de caudal de calidad del río Cravo Sur se adoptó la misma metodología, se afectará la Oferta Hídrica por 25%.

8.1.3.3 Caudal Ecológico

El ministerio de ambiente, plantea una serie de metodologías para realizar el cálculo del caudal ecológico y parte de definirlo como “el caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente, es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua”.

Decreto 1421 de agosto de 1996, reglamentaria del artículo 134 del Decreto-Ley 2150, que en su artículo segundo reza "CAUDAL ECOLÓGICO: Es el caudal mínimo requerido para asegurar la supervivencia y dinámica de las especies permanentes y estacionales, que habitan en condiciones normales sin proyecto, en el cuerpo o cuerpos de agua, que van a ser afectados por el mismo."

Otros criterios

- La derivación de caudales en ningún momento puede dejar seca la corriente aportante.
- El caudal ecológico o vital es aquel que permite mantener un nivel de agua o hábitat para la hidrobiota suficiente para que sobrevivan el mayor número de especies.
- El que permita la vida para la especie más sensible o crítica, según el levantamiento íctico realizado para la zona más sensible.
- Caudal necesario que garantice los procesos de movilidad de las especies dentro del río.
- Caudal necesario para suplir las necesidades socioeconómicas y culturales de la comunidad habitante aguas abajo del sitio de derivación

Con cualquiera de los criterios que se utilice lo que se obtiene son unos caudales ecológicos básicos, que reciben diversas denominaciones (mínimos, aconsejables, óptimos, de mantenimiento) según el método utilizado para su cálculo, o su nivel de exigencia ecológica.

Estos caudales básicos representan estimaciones de las condiciones límites de tolerancia a la escasez de caudal, o, a los umbrales de la resiliencia de la comunidad biótica.

De todas maneras, y considerando que las necesidades de información para el establecimiento de estos caudales y regímenes ecológicos es bastante elevada, y requiere del concurso de personal capacitado en el tema, las autoridades ambientales, según lo planteado por el ministerio de ambiente en la mencionada Resolución 0865 de 2004, podrán establecerlos teniendo en cuenta lo siguiente:

- ✓ **Mínimo histórico:** El Estudio Nacional del Agua a partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el caudal promedio multianual de mínimo 5 a máximo 10 años que permanece el 97.5% del tiempo y cuyo periodo de recurrencia es de 2.33 años.
- ✓ **Porcentaje de Descuento:** El IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

La metodología implementada en el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Cravo Sur para la calcular el caudal ecológico, es la establecida por el IDEAM, la cual adopta caudal mínimo ecológico un *valor aproximado del 25%* del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

Para el desarrollo de la investigación, el cálculo de caudal ecológico del río Cravo Sur se adoptó la misma metodología, se afectará la Oferta Hídrica por 25% del caudal medio mensual multianual más bajo.

8.1.3.3 Índice de Escasez

El índice de escasez se entiende como la disponibilidad de agua, en este se realiza el análisis entre la demanda de agua total, y la oferta total de la fuente hídrica río Cravo Sur.

Se tiene escasez de agua cuando la cantidad tomada del río Cravo Sur es tan grande que existe conflicto entre el abastecimiento de agua y las demandas potenciales.

Para la estimación del índice de escasez se utilizó la metodología de la Resolución 865 de 2004.

Imagen 3. Fórmula del Índice de escasez.

5.1 FORMULA DEL INDICE DE ESCASEZ

$$Ie = \frac{Dh}{Oh} \times Fr \times 100 \quad (3.21)$$

Donde:

Ie: Índice de escasez en porcentaje
Dh: Demanda hídrica en metros cúbicos (m³)
Oh: Oferta hídrica superficial neta en metros cúbicos (m³)
Fr: Factor de reducción por calidad del agua y el caudal ecológico
100: Para expresarlo en porcentaje

Fuente: Resolución 865 de 2004.

Para el análisis del índice de escasez, se tomó la unidad de análisis dada en la metodología de la Resolución 865 de 2004, la cual corresponde a clasificación dada por las Naciones Unidas.

Tabla 6. Categorías del Índice de escasez.

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

Fuente: Resolución 865 de 2004.

Ver Anexo - Carpeta Magnética 3.1 Resoluciones 865 de 2004 y 200.41-10.1397 de 2010

8.2 Demanda Hídrica

La demanda hídrica es considerada la presión que o el volumen de agua extraído de la fuente hídrica por diferentes actores o usuarios del recurso hídrico, esto con el fin de satisfacer sus necesidades o actividades Sociales y económicas denominadas usos.

Es necesario conocer la presión o demanda de agua superficial sobre la cuenca hídrica del río Cravo Sur, en el área correspondiente a la corriente principal río Cravo Sur en el municipio de Yopal, esto con el fin de establecer si para los periodos 2040 y 2099 con una demanda sostenida y variación de la oferta por el cambio climático, esta demanda se supliría o existiría probabilidad de escasez.

8.2.1 Análisis de Datos de Demanda

Se recopiló información base del Plan de Ordenación y Manejo de esta Cuenca hidrográfica, así mismo se buscó información en la Corporación Autónoma regional de la Orinoquia Corporinoquia, entre otras entidades, información referente a la oferta hídrica y captaciones o usuarios que se abastecen del recurso hídrico y la cantidad de agua captada en los periodos de invierno y verano.

Se obtuvo la base de datos del Sistema de Información del Recurso Hídrico – SIRH, que alimenta y maneja Corporinoquia, en estas se sube información de todas las concesiones que maneja en la Orinoquia, se realizaron varios filtros para sustraer la información correspondiente a las concesiones legales del municipio de Yopal sobre la cuenca del río Cravo Sur.

Se establece un total de 28 veredas y el casco urbano de Yopal, con un promedio de 156.942 habitantes en el casco urbano y un número indeterminado de usuarios rurales, de los cuales la autoridad ambiental no tiene identificación individual de los beneficiarios.

En la cuenca del río Cravo Sur específicamente sobre el área del municipio de Yopal se tienen un total de 60 concesiones con una demanda hídrica de **8,86 m³/seg**, dentro de los cuales los de mayor presión se encuentran los canales de riego que derivan directamente del cauce principal del río Cravo Sur y transportan una gran cantidad de agua para diferentes usos, entre los más destacados los agropecuarios de siembra de Arroz, ganadería, piscicultura y Palma.

Estos canales se encuentran contruidos desde el INDERENA en los años 80 aproximadamente, sin embargo no se tiene información de su construcción y concesión, por la cercanía al casco urbano y su expansión durante muchos años los grandes predios agroindustriales se han parcializado en pequeñas fincas o viviendas rurales, lo que conlleva a que estos canales artificiales sirvan de aporte de agua a estos predios rurales, sin que se

tenga un orden, administración, ni control sobre estos y el agua que transporta , por lo tanto dentro de cada punto concesionado de estos canales se pueden derivar fácilmente 40-200 usuarios del agua derivada, sin embargo Corporinoquia no tiene conocimiento acertado de la cantidad de usuarios, en los últimos años se realizan verificación del caudal derivado y visitas a predios donde el canal pasa para verificar su captación, medirla y cobrar la tasa por uso; actualmente Corporinoquia se encuentra contratando el ordenamiento hídrico de estos canales con el fin de conocer individualmente los usuarios y sus captaciones.

Dentro del contexto urbano la ciudad de Yopal, el suministro de agua es de la quebrada La Tablona con una concesión otorgada de 780 L/seg, registra un promedio de consumo mensual de 380 m³ y pérdidas anuales de 2495 m³.

Ver Anexo - Carpeta Magnética 4. Datos de Demanda Hídrica Suministrados por CORPORINOQUIA.

Tabla 7. Demanda hídrica (m³/seg), concesiones de agua otorgadas por Corporinoquia sobre la corriente principal del río Cravo Sur, año 2022, municipio de Yopal, departamento de Casanare.

Concesiones de agua sobre la corriente principal del río Cravo Sur, municipio de Yopal, departamento de Casanare.				
#	UBICACIÓN	N° EXPEDIENTE	CAUDAL CONCESIONADO L/SEG	NOMBRE FUENTE
1	VEREDA EL PALMAR	970.597	4.00	QUEBRADA ARACALEÑA
2	VEREDA LA PATIMENA	500.11.13.020	3.54	CAÑO ACEITES (YOPAL)
3	VEREDA LA NIATA	500.33.1.11.130	10.00	QUEBRADA LA NIATA
4	VEREDA PALOMAS	500.33.1.09.029	0.69	CAÑO PALOMERO
5	VEREDA PALO BAJITO	500.33.1.09.053	1.60	CAÑO NN (PALO BAJITO)
6	VEREDA PALOMAS	500.33.1.09.189	13.00	CAÑO PALOMERO
7	VEREDA GUAYAQUITO	200.07.06.053	3.00	QUEBRADA LA PERIQUENA
8	VEREDA GUAYAQUE	500.33.1.09.146	8.30	RIO CRAVO SUR
9	VEREDA LAGUNAS	200.07.05.022	2.00	CAÑO EL JOBAL
10	VEREDA LAGUNAS	200.07.05.139	0.30	CAÑO EL JOBAL
11	VEREDA EL AMPARO	200.07.07.008	0.00	RIO CRAVO SUR
12	VEREDA PALOMAS	500.33.1.08.092	2.00	CAÑO PALOMERO
13	VEREDA PLANADAS	200.07.02.092	1.50	QUEBRADA LA JURAMA
14	VEREDA LA PATIMENA	500.11.08.005	1.00	CAÑO ACEITES (YOPAL)
15	VEREDA LA PATIMENA	500.11.08.005	1.00	QUEBRADA LA NIATA
16	VEREDA SAN MARTIN	500.11.10.015	0.30	CAÑO EL JOBAL
17	VEREDA LA PATIMENA	500.11.10.147	0.30	QUEBRADA LA NIATA
18	VEREDA LA PATIMENA	500.11.10.147	0.30	CAÑO ACEITES (YOPAL)
19	VEREDA EL TIESTAL	971.854	229.00	CAÑO EL TIESTAL
20	VEREDA GUAYAQUE Y SIRIVANA	500.29.09.006	0.50	RIO CRAVO SUR
21	VEREDA GUAYAQUE	2.000.159	1.05	RIO CRAVO SUR
22	CORREGIMIENTO MORRO	EL 500.33.1.09.246	0.50	QUEBRADA LA FLOREÑA
23	CORREGIMIENTO MORRO	EL 500.33.1.08.095	5.50	QUEBRADA MORREÑA
24	CORREGIMIENTO MORRO	EL 200.07.06.511	1.25	QUEBRADA AGUABLANCA (YOPAL)
25	CORREGIMIENTO MORRO	EL 970.108	5.00	QUEBRADA LA AGUA TOCA
26	CORREGIMIENTO MORRO	EL 971.119	1.20	RIO CRAVO SUR
27	CORREGIMIENTO MORRO	EL 970.112	5.00	QUEBRADA AGUABLANCA (YOPAL)
28	FLOREÑA	970.109	11.00	QUEBRADA AGUABLANCA (YOPAL)
29	CORREGIMIENTO DE LA CHAPARRERA	500.33.1.14.102	0.20	CAÑO ACEITES (YOPAL)
30	KILOMETRO 6+400 VÍA YOPAL - PAZ DE ARIPORO	500.19.12.067	2.50	CAÑO NN (GUAYAQUE)
31	YOPAL Y SAN LUIS DE PALENQUE	500.33.1.08.293	0.04	CAÑO SECO (CASCO URBANO)

Fuente: Corporinoquia, 2022.

Concesiones de agua sobre la corriente principal del río Cravo Sur, municipio de Yopal, departamento de Casanare.				
#	UBICACIÓN	N° EXPEDIENTE	CAUDAL CONCESIONADO L/SEG	NOMBRE FUENTE
32	VEREDA ARACAL	970.107	5.00	QUEBRADA LA JURAMA
33	YOPAL- ABASTECIMIENTO CASCO URBANO	971.847	780.00	QUEBRADA LA TABLONA
34	YOPAL- ABASTECIMIENTO CASCO URBANO	971.847	780.00	RIO CRAVO SUR
35	YOPAL	971.195	15.00	QUEBRADA AGUABLANCA (YOPAL)
36	YOPAL	500.33.1.13.123	7.00	QUEBRADA LA CAUTEÑA
37	YOPAL	500.33.1.13.123	7.00	CAÑO SAN MARTINERO
38	YOPAL	500.33.1.13.123	7.00	CAÑO GUAIIBO
39	YOPAL	500.33.1.13.123	7.00	CAÑO RICO "CRAVO SUR"
40	YOPAL	500.33.1.13.123	7.00	CAÑO NUEVO O PRIMAVERA
41	YOPAL	500.33.1.13.123	7.00	CAÑO HIGUERON
42	YOPAL	500.33.1.13.123	7.00	CAÑO EL PERICO
43	YOPAL	500.33.1.14.061	0.10	RIO CRAVO SUR
44	YOPAL	500.33.1.14.122	0.02	RIO CRAVO SUR
45	YOPAL	500.33.1.14.133	0.55	RIO CRAVO SUR
46	YOPAL	500.11.15.030	0.09	QUEBRADA ALMORZADEREÑA
47	YOPAL	500.33.1.15.148	0.29	RIO CRAVO SUR
48	YOPAL	500.33.1.15.121	0.08	RIO CRAVO SUR
49	YOPAL	500.33.1.15.134	0.23	CAÑO NOCUITO
50	YOPAL	500.33.1.15.149	0.02	RIO CRAVO SUR
51	YOPAL	500.33.1.15.141	0.22	RIO CRAVO SUR
52	YOPAL	500.29.11.055	8.00	RIO CRAVO SUR
53	KM 6 VIA MATEPANTANO	971.151	1495.00	CANAL MI RANCHITO
54	KM 6 VIA MATEPANTANO	971.151	1495.00	CANAL LA VICTORIA
55	KM 6 VIA MATEPANTANO	971.151	237.00	CANAL ASOCOMUNEROS
56	VIA MATEPANTANO	200.07.04.193	237.00	CANAL EL TIESTAL
57	VEREDA SIRIVANA	971.843	1588.70	CANAL LA MILAGROSA
58	VEREDA SIRIVANA	970.524	1855.48	CANAL ASORANCHOGRANDE
59	KILOMETRO 6+400 VÍA YOPAL - PAZ DE ARIPORO	500.33.1.13.098	0.30	RIO CRAVO SUR
60	KILOMETRO 2 VÍA SIRIVANA	971.058	1.00	RIO CRAVO SUR
TOTAL DE CAUDAL CONCESIONADO L/SEG			8863.64	
TOTAL DE CAUDAL CONCESIONADO M3/SEG			8.86	

8.3 Precipitación y Temperatura

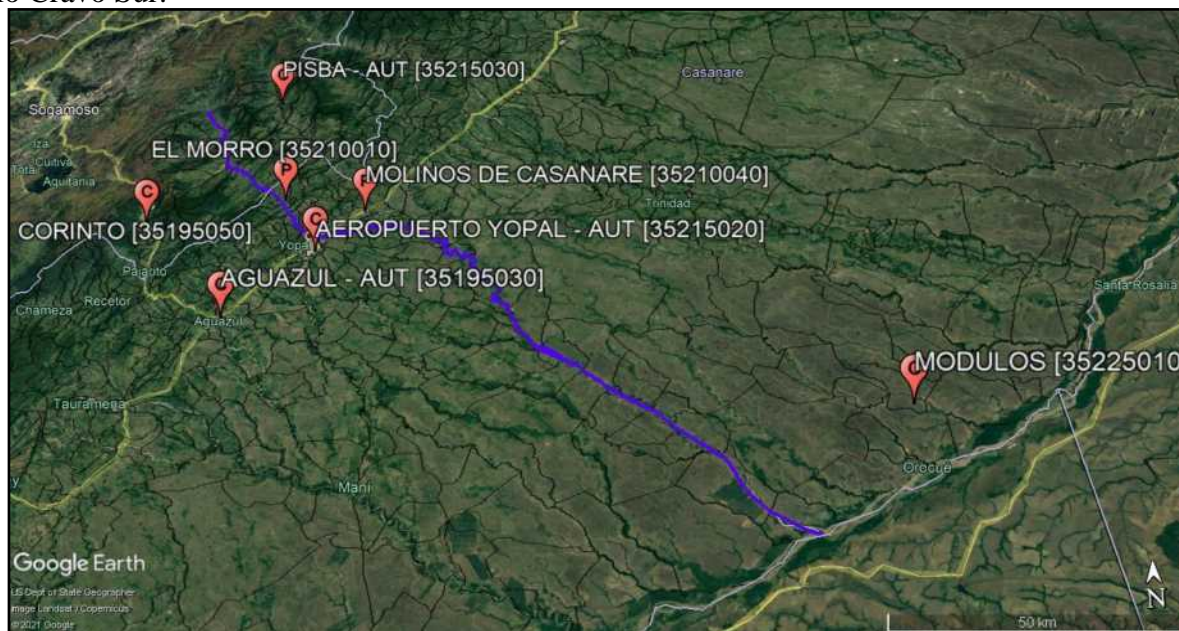
Se realizó el levantamiento de información climática de temperatura y la precipitación con el fin de establecer una correlación entre estas y el caudal del río Cravo Sur, así mismo con estos datos se alimenta la modelación a realizar.

Se seleccionaron datos de temperaturas diarias y de precipitaciones diarias durante un periodo de tiempo de más de 20 años, estas estaciones son representativas por la cantidad de datos y sirvieron para proyectar los datos a los años 2040 y 2099.

8.3.1 Ubicación de las Estaciones Climáticas

Se solicitó al IDEAM datos de precipitación diaria multianual y temperaturas máximas y mínimas diarias multianuales de 7 estaciones climáticas que se encuentran dentro de la cuenca del río Cravo Sur, las estaciones son: Pisba, Corinto, El Morro, Aeropuerto Yopal, Molinos Casanare, Aguazul y módulos.

Imagen 4. Imagen Satelital, Ubicación de las Estaciones Climáticas, Sobre la Cuenca del río Cravo Sur.



Fuente: Google Earth- Becerra V., M. A., 2022

Esta imagen muestra la ubicación general de todas las estaciones climáticas que se encuentran cerca de la cuenca hidrográfica y de corriente principal río Cravo Sur.

En el momento de verificar y corroborar la información suministrada, se descartaron los datos de las estaciones de Pisba y Corinto, por no estar dentro de la cuenca del río Cravo Sur y solo reportar datos de un parámetro.

IDEAM facilitó lo solicitado con información de temperatura y precipitaciones, así mismo se corrobora la información dada con los datos que se encuentran en el Sistema de Información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos – DHIME.

Tabla 8. Estaciones climatológicas en la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur. Utilizadas para conocer temperatura y precipitación, en los departamentos de Boyacá y Casanare.

Estaciones Climáticas Cuenca Rio Cravo Sur.								
Estación	Parametro	Municipio	Categoría	Longitud	Latitud	Altitud	Periodo de Datos	# Datos
EL MORRO [35210010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	YOPAL CASANARE	PLUVIOMÉTRICA	-72,456	5,453	656	19/11/1974 al 31/08/2021	16.337
AEROPUERTO YOPAL [35215020]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	YOPAL CASANARE	AUTOMÁTICA CON TELEMETRÍA	-72,388	5,320	325	1/01/1975 al 31/08/2021	14.389
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/día)						1/01/1983 al 31/08/2021	9.177
	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D (°C/día)						1/08/1978 al 28/07/2021	2.818
MOLINOS DE CASANARE [35210040]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	YOPAL CASANARE	PLUVIOGRÁFICA	-72,298	5,413	330	4/11/1995 al 31/07/2021	8.314
AGUAZUL [35195030]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	AGUAZUL CASANARE	CLIMATICA ORDINARIA	-72,547	5,177	380	1/01/1978 al 20/06/2021	13.922
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/día)						1/01/1983 al 20/06/2021	9.794
	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D (°C/día)						1/01/1983 al 20/06/2021	2.141
MODULOS [35225010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	OROCUÉ CASANARE	CLIMATICA ORDINARIA	-71,333	4,800	130	1/10/1978 al 27/09/2021	14.202
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/día)						1/11/1981 al 27/09/2021	12.218
	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D (°C/día)						1/11/1981 al 21/08/2021	11.989

Fuente: Becerra V., M. A., 2021

Se analizaron estadísticamente más de 115.300 Datos de precipitación y temperatura, suministrados por el IDEAM, y corroborados en el Sistema de Información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos – DHIME. Se realizó, con los valores máximos y mínimos diarios multianuales de temperatura y precipitación, ya que el modelo exige estos para correrlos.

Ver Anexo - Carpeta Magnética 5. Datos de Temperatura y Precipitación suministrados por el IDEAM.

8.3.2 Estimación de Datos Faltantes de Temperatura y Precipitación

Es de resaltar que existen gran cantidad de días y años sin datos en los datos suministrados por el IDEAM, razón que se explica según el IDEAM, por la dificultad en la toma de parámetros, fallas de los mismos, y falla de error humano en la toma de datos por los fontaneros.

Es necesario aclarar que el IDEAM en su entrega de información establece sobre estaciones automáticas que: la información suministrada y disponible, Constituyen datos preliminares; al encontrarse la misma en elaboración significa que no se ha surtido el proceso de validación técnica necesaria, que garantiza la calidad del dato que determina la oficialidad de la información. Los datos no validados no pueden utilizarse para la toma de decisiones, como quiera que no se ha agotado el proceso de validación que garantiza la calidad del dato, El IDEAM en el marco de sus funciones y concretamente conforme a lo establecido en el artículo 1.2.1.1 del decreto 1076 del 2015 tiene a su cargo la toma, recolección, proceso y análisis del dato ambiental, como también la generación de información científica y tecnológica; para cumplir con su fin de manera idónea, los datos recolectados previos a ser suministrados al público en general deben validarse. (IDEAM, 2021)

Para el análisis y modelación se requiere de una base de datos climáticos homogéneos y continuos que tengan el máximo intervalo de años posible, como los datos suministrados por el IDEAM presentaban gran cantidad de datos faltantes; los cuales se presentan por no tomar la lectura por parte del fontanero o encargado, por una falla del instrumento, por error de transcripción, etc...se realizó el lleno de los datos faltantes de los datos climatológicos reportados.

Existen numerosos métodos para estimar datos faltantes, la Organización Meteorológica Mundial, en su guía de prácticas de métodos estadísticos para el relleno de valores faltantes, como regresión lineal. Del mismo modo números autores Kashani y Dinpashoh (2012), Presti, Barca y Passarella (2010), You, Hubbard y Goddard (2008), manifiestan que la regresión lineal simple es el método con mejores resultados entre los tradicionales, para las variables temperatura mínima, máxima y precipitación en diferentes condiciones climáticas. (U. Autónoma de Aguas Calientes, 2017)

Se realizó en Excel el método de regresión lineal simple donde $Y = a + bx$, se repitió la regresión lineal con diferentes estaciones en el caso de ser necesario, así mismo se utilizó la base de datos de PROJETA histórico para el lugar de referencia, cuando la estación al final de compararse con otras estaciones quedaba con datos faltantes.

Ver Anexo 3. Metodología de Estimación de Datos Faltantes de Temperatura y Precipitación por el Método de Regresión Lineal Simple.

Con la comparación de las estaciones, y la aplicación de la regresión lineal simple, el resultado de Y se utiliza para obtener los datos faltantes de la estación dependiente. Se

realizaron más de 20 análisis estadísticos para obtener los datos faltantes de las variables de las estaciones de estudio, como resultado se obtuvieron las bases de datos climatológicos completos.

Tabla 9. Resultados de Temperatura y precipitación media diaria multianual de cinco estaciones climatológicas, cuenca del río Cravo Sur, departamento de Casanare.

Resultados de Temperatura y Precipitación Medias Diarias Multianuales.							
Estacion	Parametro	# Datos Completos	Promedio	Varianza	Desviacion Estandar	Valor Minimo	Valor Maximo
EL MORRO [35210010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	17,088	9.83	349.36	18.69	0.00	185.00
AEROPUERTO YOPAL [35215020]	PRECIPITACION MEDIA DIARIA PTPM (mm/dia)	17,045	6.11	229.46	15.15	0.00	305.60
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/dia)	14,123	29.91	6.41	2.53	21.33	39.00
	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D (°C/dia)	15,736	22.62	2.07	1.44	16.49	30.00
MOLINOS DE CASANARE [35210040]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	9,402	6.55	250.78	15.84	0.00	222.80
AGUAZUL [35195030]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	15,877	7.32	281.94	16.79	0.00	212.91
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/dia)	14,051	29.98	6.17	2.48	21.40	43.20
	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D (°C/dia)	14,051	24.25	2.05	1.43	17.40	30.60
MODULOS [35225010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	15,703	6.11	196.60	14.02	0.00	196.00
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/dia)	14,576	31.93	5.16	2.27	23.20	40.20
	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D (°C/dia)	14,539	21.91	2.74	1.66	12.60	28.26

Fuente: Becerra V., M. A., 2021

8.4 Fuentes Complementarias de Información Climática

Para la modelación de caudales con el Software RS-Minerve se tiene la necesidad de proyectar valores diarios multianuales de temperatura y precipitación hasta los años 2040 y 2090, razón por la cual se buscó proyecciones de estos valores para la cuenca del río Cravo Sur.

Los datos climáticos satelitales globales más comunes provienen de: “Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data - CHIRPS”, este realiza un estimado de lluvia basado en datos satelitales ajustados con observaciones de estaciones meteorológicas (Funk, et al., 2015).

Por ejemplo, existen bases de datos de diferentes modelos climatológicos globales que se encuentran en la herramienta CLIMATE EXPLORER KNMI o Atlas de Cambio Climático de la página de la Organización Meteorológica Mundial.

KNMI Climate Explorer es una aplicación web para analizar estadísticamente datos climáticos. Contiene más de 10 TB de datos climáticos y docenas de herramientas de análisis, Gran parte de los datos de observación se actualizan mensualmente, parte de los datos diarios se actualizan todos los días. Es parte del Centro Regional del Clima de la OMM en KNMI. (OMM, 2021)

En esta búsqueda de datos se encontraron cerca de 20 bases de datos de diferentes modelos de cambio climáticos avalados por la OMM como lo son: Media de CMIP5, ACCESO 1-0, bcc-csm1-1, BNU-ESM, CMCC-CM, etc... Se podría descargar bases de datos temperatura y precipitación anuales hasta el año 2099 y con las coordenadas se procede a realizar la sistematización y análisis de la información de la misma.

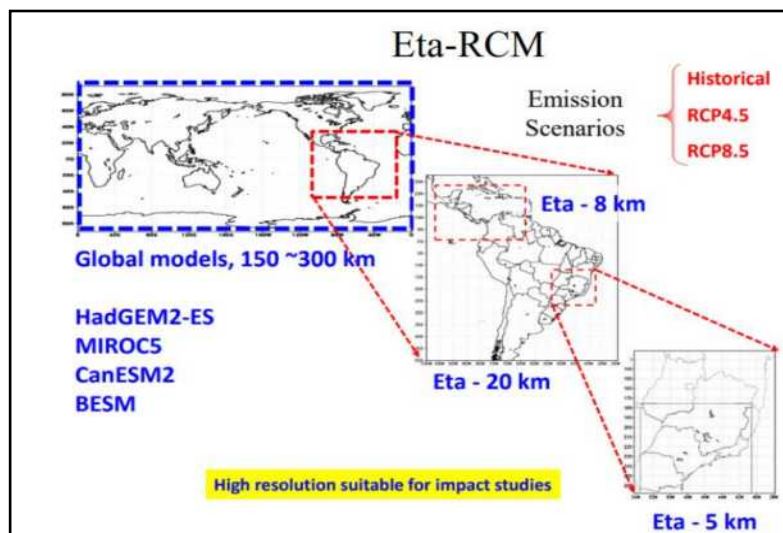
Sin embargo, los modelos climáticos globales poseen cuadrículas de 150-300 km, es decir gran escala o área de procesos y con una resolución relativamente baja a escenarios regionales, así mismo, es necesario a estos modelos globales de clima, realizarles métodos de *DOWNSCALING* con el fin de tener proyecciones más específicas o con mejor escala o menor área o cuadrículas que describiera el área de estudio.

8.4.1 PROJETA: Proyecciones de Cambio Climático Regionalizado para América del Sur

Para la modelación hidrológica de caudal del río Cravo Sur, se buscó un modelo más específico que utilizará datos de proyecciones más detalladas para América del Sur , teniendo en cuenta que para en Colombia no existe todavía un modelo específico, se utilizó la página (<https://projeta.cptec.inpe.br/#/dashboard>) “PROJETA” donde se encuentran

proyecciones regionalizadas, esta página es del gobierno de Brasil, y contiene límites al año 2100 de Modelación del Clima Para América del Sur.

Figura 10. Resolución horizontal de los modelos Globales y Regionales.



Fuente: http://www.incline.iag.usp.br/data/eventos/2018110509/speakers/20181106_4_ChouSinChan.pdf

Este modelo regional posee una resolución horizontal de 20 km para América del Sur y 5 km para Brasil, es decir es más detallado para el área de Colombia que un modelo global.

PROJETA es desarrollada por el Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC) y el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) del gobierno de Brasil y se denomina con el nombre de Eta/CPTEC, los resultados de este modelo regional se obtienen corriendo las condiciones laterales del modelo global HadAM3P cedidos por el Hadley Centre del Reino Unido. Este Modelo regional da mayores detalles en distribución de clima que los modelos globales. Esta página es apoyada técnicamente y avalada por diferentes instituciones mundiales como la Organización Meteorológica Mundial OMM y la Organización de las Naciones Unidas ONU. (PROJETA, 2022)

PROJETA es una aplicación web para analizar estadísticamente datos climáticos. Contiene más de 5 TB de datos climáticos y docenas de herramientas de análisis, Gran parte de los datos de observación se actualizan mensualmente, parte de los datos diarios se actualizan todos los días. Es parte del Centro Regional del Clima de la OMM. (OMM, 2021)

Se encuentra equipado con supercomputadoras SX4/8^a y SX-6; la SX-6: capaz de procesar hasta 768 mil millones de operaciones aritméticas en punto flotante por segundo. Las supercomputadoras posibilitan al CPTEC otorgar, para todo Sudamérica, previsiones de tiempo confiables y tener capacidad de modelaje regional

8.4.1.1 MIROC5 Modelo de Simulación de Cambio Climático Implementado

En PROJETA se encuentran cuatro modelos de simulación de cambio climático, avalados por la OMM y comúnmente utilizados por el IDEAM en sus proyecciones, como lo son: MIROC5, HADGEM2-ES, CANESM2, BESM, ACCESO 1-0.

Los Modelos Climáticos Globales (MCGs) son una representación tridimensional de la circulación general de la atmósfera y corresponden a las herramientas más avanzadas actualmente, disponibles para simular la respuesta del sistema climático global al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero y proporcionar estimaciones del cambio climático futuro (IPCC, 2009). Sin embargo, las simulaciones de los MCGs están sujetas a numerosas incertidumbres, que generan imprecisiones en las proyecciones futuras.

El Modelo MIROC5 de la National Institute For Environmental Studies and Japan, Agency for Marine-Earth Science and Technology, JAPÓN, hace parte del grupo de modelos incorporados en el proyecto CMIP5.

El proyecto CMIP5 corresponde a la quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos del Programa World Climate Research (WCRPs) y produce el estado del arte del conjunto de datos multi modelo diseñado para avanzar en el conocimiento de la variabilidad climática y el cambio climático. CMIP5 incluye simulaciones a largo plazo del clima del siglo XX y proyecciones para el siglo XXI y más allá; además de simulaciones a corto plazo centradas en las últimas décadas y el futuro hasta el año 2035. CMIP5 recoge un conjunto amplio de salidas modeladas y está disponible libremente a investigadores a través de un archivo de datos integrados (Taylor, y otros, 2012) y será parte del quinto informe de evaluación (AR5) del IPCC. (IDEAM, 2012)

Para la investigación se tomó el modelo de simulación de cambio climático MIROC5, por ser uno de los más utilizados en el mundo y específicamente en Suramérica y Colombia. el modelo MIROC5 pertenece al grupo de modelos incorporados al CMIP5 y en que, el hecho de ajustar las simulaciones del modelo a partir de los resultados de la verificación, lo cual puede calificarse como una especie de reducción de escala estadística, permite obtener resultados más precisos en las perspectivas hacia los años 2030, 2070 y 2100

Se procedió a descargar los datos de temperatura y precipitaciones desde la página de PROJETA, para cada una de las estaciones y teniendo como referencia de búsqueda la georreferencia de estas, es de anotar que a esta base de datos descargada se le denomina *Escenario de datos Histórico* el cual comprende datos de temperatura y precipitación de 1900 hasta 2005, el cual fue determinado como límite de datos mundiales en la entrada en vigor del protocolo de Kyoto, así mismo cada país firmante publicó las emisiones desde 1900-2005 así como los cambios de temperatura, y de donde se estableció el 2005 como año de inicio en la realización de modelaciones climáticas a futuro.

8.4.1.2 RCP Escenarios de Emisión del IPCC Implementados

En 1988 la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, más conocido por sus siglas en inglés como IPCC, con el objetivo de proporcionar información objetiva y clara sobre el estado de conocimientos acerca del cambio climático a los responsables políticos y otros sectores interesados.

El IPCC ha emitido muchos informes de evaluación del cambio climático, desde los años 1990, para la realización de sus investigaciones el IPCC se basa fundamentalmente en los llamados Modelos Climáticos Globales (MCG), capaces de reproducir matemáticamente de una forma adecuada, los principales procesos que ocurren en los cinco componentes del sistema climático: atmósfera, océano, criósfera, geosfera y biosfera. Consisten en programas informáticos que se ejecutan en superordenadores con los que se resuelve numéricamente un conjunto de ecuaciones que expresan las leyes y principios de la física que gobiernan el sistema climático terrestre (McGuffie K, 2005).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en su quinto informe, ha definido 4 escenarios de emisión de Gases de Efecto Invernadero GEI, las denominadas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Éstas se caracterizan por su Forzamiento Radiativo (FR) total para el año 2100 que oscila entre 2,6 y 8,5W/m².

Tabla 10. Escenarios de emisiones de CO₂ de referencia mundial.

Escenarios	FR	Tendencia del FR	(CO ₂) en 2100
RCP 2.6	2.6 W/m ²	Decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4.5 W/m ²	Estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6.0 W/m ²	Creciente	670 ppm
RCP8.5	8.5 W/m ²	Creciente	936 ppm

Fuente: Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC.WGI. “Cambio Climático: Bases Físicas”, 2013.

Las cuatro trayectorias RCP comprenden un escenario en el que los esfuerzos en mitigación conducen a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP2.6), 2 escenarios de estabilización (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP8.5). (Observatorio de Cambio climático, gobierno de España, 2021).

Para la investigación se utilizó de la página de PROJETA el modelo regional de cambio climático MIROC5 con los escenarios RCP 4.5 y 8.5, con lo que se valoró un escenario normal de cambio climático, el RCP4.5 y con el 8.5 los escenarios más extremos de cambio climático, y sus proyecciones de temperatura y precipitación año 2100, para la cuenca del río Cravo Sur, municipio de Yopal, departamento de Casanare.

Se solicitó a PROJETA la información requerida de proyecciones de temperatura y precipitación desde el año establecido en cada una de las bases de datos hasta el año 2099, teniendo como referencia geográfica las estaciones climatológicas estudiadas; en el proceso de análisis y triangulación de la misma se utilizó el programa Excel.

8.4.2 Vías Corrección, Técnica de Corrección de Sesgo del Modelo Climático Regional

Se obtienen 4 bases de datos de Temperatura y 4 bases de datos de precipitación en cada una de las estaciones climáticas escogidas, las 4 bases de datos para cada parámetro son:

1. Datos completos de las estaciones, obtenidos del IDEAM y completos (fecha-2021)
2. Datos históricos MIROC5 obtenidos de PROJETA (1961-2005)
3. Datos de proyecciones MIROC5 con RCP 4.5 obtenidos de PROJETA (2006-2099)
4. Datos de proyecciones MIROC5 con RCP 8.5 obtenidos de PROJETA (2006-2099)

Todas las bases de datos proyectadas se tienen que comparar, y corregir el sesgo con los datos observados o tomados por el IDEAM, con el fin de obtener un solo comportamiento y proyección corregida, para lo cual se utilizó la técnica de Vías Correction (corrección de sesgo), este método se basa en cálculos que relaciona y corrige los datos del modelo regional en este caso PROJETA con los datos registrados de las estaciones en campo.

Imagen 5. Ecuación de corrección de vías utilizada en el modelo regional de cambio climático.

Correção de viés

$$P_{contr}^*(d) = P_{contr}(d) \cdot \left[\frac{\mu_m(P_{obs}(d))}{\mu_m(P_{contr}(d))} \right]$$

$$P_{scen}^*(d) = P_{scen}(d) \cdot \left[\frac{\mu_m(P_{obs}(d))}{\mu_m(P_{contr}(d))} \right]$$

$$T_{contr}^*(d) = T_{contr}(d) + \mu_m(T_{obs}(d)) - \mu_m(T_{contr}(d))$$

$$T_{scen}^*(d) = T_{scen}(d) + \mu_m(T_{obs}(d)) - \mu_m(T_{contr}(d))$$

TEUTSCHBEIN, C.; SEIBERT, J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, [s.l.], v. 456-457, p. 12-28, 2012. ISSN: 00221494. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.05.052

Fuente: TEUTSCHBEIN,C,SEIBERT,J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*.

Ver Anexo 4. Metodología de Obtención de datos Climáticos Complementarios y Proyectados.

8.4.3 Resultados Corregidos de Proyecciones Precipitación y Temperatura

A continuación, se muestran la tabla de los resultados de las proyecciones de precipitación y temperatura después de realizarse la corrección de sesgo por la técnica de vías correction.

Tabla 11. Resultados de Corrección por sesgo de Temperatura y Precipitación.

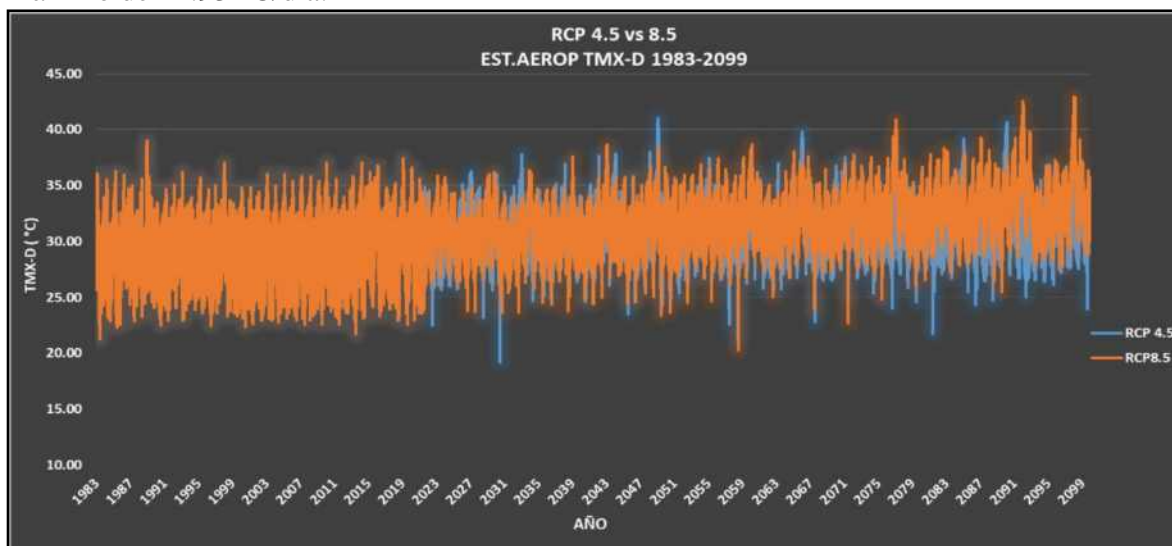
Resultados Corregidos de Temperatura y Precipitación Medias Diarias Multianuales.							
Estación	Parámetro	RCP 4.5			RCP 8.5		
		Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
EL MORRO [35210010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	9.30	0.00	146.00	9.30	0.00	146.00
AEROPUERTO YOPAL [35215020]	PRECIPITACION MEDIA DIARIA PTPM (mm/día)	7.57	0.00	305.60	7.54	0.00	305.60
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/día)	30.75	19.27	41.05	31.32	20.34	42.93
	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D (°C/día)	22.20	9.61	31.49	22.23	9.61	31.51
MOLINOS DE CASANARE [35210040]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	9.19	0.00	222.80	6.09	0.00	222.80
AGUAZUL [35195030]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	6.95	0.00	212.91	6.97	0.00	212.91
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/día)	30.81	19.35	43.20	31.37	20.12	43.20
	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D (°C/día)	25.04	16.10	32.96	25.82	17.40	35.46
MODULOS [35225010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	5.74	0.00	196.00	5.67	0.00	196.00
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/día)	32.80	21.41	42.42	33.47	21.25	45.13
	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D (°C/día)	22.77	12.60	31.22	23.38	12.60	34.40

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Estos resultados y bases de datos ya corregidas de Temperatura y Precipitación para los RCP 4.5 y RCP 8.5 son las que se utilizan para alimentar el Software de modelación hidrológica, en este caso el Rs Minerve.

A continuación, se grafican los datos de RCP 4.5 vs 8.5 de Temperatura máxima diaria y Precipitación media diaria de la estación se Aeropuerto Yopal, con el fin de evidenciar cuál de los dos escenarios de cambio climático es el más crítico y cuál es la diferencia entre ambos.

Imagen 6. RCP 4.5 vs 8.5, Proyección de temperatura 1983-2099 estación Yopal. Pico máximo de 42.93 °C/día.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

La gráfica muestra el comportamiento de la temperatura máxima diaria, en los dos escenarios RCP 4.5 (azul), 8.5 (naranja), se evidencia que hasta el año 2021 la temperatura para los dos escenarios es la misma, no varía, esto debido a que desde el año 1983 hasta el año 2022 son los datos tomados de forma directa de las estaciones climáticas, y con complemento de datos faltantes.

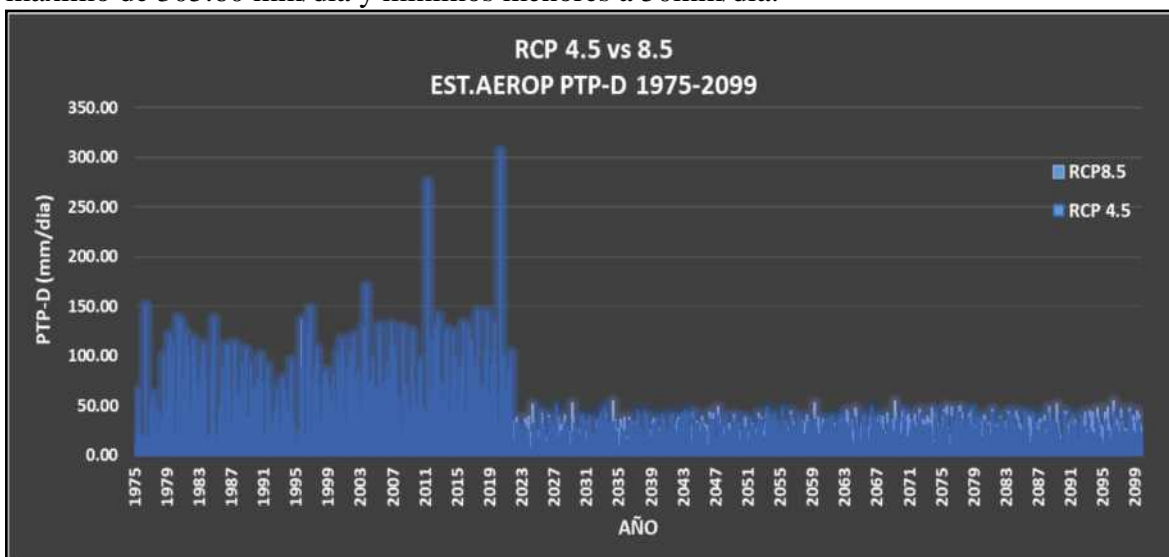
Se proyectan picos mínimos de temperatura máxima: RCP 4.5 de 19.2 °C en el año 2030 y RCP 8.5 de 20.34°C en el año 2058, mostrando una tendencia al aumento al pasar de los años.

La proyección de los picos de temperatura máxima, muestran un aumento de temperatura sostenida a través del siglo, en el RCP 4.5 es el pico máximo de temperatura es de 41.05 °C en el mes de febrero y para el año 2049, y para RCP 8.5 es de 42.93 °C también en el febrero del año 2098, proyectando así un comportamiento donde las mayores temperaturas se acentúan hacia la temporada seca, lo que aumentaría aún más la evaporación hídrica y disminución de la oferta que se evaluará más adelante.

El cambio climático al pasar de los años, cada vez va aumentando la temperatura, en esta gráfica se muestra un aumento de 1-2 °C para RCP 4.5 y de 2-4 °C para el escenario extremo de RCP 8.5.

Concordando así estos resultados, Este resultado concuerda con lo proyectado por el PRICCO, que establece aumentos de días con temperaturas superiores a 38°C; y con lo establecido por el IDEAM para finales de siglo de aumento de temperatura hasta de 2-3 °C.

Imagen 7. RCP 4.5 vs 8.5, Proyección de Precipitación 1983-2099 estación Yopal. Pico máximo de 305.60 mm/día y mínimos menores a 50mm/día.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

La imagen muestra el comportamiento de la precipitación diaria, escenario RCP 4.5 (azul oscuro) y RCP 8.5 (Azul claro).

Igual que en la temperatura, la precipitación desde el año 1975 hasta el año 2021 en los dos escenarios de cambio climático es la misma, esta varía desde 0-300 mm/día, datos correspondientes a los tomados de las estaciones hidrológicas, ya después del 2021 en adelante tiene datos descargados de PROJETA y corregidos por método de vías, se muestra que la precipitación tiende a descender drásticamente con resultados que van desde 0- 51 mm/día RCP 4.5 y 0-55 RCP8.5, datos que no superan los 100 mm/día.. Se pronostica para el periodo del fin de siglo año 2099 la disminución de la precipitación promedio de 30-50%.

Estos resultados varía con lo estipulado en el PRICCO para mediano plazo 2040, donde se establece un aumento promedio de precipitación RCP 4.5 de 1.4 % y RCP 1.9 %; se pronostica disminución de la precipitación y en la proyección no se evidencia una disminución de los picos de precipitación, se considera diferente el resultado, ya que los datos proyectados tomados de la página de modelación PROJETA son diferentes o varían de los que se proyectaron y tomaron por PRICCO.

La investigación no tomó registros del año 2022 ya que su límite fue el año 2021, en el año 2022 sucedieron eventos extremos de precipitación que seguramente lograron ser mayores a los proyectados, esta modelación nos direcciona a que en el año 2022 se tendrían picos mayores a 300 mm/día lo que da una tendencia hacia precipitaciones extremas; es de aclarar que a futuro pueden suceder eventos extremos como la niña del 2022, que variarán los resultados en la modelación, sin embargo el resultado más real es que los primeros años al 2025-30 tiende a aumentar la precipitación en temporada invernal, y esta precipitación disminuiría constantemente hasta el fin de siglo.

La proyección concuerda con lo establecido por la tercera comunicación de cambio climático del IDEAM, donde establece que Casanare en el fin de siglo no presentará aumentos de precipitación y podrá decaer el porcentaje de precipitación hasta en un 30%. (IDEAM, 2011)

Se puede establecer que la precipitación es inversamente proporcional a la temperatura, es decir en el tiempo la temperatura aumenta proporcionalmente y así mismo la precipitación desciende o disminuye drásticamente.

Este es el principio físico del cambio climático y del efecto invernadero, los primeros años se presentarán aumentos de temperatura y aumento de precipitaciones por la evaporación del agua, sin embargo, al incrementar la temperatura la precipitación irá descendiendo en el tiempo.

Así pasa en todas las estaciones proyectadas, ahora bien, en lo referente a la oferta hídrica se entiende que al aumentar la temperatura y disminuir la precipitación la oferta hídrica disminuiría, esto lo comprobaremos más adelante en la investigación.

Ver Anexo - Carpeta Magnética 8. Base de Datos Finales- Tabla de Resultados.

8.5 Dependencia e importancia del agua del río Cravo Sur, perspectivas y conocimiento de cambio climático, en la comunidad de Yopal.

Se tiene un total de 28 veredas y el casco urbano de Yopal, los cuales se encuentran sobre el cauce principal del río Cravo Sur, son 62 concesiones de agua sobre el mismo, con un promedio de 156.942 habitantes del casco urbano y un número indeterminado de usuarios Rurales, así mismo Corporinoquia no tiene información detallada de los usuarios de los canales de riego, ni de quienes captan directamente de los caños, quebradas ni de quienes captan del cauce principal del Cravo Sur.

Por lo anterior, se realizaron visitas a campo aplicación y procesamiento de una encuesta ciudadana a algunos actores o comunidad que captan o ejercen presión en la corriente principal de la fuente hídrica río Cravo Sur.

Se realizó levantamiento de información de actores y su relación con la fuente hídrica, la Importancia del agua para los habitantes, las perspectivas y conocimiento de cambio climático que tienen, la percepción del aumento de temperatura y las posibles afectaciones que esto traería en sus actividades por la disminución del agua.

Se realizó cálculo estadístico obteniendo porcentajes por caudales concesionados, lo que da como resultado el número de encuestas por actores y zonas de la siguiente manera.

Tabla 12. Cálculo estadístico de número de encuestas realizadas y lugares. Determinadas según el porcentaje de los principales actores que captan o ejercen presión en la corriente principal de la fuente hídrica.

CALCULO ESTADISTICO DE ENCUESTAS.			
LUGAR	CAUDAL CONCESIONADO L/SEG	%	NUMERO DE ENCUESTAS
CASCO URBANO - YOPAL	780,00	8,80%	10
CASCO URBANO DE YOPAL- ABASTECIMIENTO URBANO- ZONA URBANA DE YOPAL	780,00	8,80%	10
ZONA RURAL- YOPAL	5176,18	58,40%	57
CANAL LA MILAGROSA -VEREDA SIRIVANA- ZONA RURAL DE YOPAL	1588,70	17,92%	18
CANAL ASOCOMUNEROS -EL TIESTAL-VEREDA SIRIVANA - ZONA RURAL DE YOPAL	237,00	2,67%	2
CANAL MIRANCHITO- LA VICTORIA -VEREDA MATEPANTANO- ZONA RURAL DE YOPAL	3350,48	37,80%	37
TOTAL DE CAUDAL DE LAS ENCUESTAS	5956,18	67,20%	
TOTAL DE CAUDAL DE DEMANDADO	8863,64	100,00%	
TOTAL DE ENCUESTAS A REALIZAR			67,00

NUMERO DE ENCUESTAS A REALIZAR

■ CASCO URBANO - YOPAL ■ ZONA RURAL - YOPAL

Fuente: Becerra V., M. A., 2021

Se realizaron 67 encuestas en igual número de predios se benefician del agua superficial del río, esta captación se realiza por medio de canales, pozos profundos, o directamente de la

corriente principal del río. Las encuestas realizadas alcanzan en representación más de la mitad (67.25 %) del caudal concesionado total del río Cravo Sur.

De las 67 encuestas realizadas se realizaron 9 en el casco urbano de Yopal y 58 en la zona rural, se realizaron más encuestas en las zonas donde se ejerce más presión o captación del agua del río Cravo Sur.

Se utilizó un modelo único de encuesta con preguntas de selección múltiple y también de tipo abierta. Esta se encontraba estructurada de 20 preguntas, divididas en 4 secciones: 1. Identificación del predio y de la persona encuestada, 2. Conocimiento y percepción del cambio climático y algunas variables climáticas. 3. uso del recurso hídrico e importancia del mismo 4. Percepción de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Recolectada la información definitiva se procedió a recopilar y consolidar la información en tablas de Excel.

Ver Anexo 5 Metodología de Realización y Modelo de Encuesta.

8.5.1 Percepción de la Comunidad de Yopal.

Por medio de la matriz de resultados de las encuestas (anexo 5.4), se puede evidenciar fácilmente como los 67 encuestados respondieron a cada pregunta, y en la columna final la sumatoria de las respuestas marcadas, donde se observa cuáles fueron las más acertadas o marcadas y las que menos.

El análisis de resultados escudriña cada una de las preguntas y las repuestas dadas por los encuestados para así determinar qué conocimientos, percepciones y su relación con la fuente hídrica, la importancia del agua para los habitantes, las perspectivas y conocimiento de cambio climático que tienen, la percepción del aumento de temperatura y las posibles afectaciones que esto traería en sus actividades por la disminución del agua.

Los resultados es un insumo importante para establecer la problemática e identificar y analizar las afectaciones Socio-Ambientales, así como da visos de cómo va ser el abordaje de las posibles estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático en la comunidad de Yopal.

Los resultados al grupo objetivo están divididas en 3 enfoques, 1. Conocimiento y percepción del cambio climático y algunas variables climáticas. 2. uso del recurso hídrico e importancia del mismo 3. Percepción de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

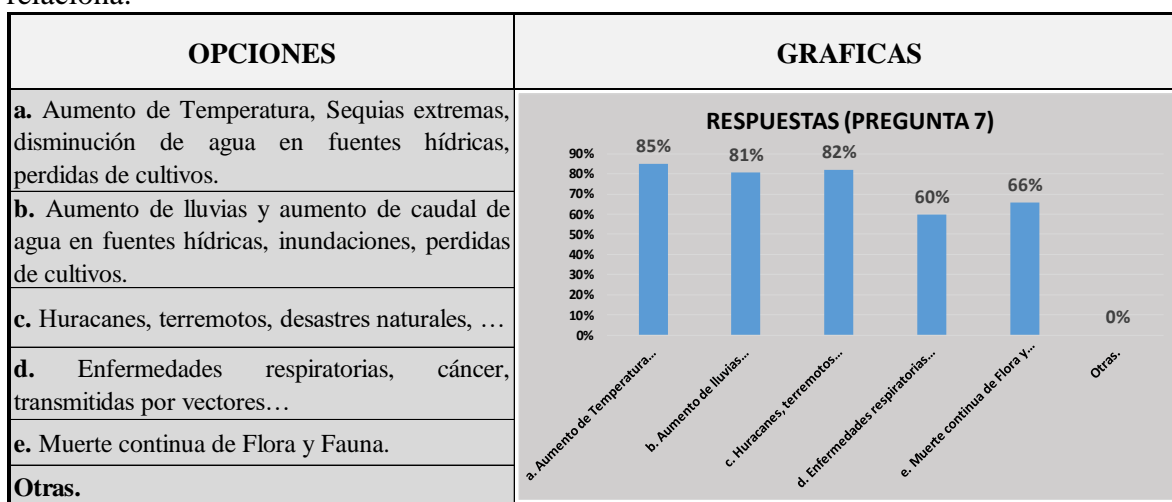
Ver Anexo - Carpeta Magnética 11. Análisis de Resultados de las Encuestas.

8.5.1.1 Sección de Cambio Climático

Las respuestas a las preguntas en esta sección pretenden tener un referente de percepción, posición y perspectiva sobre el cambio climático, desde la vida diaria de cada encuestado: si lo conocen, si lo relacionan en sus actividades, si lo relacionan con la modificación de la oferta hídrica, si creen ser causantes del mismo, etc., en base a ello se generarán alternativas de mitigación y adaptación al cambio climático-

Es información base para conocer las falencias en el manejo del conocimiento de cambio climático, como se debería abordar el conocimiento de este cambio climático con las políticas públicas y campañas de capacitación e información sobre el mismo.

Imagen 8. Respuestas a la pregunta 7. ¿Conoce el término de cambio climático?, a que lo relaciona.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

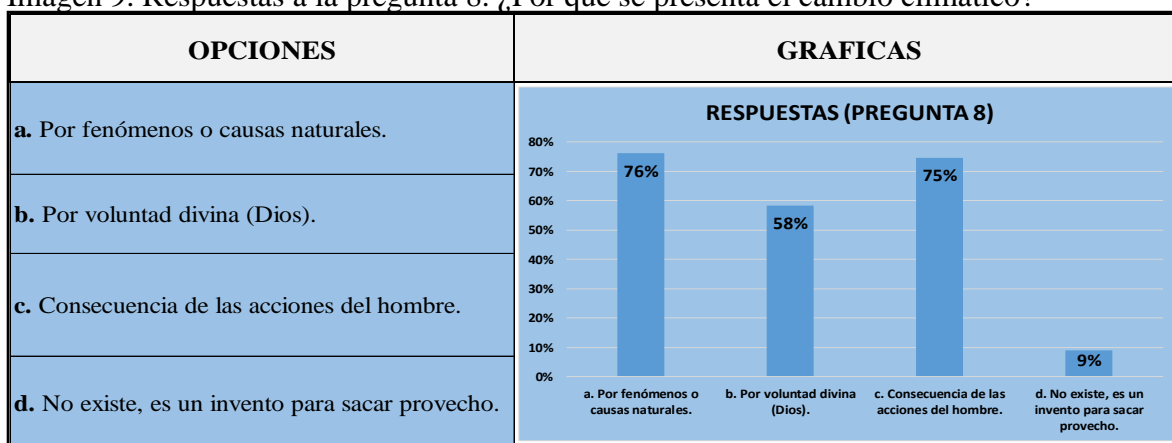
Se puede determinar que conocen el término de cambio climático, así mismo la mayoría, lo relacionan, o lo perciben por las consecuencias que son palpables en sus actividades diarias, por ejemplo: la mayoría El 85%, 81% de los encuestados relacionan, padecen o entienden, que por el cambio climático está aumentando las variables climáticas de temperatura y precipitación; sin embargo un alto porcentaje de los encuestados el 82%, también relacionan el cambio climático con la generación de huracanes, terremotos, desastres naturales; respuestas alejadas a lo vivido en el municipio, ya que en Yopal no se generan de huracanes y suceden muy pocos o esporádicamente terremotos.

Lo anterior es muestra de que la relación y conocimiento del término de cambio climático es sentido y así mismo influenciado por los medios de comunicación y redes sociales que transmiten la relación y la ocurrencia de estos fenómenos naturales en otros lugares.

Más del 60 % relacionan las enfermedades respiratorias, cáncer o transmitidos por vectores con el cambio climático, El 66% de los encuestados relaciona la muerte de flora y fauna con el cambio climático.

Aunque todas las opciones de respuestas se pueden relacionar con el cambio climático, las más ajustadas a su definición son las a y b, ya que las otras se fundan como consecuencias del mismo; se debe realizar acciones de capacitar a la comunidad en el tema de cambio climático y sus consecuencias locales, y como medio tratar de incluir las redes sociales y los medios informativos locales ya que tienen gran influencia en la comunidad.

Imagen 9. Respuestas a la pregunta 8. ¿Por qué se presenta el cambio climático?



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

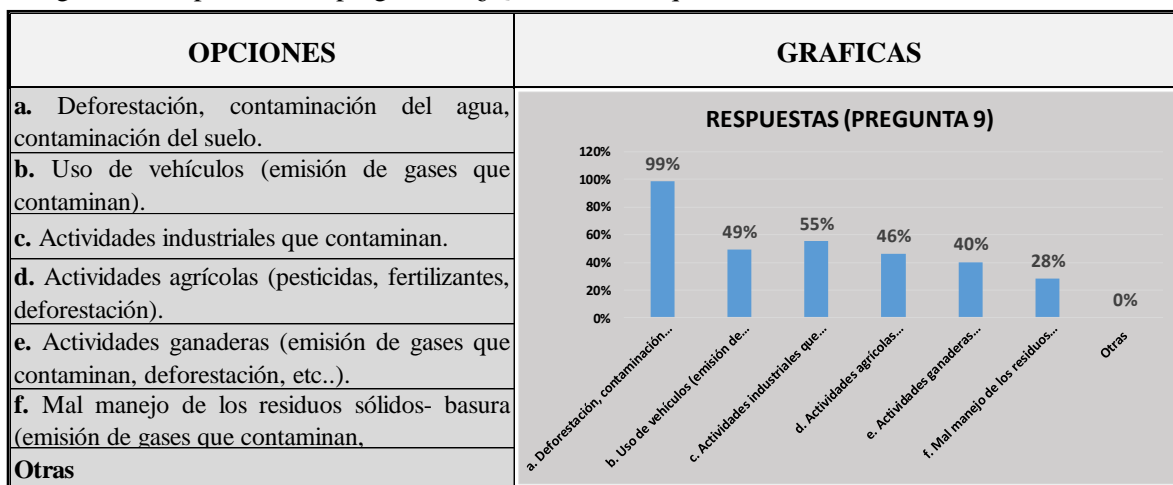
En igualdad de porcentaje de respuestas se encuentra que el cambio climático se presenta por fenómenos naturales vs por las acciones del hombre; aunque las dos son respuestas correctas se evidencia una debilidad en poder diferenciar entre las dos, y poder entender las acciones del hombre como ejemplo la generación de GEI, es la principal causa del cambio climático.

El 58% respondieron que el cambio climático sucede por voluntad divina (Dios), aunque esta respuesta no corresponde a la evidencia científica, muestra una amplia aceptación de la comunidad hacia posturas religiosas, siendo la religión un posible medio o herramienta a utilizar para transmitir y capacitar a la comunidad sobre el cambio climático.

6 encuestados (9%), respondieron que el cambio climático es un invento de alguien para sacar provecho, lo que se considera como negativismo al cambio climático; este rechazo a la teoría del cambio climático, se puede atribuir al desconocimiento del tema por la baja información y capacitación del mismo; del mismo modo puede estar influenciada por intereses particulares, baja credibilidad en las instituciones, o por corrientes mundiales que rechazan la teoría del cambio climático.

En general estos bajos porcentajes de respuestas, y las respuestas erróneas, muestran un amplio desconocimiento de las causas del cambio climático, situación a tener en cuenta en la realización de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático.

Imagen 10. Respuestas a la pregunta 9. ¿Qué considera que es la causa del cambio climático?



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

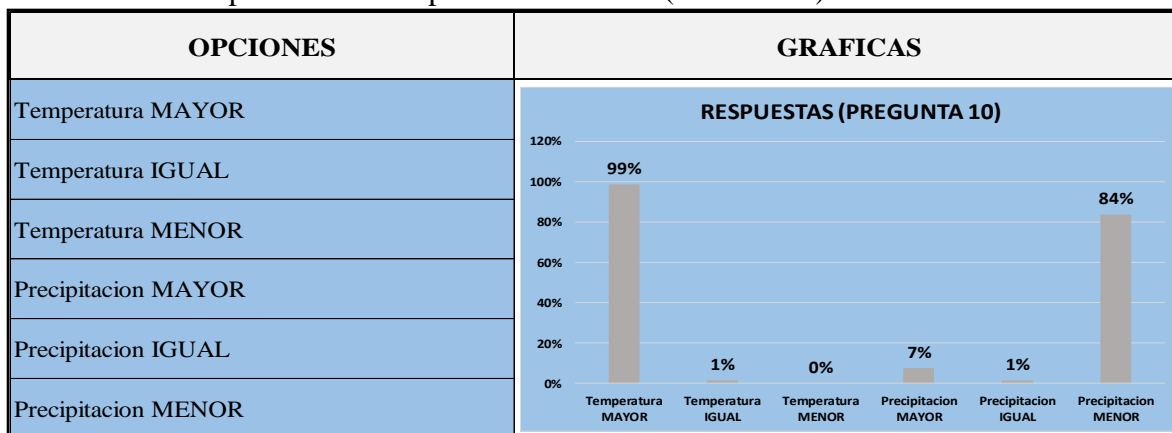
El 99% asocian que las actividades causantes del cambio climático son la deforestación, contaminación del agua, contaminación del suelo, también se observa que más de la mitad el 55% consideran o relacionan que las actividades industriales ayudan a que se produzca este cambio climático, menos de la mitad relacionan que las otras actividades también son causantes del cambio climático; lo anterior demuestra que la comunidad relaciona más las actividades que se muestran constantemente a nivel nacional como la deforestación y actividades industriales, a las actividades que por el municipio o departamento generan más gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, las cuales están estipuladas en el PRICCO, que plasma como principal actividad fuente de emisión de GEI las actividades agrícolas.

Aunque todas las respuestas a la pregunta son verdaderas, es decir, son actividades que en mayor o menor porcentaje aportan a la generación del cambio climático, se percibe una falta de información en la comunidad sobre la relación o el aporte que sus actividades diarias realizan al cambio climático, no perciben que en un municipio de orientación agrícola, actividades comunes como las: agrícolas, ganaderas, el transporte automotor, manejo de los residuos sólidos, entre otras., generan importantes emisiones de GEI causantes del cambio climático.

La falta de estaciones de medición de emisión de GEI en el municipio, indica falencias institucionales para poder determinar los aportes y su importancia desde el ámbito municipal.

Por lo anterior, es importante establecer escenarios de medición y capacitación sobre cambio climático a nivel local.

Imagen 11. Respuestas a la pregunta 10. Comparado las siguientes variables, como considera su comportamiento respecto a años atrás (20-30 años).



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

El 99% perciben un aumento de temperatura en los últimos años, así mismo una disminución en la precipitación.

Aunque se tienen evidencias de aumento de precipitaciones en temporada invernal, causantes de constantes desbordamientos del río Cravo Sur, y posteriores inundaciones de predios aledaños, los encuestados consideran que el aumento de temperatura es la variable más sentida respecto años atrás.

Respuestas importantes que dan a entender que el cambio climático está sucediendo, las proyecciones de aumento paulatino de la temperatura y disminución de la precipitación no son ajenas a la realidad y son sentidas por los habitantes.

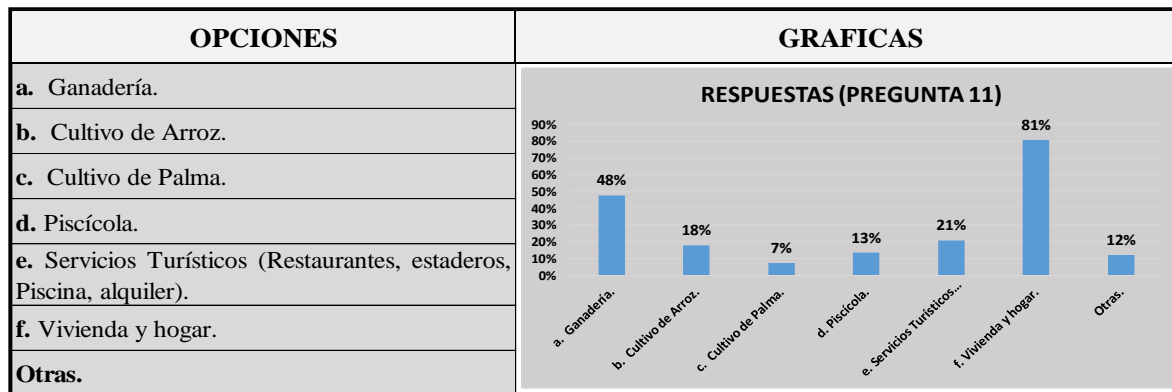
Es importante establecer escenarios de capacitación para que la comunidad pueda entender y relacionar los cambios sentidos en las variables climáticas son causas del cambio climático.

8.5.1.2 Sección de Utilización del Recurso Hídrico (Río Cravo Sur)

Esta sección se proyectó con el fin de conocer la demanda o presión que se ejerce al recurso hídrico del río Cravo Sur, en qué tipo de actividades se utiliza y la importancia que este tiene para cada labor desarrollada y para cada persona.

Este tipo de preguntas dará un acercamiento a la realidad de la investigación y su importancia, así como bases para establecer los impactos socio-ambientales que puede acarrear la disminución de la oferta hídrica para las personas habitantes de la cuenca.

Imagen 12. Respuestas a la pregunta 11. ¿Qué actividades desarrolla en su predio?



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Por ser preguntas con opción de múltiples respuestas, es normal ver que se indique, que un mismo predio desarrolla diferentes actividades, dando como resultado que el 81% digan que en sus predios tienen vivienda y desarrollan actividades relacionadas con el hogar. Así también se cataloga la actividad ganadera, como la actividad comercial que más ejercen los encuestados, seguidas de la prestación de servicios turísticos, piscícola, cultivo de arroz y por último cultivo de palma.

Estas respuestas muestran cuales son las principales actividades ejercidas por los encuestados, siendo un insumo e indicativo de presión al recurso hídrico, sin embargo, es preciso anotar que no se tiene conocimiento de la cantidad de cabezas de ganado o de hectáreas de siembra etc... lo que puede interferir notablemente en la demanda hídrica.

Es de anotar que las encuestas abarcaron a la comunidad que desarrolla las principales actividades económicas del municipio y que ejercen presión hídrica a la fuente río Cravo Sur.

Imagen 13. Respuestas a la pregunta 12. ¿En qué actividad utiliza más el agua?

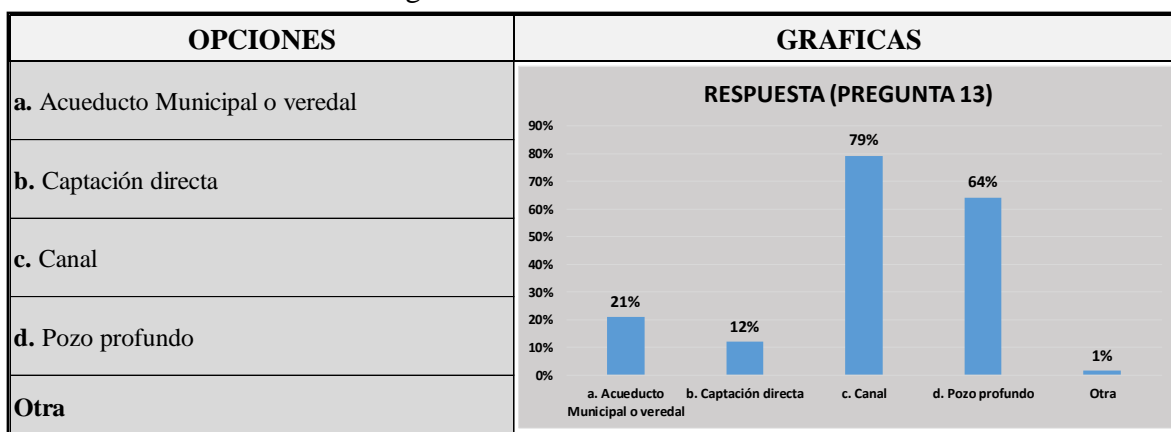


Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Estas respuestas están acordes con las respuestas de la pregunta anterior la número 11, en cuanto a que según la actividad realizada en los predios se considera que es la que más utiliza o consume el agua, lo que nos deja la importancia apuntarle a proyectar actividades

de capacitación en el conocimiento de cuanto es la necesidad de agua por actividad, qué actividades generan más consumo y establecer acciones diferenciadas en el uso eficiente y ahorro del agua y de adaptación o mitigación al cambio climático, es decir establecidas por actividad específica, empezando por hacer énfasis en la representativa que es en el hogar y en actividades ganaderas y agrícolas.

Imagen 14. Respuestas a la pregunta 13. ¿Utiliza agua de la cuenca del río Cravo Sur para sus actividades? Cómo la consigue.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

El 79% expresaron que el agua para sus actividades la consiguen o captan a través de los canales de riego existentes, es de tener en cuenta que estos canales se construyeron hace mucho tiempo aprox. 40-50 años cuando existía el INDERENA y la función era la de proveer de agua a diferentes cultivos arroz y predios ganaderos, en la actualidad, por el tema de su cercanía con el casco urbano, los grandes predios se fueron parcelando y vendiendo, convirtiéndose en pequeñas fincas o predios donde se evidencian casas de recreo, condominios, estaderos, sitios turísticos, y otras pequeñas actividades agrícolas, que en su mayoría captan agua del canal de forma ilegal es decir sin contar con permisos concesiones por la autoridad ambiental Corporinoquia, lo que genera constante presión sin control a la corriente principal, conflictos entre la autoridad ambiental y la comunidad, así como conflictos entre los mismos beneficiarios en época de bajas precipitaciones.

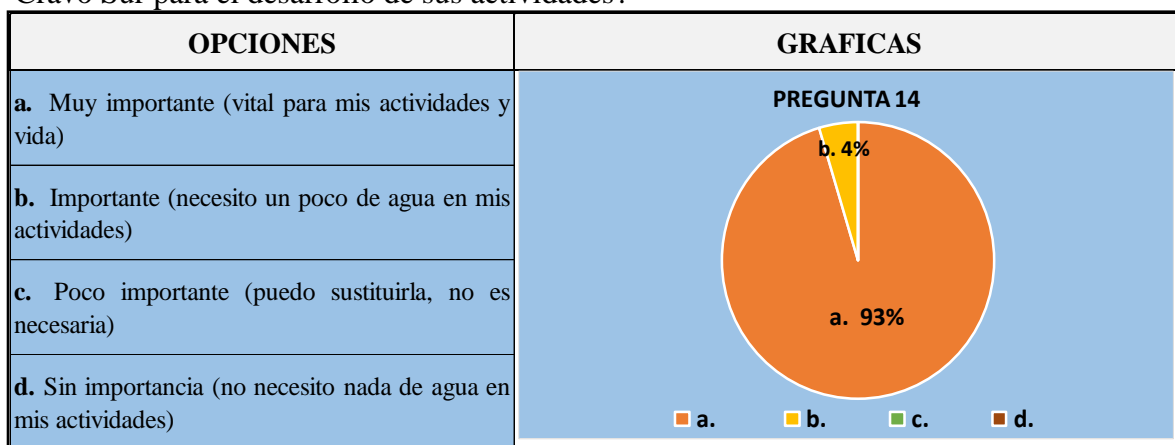
Por encontrarse el municipio de Yopal en una zona de alta presencia de acuíferos de agua subterránea, las personas en la zona rural que no tienen la posibilidad de acceso al agua superficial por acueductos, explotan el agua subterránea por aljibes o pozos profundos que en su mayoría no superan los 100 mts de profundidad. Por esta razón vemos que el 64% de los encuestados expresaron que el agua utilizada proviene de pozos profundos, estas captaciones subterráneas en su mayoría no cuentan con permisos de concesión por la autoridad ambiental Corporinoquia, lo que se traduce en un desconocimiento de la oferta y sobre explotación por demanda libre y descontrolada del agua subterránea.

El agua suministrada al casco urbano por parte del acueducto municipal, proviene de la captación sobre la quebrada la tablona afluente del río Cravo Sur y parte de la cuenca hídrica del mismo.

La comunidad es consciente que el agua utilizada en sus diferentes actividades proviene o hace parte de la cuenca del río Cravo Sur, sin importa cuál sea el medio de transporte o captación de la misma, o que no se tenga técnicamente clara la conexión del líquido captado con la cuenca, el contexto que se expresa es que el líquido es parte de la cuenca y que el cambio climático está disminuyendo cada vez más su disponibilidad, lo que genera diferentes impactos socio ambientales.

Lo anterior son ejemplos claros de la pérdida de la importancia del agua, de su control legal, del ahorro de la misma, todo por la poca vigilancia y control ambiental de la autoridad competente, lo que se traduce en afectaciones socio ambientales cómo disminución de la oferta hídrica, marcados conflictos entre usuarios de los canales, etc., temas que se pretenden atacar en las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Imagen 15. Respuestas a la pregunta 14. ¿Qué tan importante es el agua de la cuenca del río Cravo Sur para el desarrollo de sus actividades?



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

El 93% consideran que el agua de la cuenca del río Cravo Sur es un recurso muy importante para el desarrollo de sus actividades y para su misma vida.

Así mismo 3 personas respondieron que es importante porque necesitan un poco del agua del río, respuestas dadas por el hecho de que estos encuestados adujeron el hecho de no conocer si se benefician directamente del agua de la cuenca río Cravo Sur, sin embargo, son conscientes de que esta es muy importante para las actividades y en un futuro pueden afectarse si esta agua escasea.

Se vislumbra un claro panorama de la importancia del agua para la comunidad para poder vivir y desarrollar su actividades, el fortalecimiento de este panorama es clave para poder desarrollar escenarios capacitación donde se puede explicar la relación del recurso hídrico captado, la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur, las futuras afectaciones por el cambio climático y la importancia de protección, ahorro y uso eficiente del agua como estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático.

Imagen 16. Respuestas a la pregunta 15. ¿Existen conflictos por el uso del agua en la vereda o vivienda?



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Más de la mitad respondieron que si se presentan conflictos por el uso de agua, estos conflictos con los diferentes beneficiarios de los canales o con el agua de la corriente principal del río son muy comunes, la realidad es que todos necesitan agua para ejercer sus actividades y supervivencia, aún más fuerte es la demanda en época de bajas precipitaciones o seca; las principales quejas de la comunidad que suceden todos los años, es porque se colocan trinchos o se canaliza el agua para desviarla sin permiso a diferentes predios en especial los que tienen cultivos de arroz, tanto así que el canal desviado es tan alto que dejan solamente una pequeña parte o hilo de agua por la fuente hídrica o canal de transporte, lo que perjudica aguas abajo a otras personas que necesitan el agua.

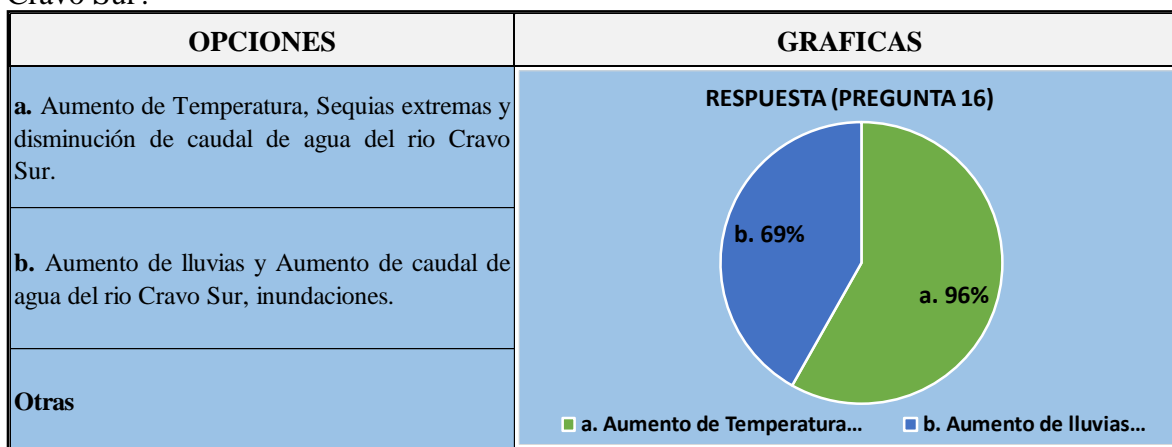
Corporinoquia como la autoridad ambiental encargada del cuidado y administración del líquido, por las quejas interpuestas realiza visitas y al encontrar méritos de ilegalidad apertura procesos de investigación que en la mayoría de los casos terminan en sanciones económicas para los culpables; del mismo modo corporinoquia crea unas resoluciones que prohíben la captación de agua en época de verano para los cultivos de arroz, sobre diferentes fuentes hídricas, entre las cuales se encuentra el río Cravo Sur; sin embargo, están normal que sucedan estos desvíos de agua y tan débiles las sanciones económicas, que los mismos beneficiarios agropecuarios dentro de sus costos y ganancias, incluyen las posibles sanciones, lo que incita a que se siga realizando descontroladamente la utilización del recurso.

Los conflictos sociales persisten hoy en día, esto debido a que la gran mayoría de los beneficiarios de los canales de riego no se encuentran legalizados y no existe una administración y control eficaz de la autoridad ambiental, lo que implica desorden y sobreexplotación del recurso sin control alguno.

Es de anotar que, en el casco del acueducto municipal urbano, presentó más de 4 años de desabastecimiento de agua por colapso de la planta de agua potable de donde se abastecía a la población por diferentes métodos como fue por medio de carro tanques; motivo que se puede establecer como conflictos por los entrevistados del casco urbano.

las afectaciones socio ambientales, nos incita tener especial de manejo en estos conflictos sociales, que, si bien ocurren en gran manera hoy en día por la falta de agua, se esperan ser incrementados y agravados en el tiempo por el cambio climático y la afectación sobre oferta hídrica del río Cravo Sur.

Imagen 17. Respuestas a la pregunta 16. ¿Cómo relaciona el cambio climático en el río Cravo Sur?



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

El 96% consideran que el cambio climático ha afectado la disponibilidad de agua, especialmente lo relacionan con la ocurrencia del aumento de la temperatura, sequías extremas y disminución del caudal del río Cravo Sur; lo que demuestra la preexistencia sentida de una correlación de estos eventos en la comunidad con el cambio climático.

Por otro lado 69% relacionaron el cambio climático con el aumento de lluvias en la zona, aumento de caudal e inundaciones del río Cravo Sur, es de amplio conocimiento que época de altas precipitaciones, suceden constantes emergencias por desbordamiento e inundaciones de predios aledaños a la corriente principal del río Cravo Sur.

Los encuestados y la comunidad en general que se encuentra en las riberas del río Cravo Sur, viven, perciben y reaccionan más este aumento de lluvias con el cambio climático, mientras que los predios que están lejos de las riberas del río Cravo Sur, que se surten de agua de la misma fuente, la cual es transportada por muchos kilómetros en canales en época de verano, relacionan más el aumento de temperatura y la escasez del recurso con el cambio climático.

Imagen 18. Respuestas a la pregunta 17. ¿Considera que el cambio del clima ha afectado la disponibilidad de agua en el río Cravo Sur?



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

El 66 de los 67 encuestados consideran que el cambio climático ha afectado la disponibilidad de agua, especialmente lo relacionan con la ocurrencia del aumento de la temperatura, sequías extremas y disminución del caudal del río Cravo Sur, lo demuestra la preexistencia de una correlación de estos eventos en la comunidad.

Esta percepción de disminución de caudal del río Cravo Sur, provocada por el cambio climático, es cada vez más sentida y palpable a la comunidad; sin embargo, es necesario establecer tácticas de capacitación del mismo, con el fin de impartir conocimientos a la comunidad y desarrollar estrategias de mitigación y adaptación al mismo.

Imagen 19. Respuestas a la pregunta 18. ¿Considera que esta disponibilidad de agua lo afecta o lo afectará en sus actividades?



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

El 96 % consideran que la disponibilidad de agua los afectará en el futuro en la realización de sus actividades normales, esto relacionado con las preguntas anteriores, muestra el gran valor que tiene el recurso hídrico para los habitantes, así mismo que la disponibilidad del agua es un tema trascendental ya que de sus actividades dependen de ella; el escenario de afectación de la disponibilidad hídrica del río Cravo Sur por el cambio climático es

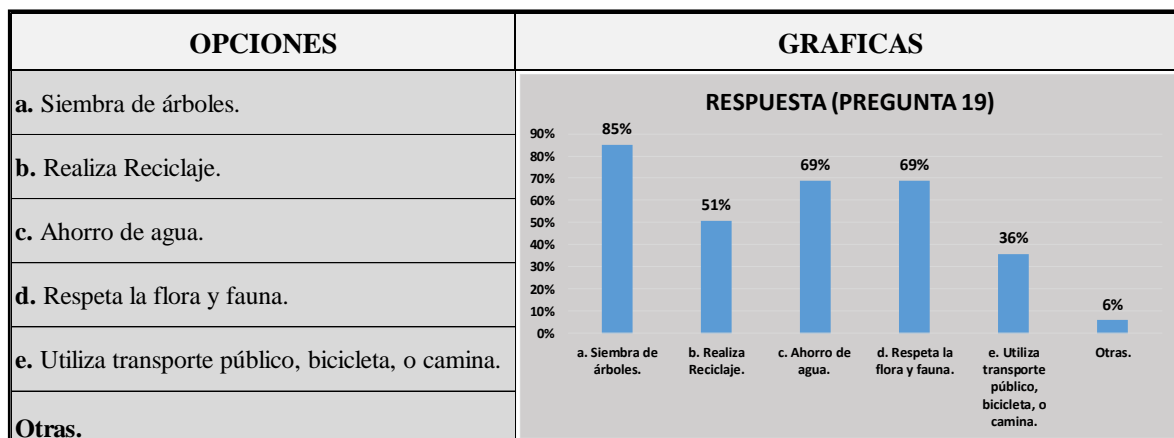
imaginable para los encuestados , sin embargo no se tiene nociones de estrategias de mitigación y adaptación al mismo.

El 4% de los encuestados, es decir 2 personas, marcaron que no consideran que la disponibilidad de agua los afectará, esto se puede leer como parte de aquellas personas que no tienen claro de donde proviene y el valor del agua para sus actividades, considerando que estas mismas se encuentran dentro del grupo de encuestados del casco urbano, es decir reciben el agua por acueducto por lo tanto no se han visto y no se ven afectados. Teniendo en cuenta lo anterior es importante realizar estrategias dirigidas a este grupo poblacional dirigidas para dar importancia y valoración al agua.

8.5.1.3 Sección de Adaptación al Cambio Climático -Recurso Hídrico (Río Cravo Sur)

Esta sección se proyectó con el fin de visualizar el grado de conocimiento y actividades de mitigación y/o adaptación al cambio climático que realizan las personas, de las respuestas se tomará información para la generación de estrategias que se desarrollaran en el último objetivo.

Imagen 20. Respuestas a la pregunta 19. ¿Ha realizado alguna actividad para ayudar a disminuir el cambio climático?



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

El 85% marcaron la siembra de árboles como la mayor actividad que han realizado, después con el 69% se encuentran el ahorro del agua y el respeto de la flora y la fauna; es de resaltar que todas las actividades dadas como opciones ayudan a la mitigación o adaptación al cambio climático, pero la mayoría de encuestados no relacionaban estas respuestas con el cambio climático, aducen que las actividades como la siembra de árboles, el ahorro del agua, respeto de fauna y flora , etc... ayudaban a la protección ecosistémica y del medio ambiente , pero no entendían su relación con el cambio climático.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante realizar estrategias para dar a conocer la relación e importancia que tienen diferentes actividades de mitigación y adaptación al cambio climático y cómo con actividades individuales y locales se aporta.

La actividad del uso de transporte limpio sin emisiones, como el uso de la bicicleta y caminar fue la menos seleccionada, es necesario establecer estrategias para dar a conocer su importancia e impulsar su uso.

El ahorro del agua es la actividad que directamente influye en la sostenibilidad hídrica de la cuenca del río Cravo Sur, sin embargo, así esta actividad se seleccionará por el 69% de los encuestados, la captación ilegal, la carencia de control y administración del recurso, el incremento de la demanda, la desviación del agua, el conflicto social, etc... hacen de vital importancia acotar, reforzar, impulsar, y mejorar esta actividad.

Lo mismo pasa con la siembra de árboles, fue la actividad que más realizan, sin embargo, no se tiene una prioridad y conocimiento técnico de la misma, ya que las riberas del río Cravo Sur sufren de deforestación constante por acción antrópica.

Imagen 21. Respuestas a la pregunta 19. ¿Ha tomado alguna medida referente al posible aumento o disminución del agua en el río Cravo Sur?



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

El 88% no han realizado alguna medida referente al posible aumento o disminución del agua, el 12% es decir 8 encuestados respondieron que sí, sin tener claro conocimiento de que las actividades realizadas influyen en el agua del río.

Se tiene falta de conocimiento de cuáles son las posibles acciones a realizar por parte de la comunidad, acciones de adaptación o mitigación al cambio climático y que repercuten en la posible conservación del caudal del río.

8.5.1.4 Observaciones Generales.

Las percepciones que tienen los encuestados sobre el cambio climático son muy básicas y generales, la apropiación social de este conocimiento se encuentra establecida, por lo que se percibe a diario las actividades, y lo que ven en los noticieros; los encuestados entienden

que por el cambio climático suceden fenómenos naturales como sequías e inundaciones, con repercusiones sociales y ambientales, en su mayoría considera el cambio climático es originado por las acciones antrópicas, lo que traduce principalmente a la deforestación, contaminación del agua, contaminación del suelo, así como a las actividades agrícolas y la utilización descontrolada de pesticidas, fertilizantes; sin embargo, muy pocos relacionan que el uso de vehículos y el mal manejo de los residuos sólidos, son accionantes del cambio climático, situación a considerar ser incluida en las estrategias de mitigación y adaptación que se establecerán al final de la investigación.

La mayoría de los encuestados perciben que el cambio climático está ocurriendo hace más de 20 años con aumento de la temperatura y disminución de la precipitación, situación que se evidencian en la cuenca del río Cravo Sur acarreado una sentida y palpable disminución de caudal en la corriente principal de esta fuente hídrica. Por todos se considera el agua como líquido vital, necesario para el desarrollo de sus actividades en el futuro, sin embargo, se establece desconocimiento del que hacer ante esta situación o de implementación de actividades específicas de mitigación y adaptación del cambio climático.

La comunidad es consciente que el agua utilizada en sus diferentes actividades proviene o hace parte de la cuenca del río Cravo Sur, el contexto que se expresa es que el líquido es parte de la cuenca y que el cambio climático está disminuyendo cada vez más su disponibilidad, lo que genera diferentes impactos socio ambientales.

El análisis de resultados orienta a la importancia de establecer un abordaje de conocimientos sobre el cambio climático desde cada región con el fin de poner a reflexionar a la comunidad, ya que este fenómeno es palpable en la vida de cada uno. Es necesario que se realicen mayores esfuerzos desde los entes gubernamentales en socializar todo un abordaje de cambio climático local permitiendo un mejor conocimiento y apropiación del mismo, estableciendo acciones específicas de mitigación y adaptación al cambio climático que repercuten en la disponibilidad oferta hídrica del río Cravo Sur.

La ilegalidad en las captaciones de agua, se traduce en afectaciones socio ambientales como la explotación incontrolada del recurso y, por ende, la disminución de la oferta hídrica, marcados conflictos entre usuarios de los canales, etc., temas que se pretenden atacar en las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Por último, esta encuesta nos muestra la importancia de generar la investigación estableciendo como se verá afectada por el cambio climático en el tiempo, directamente en el aumento o disminución de la oferta hídrica, y cómo se podría afectar a un más la comunidad por inundaciones, crecientes súbitos, pérdidas de recurso hídrico – sequías, pérdidas económicas en cultivos y ganadería, alteraciones en los ecosistemas, generación de conflictos sociales, entre otros.

Esta percepción de disminución de caudal del río Cravo Sur, provocada por el cambio climático, es cada vez más sentida y palpable a la comunidad; sin embargo, es necesario establecer tácticas de capacitación del mismo, con el fin de impartir conocimientos a la comunidad y desarrollar estrategias de mitigación y adaptación al mismo.

8.6 Modelación de la Oferta Hídrica del Río Cravo Sur en el Municipio de Yopal, Respecto a los Escenarios Futuros de Temperatura y Precipitación por el Cambio Climático: Escenario 1- año 2040, y escenario 2- año 2099

Un modelo hidrológico es una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. El sistema físico generalmente es representado por la cuenca hidrográfica y los componentes del ciclo hidrológico.

Las modelaciones hidrológicas por ecuaciones matemáticas están desarrollando las tareas más importantes en la solución de problemas hidrológicos (UNESCO 1985). Rosenblueth y Wiener (1945), Los modelos matemáticos en su mayoría son muy complejos y todo depende de las variables utilizadas para su análisis, hoy en día respecto al cambio climático los modelos hidrológicos permiten realizar pronósticos del comportamiento del clima, del caudal y la afectación sobre diferentes lugares que estos tendrían.

8.6.1 Software RS-Minerve

Se buscó con expertos hidrólogos el modelo adecuado para proyectar los cambios climáticos en una fuente hídrica, donde se escogió el Software RS- Minerve (Routing System Minerve).

RS-Minerve: es un software para la simulación de escorrentía y de su propagación. Su desarrollo está a cargo del centro de investigación del medio alpino en Suiza (CREALP), conjuntamente con la empresa HydroCosmos SA y con las colaboraciones de la Universidad Politécnica Federal de Lausana (Suiza) y la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). El programa permite modelar redes hidrológicas e hidráulicas complejas de acuerdo con un esquema semi-distribuido conceptual. Además, se pueden añadir a la simulación determinados procesos hidrológicos como el cambio climático.

Se basa en una programación orientada a objetos, permitiendo el modelamiento hidrológico e hidráulico de acuerdo con un esquema conceptual semi-distribuido además de los procesos hidrológicos particulares tales como el deshielo, derretimiento de los glaciares, el flujo superficial y subterránea, los elementos de control hidráulico (por ejemplo, puertas, aliviaderos, desvíos, cruces, turbinas y bombas) también están incluidos.

RS-Minerve tiene diferentes modelos hidrológicos de simulación lluvia- escorrentía como: GSM, SOCONT, SAC-SMA, GR4J o HBV. Contiene otras herramientas útiles donde se destacan el elemento de estación meteorológica en donde se ingresan datos como precipitación, temperatura, evapotranspiración, etc...

Imagen 22. Diferentes modelos hidrológicos del software RS-Minerve. Se muestran los diferentes parámetros de entrada para cada uno.

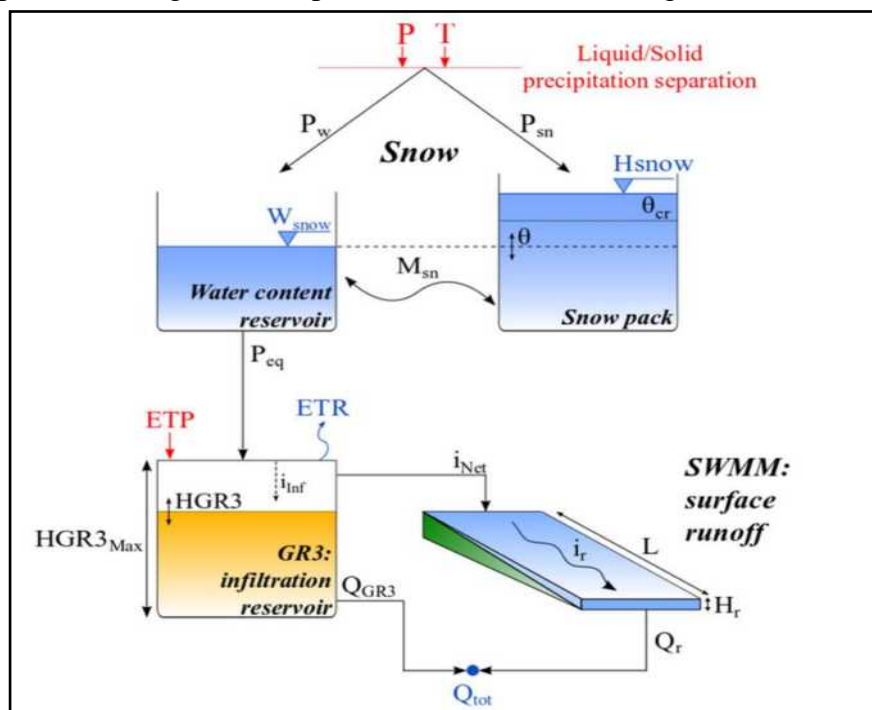
Object	Inputs	Object	Inputs
SWMM	P	GSM	P and T
		SOCONT	P, T, ETP
		HBV	P, T, ETP
		GR4J	P and ETP
		SAC	P and ETP

Fuente: RS-Minerve manual de usuario, versión en inglés 2.15, abril 2020

8.6.2 Modelo SOCONT (Soil Contribution)

El Modelo SOCONT fue desarrollado por Consuegra y Vez (1996), está compuesto por 3 modelos hidrológicos de menor complejidad, el modelo Snow-SD simula la evolución transitoria del manto de nieve (derretimiento y acumulación) en función de la temperatura (T) y la precipitación (P), proporcionando así una precipitación equivalente (Peq) que es utilizada como entrada por el modelo GR3. El modelo GR3 también tiene en cuenta la evapotranspiración potencial (ETP) y proporciona la intensidad neta al modelo SWMM, que finalmente genera la escorrentía superficial.

Figura 11. Representación gráfica del proceso del modelo hidrológico GSM.



Fuente: RS MINERVE manual técnico, versión en inglés 2.25, abril 2020

Se utilizó el modelo SOCONT, este modelo se alimenta con datos de entrada de precipitaciones, temperaturas y/o evapotranspiración, en la investigación no se tienen datos de evapotranspiración, sin embargo ; RS- Minerve da la posibilidad de calcularlo, SOCONT representa Simplicidad, es decir corre con pocos parámetros y variables, pero los resultados evidenciados en otras investigaciones , demuestran precisión en el mismo es decir representar la realidad de forma suficientemente correcta, con el menor número de parámetros, presenta facilidad para el modelador para poder hacer cambios y correcciones.

El Modelo SOCONT no solo tiene capacidad para modelar sistemas hidrológicos complejos en función de la nieve y derretimiento de los glaciares, sino también de estructuras hidráulicas, embalses, consumos de agua, y lo que nos interesa de escorrentía superficial convertidas en caudales, entre muchos otros; todo esto gracias a que la combinación con el software RS-Minerve controla y optimiza esquemas hidráulicos de diferentes grados de complejidad.

8.6.3 Entradas de la Modelación con RS- Minerve

8.6.3.1. Datos Climáticos e Hidrológicos

Como datos de entrada para modelar, se tiene los datos climáticos de precipitaciones y temperaturas de las estaciones, del mismo modo datos de caudales de las estaciones hidrológicas, se tiene los archivos Shapefile de delimitación de la cuenca y cauce principal río Cravo Sur y los parámetros geomorfológicos de la cuenca.

8.6.3.1 Creación del Modelo Hidrológico

Es el proceso donde se utilizan los objetos de RS-Minerve para simular la cuenca natural, las conexiones, el flujo, los ríos, las subcuencas, etc...

La creación de modelo hidrológico se puede realizar de dos formas, manual y automática. Para representar acertadamente la cuenca del río Cravo Sur, se creó el modelo Hidrológico parte en forma automática y parte en forma manual, para esto se usaron las capas o los Shapefile en Qgis, de las sub cuencas, ríos y puntos de confluencias.

Ver Anexo 6. Metodología de Creación Modelo Hidrológico Cuenca Cravo Sur.

8.6.3.1 Modelación

Después de crear el modelo hidrológico con los datos de temperaturas, precipitaciones y caudales de referencia, se realiza la modelación que comprende la realización de diferentes iteraciones con el software Rs- Minerve, la calibración y validación del modelo

hidrológico. El resultado son los datos diarios de caudales y gráficas de caudal o hidrogramas de caudal diarios, modelados para el periodo (1983-2099), para todas las subcuencas y para los diferentes tramos del río Cravo Sur.

Ver Anexo 7. Metodología de Modelación de la Oferta Hídrica del Río Cravo Sur en el Municipio de Yopal

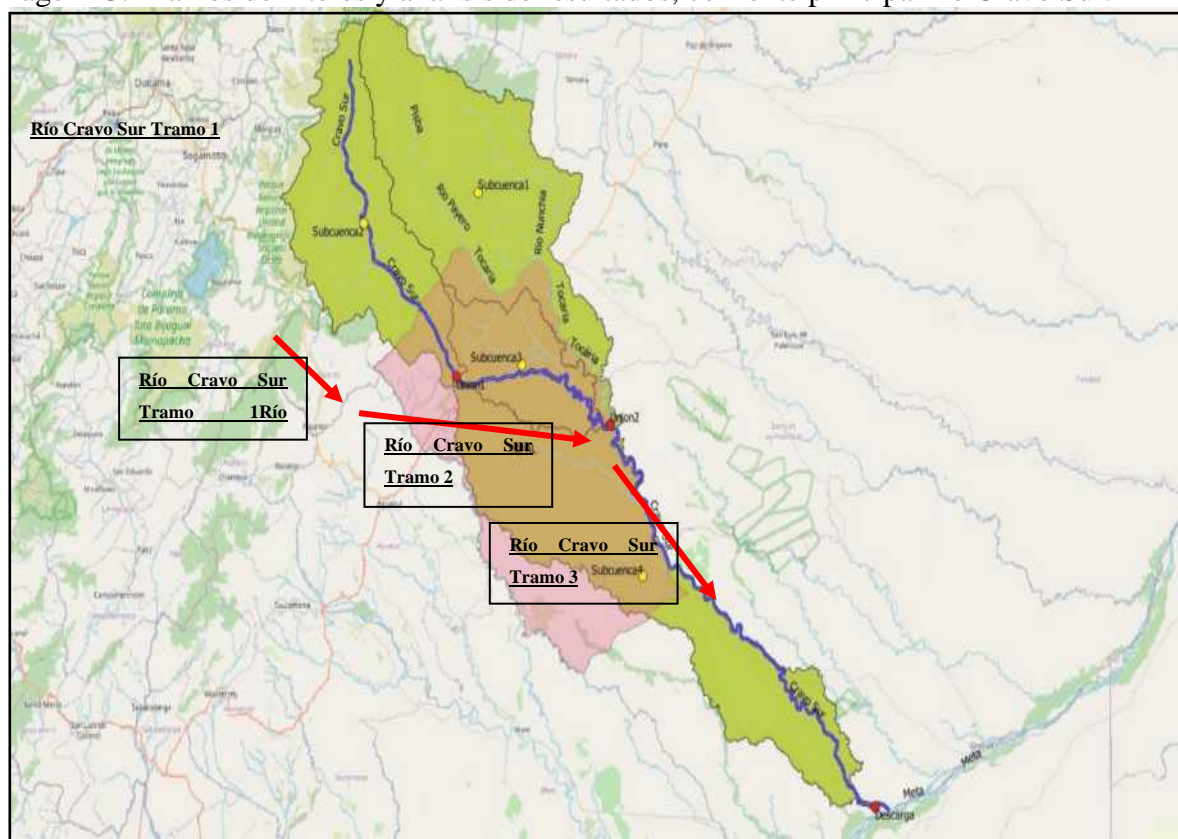
8.6.4 Resultados de la Modelación con RS- Minerve

Se puede realizar el análisis de los resultados de la modelación por cuenca, subcuencas, corriente principal del río Cravo Sur y puntos de interés.

Al ser el municipio de Yopal el área de estudio de la investigación, y parte la cuenca principal, así como de algunas subcuencas están por fuera del municipio o no comprenden área en este; se realizó el análisis de resultados por tramos del río Cravo Sur, ya que el Software RS- Minerve lo permite.

Al ser el municipio de Yopal el área de estudio de la investigación, los tramos de interés o puntos representativos para el municipio de Yopal en el modelo hidrológico, son:

Imagen 23. Tramos de interés y análisis de resultados, corriente principal río Cravo Sur.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

N°1. Río Cravo Sur Parte del Tramo 1: Este tramo comprende el inicio de la división administrativa de Yopal, hasta la unión 1, mide el caudal que llevaría la corriente principal del río Cravo Sur, al llegar a la unión 1, unión que en terreno se ubica antes del inicio del casco urbano de Yopal.

La modelación de este tramo N°1. Comprende el comportamiento del caudal de la corriente principal del río Cravo Sur que pasa por las Veredas: Morro, Guayaquito, La Cabaña, La Colorada, La Guamalera, La Upamena, Brisas del Cravo, La Vega.

Como puntos de interés principal se tiene la captación de agua para el casco urbano, que se realiza por captación lateral del río Cravo Sur en la vereda la Vega.

N° 2. Río Cravo Sur Tramo 2. Este tramo comprende el caudal que llevaría la corriente principal del río Cravo Sur, al llegar a la unión 2.

Como puntos de interés principal está el casco urbano de Yopal y parte de las veredas cercanas a este, como son las Veredas: Guayaque, Sirivana, Palomas, Barbascos, La manga, La Calceta.

N° 3. Río Cravo Sur Parte del Tramo 3: Este tramo advierte el comportamiento de caudal aguas abajo de la unión 2, hasta la terminación de la división político administrativa de Yopal e inicio del municipio de Orocué.

Comprende parte de las Veredas: Tacarimena, El Taladro, San Nicolás, El Tiestal, Rincón del Moriche, San Pascual, El Amparo, Barbillal, Agua Verde, San José de Caño Seco, Quebrada Seca.

Para estos tres tramos se realizó la modelación de acuerdo a la Temperatura, teniendo como diferencias los datos de Temperatura Mínima Diaria y Temperatura Máxima Diaria y los resultados de caudales de los escenarios de emisiones para RCP 4.5 y RCP 8.5; Se obtuvieron 512,808 datos de caudales a través del tiempo, del mismo modo se generaron 12 bases de datos que contienen los 512,808 datos de resultados de caudal modelados, y establecidos de acuerdo a el parámetro de temperatura y del escenario de emisión.

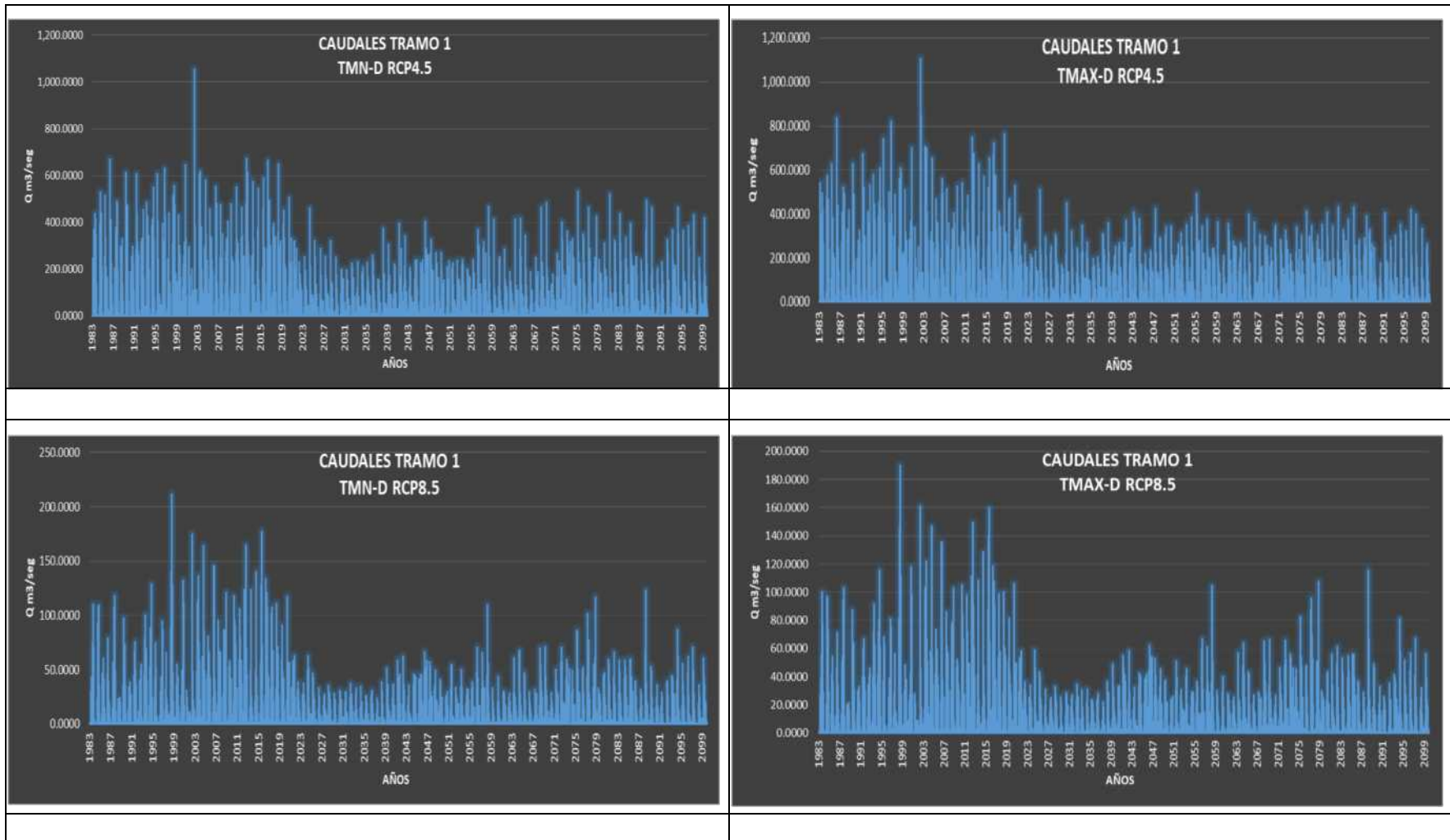
Para cada una de estas bases de datos se generó la gráfica de hidrogramas de caudal referente, las cuales muestran el comportamiento del caudal u oferta hídrica de la corriente principal del río Cravo Sur en los tramos seleccionados, desde el año 1983 hasta el año 2099.

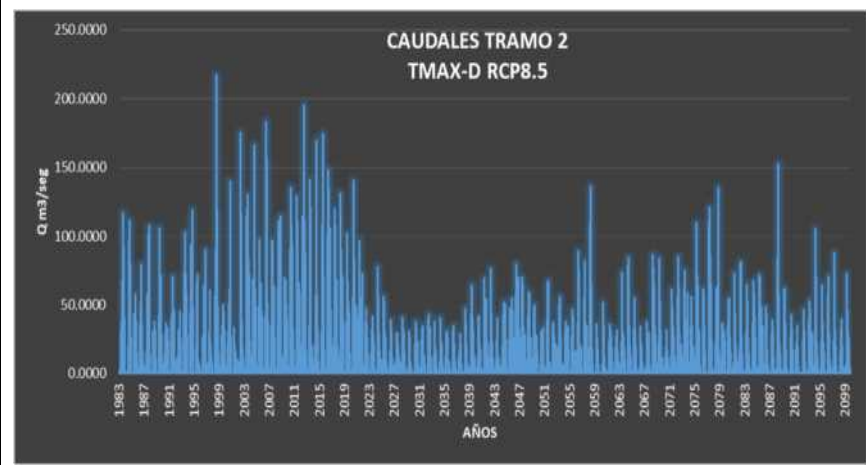
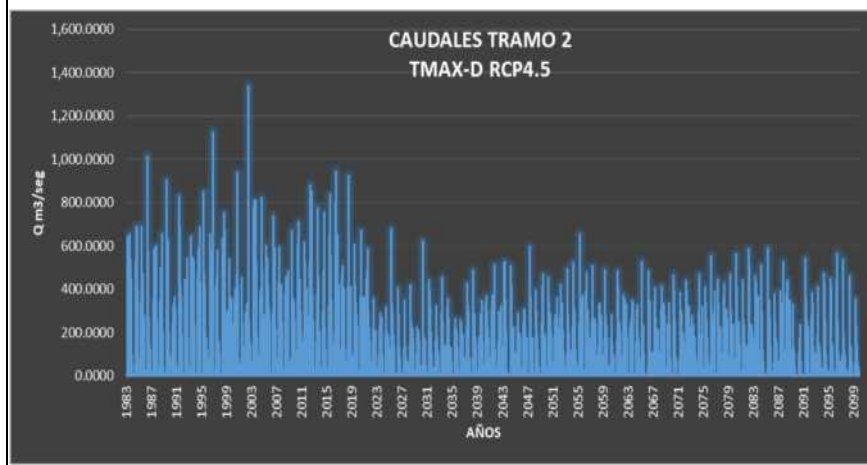
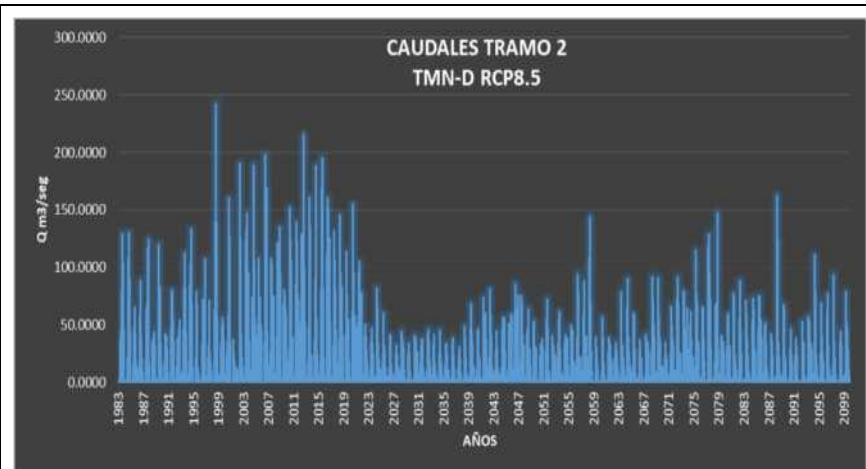
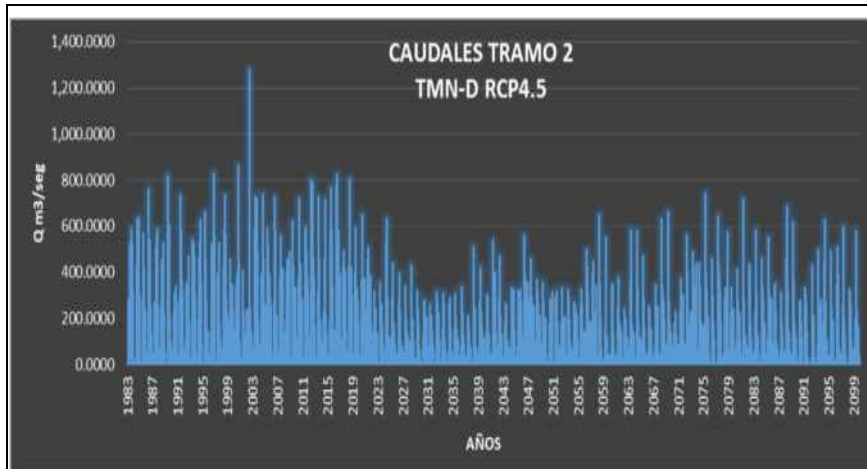
Tabla 13. Resultados de Modelación de la oferta hídrica del río Cravo Sur en el municipio de Yopal, Periodo 01/01/1983 - 31/12/2099. Se muestran los caudales promedios, máximos y mínimos, de acuerdo a la temperatura y el escenario de emisiones de CO₂.

Resultados de Modelación de la oferta hídrica del río Cravo Sur en el municipio de Yopal						
Periodo 01/01/1983 - 31/12/2099						
Tramos del Río Cravo Sur	Parametro	Escenarios de emisiones de CO₂	Cantidad de Datos de Caudal Obtenidos	Caudal = Q M3/Seg		
				Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
TRAMO 1	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D	RPC4.5	42,734	48.96	0.00	1056.26
		RPC8.5	42,734	8.64	0.00	211.12
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D	RPC4.5	42,734	51.14	0.00	1106.29
		RPC8.5	42,734	7.92	0.00	190.17
TRAMO 2	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D	RPC4.5	42,734	68.19	0.00	1278.88
		RPC8.5	42,734	11.98	0.00	242.23
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D	RPC4.5	42,734	70.96	0.00	1338.49
		RPC8.5	42,734	10.94	0.00	217.08
TRAMO 3	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D	RPC4.5	42,734	203.89	0.00	3391.60
		RPC8.5	42,734	36.35	0.00	683.73
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D	RPC4.5	42,734	210.19	0.00	3735.90
		RPC8.5	42,734	32.93	0.00	606.95
Total de datos de caudal obtenidos			512,808			

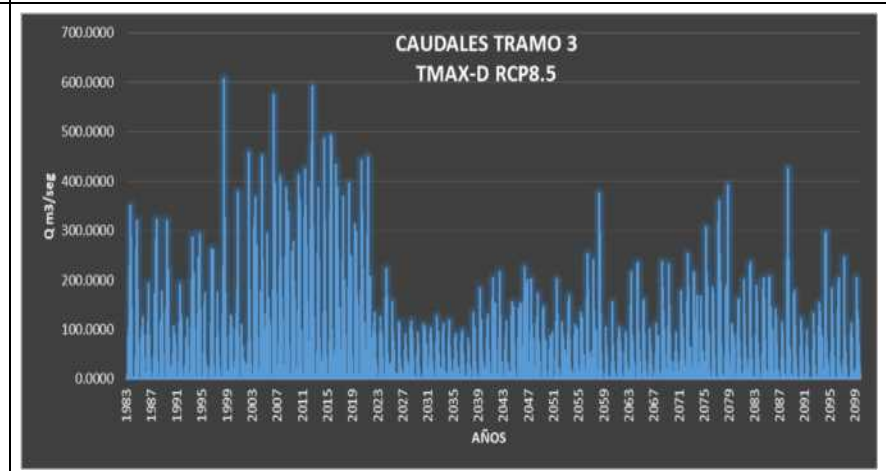
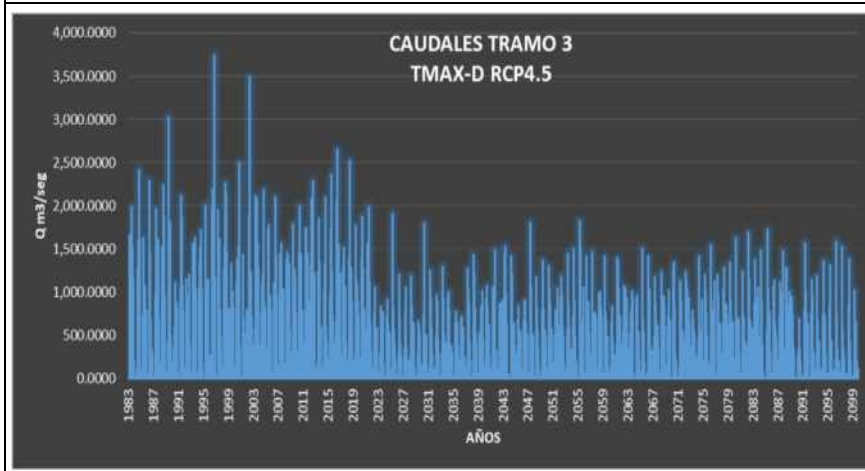
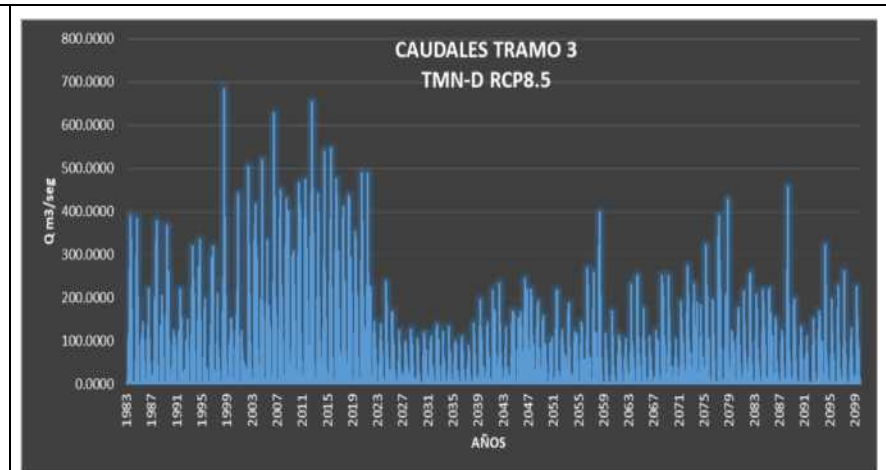
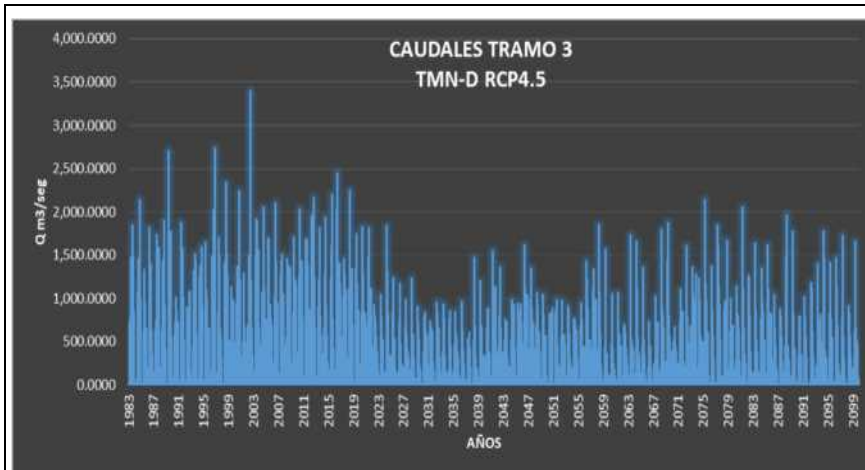
Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Figura 12. Resultados de Modelación de Caudales (m^3/seg), por tramos seleccionados del río Cravo Sur, de acuerdo a Temperatura Mínima Diaria y Temperatura Máxima Diaria y escenarios de emisiones para RCP 4.5 y RCP 8.5, periodo comprendido del 01/01/1983 hasta 31/12/2099.





Fuente: Becerra V., M. A., 2022



El resultado son los datos diarios de caudales y gráficas de caudal o hidrogramas de caudal diarios, modelados para el periodo (1983-2099), para todas las subcuencas y para los diferentes tramos del río Cravo Sur.

8.7 Análisis de Resultados de Modelación

Para el análisis de los diferentes escenarios de emisiones para RCP 4.5 y RCP 8.5; Se tienen los resultados de caudales de acuerdo a las temperaturas TMN-D, TMAX-D, para el manejo adecuado se enfrentaron los caudales de las temperaturas, por medio de tablas dinámicas se promediaron los caudales y se obtuvo un caudal medio diario en cada tramo y por los escenarios de emisiones.

8.7.1 Análisis de resultados de la Modelación al Año 2040

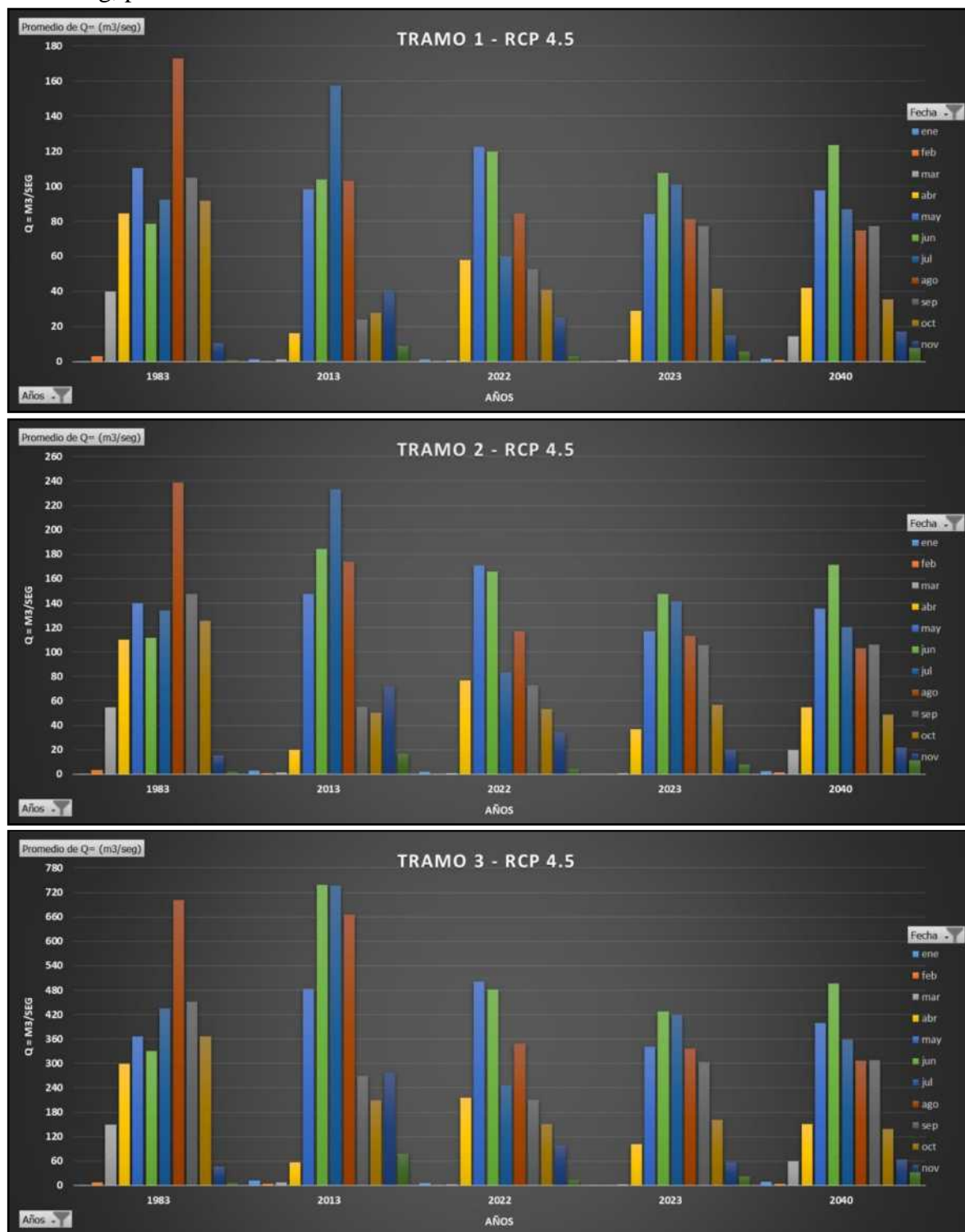
Se realizaron dos tipos de gráficas, la primera es la gráfica de caudal promedio mensual multianual que empieza desde 01/01/1983 hasta 31/12/2040, y la segunda el análisis del comportamiento mensual en el año 2040. Es necesario concebir que los datos de caudales desde el año 1983 al 2022, muestran el comportamiento real en años ya pasados y que fueron los reportados por las estaciones hidrométricas de caudal, insumo de la modelación o proyecciones de años futuros.

8.7.1.1 RCP 4.5 - Año 2040

A continuación, se muestran los resultados del comportamiento de los caudales en m^3/seg día, por tramos de la oferta hídrica río Cravo Sur.

El comportamiento a través de los años del caudal en los diferentes tramos del río Cravo Sur dado por las estaciones de caudal (1983-2022), muestra en los primeros años, picos máximos de caudal con promedios cercanos Tramo 1 100-180 m^3/seg día, Tramo 2 140-240 m^3/seg día, y Tramo 3 400-680 m^3/seg día, en los meses de altas precipitaciones de abril - agosto, y bajos caudales cercanos a 0-1 m^3/seg día en los meses de bajas precipitaciones de septiembre - marzo; este comportamiento se considera normal y está en concordancia a la clasificación monomodal de las precipitaciones que se presentan en la cuenca del río Cravo Sur.

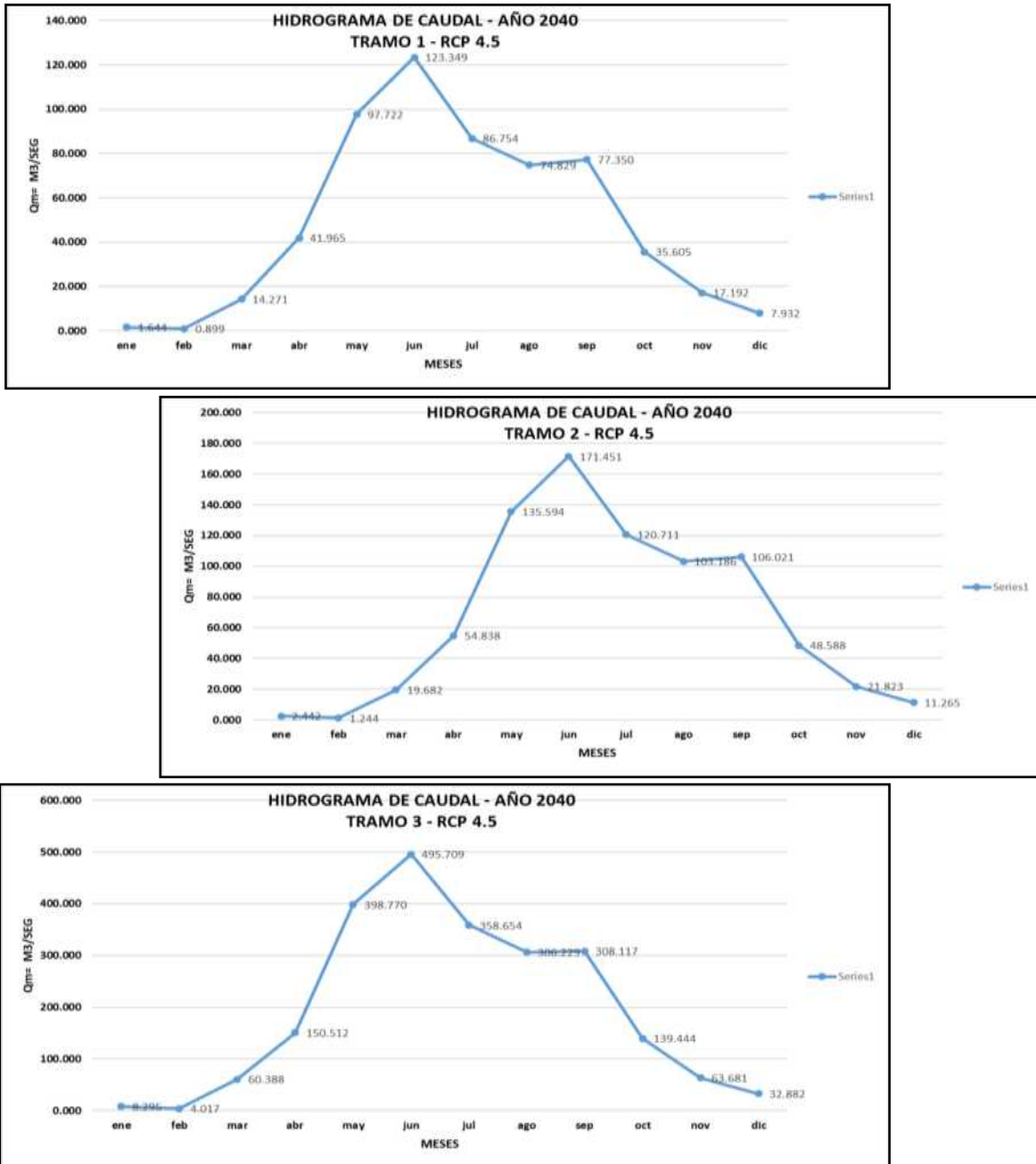
Figura 13. Gráficas de barras, comportamiento multianual de los Caudales Medios Diarios en m³/seg, por tramos de la oferta hídrica río Cravo Sur. Periodo 1983- 2040-RCP4.5.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Después del año 2022 se muestra el comportamiento de las proyecciones de caudales modelados, donde se pueden esperar caudales medios diarios en meses de bajas precipitaciones cercanos a cero y donde se evidencia una disminución moderada de los picos de caudal en meses de altas precipitaciones, sin embargo, la tendencia a la baja de los caudales se mantiene en el tiempo; esto se puede observar al comparar la descendencia de las barras a través del tiempo.

Figura 14. Hidrogramas de la oferta hídrica, por tramos río Cravo Sur. Para el año 2040-RCP4.5.



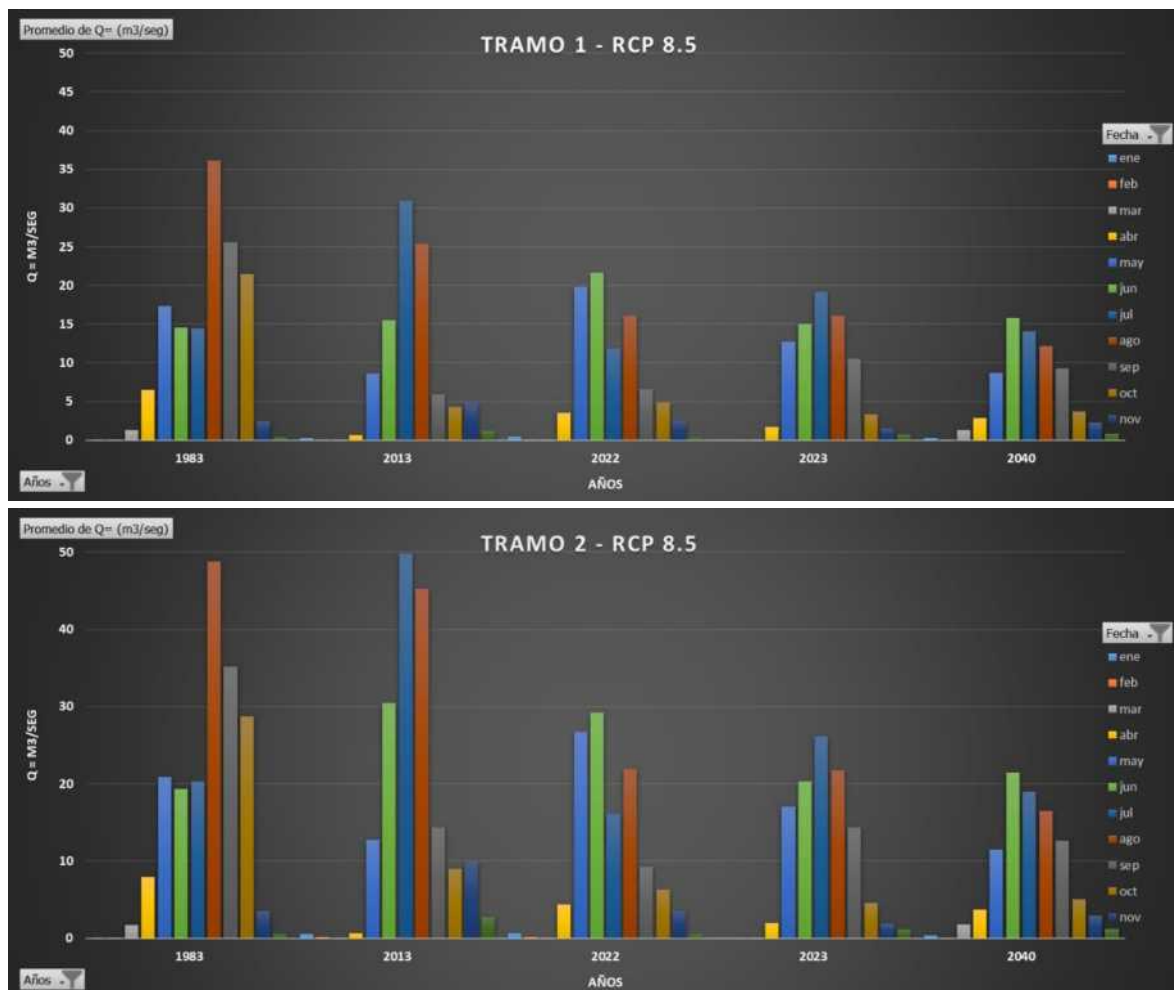
Fuente: Becerra V., M. A., 2022

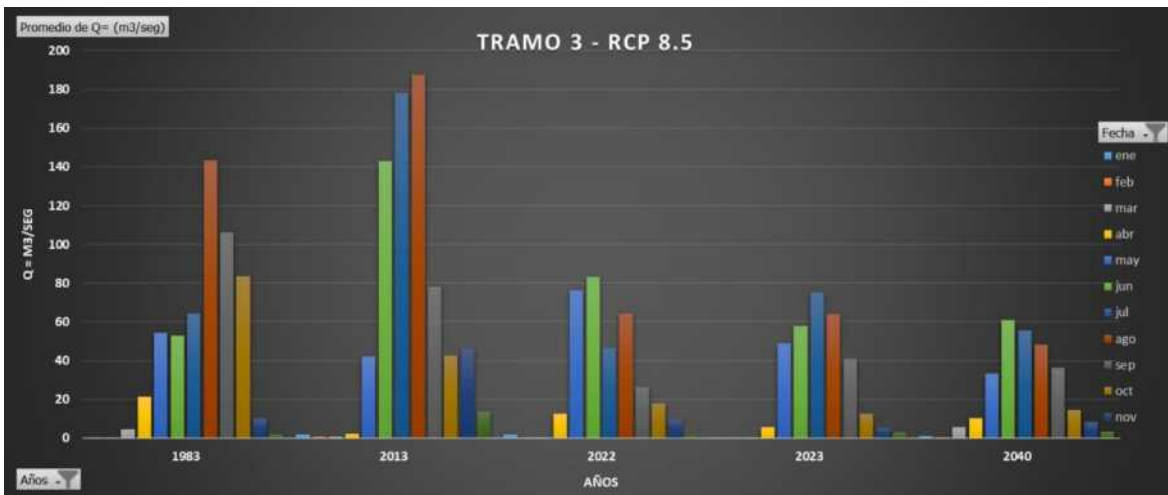
En los hidrogramas del año 2040, para los diferentes tramos del río Cravo Sur se esperan comportamientos similares, altos caudales o picos en meses de lluvia y bajos caudales en los meses secos, es de anotar la similitud gráfica de los tres tramos, sin embargo, es de anotar que a medida que avanzan los tramos, el caudal aumenta, ya que el tramo ubicado aguas debajo del flujo de agua, recibe el caudal acumulado del tramo anterior más el caudal de su misma subcuenca con los afluentes de estas. Tanto así que el tramo 3 por ser el último y la desembocadura de la corriente principal del río Cravo Sur es el tramo que más caudal tendría.

Los picos más altos de caudal son en el mes de junio con promedios al día de: tramo 1 de 123.349 m³/seg, tramo 2 con 171.451 m³/seg, tramo 3 495.709 m³/seg; y los caudales más bajos se presentan en el mes de febrero con promedios al día de: tramo 1 de 0.899 m³/seg, tramo 2 con 1.244 m³/seg, tramo 3 4.017 m³/seg.

8.7.1.2 RCP 8.5 - Año 2040

Figura 16. Gráficas de barras, comportamiento multianual de los Caudales Medios Diarios en m³/seg, por tramos de la oferta hídrica río Cravo Sur. Periodo 1983- 2040-RCP8.5.

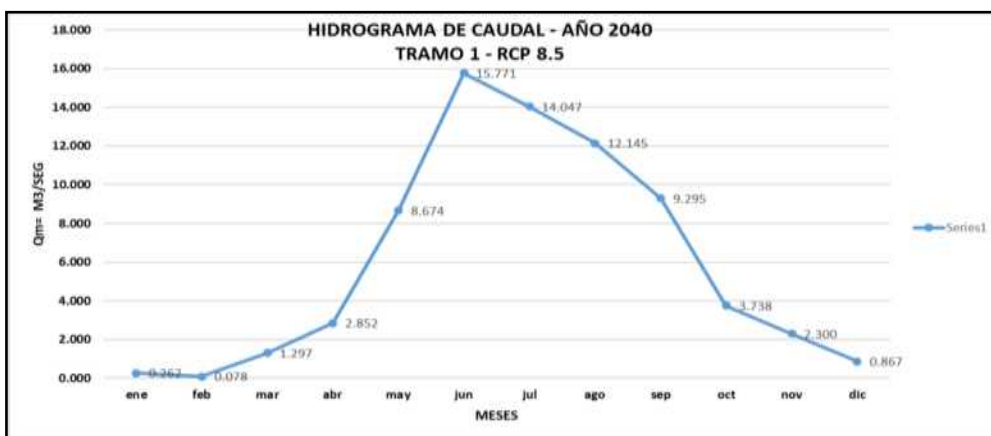


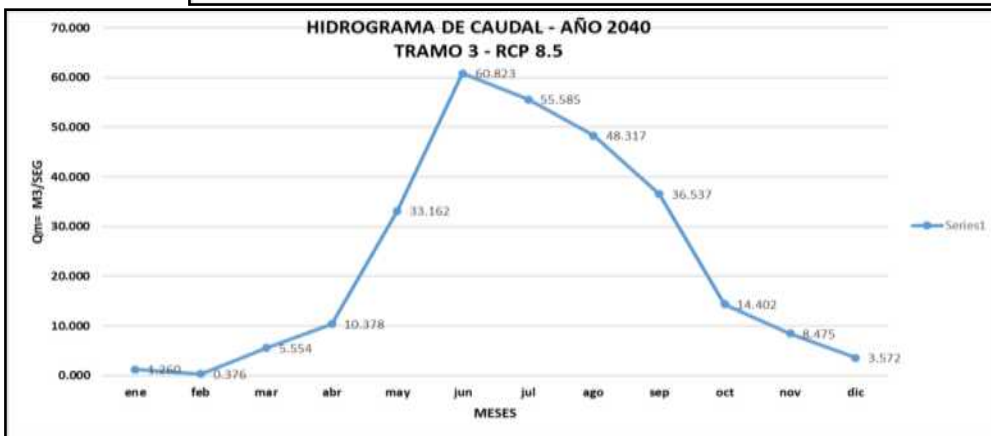
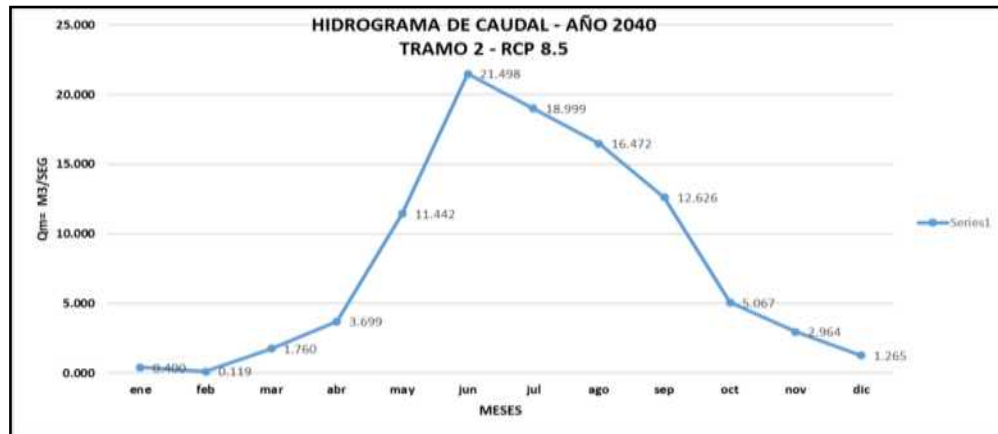


Fuente: Becerra V., M. A., 2022

El comportamiento de los años (1983-2022), muestra el comportamiento de los caudales de las estaciones medidas en campo, las gráficas muestran en los primeros años, picos máximos de caudal con promedios cercanos Tramo 1 20-35 m³/seg día, Tramo 2 40-50 m³/seg día, y Tramo 3 140-190 m³/seg día, en los meses de altas precipitaciones de abril - agosto, y bajos caudales cercanos a 0-1 m³/seg día en los meses de bajas precipitaciones de septiembre - marzo; después de los año 2022 se evidencia una disminución extrema comparados con 50-70 años atrás en 1983, los picos de caudal en meses de altas precipitaciones bajan entre un 30-50% en cada tramo, esta tendencia a la baja de los caudales se mantiene en el tiempo; estos se puede observar al comparar en la descendencia de las barras a través del tiempo.

Figura 17. Hidrogramas de la oferta hídrica, por tramos hídrica río Cravo Sur. Para el año 2040- RCP8.5.





Fuente: Becerra V., M. A., 2022

En los hidrogramas del año 2040 muestran que los tramos van aumentando de caudal, el tramo 1 tiene caudales menores a los tramos 2 y 3, el dos es mayor que el 1 y el 3 mayor que el 2, por lo tanto el caudal aguas abajo del flujo de agua, el comportamiento general en los tres tramos son iguales, en los meses de Diciembre, enero y febrero son los más bajos de caudal, después en marzo empieza a subir el caudal rápidamente hasta el pico máximo que sucederá en el mes de junio, después de junio empieza a descender el caudal hasta diciembre.

Los picos más altos de caudal son en el mes de junio con promedios al día de: tramo 1 de $15.771.349 \text{ m}^3/\text{seg}$, tramo 2 con $21.498 \text{ m}^3/\text{seg}$, tramo 3 con $60.823 \text{ m}^3/\text{seg}$; y los caudales más bajos se presentan en el mes de febrero con promedios menores de $1 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Al comparar los dos escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, es evidente la disminución de caudal en el RCP 8.5 esto todo porque se proyecta un cambio climático más agresivo en este escenario; el tramo 1 en los dos escenarios se prevé un impacto a la oferta hídrica del río Cravo Sur por el cambio climático, ya que se proyectan caudales al 2040 menores de $1 \text{ m}^3/\text{seg}$ en el mes de febrero, lo cual afectaría a la comunidad al no suplir la demanda de las concesiones de aguas otorgadas por corporinoquia y la demanda natural de la fuente hídrica.

8.7.1.3 Oferta VS Demanda Hídrica e Índice de escasez- Año 2040

Se procede a realizar análisis de la oferta Vs la demanda de caudal, en el año 2040, para los diferentes tramos del río Cravo Sur y en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5; para esto tenemos en cuenta los valores anteriormente establecidos de Demanda Hídrica, así como los resultados de la modelación de caudales año 2040, que tendrán que ser afectados por lo establecido en la Resolución 865 de 2004 en cuanto a Caudal de Seguridad, caudal ecológico.

Aunque es racional que la demanda hídrica aumenta al pasar los años y al aumentar la población y las actividades, en este ejercicio dejaremos la Demanda fija con el fin de establecer en qué meses del año esta demanda no se podría suplir por la oferta. La Demanda previamente calculada fue de **8.86 m³/seg**, que corresponde al caudal concesionado por Corporinoquia año 2022 sobre la corriente principal del río Cravo Sur.

- Tramo 1

Tabla 14. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 1 – RCP 4.5 y 8.5, año 2040.

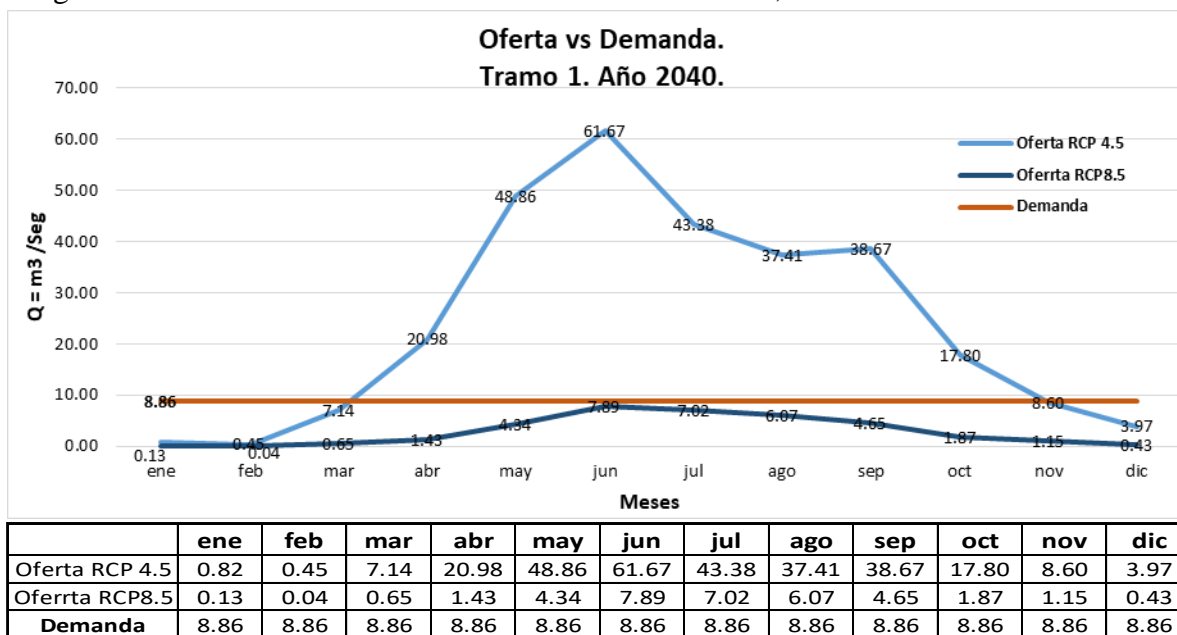
Se tiene resultado de Oferta Neta, Índice de Escasez hídrica, Caudal faltante, caudal sobrante y análisis si se puede otorgar concesión por parte de la autoridad ambiental.

Tramo 1 -RCP 4.5										
Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reduccion por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reduccion por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	indice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesion por Corporinoquia
enero	1.64	0.41	0.41	0.82	8.86	538.80		0.00	8.04	No
febrero	0.90	0.22	0.22	0.45	8.86	985.20		0.00	8.41	No
marzo	14.27	3.57	3.57	7.14	8.86	62.08		0.00	1.72	No
abril	41.97	10.49	10.49	20.98	8.86	21.11		12.12		Análisis
mayo	97.72	24.43	24.43	48.86	8.86	9.07		40.00		Si
junio	123.35	30.84	30.84	61.67	8.86	7.18		52.81		Si
julio	86.75	21.69	21.69	43.38	8.86	10.21		34.52		Si
agosto	74.83	18.71	18.71	37.41	8.86	11.84		28.55		Si
septiembre	77.35	19.34	19.34	38.67	8.86	11.45		29.81		Si
octubre	35.61	8.90	8.90	17.80	8.86	24.88		8.94		Análisis
noviembre	17.19	4.30	4.30	8.60	8.86	51.54		0.00	0.26	No
diciembre	7.93	1.98	1.98	3.97	8.86	111.70		0.00	4.89	No

Tramo 1 -RCP 8.5										
Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reduccion por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reduccion por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	indice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesion por Corporinoquia
enero	0.26	0.07	0.07	0.13	8.86	3377.85		0.00	8.73	No
febrero	0.08	0.02	0.02	0.04	8.86	11317.80		0.00	8.82	No
marzo	1.30	0.32	0.32	0.65	8.86	683.06		0.00	8.21	No
abril	2.85	0.71	0.71	1.43	8.86	310.70		0.00	7.43	No
mayo	8.67	2.17	2.17	4.34	8.86	102.15		0.00	4.52	No
junio	15.77	3.94	3.94	7.89	8.86	56.18		0.00	0.97	No
julio	14.05	3.51	3.51	7.02	8.86	63.07		0.00	1.84	No
agosto	12.14	3.04	3.04	6.07	8.86	72.95		0.00	2.79	No
septiembre	9.30	2.32	2.32	4.65	8.86	95.32		0.00	4.21	No
octubre	3.74	0.93	0.93	1.87	8.86	237.05		0.00	6.99	No
noviembre	2.30	0.57	0.57	1.15	8.86	385.28		0.00	7.71	No
diciembre	0.87	0.22	0.22	0.43	8.86	1021.54		0.00	8.43	No

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Imagen 24. Grafica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 1, Año 2040.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Tramo 1- Escenario RCP 4.5 para el año 2040: El caudal de oferta para los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, tendría caudales menores que la oferta actual de 8.86 m³/seg, razón por la cual en estos meses se presentan escasez de agua y se tendría por parte de Corporinoquia que restringir el uso del recurso hídrico para los diferentes usos concesionados, con el fin de evitar afectaciones socio ambientales; del mismo modo el caudal de oferta neta más pequeño que se espera es de 0.45 m³/seg en el mes de febrero, el cual tiene que tener especial vigilancia y manejo por parte de la corporación para evitar que pueda poner en riesgo el caudal ecológico de la fuente o quedarse sin lámina de agua en el tramo 1.

En el mes de abril se proyecta un caudal promedio de 20.98 m³/seg, desde este mes, se espera un aumento mantenido del caudal hasta llegar al mes de junio con un pico máximo de caudal 61.67 m³/seg, después en estos meses el caudal de oferta es superado con creces y en los cuales se tienen caudales sobrantes, se podría administrar este recurso para diferentes usos y próximas concesiones, en estos meses no se esperan impactos negativos.

Tramo 1- Escenario RCP 8.5 para el año 2040: Este escenario crítico, se proyecta caudales que no alcanzan a superar la oferta hídrica y donde en todos los meses se tendría escasez hídrica, por lo tanto, la corporación autónoma de la Orinoquia Corporinoquia, las entidades locales, y la comunidad en general, tendrían que restringir algunas concesiones actuales, no otorgar concesiones nuevas e implementar urgentemente acciones de mitigación y adaptación al cambio climático para el municipio de Yopal a partir de que los cambios esperados en la oferta hídrica son muy fuertes, a tal punto que en enero, febrero, marzo y diciembre los caudales disminuyen a menos de 1 m³/seg, situación de alerta por posibles impactos socio ambientales.

• **Tramo 2**

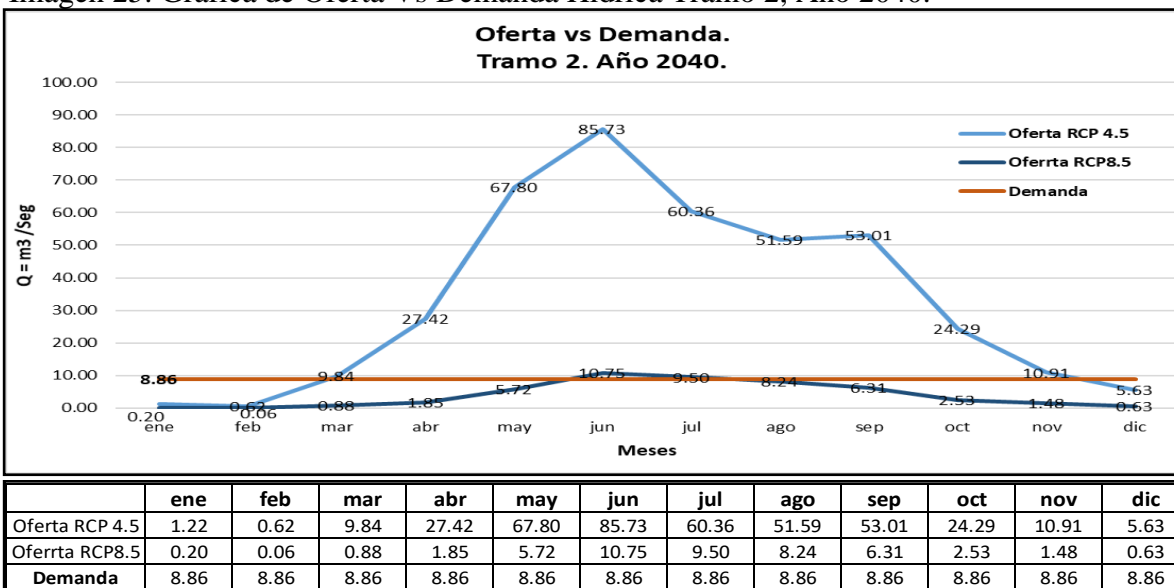
Tabla 15. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 2 – RCP 4.5 y 8.5, año 2040.

Tramo 2 -RCP 4.5 Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reduccion por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reduccion por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	indice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesion por Corporinoquia
enero	2.44	0.61	0.61	1.22	8.86	362.87		0.00	7.64	No
febrero	1.24	0.31	0.31	0.62	8.86	712.20		0.00	8.24	No
marzo	19.68	4.92	4.92	9.84	8.86	45.01		0.98		No
abril	54.84	13.71	13.71	27.42	8.86	16.16		18.56		Si
mayo	135.59	33.90	33.90	67.80	8.86	6.53		58.94		Si
junio	171.45	42.86	42.86	85.73	8.86	5.17		76.87		Si
julio	120.71	30.18	30.18	60.36	8.86	7.34		51.50		Si
agosto	103.19	25.80	25.80	51.59	8.86	8.59		42.73		Si
septiembre	106.02	26.51	26.51	53.01	8.86	8.36		44.15		Si
octubre	48.59	12.15	12.15	24.29	8.86	18.23		15.43		Si
noviembre	21.82	5.46	5.46	10.91	8.86	40.60		2.05		Analisis
diciembre	11.26	2.82	2.82	5.63	8.86	78.65		0.00	3.23	No

Tramo 2 -RCP 8.5 Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reduccion por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reduccion por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	indice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesion por Corporinoquia
enero	0.40	0.10	0.10	0.20	8.86	2213.60		0.00	8.66	No
febrero	0.12	0.03	0.03	0.06	8.86	7446.19		0.00	8.80	No
marzo	1.76	0.44	0.44	0.88	8.86	503.47		0.00	7.98	No
abril	3.70	0.92	0.92	1.85	8.86	239.55		0.00	7.01	No
mayo	11.44	2.86	2.86	5.72	8.86	77.44		0.00	3.14	No
junio	21.50	5.37	5.37	10.75	8.86	41.21		1.89		Analisis
julio	19.00	4.75	4.75	9.50	8.86	46.63		0.64		Analisis
agosto	16.47	4.12	4.12	8.24	8.86	53.79		0.00	0.62	No
septiembre	12.63	3.16	3.16	6.31	8.86	70.17		0.00	2.55	No
octubre	5.07	1.27	1.27	2.53	8.86	174.84		0.00	6.33	No
noviembre	2.96	0.74	0.74	1.48	8.86	298.92		0.00	7.38	No
diciembre	1.26	0.32	0.32	0.63	8.86	700.60		0.00	8.23	No

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Imagen 25. Grafica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 2, Año 2040.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Tramo 2- Escenario RCP 4.5 para el año 2040: Para el tramo 2 se tiene que, en los meses de enero, febrero y diciembre, el caudal e oferta de la corriente principal no alcanza a suplir la demanda, razón por la cual se tiene una escasez que se considera grande donde no existe caudal de sobra para poder seguir otorgando concesiones, el mes de noviembre es de análisis por cuanto el caudal de sobra es aún bajo y se pondría en riesgo los caudales de seguridad y ecológico si se llegase a concesionar.

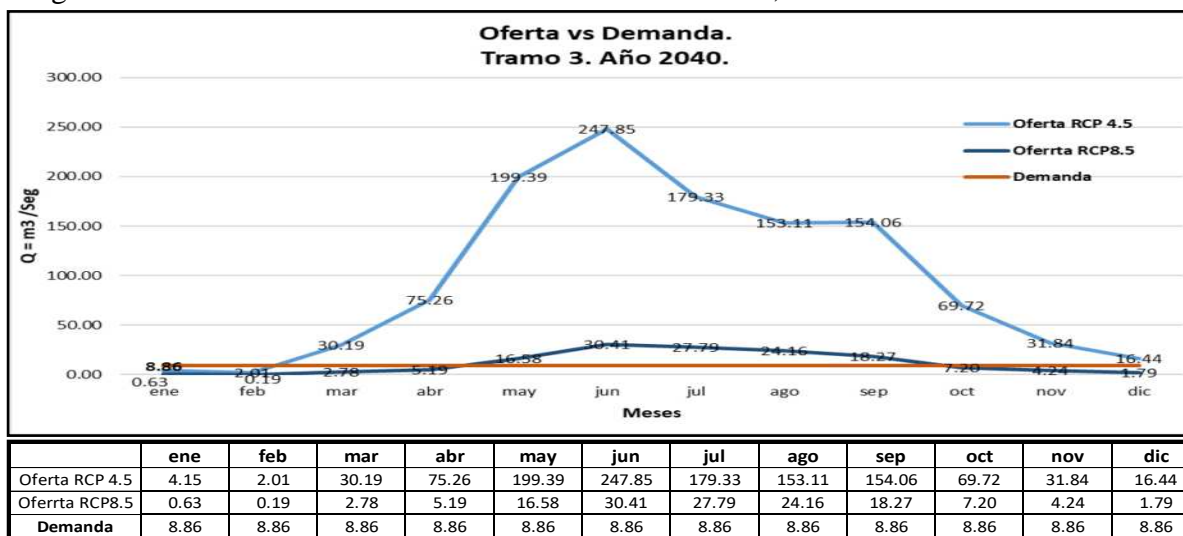
Los meses de abril y octubre se espera que aumente el caudal de oferta, y después de superar los caudales de seguridad y demanda, tendrían unos caudales de sobra superiores a 13 m³/seg, teniendo en cuenta futuras concesiones estas se podrían realizar siempre y cuando no superen este caudal de sobra. Para los meses de mayo a septiembre con pico máximo de oferta en el mes de junio, el caudal ofertado por la corriente principal río Cravo Sur son grandes y después de afectarse por el caudal de seguridad y ecológico sobran caudales considerados, estos meses son los adecuados para permitir concesionar la fuente hídrica o permitir una gran presión de la demanda hídrica.

Tramo 2 Escenario RCP 4.5 para el año 2040: en este escenario crítico de RCP 8.5 se espera que en 10 meses del año se presente escasez hídrica, por lo tanto, es un llamado de atención a las autoridades pertinentes, para que se creen y se implementen urgentemente acciones de mitigación y adaptación al cambio climático para el municipio de Yopal a partir de que los cambios esperados y así evitar fuertes afectaciones socio-ambientales.

En este escenario el mes más crítico es el mes de febrero, donde se tendría que restringir o no permitir el uso del agua ya que se podría ver impactado la supervivencia del ecosistema de la fuente hídrica, esto debido a que la oferta hídrica es tan baja que no alcanza ni a suplir la demanda del año 2022, trazada en 8.86 m³/seg.

- **Tramo 3**

Imagen 26. Gráfica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 3, Año 2040



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Tabla 16. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 3 – RCP 4.5 y 8.5, año 2040.

Tramo 3 -RCP 4.5										
Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reducción por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reducción por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	índice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesión por Corporinoquia
enero	8.29	2.07	2.07	4.15	8.86	106.82		0.00	4.71	No
febrero	4.02	1.00	1.00	2.01	8.86	220.56		0.00	6.85	No
marzo	60.39	15.10	15.10	30.19	8.86	14.67		21.33		Si
abril	150.51	37.63	37.63	75.26	8.86	5.89		66.40		Si
mayo	398.77	99.69	99.69	199.39	8.86	2.22		190.53		Si
junio	495.71	123.93	123.93	247.85	8.86	1.79		238.99		Si
julio	358.65	89.66	89.66	179.33	8.86	2.47		170.47		Si
agosto	306.23	76.56	76.56	153.11	8.86	2.89		144.25		Si
septiembre	308.12	77.03	77.03	154.06	8.86	2.88		145.20		Si
octubre	139.44	34.86	34.86	69.72	8.86	6.35		60.86		Si
noviembre	63.68	15.92	15.92	31.84	8.86	13.91		22.98		Si
diciembre	32.88	8.22	8.22	16.44	8.86	26.94		7.58		Analisis

Tramo 3 -RCP 8.5										
Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reducción por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reducción por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	índice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesión por Corporinoquia
enero	1.26	0.31	0.31	0.63	8.86	703.27		0.00	8.23	No
febrero	0.38	0.09	0.09	0.19	8.86	2358.98		0.00	8.67	No
marzo	5.55	1.39	1.39	2.78	8.86	159.52		0.00	6.08	No
abril	10.38	2.59	2.59	5.19	8.86	85.37		0.00	3.67	No
mayo	33.16	8.29	8.29	16.58	8.86	26.72		7.72		Analisis
junio	60.82	15.21	15.21	30.41	8.86	14.57		21.55		Si
julio	55.58	13.90	13.90	27.79	8.86	15.94		18.93		Si
agosto	48.32	12.08	12.08	24.16	8.86	18.34		15.30		Si
septiembre	36.54	9.13	9.13	18.27	8.86	24.25		9.41		Analisis
octubre	14.40	3.60	3.60	7.20	8.86	61.52		0.00	1.66	No
noviembre	8.48	2.12	2.12	4.24	8.86	104.54		0.00	4.62	No
diciembre	3.57	0.89	0.89	1.79	8.86	248.04		0.00	7.07	No

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Tramo 3- Escenario RCP 4.5 para el año 2040: Para los meses de abril a octubre, se esperan caudales altos de oferta hídrica incluso que, en el mes de junio, se esperan sobrantes de más de 200 m³/seg, por lo tanto, son los meses adecuados para otorgar concesiones y captaciones del recurso.

Los meses de noviembre, diciembre y marzo tienen un índice de escasez bajo, sin embargo, los caudales sobrantes esperados son también bajos lo cual se considera en riesgo en entrar en escasez si se concede mucho, se considera pertinente que la corporación realice análisis especial en estos meses con el fin de que se evalúe la pertinencia de restringir el uso, o sus límites.

Tramo 3- Escenario RCP 8.5 para el año 2040: Los meses de julio, agosto y septiembre la oferta supera la demanda establecida y la afectación por el caudal de seguridad y ecológico, sin embargo, si se llegase a presentar este escenario 8.5, se tendría una situación crítica ya que en 7 meses del año se tendría escasez hídrica, es decir la oferta sería tan poca que no alcanza para suplir la demanda del 2022.

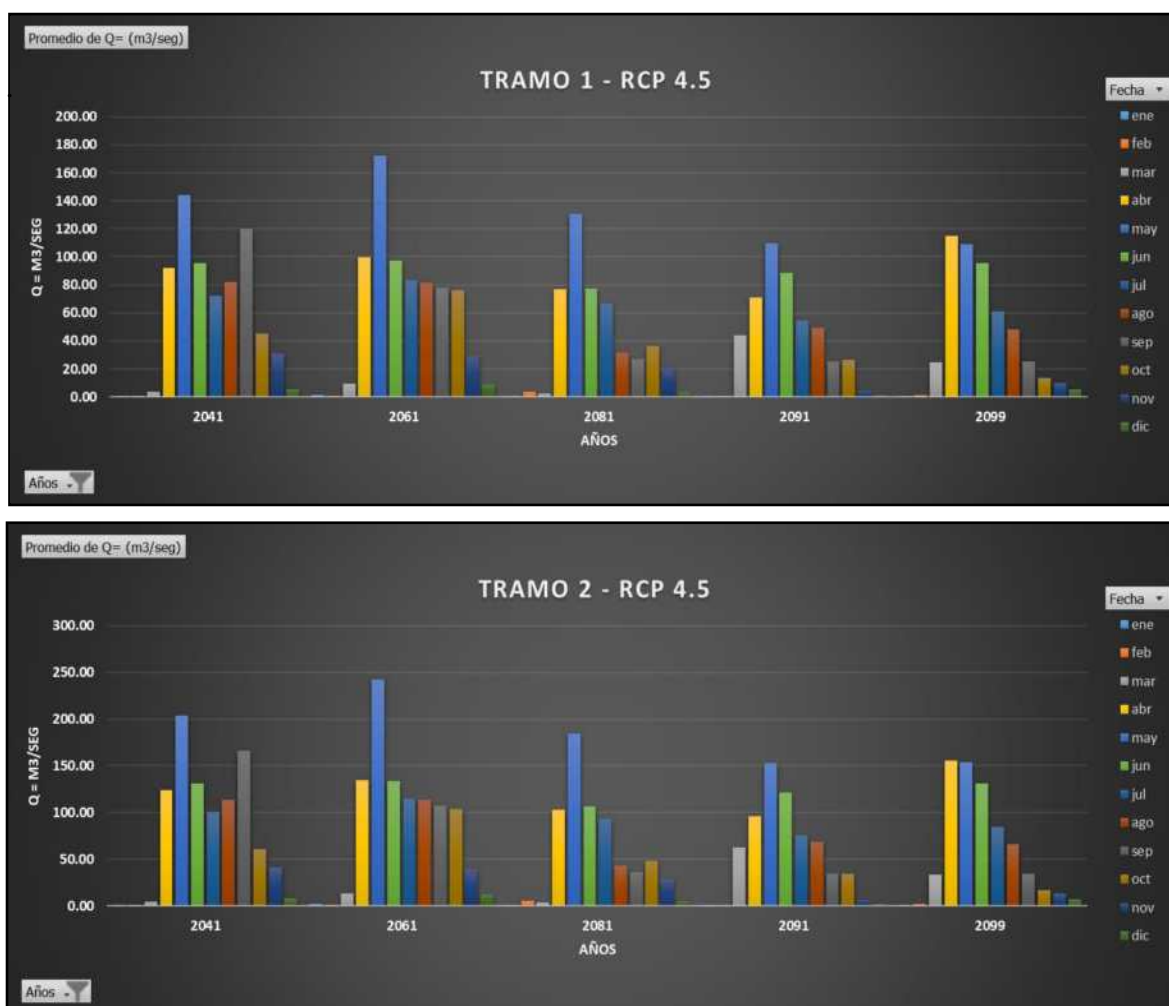
8.7.2 Análisis de resultados de la Modelación al Año 2099

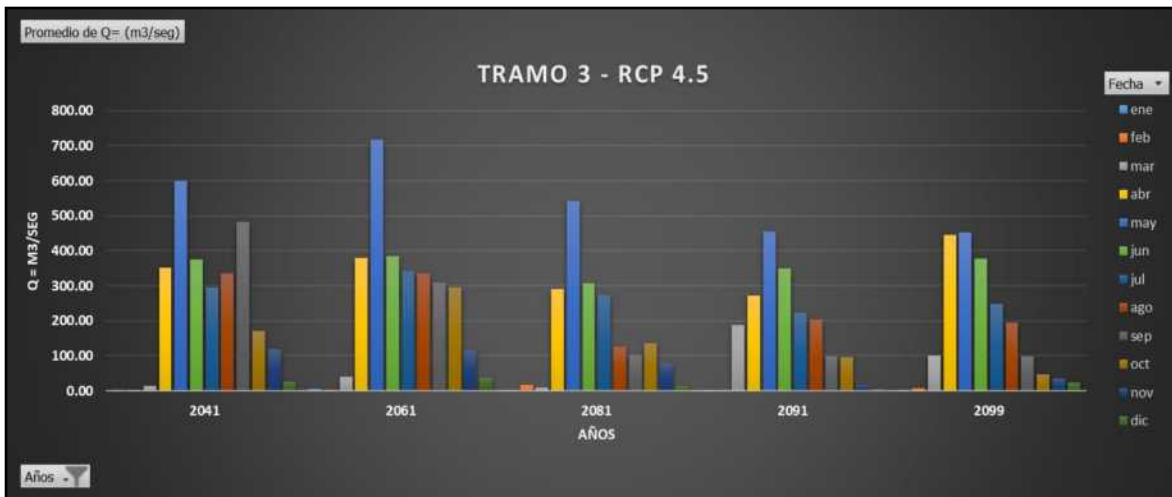
Como se realizó el análisis para el año 2040, se realizará también el análisis para el año esperado de oferta vs demanda para el 2099, en los diferentes escenarios.

Es necesario especificar que el año 2099 se toma como año finalización del siglo 20 e inicio del siglo 21, y que este se considera como límite mundial de las proyecciones o modelaciones con los escenarios de cambio climático que se tiene hasta el momento, razón por la cual no se podría ir más años lejos en las modelaciones actuales, límite del modelo de cambio climático.

8.7.2.1 RCP 4.5 - Año 2099

Figura 18. Gráficas de barras, comportamiento multianual de los Caudales Medios Diarios en m^3/seg , por tramos de la oferta hídrica río Cravo Sur. Periodo 2041- 2099-RCP4.5.

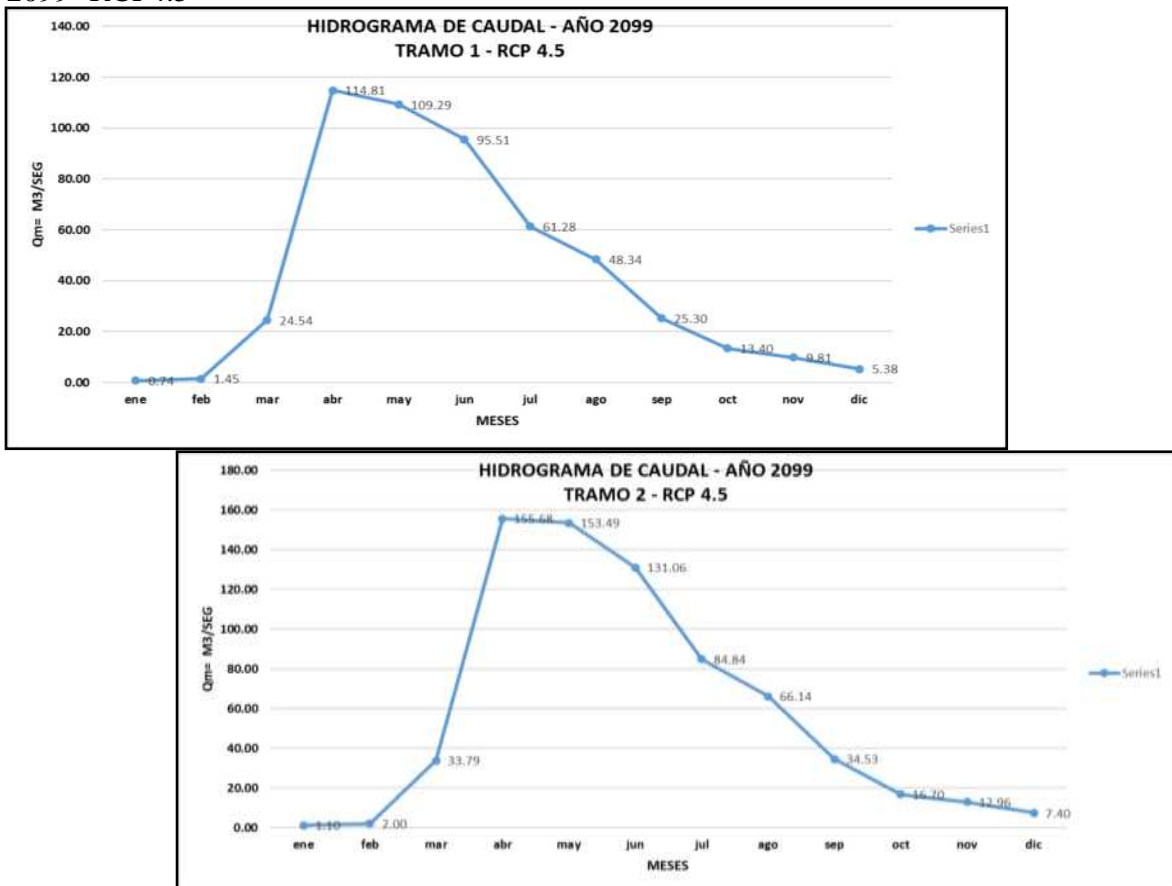


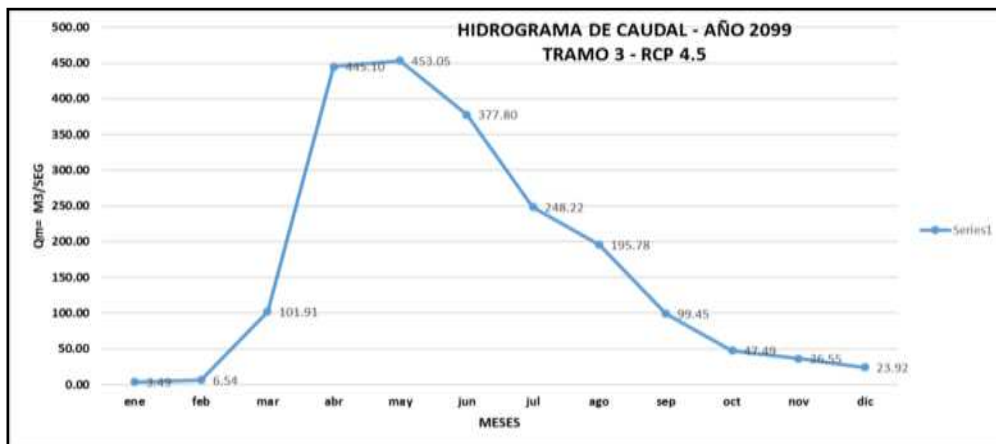


Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Las gráficas de barras muestran que para todos los tramos el caudal de oferta de la corriente principal río Cravo Sur, disminuiría considerablemente comparado con los caudales históricos obtenidos de las estaciones, aunque se evidencian algunos picos de caudal en los meses de abril, mayo, junio y julio, estos también se ven forzados a la disminución a través del tiempo.

Figura 19. Hidrogramas de la oferta hídrica, por tramos hídrica río Cravo Sur. Para el año 2099- RCP4.5





Fuente: Becerra V., M. A., 2022

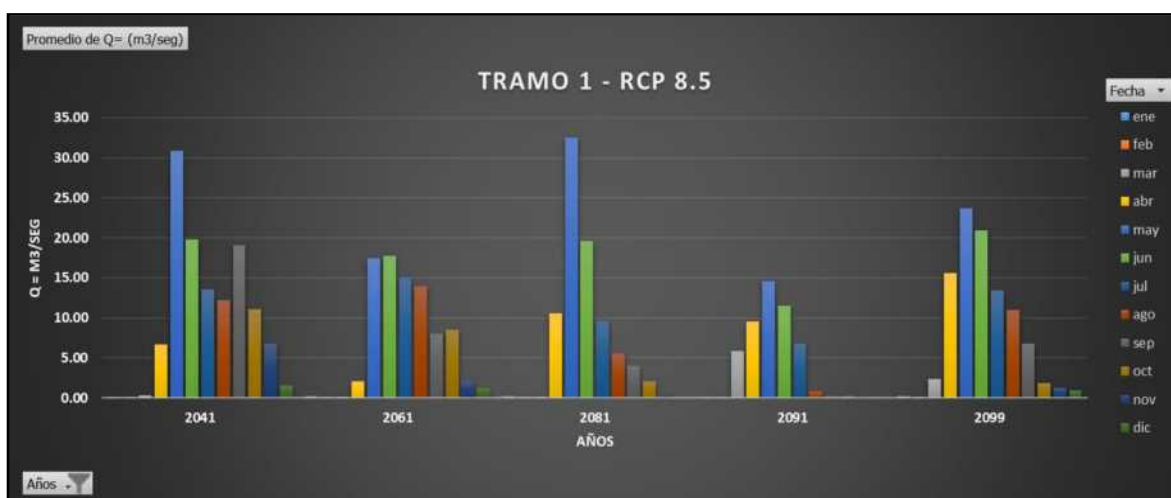
Los hidrogramas del año 2099 muestran que los tramos van aumentando de caudal, por lo tanto, el tramo 1 presenta menos oferta, el tramo 2 más oferta y el tramo 3 es el que más presenta oferta hídrica.

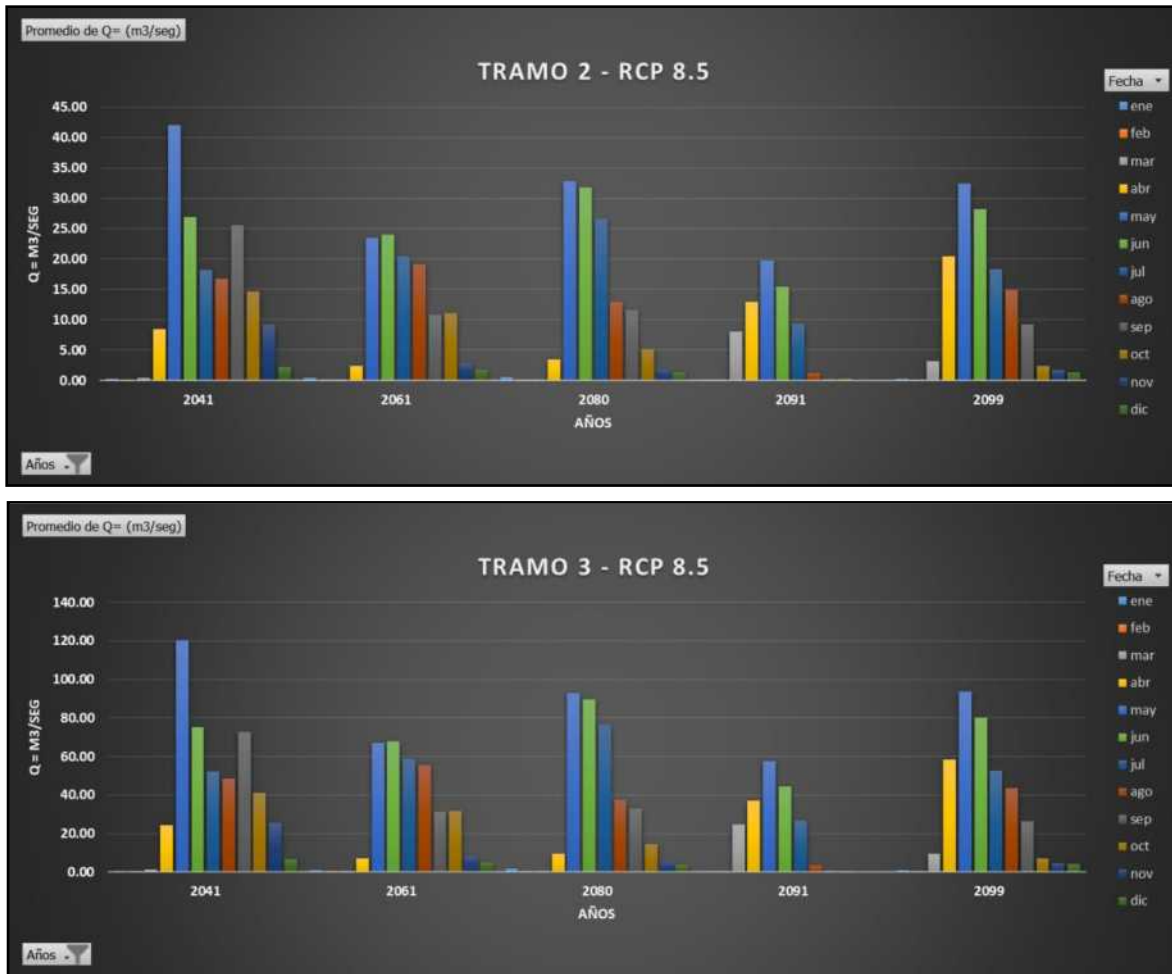
Los meses más críticos es decir con menos oferta hídrica para los tres tramos, son los meses de octubre a febrero, donde el mes de enero en los tres tramos se presenta el menor caudal de la fuente.

Los meses donde se presentarán mayor oferta o los picos de oferta, son los meses de abril, mayo y junio, donde el mes de abril tiene la tendencia de ser el mes con más caudal en los tramos 1 y 2 y el mes de mayo para el tramo 3.

8.7.2.2 RCP 8.5 - Año 2099

Figura 20. Gráficas de barras, comportamiento multianual de los Caudales Medios Diarios en m³/seg, por tramos de la oferta hídrica río Cravo Sur. Periodo 2041- 2099-RCP8.5.

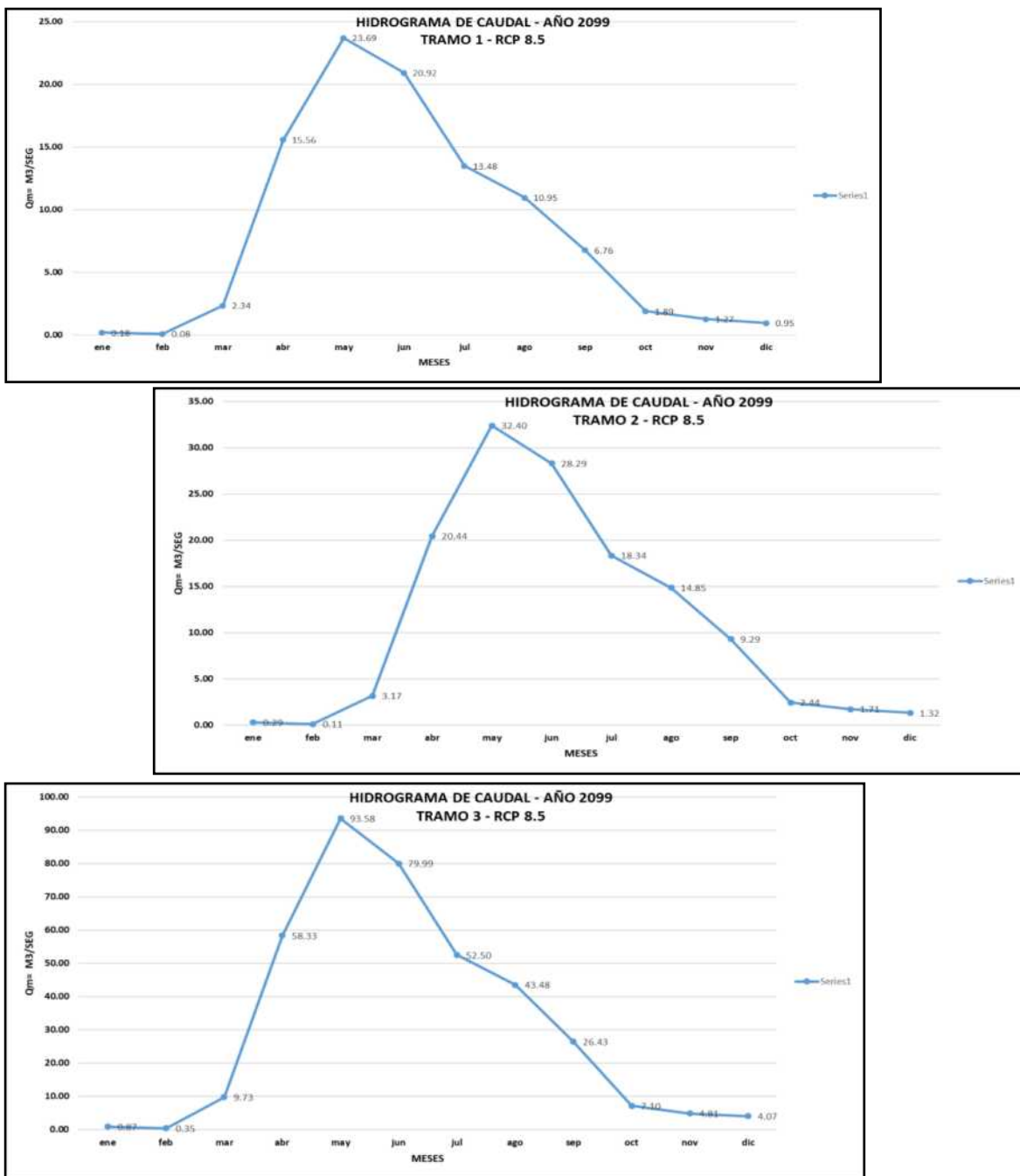




Fuente: Becerra V., M. A., 2022

En este escenario las gráficas de barras también muestran que para todos los tramos el caudal de oferta de la corriente principal río Cravo Sur, disminuiría gradualmente comparado con los caudales históricos obtenidos de las estaciones. Del mismo modo se muestran años con menores caudales y después años con picos de caudales, todo esto se presenta por la modelación consecuente en el tiempo de los caudales donde se espera años con mayores precipitaciones y años con altas temperaturas y sequías.

Figura 21. Hidrogramas de la oferta hídrica, por tramos hídrica río Cravo Sur. Para el año 2099- RCP8.5



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Para este escenario los hidrogramas del año 2099 presentan tendencia igual que los anteriores, los tramos van aumentando de caudal, del mismo modo que el mes con mayor oferta hídrica es el mes de mayo y los meses con menor oferta hídrica son los de diciembre, enero y febrero.

8.7.1.3 Oferta VS Demanda Hídrica e Índice de Escasez - Año 2009

● Tramo 1

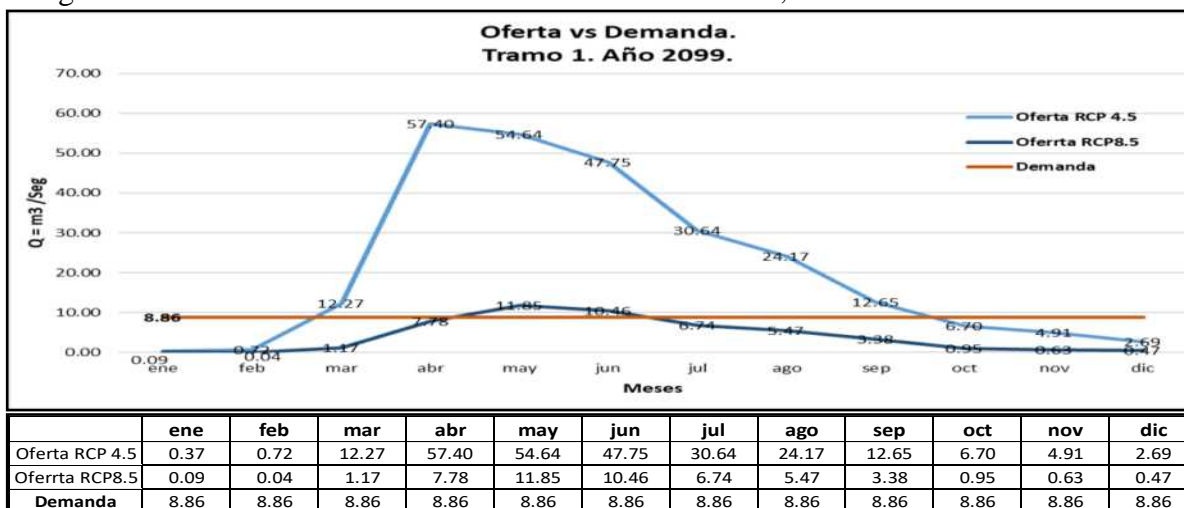
Tabla 17. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 1 – RCP 4.5 y 8.5, año 2009.

Tramo 1 -RCP 4.5 Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reduccion por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reduccion por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	indice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesion por Corporinoquia
enero	0.74	0.18	0.18	0.37	8.86	1197.60		0.00	8.49	No
febrero	1.45	0.36	0.36	0.72	8.86	611.85		0.00	8.14	No
marzo	24.54	6.13	6.13	12.27	8.86	36.11		3.41		Análisis
abril	114.81	28.70	28.70	57.40	8.86	7.72		48.54		Si
mayo	109.29	27.32	27.32	54.64	8.86	8.11		45.78		Si
junio	95.51	23.88	23.88	47.75	8.86	9.28		38.89		Si
julio	61.28	15.32	15.32	30.64	8.86	14.46		21.78		Si
agosto	48.34	12.08	12.08	24.17	8.86	18.33		15.31		Si
septiembre	25.30	6.33	6.33	12.65	8.86	35.01		3.79		Análisis
octubre	13.40	3.35	3.35	6.70	8.86	66.10		0.00	2.16	No
noviembre	9.81	2.45	2.45	4.91	8.86	90.31		0.00	3.95	No
diciembre	5.38	1.34	1.34	2.69	8.86	164.80		0.00	6.17	No

Tramo 1 -RCP 8.5 Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reduccion por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reduccion por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	indice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesion por Corporinoquia
enero	0.18	0.05	0.05	0.09	8.86	4814.67		0.00	8.77	No
febrero	0.08	0.02	0.02	0.04	8.86	11382.09		0.00	8.82	No
marzo	2.34	0.58	0.58	1.17	8.86	378.74		0.00	7.69	No
abril	15.56	3.89	3.89	7.78	8.86	56.92		0.00	1.08	No
mayo	23.69	5.92	5.92	11.85	8.86	37.40		2.99		Análisis
junio	20.92	5.23	5.23	10.46	8.86	42.36		1.60		Análisis
julio	13.48	3.37	3.37	6.74	8.86	65.72		0.00	2.12	No
agosto	10.95	2.74	2.74	5.47	8.86	80.92		0.00	3.39	No
septiembre	6.76	1.69	1.69	3.38	8.86	131.15		0.00	5.48	No
octubre	1.89	0.47	0.47	0.95	8.86	468.50		0.00	7.91	No
noviembre	1.27	0.32	0.32	0.63	8.86	700.31		0.00	8.23	No
diciembre	0.95	0.24	0.24	0.47	8.86	934.07		0.00	8.39	No

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Imagen 27. Gráfica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 1, Año 2009.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Tramo 1- Escenario RCP 4.5 para el año 2099: El caudal de oferta para los meses de enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre, tendría una baja disponibilidad lo cual genera una fuerte escasez del recurso, es necesario medidas urgentes que limiten el recurso en estos meses.

En los meses de abril, mayo y junio, se presentarán caudales sobrantes, en estos meses se podría administrar este recurso para diferentes usos y próximas concesiones, en estos meses no se esperan impactos negativos.

Tramo 1- Escenario RCP 8.5 para el año 2099: Este escenario se proyecta como crítico, en 10 meses del año la oferta estaría superada por la demanda del año 2022, solo en los meses de mayo y junio se espera que no afectara tanto la oferta hídrica.

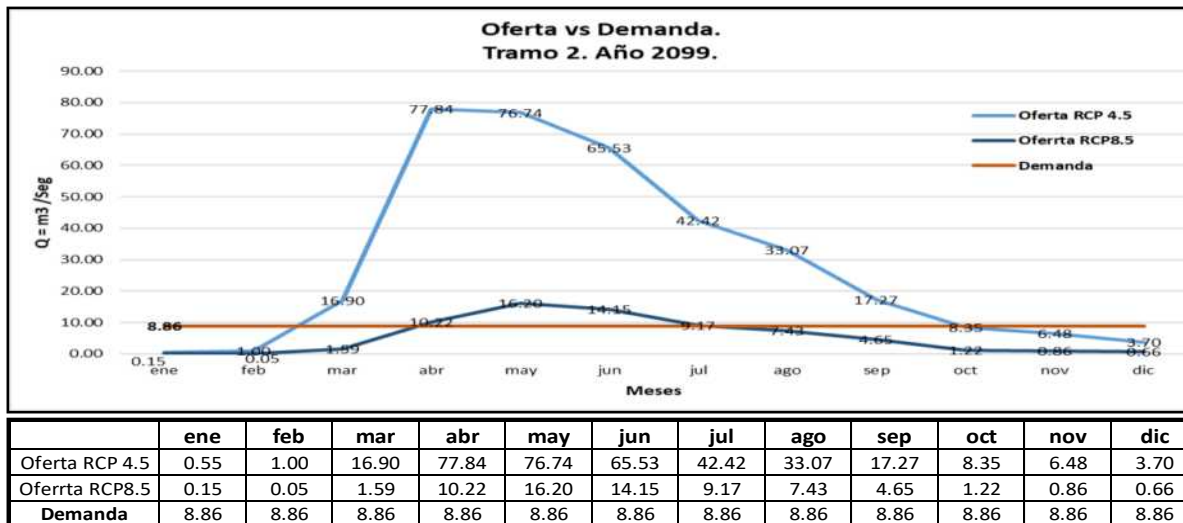
- **Tramo 2**

Tabla 18. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 2 – RCP 4.5 y 8.5, año 2099.

Tramo 2 -RCP 4.5										
Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reducción por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reducción por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	índice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesión por Corporinoquia
enero	1.10	0.28	0.28	0.55	8.86	803.87		0.00	8.31	No
febrero	2.00	0.50	0.50	1.00	8.86	443.39		0.00	7.86	No
marzo	33.79	8.45	8.45	16.90	8.86	26.22		8.04		Análisis
abril	155.68	38.92	38.92	77.84	8.86	5.69		68.98		Si
mayo	153.49	38.37	38.37	76.74	8.86	5.77		67.88		Si
junio	131.06	32.76	32.76	65.53	8.86	6.76		56.67		Si
julio	84.84	21.21	21.21	42.42	8.86	10.44		33.56		Si
agosto	66.14	16.53	16.53	33.07	8.86	13.40		24.21		Si
septiembre	34.53	8.63	8.63	17.27	8.86	25.66		8.41		Análisis
octubre	16.70	4.17	4.17	8.35	8.86	53.06		0.00	0.51	No
noviembre	12.96	3.24	3.24	6.48	8.86	68.38		0.00	2.38	No
diciembre	7.40	1.85	1.85	3.70	8.86	119.76		0.00	5.16	No
Tramo 2 -RCP 8.5										
Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reducción por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reducción por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	índice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesión por Corporinoquia
enero	0.29	0.07	0.07	0.15	8.86	3020.23		0.00	8.71	No
febrero	0.11	0.03	0.03	0.05	8.86	8073.71		0.00	8.81	No
marzo	3.17	0.79	0.79	1.59	8.86	279.24		0.00	7.27	No
abril	20.44	5.11	5.11	10.22	8.86	43.34		1.36		Análisis
mayo	32.40	8.10	8.10	16.20	8.86	27.35		7.34		Análisis
junio	28.29	7.07	7.07	14.15	8.86	31.31		5.29		Análisis
julio	18.34	4.59	4.59	9.17	8.86	48.31		0.31		Análisis
agosto	14.85	3.71	3.71	7.43	8.86	59.66		0.00	1.43	No
septiembre	9.29	2.32	2.32	4.65	8.86	95.33		0.00	4.21	No
octubre	2.44	0.61	0.61	1.22	8.86	362.78		0.00	7.64	No
noviembre	1.71	0.43	0.43	0.86	8.86	517.55		0.00	8.00	No
diciembre	1.32	0.33	0.33	0.66	8.86	673.62		0.00	8.20	No

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Imagen 28. Grafica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 2, Año 2009.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

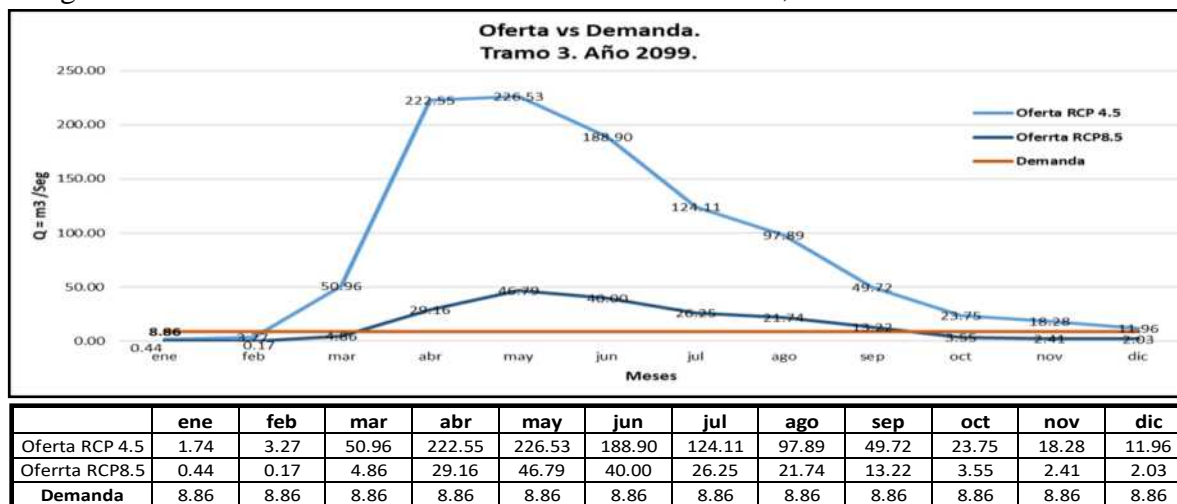
Tramo 2- Escenario RCP 4.5 para el año 2009: Se proyecta que para los meses de enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre se tendrían escasez del recurso, es necesario medidas urgentes que limiten el recurso en estos meses.

Se proyecta que, para los meses de abril, mayo y junio, se presentarán caudales sobrantes, lo cual permitiría el uso del recurso en estos meses.

Tramo 2- Escenario RCP 8.5 para el año 2009: Este escenario sigue siendo crítico, ya que en 8 meses del año se tendría escasez hídrica.

- **Tramo 3**

Imagen 29. Gráfica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 3, Año 2009.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022.

Tabla 19. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 3 – RCP 4.5 y 8.5, año 2009.

Tramo 3 -RCP 4.5 Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m ³ /seg	Reducción por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reducción por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m ³ /seg	Demanda Total m ³ /seg	índice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m ³ /seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m ³ /seg)	Se puede otorgar concesión por Corporación
enero	3.49	0.87	0.87	1.74	8.86	254.19		0.00	7.12	No
febrero	6.54	1.64	1.64	3.27	8.86	135.43		0.00	5.59	No
marzo	101.91	25.48	25.48	50.96	8.86	8.69		42.10		Si
abril	445.10	111.27	111.27	222.55	8.86	1.99		213.69		Si
mayo	453.05	113.26	113.26	226.53	8.86	1.96		217.67		Si
junio	377.80	94.45	94.45	188.90	8.86	2.35		180.04		Si
julio	248.22	62.05	62.05	124.11	8.86	3.57		115.25		Si
agosto	195.78	48.95	48.95	97.89	8.86	4.53		89.03		Si
septiembre	99.45	24.86	24.86	49.72	8.86	8.91		40.86		Si
octubre	47.49	11.87	11.87	23.75	8.86	18.65		14.89		Si
noviembre	36.55	9.14	9.14	18.28	8.86	24.24		9.42		Análisis
diciembre	23.92	5.98	5.98	11.96	8.86	37.05		3.10		Análisis

Tramo 3 -RCP 8.5 Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m ³ /seg	Reducción por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reducción por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m ³ /seg	Demanda Total m ³ /seg	índice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m ³ /seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m ³ /seg)	Se puede otorgar concesión por Corporación
enero	0.87	0.22	0.22	0.44	8.86	1017.67		0.00	8.42	No
febrero	0.35	0.09	0.09	0.17	8.86	2562.90		0.00	8.69	No
marzo	9.73	2.43	2.43	4.86	8.86	91.07		0.00	4.00	No
abril	58.33	14.58	14.58	29.16	8.86	15.19		20.30		Si
mayo	93.58	23.39	23.39	46.79	8.86	9.47		37.93		Si
junio	79.99	20.00	20.00	40.00	8.86	11.08		31.14		Si
julio	52.50	13.12	13.12	26.25	8.86	16.88		17.39		Si
agosto	43.48	10.87	10.87	21.74	8.86	20.38		12.88		Análisis
septiembre	26.43	6.61	6.61	13.22	8.86	33.52		4.36		Análisis
octubre	7.10	1.77	1.77	3.55	8.86	124.84		0.00	5.31	No
noviembre	4.81	1.20	1.20	2.41	8.86	184.09		0.00	6.45	No
diciembre	4.07	1.02	1.02	2.03	8.86	217.95		0.00	6.83	No

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Tramo 3- Escenario RCP 4.5 para el año 2009: Para los meses de marzo a septiembre, se esperan caudales altos de oferta hídrica incluso que, en los meses de abril y mayo, se esperan sobrantes de más de 200 m³/seg, por lo tanto, son los meses adecuados para otorgar concesiones y captaciones del recurso.

Los meses de enero y febrero se presentan índice de escasez altos, donde la oferta no alcanza a superar la demanda; en octubre, noviembre, diciembre se presenta un índice de escasez que se consideran en riesgo de entrar en escasez, pertinente que la corporación realice análisis especial en estos meses con el fin de que se evalúe la pertinencia de restringir el uso, o sus límites.

Tramo 3- Escenario RCP 8.5 para el año 2009: Los meses de enero, febrero, marzo, octubre, noviembre, diciembre se tiene escasez hídrica, meses en los cuales no se podría concesionar, en los meses de agosto, septiembre se presentan bajos caudales sobrantes los cuales se hace necesario que se analice por parte de la autoridad ambiental si se concesiona. Los meses de mayo, abril, junio y julio se presentan caudales sobrantes que superan los 10 m³/seg, en estos meses si se podrían entregar concesiones.

8.7.3 Análisis de Resultados del Año Crítico

la modelación establece unas tendencias a la disminución de los caudales de oferta, se realizó el análisis para los años 2040 y 2099, sin embargo, existen otros años que se proyectan como más críticos es decir donde la afectación de la oferta hídrica por el cambio climático es más fuerte, se tendría menos agua. Razón por la cual se analizará en el escenario más crítico RCP 8.5 el año que presentan los picos de caudal más bajo.

Se realizó la comparación multianual de la oferta hídrica donde se evidencio que el año más crítico es el año 2029, a continuación, se procede al análisis de los resultados.

8.7.3.1 RCP 8.5 - Año Crítico 2029

Figura 22. Hidrogramas de la oferta hídrica, por tramos hídricos río Cravo Sur. Para el año Crítico 2029-RCP8.5.

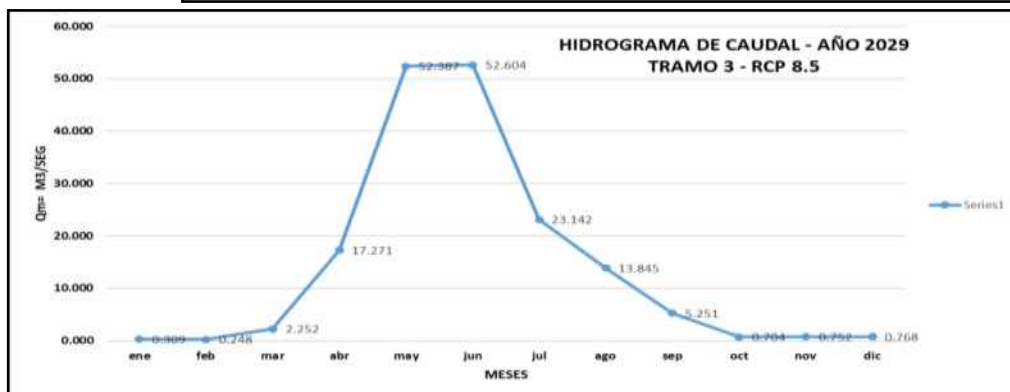
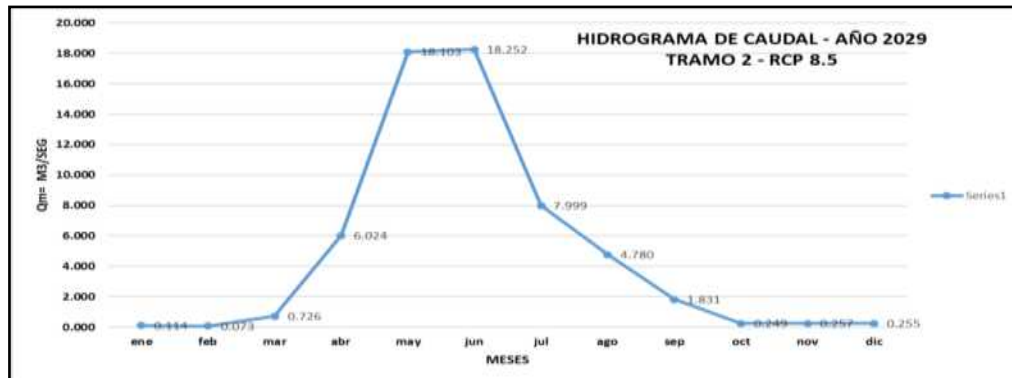
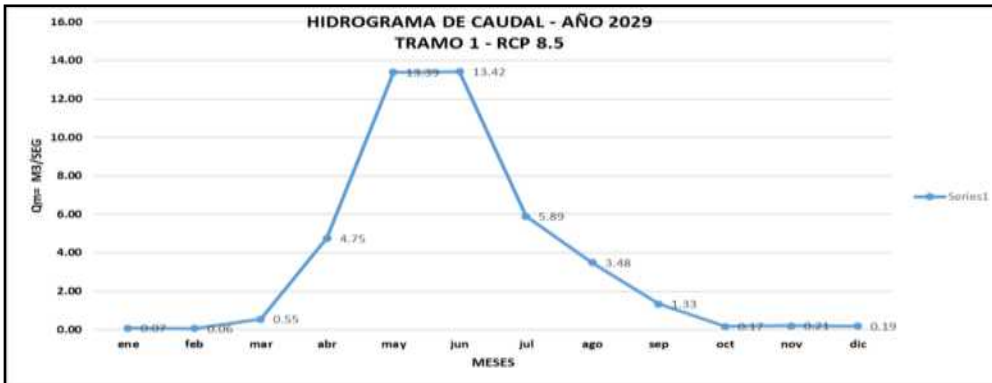
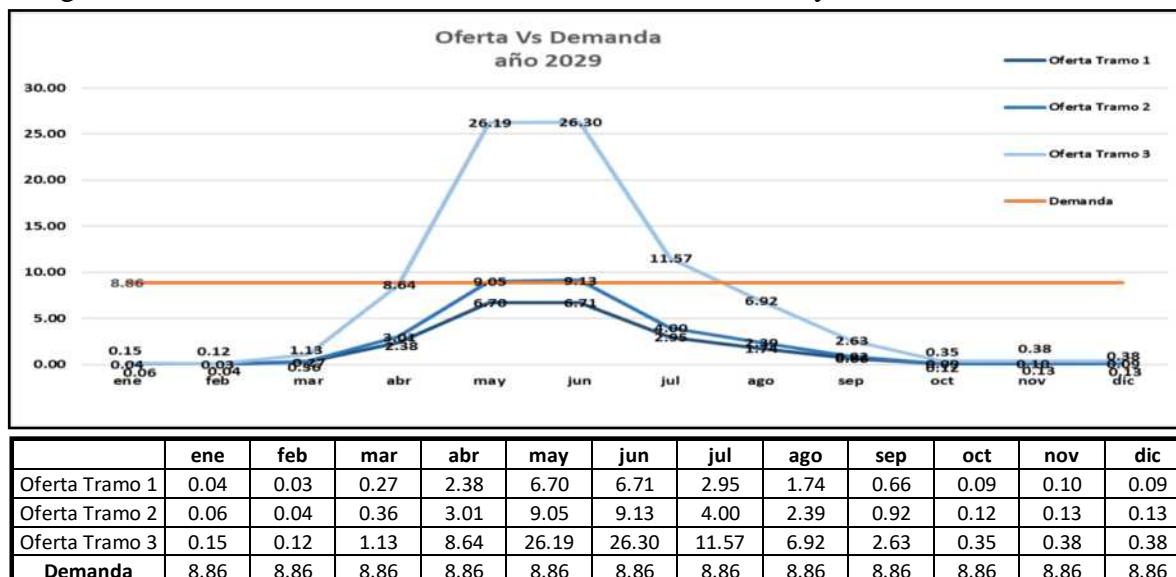


Tabla 20. Análisis de Oferta vs Demanda, Tramo 1,2,3 – RCP 8.5, año Crítico 2029.

Tramo 1 -RCP 8.5										
Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reducción por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reducción por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	índice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesión por Corporinoquia
enero	0.07	0.02	0.02	0.04	8.86	12653.44		0.00	8.82	No
febrero	0.06	0.02	0.02	0.03	8.86	14740.17		0.00	8.83	No
marzo	0.55	0.14	0.14	0.27	8.86	1615.21		0.00	8.59	No
abril	4.75	1.19	1.19	2.38	8.86	186.33		0.00	6.48	No
mayo	13.39	3.35	3.35	6.70	8.86	66.17		0.00	2.16	No
junio	13.42	3.36	3.36	6.71	8.86	66.00		0.00	2.15	No
julio	5.89	1.47	1.47	2.95	8.86	150.41		0.00	5.91	No
agosto	3.48	0.87	0.87	1.74	8.86	254.59		0.00	7.12	No
septiembre	1.33	0.33	0.33	0.66	8.86	666.25		0.00	8.20	No
octubre	0.17	0.04	0.04	0.09	8.86	5086.58		0.00	8.77	No
noviembre	0.21	0.05	0.05	0.10	8.86	4267.30		0.00	8.76	No
diciembre	0.19	0.05	0.05	0.09	8.86	4677.80		0.00	8.77	No
Tramo 2 -RCP 8.5										
Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reducción por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reducción por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	índice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesión por Corporinoquia
enero	0.11	0.03	0.03	0.06	8.86	7762.94		0.00	8.80	No
febrero	0.07	0.02	0.02	0.04	8.86	12103.27		0.00	8.82	No
marzo	0.73	0.18	0.18	0.36	8.86	1220.09		0.00	8.50	No
abril	6.02	1.51	1.51	3.01	8.86	147.08		0.00	5.85	No
mayo	18.10	4.53	4.53	9.05	8.86	48.94		0.19		Análisis
junio	18.25	4.56	4.56	9.13	8.86	48.54		0.27		Análisis
julio	8.00	2.00	2.00	4.00	8.86	110.76		-4.86	4.86	No
agosto	4.78	1.20	1.20	2.39	8.86	185.36		-6.47	6.47	No
septiembre	1.83	0.46	0.46	0.92	8.86	483.77		-7.94	7.94	No
octubre	0.25	0.06	0.06	0.12	8.86	3562.00		0.00	8.74	No
noviembre	0.26	0.06	0.06	0.13	8.86	3451.43		0.00	8.73	No
diciembre	0.26	0.06	0.06	0.13	8.86	3471.76		0.00	8.73	No
Tramo 3 -RCP 8.5										
Oferta vs Demanda										
Mes	Oferta m3/seg	Reducción por Caudal Calidad (-25% caudal oferta)	Reducción por Caudal Ecológico (-25% caudal oferta)	Oferta Neta m3/seg	Demanda Total m3/seg	índice de escasez %	Resultado de escasez %	Caudal Sobrante (m3/seg)	Caudal faltante para abastecer la demanda total (m3/seg)	Se puede otorgar concesión por Corporinoquia
enero	0.31	0.08	0.08	0.15	8.86	2870.21		0.00	8.71	No
febrero	0.25	0.06	0.06	0.12	8.86	3571.24		0.00	8.74	No
marzo	2.25	0.56	0.56	1.13	8.86	393.45		0.00	7.73	No
abril	17.27	4.32	4.32	8.64	8.86	51.30		0.00	0.22	No
mayo	52.39	13.10	13.10	26.19	8.86	16.91		17.33		Si
junio	52.60	13.15	13.15	26.30	8.86	16.84		17.44		Si
julio	23.14	5.79	5.79	11.57	8.86	38.29		2.71		Análisis
agosto	13.84	3.46	3.46	6.92	8.86	63.99		0.00	1.94	No
septiembre	5.25	1.31	1.31	2.63	8.86	168.73		0.00	6.23	No
octubre	0.70	0.18	0.18	0.35	8.86	1258.53		0.00	8.51	No
noviembre	0.75	0.19	0.19	0.38	8.86	1177.51		0.00	8.48	No
diciembre	0.77	0.19	0.19	0.38	8.86	1153.60		0.00	8.48	No

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Imagen 30. Grafica de Oferta Vs Demanda Hídrica Tramo 1,2 y 3, Año Crítico 2029.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Para este escenario año 2029 presentan que en los tramos el caudal se va acumulando por lo tanto el tramo 1 es el que tendría menor caudal y el tramo 3 el mayor caudal. Los meses con mayor oferta hídrica son mayo y junio y los meses con menor oferta hídrica son los de noviembre, diciembre, enero y febrero, donde se espera que la oferta no supere 1 m³/seg.

Los hidrogramas del año Crítico, presentan un panorama preocupante, en los meses de altas precipitaciones abril, mayo, junio, el caudal de la corriente principal varía de 20 m³/seg a 50 m³/seg dependiendo del tramo, y en los meses secos de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero, el caudal de oferta no superaría 1 m³/seg, lo que hace pensar que en este año es más notoria la escasez hídrica, lo que conlleva a tener grandes impactos socio ambientales.

En el tramo 1, se tendría escasez hídrica, lo mismo para el tramo 2, sin embargo, en el tramo tres que es el tramo que más acumula oferta se tendría los meses de mayo y junio con sobrantes de agua de más de 10 m³/seg siendo estos los únicos meses donde se podría captar agua.

Ver Anexo - Carpeta Magnética 16. Resultados de la Modelación (Bases de Datos, Gráficas, Oferta vs Demanda)

8.7.4 Conclusiones de la Modelación

Es necesario dejar claro que en el desarrollo de la investigación el valor establecido de Demanda Hídrica, fue de 8.86 m³/seg, que corresponde al caudal concesionado por Corporinoquia año 2022 sobre la corriente principal del río Cravo Sur.

Así mismo así que los valores de Oferta hídrica obtenidos en la modelación, para el análisis de Oferta vs Demanda fueron afectados por lo establecido en la Resolución 865 de 2004 en cuanto a 25 % de Caudal de Seguridad y 25% de caudal ecológico, para un total de 50% que se le resta a la Oferta Total y donde se obtiene la Oferta Neta, en este sentido la Oferta Neta ya supliría el recurso hídrico necesario de la calidad del agua y del ecosistema.

Escenario RCP 4.5: El escenario de emisiones para RCP 4.5, es con una tendencia de emisiones de CO₂ estable en el tiempo hasta el año 2100 es decir el grado de forzamiento establecido es normal, igual, no aumenta extremadamente ni disminuye, simplemente sigue o concuerda con las proyecciones de las concentraciones de CO₂ establecidas por El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en su 5 informe, de 538 PPM de CO₂ en la atmósfera.

Escenario RCP 8.5: El escenario de emisiones para RCP 4.5, es con una tendencia de emisiones de CO₂ al aumento, es decir es un escenario con un nivel muy alto de emisiones, El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en su 5 informe. Estableció una proyección de 936 ppm de CO₂ en la atmósfera para el año 2100.

Las gráficas de barras muestran que para todos los tramos el caudal de oferta de la corriente principal río Cravo Sur, por el cambio climático disminuiría considerablemente comparado con los caudales históricos obtenidos de las estaciones (años 1983-2022), aunque se evidencian algunos picos de caudal en el mes de abril, mayo, junio y julio, estos también se ven forzados a la disminución al paso del tiempo.

Los hidrogramas en los diferentes tramos del río Cravo Sur muestran comportamientos similares dependiendo del escenario modelado, altos caudales o picos en meses de lluvia y bajos caudales en los meses secos, es de anotar la similitud gráfica de los tres tramos, sin embargo, es se muestra que a medida que avanzan los tramos, el caudal aumenta, ya que el tramo ubicado aguas debajo del flujo de agua, recibe el caudal acumulado del tramo anterior más el caudal de su misma subcuenca con los afluentes de estas. Tanto así que el tramo 3 por ser el último y la desembocadura de la corriente principal del río Cravo Sur es el tramo que más caudal de oferta hídrica tendrá, porque es el tramo final de la corriente principal y a este, se conectan los caudales de los tramos 1 y 2 y muchos más efluentes que en el transcurso descargan sobre él.

La modelación realizada y el análisis de la misma muestra que en el Municipio de Yopal El cambio climático afectaría la oferta hídrica de la corriente principal del río Cravo Sur en los años 2040 y 2090 la oferta hídrica en muchos meses no supera el caudal demandado, razón

por la cual se tendrían afectaciones al recurso hídrico, se presentan escasez hídrica y por lo tanto no se podría aprovechar el recurso hídrico para el desarrollo de diferentes actividades.

En los años 2040 y 2099 para el escenario RCP 4.5, se espera que el caudal de oferta en los meses secos de enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre, tendría una baja disponibilidad lo cual genera una fuerte escasez del recurso, es necesario medidas urgentes que limiten el recurso en estos meses.

En los meses de precipitaciones abril, mayo, junio y parte de julio, se presentarán caudales sobrantes, en estos meses se podría administrar este recurso para diferentes usos y próximas concesiones, en estos meses no se esperan impactos negativos si se administra correctamente el recurso.

En los años 2040 y 2099 para el escenario RCP 8.5, se proyecta como crítico, en la mayoría de hidrogramas se tiene aproximadamente para los tramos 1 y 2 que de 8-10 meses del año la oferta estaría superada por la demanda por lo tanto se tendría escasez hídrica, y solo en los meses de mayo y junio se espera que no afectara tanto la oferta hídrica.

El año más crítico de la modelación donde se presenta mayor escasez hídrica y por lo tanto al cual se tiene que tener principal cuidado, es el año 2029 RCP 8.5, en este año el caudal de la oferta hídrica no superaría los 1 m³/seg en los tramos 1 y 2 de en la corriente principal, lo cual afectaría la comunidad al no suplir la demanda de las concesiones de aguas otorgadas por corporinoquia y la demanda del caudal de seguridad y ecológico, no se podrían otorgar concesión nueva, y con las existentes se tendría que impedir su captación.

En general, se espera que el cambio climático en sus diferentes escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 afectará el recurso hídrico de la corriente principal del río Cravo Sur , el cambio climático hace que se presente aumento en la temperatura y variaciones en la precipitación, lo que conlleva a disminución de la oferta hídrica y escasez del recurso, esta escasez hídrica conlleva a afectaciones socio-ambientales directas en el municipio de Yopal; por ejemplo en los tramos 1 y 2 para los años 2040,2099 y crítico 2029, en la mayor parte del tiempo la comunidad no podría no suplir la demanda de agua a través de las concesiones de aguas otorgadas por corporinoquia; y a un más extremo de escasez se tendría el año 2029 donde con caudales de oferta menores de 1 m³/seg se pone en riesgo el caudal ecológico y de seguridad, lo que conlleva directamente a pérdida de fauna y flora del ecosistema.

A continuación, se evaluarán las afectaciones socio-ambientales esperadas a través de una matriz de impactos Leopold modificada, en el sentido de que la oferta hídrica disminuirá por el cambio climático.

9. Afectaciones Socio-Ambientales

Identificación y análisis de las afectaciones Socio-Ambientales que generan por el cambio climático de acuerdo con los escenarios obtenidos de oferta hídrica del río Cravo Sur, en el municipio de Yopal para el periodo 2040-2099.

Los impactos por el cambio climático son muchos y están bien proyectados y anunciados de forma general para el mundo y para Colombia, sin embargo, esas afectaciones no pueden ser estáticas y descontextualizadas a las regiones, en cada municipio o estructura ecosistémica las afectaciones serán diferentes, por la misma connotación diferencial ecosistémica, social, política, cultural, económica, etc... de cada estructura evaluada.

El cambio climático es una realidad y este como se evidencio en la modelación realizada, se muestra como la disminución periódica la oferta hídrica del río Cravo Sur en el municipio de Yopal, esta disminución hídrica traerá consigo afectaciones a la economía, a la población y al medio ambiente, aunque de manera desigual, la potencial severidad de estos cambios, hará sentir los efectos cada vez más extremos de disminución de agua y eventos más seguidos de sequía.

En el río Cravo Sur, el agua y la cantidad de esta (oferta), es la razón del proceso de planificación y administración de la mayoría de actividades de los habitantes de Yopal, y como se expresó en la problemática y se evidencio en las encuestas, la disminución de la oferta hídrica es sentida, y se están generando conflictos y afectaciones por la competencia de esta agua para los diferentes usos y usuarios, las cuales se pueden incrementar en su severidad y número en el futuro si no se toman medidas al respecto.

9.1 Valoración de Afectaciones Socio-Ambientales.

La población de Yopal por su dependencia del agua del río Cravo Sur, y por su ubicación vulnerable a eventos hídricos, sufrirá fuertemente las consecuencias. En general la disminución del recurso hídrico por el cambio climático, generará afectaciones ambientales como impactos en la disminución de los servicios ecosistémicos en especial el de aprovisionamiento y regulación hídrica, eco sistémicos, cambios hidrogeológicos, disminución o cambios de flora y fauna, y afectaciones sociales como cambios culturales, disputas entre diferentes actores, conflictos por necesidades e intereses por el agua.

A continuación, se valorará cuantitativamente las afectaciones ambientales por medio de una Matriz de Leopold, la cual se modificó en sus componentes y factores, estableciendo como componentes nuevos, los evidenciados en la evaluación de ex ante de la problemática, los resultados de las encuestas y de la modelación hídrica.

Para construir los factores socio ambientales afectados, se tomó como guía: 1. El listado de impactos ambientales específicos en el marco del licenciamiento ambiental del Min ambiente 2020, y 2. Y el documento de la CEPAL denominado Análisis, Prevención y Resolución de conflictos por el Agua de América Latina y el Caribe.

La matriz presenta en el eje horizontal los resultados de la modelación de la oferta hídrica año 2040, 2099 y año más crítico, y sobre el eje vertical factores socio ambientales que pueden afectarse por esta variación hídrica.



- La magnitud (MAG), es de 1-10, en el que 1 corresponde a la alteración mínima provocada y 10 a la máxima, esta se encuentra en la parte superior del cuadrado o casilla; o precedido por el signo + o – según si es positivo o negativo el impacto.
- Importancia (IMP), valor relativo que el factor socio ambiental tiene, es decir el grado de incidencia o la posibilidad de afectación que tiene la acción sobre el factor, se encuentra en la parte inferior del triángulo. Igual que la magnitud su grado es de 1 a 10.

Tabla 21. Criterios de evaluación de las afectaciones.

Criterios de evaluación de Afectaciones.	
Escala de magnitud (MAG)	
1 - 3	Muy local
4 - 7	Local
8 -10	General
Escala de importancia (IMP)	
1 - 3	Baja
4 - 7	Media
8 -10	Alta

La Matriz de Leopold modificada para la investigación, tendrá como resultado el sumatorio total de las afectaciones y desagregación de estos por positivos y negativos.

La valoración realizada por esta matriz es cualitativa y es de carácter subjetiva, soportada en la investigación realizada, los resultados, referencias y experiencia del investigador.

Esta matriz de Leopold modificada se realiza con el fin de identificar, interpretar, valorar y prevenir las afectaciones socio-ambientales generadas por el cambio climático sobre la oferta hídrica de la corriente principal del río Cravo Sur, está determinada por una parte ambiental biótica y otra abiótica, así mismo por una parte social explícita por los conflictos que se dilucidaron en la investigación.

Las afectaciones ambientales se diferencian de los conflictos sociales, en que los conflictos ambientales son evaluados como la alteración, problema, impacto, o afectación negativa o positiva del recurso ambiental evaluado, en cambio, los conflictos sociales son entendidos como la tensión, choque, discusión, diferencias, incompatibilidades que existe entre actores, por el acceso a un recurso en este caso el recurso hídrico del río Cravo Sur.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL define el conflicto por el agua como: “La consecuencia de la multiplicidad de demandas y pretensiones o aspiraciones que confluyen sobre los limitados recursos hídricos y que, por consiguiente, no pueden satisfacerse simultáneamente. Esto se materializa en relaciones antagónicas que surgen de la colisión de posiciones e intereses en torno a la cantidad, calidad y oportunidad de agua disponible para los diferentes actores” (CEPAL, 2015).

Para ver la totalidad de la descripción de las afectaciones, de sus componentes, los documentos soportes de cada una ir a carpeta relacionada a continuación.

Ver Anexo - 8. Descripción de Los Componentes Matriz Leopold.

9.1.1 Matriz Leopold Modificada

Tabla 22. Matriz Leopold Modificada.

MATRIZ LEOPOLD MODIFICADA.																	
AFECTACIONES SOCIO-AMBIENTALES GENERADAS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA OFERTA HÍDRICA, RIO CRAVO SUR.																	
MODELACIÓN DE OFERTA				Resultados de Modelación Año 2040 RCP 4.5 y 8.5			Resultados de Modelación Año 2099 RCP 4.5 y 8.5			Resultados de Modelación Año 2029 Critico. RCP 8.5			PROMEDIO ARITMÉTICO	AFFECT. SUB COMPONENTES	AFFECT. POR COMPONENTES	AFFECTACIONES TOTALES	
CONFLICTOS SOCIO-AMBIENTALES																	
Tema	Componentes	Sub-componente Recurso	Afectaciones														
AFECTACIONES SOCIO-AMBIENTALES	AFECTACIONES AMBIENTALES	ABIÓTICO	Clima	Aumento de temperatura	-8	-8	-8	-10	-10	-10	-8	-8	-8	-636	-927	-4759	-11061
				Aumento o disminución de la precipitación (inundaciones, sequias)	3	3	3	-8	-8	-8	-5	-5	-5	-291			
			Agua Superficial	Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	-5	-5	-5	-8	-8	-8	-9	-9	-9	-613			
				Se produce Escasez Hidrica (Demanda vs Oferta)	-10	-8	-6	-10	-8	-6	-10	-9	-5	-648			
				Alteración de la Calidad del agua, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta)	-8	-8	-6	-8	-8	-6	-8	-9	-5	-588			
			Cauce	Alteraciones hidrogeomorfológicas (Socavación, Erosión, Inestabilidad)	-7	-7	-7	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-246			
			Suelo	Modificación en las características, propiedades, en el uso y aptitud.	-4	-4	-4	-8	-8	-8	-3	-3	-3	-261			
			Aire	Alteración de la Calidad del aire	-4	-4	-4	-8	-8	-8	-2	-2	-2	-186			
		BIÓTICO	Ecosistema	Alteración de los ecosistemas, Riesgo en suplir el caudal de ecológico (25% caudal de oferta)	-8	-8	-6	-8	-8	-6	-8	-8	-6	-600			
				Alteración de Flora y Fauna terrestre y acuática	-4	-4	-4	-8	-8	-8	-3	-3	-3	-348			
				Alteración de los Servicios Ecosistemicos	-7	-4	-3	-9	-7	-5	-2	-2	-2	-342			

AFECTACIONES SOCIO-AMBIENTALES	CONFLICTOS SOCIALES	CONFLICTO ENTRE USOS DEL AGUA	Consumo Humano	Consumo humano y doméstico	-10	-8	-6	-10	-8	-6	-10	-9	-5	-664	-1398	-6302	-11061
			Agrícola y Pecuario	Arroz, Palma, Ganadería y Psicultura	-5	-9	-9	-6	-9	-9	-4	-8	-8	-586			
			Recreativo	Turísticos	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-148			
		CONFLICTO ENTRE USUARIOS	Usuarios	Legales (concesionados), Ilegales (Sin concesion)	-6	-10	-8	-6	-10	-8	-6	-10	-5	-572	-1072		
				Potenciales o futuros	-7	-7	-6	-7	-8	-6	-7	-7	-6	-500			
		CONFLICTOS CON ACTORES NO USUARIOS	Terceros	Explotación Petrea	-7	-7	-6	-8	-8	-6	-8	-8	-5	-519	-980		
				Deforestación	-8	-8	-6	-10	-9	-6	-3	-3	-3	-461			
		CONFLICTOS INTERGENERACIONALES	Generaciones	Generaciones Actuales y Futuras	-8	-8	-7	-9	-9	-7	-4	-4	-3	-546	-546		
		CONFLICTOS INTERJURISDICCIONALES	Político Administrativos	Municipios de la Cuenca aguas abajo	-7	-7	-6	-9	-9	-6	-4	-4	-3	-484	-484		
		CONFLICTOS INSTITUCIONALES	Actores	Públicos y Privados	-8	-8	-6	-9	-8	-8	-9	-9	-6	-520	-520		
OTROS CONFLICTOS	Socio economicos	Emigración de Población	-4	-4	-4	-8	-8	-8	-2	-2	-2	-234	-1302				
		Generación de Empleo	-6	-4	-3	-9	-8	-6	-4	-3	-2	-209					
		Cultural	-4	-5	-3	-5	-8	-6	-4	-3	-2	-192					
		Gestión del Riesgo	-4	-4	-4	-8	-8	-8	-3	-4	-4	-268					
		Salud	-7	-8	-6	-8	-10	-6	-3	-3	-3	-399					
TOTAL DE AFECTACIONES				26	26	26	26	26	26	26	26	26	234				
AFECTACIONES POSITIVAS				1	1	1	0	0	0	0	0	0		3			
AFECTACIONES NEGATIVAS				25	25	25	26	26	26	26	26	26			231		
PROMEDIO ARITMÉTICO				-1215	-1296	-882	-1779	-1814	-1372	-970	-1105	-628			-11061		
TOTALES				-3393			-4965			-2703					-11061		

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

9.1.2 Análisis de Resultados Matriz Leopold Modificada

Se realizaron promedios aritméticos de la magnitud e importancia por afectación, donde se tomó como referencia los resultados mayores a 500 como las afectaciones más representativas, así mismo se realizó la sumatoria por componentes y subcomponentes mostrando cuál de estos tiene mayor afectación en los escenarios de cambio climáticos obtenidos.

Se muestra 26 impactos negativos y uno positivo por tramo y por modelación, el impacto positivo se estableció como aquel donde a mediano tiempo (año 2040) se tendrá aumento de las precipitaciones lo que implica aumento de escorrentía y de la oferta hídrica del río Cravo Sur, sin embargo, se espera que la precipitación disminuya en el tiempo pasando este a largo tiempo como impacto negativo

A continuación, se realizará el análisis de la matriz por los promedios aritméticos de cada uno de las afectaciones que se proyectaron.

9.1.2.1 Modelación y Tramos del Río Cravo Sur con Mayor Afectación

La matriz Leopold modificada establece que los resultados de la Modelación al año 2099 RCP 4.5 y 8.5, sucederán con mayor intensidad las afectaciones socio ambientales, esto por ser el escenario donde se acumularían e incrementarían en el tiempo la magnitud de las afectaciones, dando como resultado un cambio más extremo cada vez más que en años anteriores. Como resultado se tiene que en los tramos 1 y 2 del río Cravo Sur sufrirán las principales afectaciones negativas.

Nº1. Río Cravo Sur Parte del Tramo 1: Comprende el comportamiento del caudal de la corriente principal del río Cravo Sur que pasa por las Veredas: Morro, Guayaquito, La Cabaña, La Colorada, La Guamalera, La Upamena, Brisas del Cravo, La Vega. Como punto de interés principal se tiene la captación de agua para el casco urbano, que se realiza por captación lateral del río Cravo Sur en la vereda la Vega.

Nº 2. Río Cravo Sur Tramo 2. Como puntos de interés principal está el casco urbano de Yopal y parte de las veredas cercanas a este, como son las Veredas: Guayaque, Sirivana, Palomas, Barbascos, La manga, La Calceta.

9.1.2.2 Conflictos Ambientales

La matriz muestra que se tendría especial afectación en lo referente:

1. El aumento de temperatura sostenida a través del siglo, por el Cambio Climático: La proyección de los picos de temperatura máxima, muestran un aumento de temperatura sostenida a través del siglo, en el RCP 4.5 es el pico máximo de temperatura es de 41.05 °C en el mes de febrero y para el año 2049, y para RCP 8.5 es de 42.93 también en el febrero del año 2098.

Este aumento de temperatura es el componente donde se desencadenan otras afectaciones importantes, por ejemplo, se tendría gran afectación en el agua superficial del río Cravo Sur, en especial al producirse:

2. Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua: Los primeros años se presentarán aumentos de temperatura y aumento de precipitaciones por la evaporación del agua, sin embargo, al aumentar la temperatura y disminuir la precipitación a través del siglo la oferta hídrica disminuiría constantemente. Los hidrogramas en los diferentes tramos del río Cravo Sur muestran altos caudales o picos en meses de lluvia y bajos caudales en los meses secos, a medida que avanzan los tramos del río el caudal aumenta.

3. Escasez Hídrica (Demanda vs Oferta): En los tramos 1 y 2 para los años 2040,2099 y crítico 2029, en la mayor parte del tiempo la comunidad no podría suplir la demanda de agua a través de las concesiones otorgadas por corporinoquia; y extremo de escasez se tendría el año 2029, donde se tendrían caudales de oferta menores de 1 m³/seg.

4. La Alteración de la Calidad del agua, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta): Algunos Hidrogramas muestran que, para los meses secos de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero, el caudal de oferta no superará 1 m³/seg, lo que conlleva a afectaciones en la calidad del agua por los vertimientos directos que se hacen al Cravo Sur, en especial el de los centros poblados como Labranzagrande y el Morro, ya que el río no tendría suficiente caudal para depurar naturalmente estos vertimientos, causando así posible contaminación hídrica.

Seguido el componente Biótico, en el subcomponente o recurso ecosistema del río Cravo Sur, al producirse

5. Alteración de los ecosistemas, Riesgo en suplir el caudal de ecológico (25% caudal de oferta): En los tramos 1 y 2 para los años 2040,2099 y crítico 2029, se proyectan caudales de oferta menores de 1 m³/seg amenazando la sostenibilidad del caudal ecológico, lo que pone en riesgo la supervivencia ecosistémica de la fuente hídrica; El riesgo de no poder suplir el caudal ecológico en los tramos 1-2 en algunos meses de sequía, traería como consecuencia desplazamiento de fauna, disminución de individuos o ejemplares de una o más especies, modificación de poblaciones, Cambio en su composición, estructura y función, Fragmentación de ecosistemas, entre otras.

9.1.2.3 Conflictos Sociales

Los conflictos sociales en sí son afectaciones que se prevén, dentro de los conflictos sociales previstos los que más sobresalen o tienen mayor promedio aritmético son:

1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario): En la cuenca del río Cravo Sur específicamente sobre el área del municipio de Yopal se tienen un total de 60 concesiones con una demanda hídrica de 8,86 m³/seg, dentro de los cuales los de mayor presión se encuentran los canales de riego que derivan directamente del cauce principal del río Cravo Sur y transportan una gran cantidad de agua para diferentes usos, entre los más destacados los agropecuarios de siembra de Arroz, ganadería, piscicultura y Palma.

En los tramos 1 y 2 para los años 2040,2099 y crítico 2029, en la mayor parte del tiempo la comunidad no podría suplir la demanda de agua a través de las concesiones otorgadas por corporinoquia; y extremo de escasez se tendría el año 2029, donde se tendrán caudales de oferta menores de 1 m³/seg.

Actualmente existen concesiones de aguas para diferentes usos, en especial el agropecuario, sin embargo se prevé que cuando la oferta de agua disminuya por el Cambio Climático, se presentaran conflictos entre los diferentes usos, una rivalidad en quien tiene favorecimiento en el aprovechamiento del agua, las disputas entre actividades y la adecuada distribución del agua por ley, se ven más común últimamente y esto puede evidenciarse en la problemática encontrada y pronunciada en las encuestas realizadas.

2. Conflicto entre usuarios (Legales -concesionados, Ilegales -Sin concesión): El 79% de los encuestados expresaron que el agua para sus actividades la consiguen o captan a través de los canales de riego existentes de forma ilegal es decir sin contar con permisos concesiones por la autoridad ambiental Corporinoquia, lo que genera constante presión sin control a la corriente principal, conflictos entre la autoridad ambiental y la comunidad, así como conflictos entre, usuarios legales e ilegales, y entre los mismos beneficiarios en época de bajas precipitaciones.

Se proyecta que los conflictos sociales persistirán en el futuro y cada vez con mayor magnitud, esto debido a que la gran mayoría de los beneficiarios de los canales de riego no se encuentran legalizados y no existe una administración y control eficaz de la autoridad ambiental, lo que implica desorden y sobreexplotación del recurso sin control alguno.

3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones Actuales y Futuras): Se cree que los conflictos entre las necesidades y preferencias de las generaciones actuales y la preservación del recurso como derecho de las generaciones futuras cada vez será más común y fuerte, cada vez son más personas conocedoras e interesadas en prácticas de sostenibilidad del recurso hídrico, el cambio climático disminuirá el caudal de oferta del río Cravo Sur y esto traería conflictos por un lado los que quieren tener recurso sin límites y por otro lado los que quieren cuidar, vigilar, conservar y preservar este. La Justificación de toda la investigación y desarrollo de la maestría es la Búsqueda del desarrollo sostenible, Se tiene una relación estrecha de las proyecciones de cambio climático con el concepto y

objeto del Desarrollo Sostenible, como buscar el equilibrio entre las necesidades actuales y las de las generaciones futuras.

Conflictos institucionales (Públicos y Privados): Por la disminución del caudal de oferta del río Cravo Sur, se incrementarán los conflictos entre los actores privados como asociaciones agropecuarias, concesionados, empresas, comunidad, etc... Y corporinoquia como entidad que administra el recurso hídrico, esto porque la demanda de agua se incrementará al pasar el tiempo y si existe escasez hídrica con la demanda actual a futuro será mucho mayor.

Conflictos con actores no usuarios (Explotación Pétreo): Actualmente existen más de 3 licencias sobre el río Cravo Sur para la explotación de material Pétreo, y a futuro se prevé la solicitud de más de 20 licencias para explotación minera sobre el cauce del mismo río, por lo que se prevé conflicto entre actores.

10. Estrategias de Mitigación y Adaptación

Estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático para el municipio de Yopal a partir de los cambios esperados

Con los principales resultados obtenidos de la valoración de afectaciones Socio-Ambientales, se construyeron estrategias de mitigación y adaptación a los cambios esperados, que permitirán ser herramientas útiles para enfrentar el cambio climático y ser resilientes.

Tabla 23. Estrategia de adaptación, mejoramiento genético.

#	Tipo	Estrategias Propuestas			
1	Adaptación Agropecuario	<p>Mejoramiento Genético: Utilizar las razas de ganado y tipos de cultivos que son más resistentes al aumento de la temperatura. Ganado criollo, arroz secano, etc.. Población Objetivo: Arroceros, Palmeros, Ganaderos y Campesinos en general de las veredas del tramo 1 y 2 del río Cravo Sur. Entidades Involucradas: Gobernación de Casanare y Alcaldía de Yopal: Suministro de recursos, fomento e implementación de proyectos. Corporinoquia: Fomento, acompañamiento, permisos, asesoría, seguimiento. Corpoica: asesoría y seguimiento Fedegán, Fedearroz, Fedepalma: suministro de Recursos, Brindar asistencia técnica profesional.</p>			
PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES		PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES			
2. Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	3. Escasez Hídrica (Demanda vs Oferta)	4. La Alteración de la Calidad del agua, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta)	1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones Actuales y Futuras)	4. Conflictos institucionales (Públicos y Privados)
Al disminuir la demanda de agua, se aumenta la oferta o disponibilidad para otros usos.	Al tener cultivos y ganado genéticamente más resistentes a altas temperaturas, disminuirá la demanda o presión por el agua del río, aumentando la oferta disponible y disminuyendo la escasez hídrica.	Disminuirá la utilización de fertilizantes químicos y plaguicidas, así mismo disminuye el riesgo de contaminación hídrica; al tener un agua menos contaminada se ayuda a la depuración natural y cumplimiento del caudal de seguridad.	Al tener cultivos y ganado genéticamente más resistentes a altas temperaturas, se disminuye la demanda de agua, se aumenta la oferta o disponibilidad de la misma para otros usos. Y los conflictos entre los diferentes sectores o usos bajarán.	Al tener menos demanda de agua de las generaciones actuales, tendrá mas oferta de agua disponible para las generaciones futuras, además se crea estado de tranquilidad, disminuyendo así los conflictos generacionales.	Al disminuir la demanda hídrica con esta estrategia, Corporinoquia tendría más herramientas para evitar acciones, sanciones, etc... En general conflictos con los concesionados.

Tabla 24. Estrategia de adaptación, cosecha de agua.

#	Tipo	Estrategias Propuestas					
2	Adaptación Agropecuario	<p>Cosecha de Agua: Construir reservorios de agua para almacenar agua lluvia en época de precipitaciones, para ser utilizada en época más seca, al menos para dos meses. Tener en cuenta para el cálculo del dimensionamiento del reservorio, uso que se destinará el agua, demanda del agua y periodo de suministro.</p> <p>Población Objetivo: Arroceros, palmeros, Ganaderos y campesinos en general de las Veredas del tramo 1 y 2 del río Cravo Sur.</p> <p>Entidades Involucradas: Gobernación de Casanare y Alcaldía de Yopal: Suministro de recursos, fomento e implementación de proyectos. Corporinoquia: Fomento, acompañamiento, permisos, asesoría, seguimiento. Corpoica: asesoría y seguimiento. Fedegán, Fedearroz, Fedepalma: Recursos, fomento e implementación de proyectos.</p>					
PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES		PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES					
2. Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	3. Escasez Hidrica (Demanda vs Oferta)	5. Alteración de los ecosistemas, Riesgo en suplir el caudal de ecológico (25% caudal de oferta)	1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	2. Conflicto entre usuarios (Legales -concesionados, ilegales -Sin concesión)	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones Actuales y Futuras)	4. Conflictos institucionales (Públicos y Privados)	5. Conflictos con actores no usuarios (Explotación Pétreo).
La cosecha de aguas lluvias disminuye la demanda de agua del río Cravo Sur, aumentando la oferta disponibilidad de la misma para otros usos.	Al suministrar agua lluvia, se disminuye la demanda de agua del río y se mantiene la oferta o disponible, por lo tanto disminuye el riesgo de presentarse escasez hídrica.	Aumenta la capacidad hidrica del río en suplir su caudal ecológico en época crítica seca, disminuyendo el riesgo de alteraciones eco sistémicas.	La cosecha de aguas lluvias disminuye la demanda de agua del río Cravo Sur, aumentando la oferta disponibilidad de la misma para otros usos, disminuyendo los conflictos entre usos.	La cosecha de aguas lluvias, evita que se capte ilegalmente agua del río Cravo Sur, lo que disminuye los conflictos entre usuarios.	Se tendría mas oferta de agua disponible del río Cravo Sur para las generaciones futuras, además se crea estado de tranquilidad, disminuyendo así los conflictos intergeneracionales.	Se disminuye los conflictos institucionales para la cosecha de agua no se tendrán que tramitar permisos de concesiones y se evitaran más peticiones sobre el río Cravo Sur.	Ayudará a evitar conflictos con actores no usuarios, si se tiene cosecha de agua no necesariamente tendrá que ser usuario del río Cravo Sur, evitando así relaciones con terceros y conflictos.

Tabla 25. Estrategia de adaptación, seguros contra pérdidas agropecuarias.

#	Tipo	Estrategias Propuestas				
3	Adaptación Agropecuario	<p>Seguros Contra Perdidas Agropecuarias por Eventos Climáticos: Asegurar las producciones agropecuarias contra perdidas por eventos climáticos, asegura que se puedan pagar las inversiones y deudas adquiridas, se daría confianza a las inversiones.</p> <p>Población Objetivo: Arroceros, palmeros, Ganaderos y campesinos en general de las Veredas del tramo 1 y 2 del río Cravo Sur.</p> <p>Entidades Involucradas: Gobernación de Casanare y Alcaldía de Yopal: Recursos, fomento e implementación de proyectos, Fedegán, Fedearroz, Fedepalma: Gestión, inversión, créditos, aseguradoras.</p>				
PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES		PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES				
1. El aumento de temperatura sostenida a través del siglo, por el Cambio Climático		1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	2. Conflicto entre usuarios (Legales -concesionados, ilegales -Sin concesión)	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones Actuales y Futuras)	4. Conflictos institucionales (Públicos y Privados)	5. Conflictos con actores no usuarios (Explotación Pétreo).
Estrategia que permite adaptación y disminución de pérdidas de inversiones agropecuarias ocasionadas por el aumento de temperatura.	Por el cambio climático se prevén pérdidas agropecuarias, si se aseguran estas pérdidas se tendrán menos conflictos por búsqueda de culpables entre los usos.	El conflicto entre usuarios en general es porque los concesionados captan más de lo permitido y los ilegales captan agua de esta forma; si se adquieren seguros se disminuye los conflictos en búsqueda de culpables de las perdidas por falta de agua.	Inversiones aseguradas, permitirán transformaciones en predios para cumplir toda la normatividad ambiental con el fin de que se les otorgue los mismos seguros.	Inversiones aseguradas, evitan deudas de créditos, y dan seguridad a proyectos de inversión pública, evitando conflictos institucionales.	Al asegurar se tendrán menos conflictos por búsqueda de culpables con actores no usuarios.	

Tabla 26. Estrategia mixta de adaptación y mitigación, sistemas silvopastoriles.

#	Tipo	Estrategias Propuestas			
4	Ganadero Mixta Adaptación y Mitigación	<p>Sistemas Silvopastoriles: Esta estrategia busca implementar la siembra de árboles que sirvan como sombrío a los animales y les permita escapar al estrés que puedan ocasionar las altas temperaturas.</p> <p>Considerar la siembra entre 30 y 50 árboles por hectárea, árboles nativos.</p> <p>Población Objetivo: Ganaderos de las veredas del tramo 1 y 2 del río Cravo Sur.</p> <p>Entidades Involucradas: Gobernación de Casanare y Alcaldía de Yopal: Suministro de recursos, fomento e implementación de proyectos</p> <p>Corporinoquia: Suministro de recursos, Fomento, acompañamiento, permisos, asesoría, seguimiento. Corpoica: Asesoría y seguimiento. Fedegán: Suministro de recursos, Fomento e implementación de proyectos.</p>			
		PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES		PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES	
1. El aumento de temperatura sostenida a través del siglo, por el Cambio Climático	2. Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	3. Escasez Hídrica (Demanda vs Oferta)	5. Alteración de los ecosistemas, Riesgo en suplir el caudal de ecológico (25% caudal de oferta)	1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones Actuales y Futuras)
Los Arboles ayudan a la absorción de GEI (sumideros de carbono) en general, y en lo local a la regulación micro climática en la disminución de la temperatura del lugar intervenido.	Al disminuir la demanda de agua del ganado, se aumenta la oferta de disponibilidad de la misma para otros usos.	Al disminuir el estrés térmico, disminuye la demanda de agua del río por el ganado, aumentando la oferta disponible y disminuyendo la escasez hídrica.	Los Arboles ayudan a la creación y restauración, ecosistémica, pueden llegar a ser ecosistemas auto sostenibles de agua, ejemplo: en la llanura morichales, esteros, sabanas inundables, etc. Todo esto ayuda a suplir el caudal ecológico disminuyendo la alteración ecosistémica.	Los sistemas silvopastoriles permiten disminuir el estrés térmico del ganado y por ende la disminución de la demanda hídrica del río Cravo Sur, al suceder esto se aumenta la oferta o disponibilidad de la misma para otros usos, disminuyendo los conflictos entre usos.	Al tener menos presión de agua el caudal de oferta disponible del río Cravo Sur no disminuye para las generaciones futuras, se crea estado de tranquilidad, evitando así los conflictos intergeneracionales..

Tabla 27. Estrategia mixta de adaptación y mitigación, sustitución de cultivos.

#	Tipo	Estrategias Propuestas					
5	Agricultura Mixta Adaptación y Mitigación	<p>Sustitución de Cultivos: Establecer cambio de productos de la agricultura tradicional, por cultivos que requieran menos agua, cultivos que proporcionen biomasa, restauración ecológica, más amigables con el medio ambiente, etc.</p> <p>Cultivos forestales, Cacao, Caucho, etc..</p> <p>Población Objetivo: Arroceros, Palmeros, Ganaderos y campesinos en general de las Veredas del tramo 1 y 2 del río Cravo Sur</p> <p>Entidades Involucradas: Gobernación de Casanare, Alcaldía de Yopal, Corporinoquia: Gestión, Recursos, fomento e implementación a través de proyectos.</p>					
		PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES		PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES			
1. El aumento de temperatura sostenida a través del siglo, por el Cambio Climático	2. Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	3. Escasez Hídrica (Demanda vs Oferta)	5. Alteración de los ecosistemas, Riesgo en suplir el caudal de ecológico (25% caudal de oferta)	1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	2. Conflicto entre usuarios (Legales -concesionados, ilegales -Sin concesión)	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones Actuales y Futuras)	4. Conflictos Institucionales (Públicos y Privados)
Cultivos más amigables ambientalmente, como los forestales comerciales, ayudan a la absorción de GEI (sumideros de carbono) en general, y en lo local a la regulación micro climática en la disminución de la temperatura del lugar intervenido.	Al disminuir la demanda de agua de los nuevos cultivos, aumenta la oferta de disponibilidad de la misma para otros usos.	Al aumentar la oferta hídrica y disminuir la demanda se disminuye la posibilidad de escasez hídrica.	Cultivos más amigables ambientalmente, ayudan a la generación de biomasa, a la creación y restauración ecosistémica, etc. Todo esto ayuda a suplir el caudal ecológico disminuyendo la alteración ecosistémica.	Al disminuir la demanda de agua de los nuevos cultivos, aumenta la oferta o disponibilidad de la misma para otros usos, disminuyendo los conflictos entre usos.	Cultivos más amigables, evitan que mas agua o que se capte ilegalmente agua del río Cravo Sur, lo que disminuye los conflictos entre usuarios.	Cultivos más amigables ambientalmente, evitan conflictos generacionales.	Cultivos más amigables ambientalmente, dan cumplimiento a las normas ambientales y evitan conflictos generacionales.

Tabla 28. Estrategia de mitigación, protección de zonas de nacimiento del río Cravo Sur.

#	Tipo	Estrategias Propuestas						
6	Mitigación Gestión Integral del Recurso Hídrico	Protección Zonas de Nacimiento del Río Cravo Sur: Adquirir y proteger terrenos en las zonas de nacimiento del río Cravo Sur. Terrenos de vital importancia en el departamento de Boyacá. Población Objetivo: Alcaldía de Yopal, Corporinoquia Entidades Involucradas: Gobernación de Casanare, Alcaldía de Yopal, Corporinoquia: evaluación de predios, Gestión de Recursos para adquisición, y fomento e implementación de proyectos de protección y conservación.						
PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES		PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES						
2. Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	3. Escasez Hídrica (Demanda vs Oferta)	4. La Alteración de la Calidad del agua, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% ecológico caudal de oferta)	5. Alteración de los ecosistemas, Riesgo de caudal de seguridad. (25% ecológico caudal de oferta)	1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	2. Conflicto entre usuarios (Legales -concesionados, ilegales -Sin concesión)	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones Actuales y Futuras)	4. Conflictos institucionales (Públicos y Privados)	5. Conflictos con actores no usuarios y (Explotación Pétreo).
Al proteger las zonas de nacimiento del río Cravo Sur se protege la oferta hídrica y la disponibilidad de agua	Con oferta hídrica protegida y constante se apunta a bajar el riesgo de escasez hídrica.	Al proteger la oferta hídrica se apunta al cumplimiento con el caudal de seguridad.	Al proteger la oferta hídrica se apunta al cumplimiento con el caudal ambiental.	Al proteger las zonas de nacimiento del río Cravo Sur, se protege la oferta hídrica y la disponibilidad de agua; disminuyendo los conflictos entre usos.	Al proteger las zonas de nacimiento del río Cravo Sur, se protege la oferta hídrica y las captaciones ilegales no serían tan protagonistas al existir un buen sedimento de los conflictos entre usuarios.	Al proteger el agua se protegen las generaciones futuras, si se disminuirán estos conflictos generacionales.	Al proteger la oferta hídrica se crea una mejor opinión ciudadana hacia las instituciones públicas, lo cual disminuirá los conflictos institucionales.	Al proteger la oferta hídrica no se buscarán culpables de la disminución del recurso, como sucede hoy en día, que se tiene en desconfianza la explotación pétreo por los impactos negativos que se cree causa esta actividad sobre el recurso hídrico.

Tabla 29. Estrategia de mitigación, vertimientos cumpliendo la norma.

#	Tipo	Estrategias Propuestas				
7	Mitigación Gestión Integral del Recurso Hídrico	Vertimientos Cumpliendo con la Norma: Vigilancia y control a que todos los vertimientos realizados al río Cravo Sur cumplan con la respectiva norma de vertimientos (Resolución 631 del 2015), busca mejorar la calidad del agua del río y disminuir el riesgo de suplir el caudal de seguridad. Población Objetivo: Corporinoquia, comunidad de Yopal en las Veredas del tramo 1 y 2 del río Cravo Sur. Entidades Involucradas: Corporinoquia: Fomento, vigilancia y control, sanciones, acompañamiento, permisos.				
PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES		PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES				
1. El aumento de temperatura sostenida a través del siglo, por el Cambio Climático	4. La Alteración de la Calidad del agua, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta)	1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	2. Conflicto entre usuarios (Legales -concesionados, ilegales -Sin concesión)	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones Actuales y Futuras)	4. Conflictos institucionales (Públicos y Privados)	5. Conflictos con actores no usuarios y (Explotación Pétreo).
Las aguas contaminadas son las emisoras de GEI al controlar y cumplir con las normas ambientales se evitan en parte estas emisiones.	Los vertimientos cumpliendo la norma disminuyen la alteración de la calidad del agua, disminuyendo el riesgo de alteración o contaminación hídrica; al tener un agua menos contaminada se ayuda a la depuración natural y cumplimiento del caudal de seguridad.	Existen conflictos por contaminación del agua, si todos los concesionados cumplen la norma de vertimientos se disminuirá estos señalamientos.	Se conocerá el foco de posible contaminación hídrica y se conocerá si es legal o ilegal y las acciones pertinentes.	El cumplimiento de la norma de vertimientos evita contaminación de la misma y se protege el futuro y uso de esta, los que disminuye los conflictos generacionales por la calidad de la misma.	Al asegurar el cumplimiento de la norma de vertimientos Corporinoquia evita conflictos con la comunidad y otras instituciones de vigilancia.	Herramienta con la que se podrá evitar la contaminación hídrica de un proyecto con actores no usuarios.

Tabla 30. Estrategia de adaptación, Fomentar la legalidad de concesiones de agua.

#	Tipo	Estrategias Propuestas						
8	Adaptación Gestión Integral del Recurso Hídrico	<p>Fomentar la Legalidad de Concesiones de Agua: Corporinoquia establezca estrategias que faciliten la concesión o legalidad de las captaciones ilegales, disponer de un Grupo de profesionales asesorando a la comunidad en búsqueda de la legalidad.</p> <p>Población Objetivo: Corporinoquia, comunidad de Yopal en las Veredas del tramo 1 y 2 del rio Cravo Sur.</p> <p>Entidades Involucradas: Corporinoquia: Fomento, implementación de proyectos, sanciones, acompañamiento, permisos, asesoría, seguimiento.</p>						
		PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES			PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES			
2. Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	3. Escasez Hídrica (Demanda vs Oferta)	4. La Alteración de la Calidad del agua, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta)	5. Alteración de los ecosistemas, Riesgo en suplir el caudal de ecológico (25% caudal de oferta)	1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	2. Conflicto entre usuarios (Legales - concesionados, ilegales -	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones - Actuales y Futuras)	4. Conflictos institucionales (Públicos y Privados)	5. Conflictos con actores no usuarios (Explotación Pétreo).
Al tener usuarios legales se conocerá la demanda real de agua del agua permitiendo administrar adecuadamente el recurso.	Al evaluar las concesiones de agua se evaluará la oferta y la escasez hídrica otorgando o negando dicha solicitud.	Al evaluar la solicitud de agua se deberá tener en cuenta la suficiente para suplir el caudal de seguridad.	Al evaluar la solicitud de agua se deberá tener en cuenta el recurso suficiente para suplir el caudal de ecológico.	Fomentar la legalidad de concesiones importante, ya que con esta acción se tendría un mejor control y administración de usos por parte de Corporinoquia, así se disminuirá los conflictos de usos.	Fomentar la legalidad es la mejor herramienta para evitar el conflicto entre usuarios legales e ilegales.	La Legalidad es valiosa, porque así una mejor herramienta administrativa evaluando y solo autorizando lo necesario, donde se tendrá en cuenta la supervivencia del río y las necesidades futuras.	La legalidad de las concesiones de agua permite que las instituciones públicas realicen mejor sus funciones en el control o la vigilancia de las captaciones privadas.	Con usuarios legales se tendrá garantía de conocer si existen afectaciones al recurso hídrico con actores no usuarios, de lo contrario se seguirá especulado en los impactos de estos pueden causar y así generando conflictos. .

Tabla 31. Estrategia de adaptación, programas de uso eficiente y ahorro del agua PUEAA.

#	Tipo	Estrategias Propuestas					
9	Adaptación Gestión Integral del Recurso Hídrico	<p>Programas Uso Eficiente y Ahorro del Agua PUEAA: Usuarios legales, presentando el PUEAA, el cual es el Conjunto de proyectos y acciones que le corresponde elaborar y adoptar a los usuarios que soliciten concesión de aguas, con el propósito de contribuir a la sostenibilidad del recurso hídrico. (Decreto 1076 de 2015,Resolución N° 1257 de 2018),</p> <p>Población Objetivo: Corporinoquia, comunidad de Yopal en las Veredas del tramo 1 y 2 del rio Cravo Sur.</p> <p>Entidades Involucradas: Corporinoquia: Fomento, implementación de proyectos, sanciones, acompañamiento, permisos, asesoría, seguimiento.</p>					
		PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES			PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES		
2. Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	3. Escasez Hídrica (Demanda vs Oferta)	4. La Alteración de la Calidad del agua, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta)	5. Alteración de los ecosistemas, Riesgo en suplir el caudal de ecológico (25% caudal de oferta)	1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	2. Conflicto entre usuarios (Legales - concesionados, ilegales - Sin concesión)	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones - Actuales y Futuras)	4. Conflictos institucionales (Públicos y Privados)
Al promover el uso eficiente y ahorro del agua se optimiza la demanda de agua y con esta aumenta la oferta del agua.	con los PUEAA el uso eficiente y ahorro del agua se disminuiría la demanda, con ello disminuiría la escasez hídrica.	Con la implementación de los PUEAA se tendría mas recurso hídrico disponible en el río para suplir el caudal de seguridad.	Con la implementación de los PUEAA se tendría mas recurso hídrico disponible en el río para suplir el caudal de ecológico.	PUEAA tiene que presentarse por ley por todos los concesionados, esto permite una mayor vigilancia del recurso y ahorro del mismo, evitando desperdicio o captaciones por encima de lo otorgado; disminuye el conflicto entre Usos.	La ilegalidad fomenta el desperticio y desvalorización del recurso hídrico, lo que genera conflictos entre usuarios, el PUEAA se genera como una estrategia para que se tome conciencia de la importancia del agua, se valore y se ahorre, así se evitaría evitando conflictos entre usuarios.	El ahorro, el uso eficiente, entender el valor de cuidar el agua para las generaciones futuras se encuentra intrínsecamente dentro del PUEAA.	Todos las instituciones privadas o publicas que captan agua, deben presentar el PUEAA, esto conlleva a que se valore el recurso y se tengan buenas perspectivas entre las instituciones.

Tabla 32. Estrategia de adaptación, monitoreo en tiempo real del caudal del río Cravo Sur.

#	Tipo	Estrategias Propuestas							
10	Adaptación Gestión Integral del Recurso Hídrico	<p>Monitoreo en Tiempo Real del Caudal del Río Cravo Sur: Implementar estaciones hidrométricas automáticas en el río Cravo sur, en la zonas de unión e inicio de los tramos 1,2,3,; así mismo contar con un equipo especializado en el análisis de dichos datos, todo esto con el fin de monitorear el caudal del río en tiempo real, para posteriormente generar insumos técnicos a proyectos e investigaciones , como alertas tempranas a la población; todo para la ayuda en administración y toma de decisiones ambientales.</p> <p>Población Objetivo: Corporinoquia, IDEAM.</p> <p>Entidades Involucradas: Gobernación de Casanare, Alcaldía de Yopal, Corporinoquia: Gestión, Recursos, proyectos de adquisición, instalación de equipos y monitoreo permanente. IDEAM: Asesoría y apoyo permanente.</p>							
PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES			PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES						
1. El aumento de temperatura sostenida a través del siglo, por el Cambio Climático	2. Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	3. Escasez Hídrica (Demanda vs Oferta)	4. La Alteración de la Calidad del agua, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta)	5. Alteración de los ecosistemas, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta)	1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	2. Conflicto entre usuarios (Legales -concesionados, ilegales -Sin concesión)	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones Actuales y Futuras)	4. Conflictos institucionales (Públicos Privados)	5. Conflictos con actores no usuarios (Explotación Pétreo).
Fuente de datos, Insumos y soporte técnico a nivel local para realizar el análisis y seguimiento de las afectaciones por el aumento de la temperatura en el caudal de oferta del río	Conocimiento en tiempo real del aumento o disminución de la oferta hídrica o disponibilidad de agua en el río.	Conocimiento en tiempo real si sucede escasez hídrica .	Conocimiento en tiempo real si se sucede o no la seguridad establecido para el río	Conocimiento en tiempo real si se sucede o no el caudal ecológico establecido para el río	Los monitores en tiempo real del caudal oferta, permiten conocer cuánto se está captando por las grandes concesiones y así mejorar el control y seguimiento sobre estas, evitando los conflictos entre usos.	Permiten conocer cuánto se está realizando una captación ilegal de gran envergadura, dando confianza a la comunidad de Yopal y evitando conflictos generacionales.	Otorgan un control y seguimiento efectivo del agua del río Cravo Sur dando perfecta de la administración de agua por parte de Corporinoquia, herramienta de gestión ante conflictos con la comunidad.	Un control y seguimiento del caudal de oferta, antes de un proyecto con actores no usuarios.	Herramienta con la que se podrá monitorear el comportamiento del caudal de oferta, después de un proyecto con actores no usuarios.

Tabla 33. Estrategia de adaptación, Reglamentación de los usos del agua.

#	Tipo	Estrategias Propuestas						
11	Adaptación Gestión Integral del Recurso Hídrico	<p>Reglamentación de los Usos del Agua : La normatividad da prioridad en otorgar concesiones de agua a diferentes usos (Decreto 1076 de 2015, Resolución 631 de 2015), así mismo estos usos pueden ser reglamentados por Corporinoquia.</p> <p>Población Objetivo: Corporinoquia, comunidad de Yopal en las Veredas del tramo 1 y 2 del río Cravo Sur.</p> <p>Entidades Involucradas: Corporinoquia: Fomento, implementación de proyectos, sanciones, acompañamiento, permisos, asesoría, seguimiento</p>						
PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES			PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES					
2. Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	3. Escasez Hídrica (Demanda vs Oferta)	4. La Alteración de la Calidad del agua, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta)	5. Alteración de los ecosistemas, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta)	1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	2. Conflicto entre usuarios (Legales -concesionados, ilegales -Sin concesión)	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones Actuales y Futuras)	4. Conflictos institucionales (Públicos Privados)	5. Conflictos con actores no usuarios (Explotación Pétreo).
Al reglamentar los usos del agua se evaluará la demanda y oferta, permitiendo administrar adecuadamente el recurso.	Al reglamentar los usos del agua se evaluará la escasez hídrica y se pondrán límites a la presión de demanda de agua.	Al reglamentar los usos del agua se deberá tener en cuenta dejar recurso suficiente para suplir el caudal de seguridad.	Al reglamentar los usos del agua se deberá tener en cuenta dejar recurso suficiente para suplir el caudal ecológico.	La reglamentación del uso del agua permitirá que se administre y se distribuya equitativamente este recurso y evitara conflictos entre los usos.	La reglamentación permitirá un diagnóstico de los usuarios legales e ilegales , donde se tendrá que plantear estrategias de formalización , con lo que se evita conflictos entre usuarios.	Al reglamentar los usos del agua se implementaran acciones de participación y se deberá tener en cuenta cumplimiento de caudales ecológicos y de seguridad , así como de hacer con futuros proyectos y usuarios.	La reglamentación es la mejor herramienta administrativa del recurso hídrico, disminuirían y se dejaron claro los roles y acciones de las instituciones y privados.	La mejor reglamentación evalúa los actores no usuarios y sus consecuencias, y acciones a realizar, evitando conflictos.

Tabla 34. Estrategia de adaptación, fuentes alternas de suministro de agua.

#	Tipo	Estrategias Propuestas							
12	Adaptación Gestión Integral del Recurso Hídrico	<p>Fuentes Alternas de Suministro de Agua: Búsqueda de fuentes alternas de suministro de agua, como son las aguas subterráneas u otras fuentes hídricas superficiales, para suplir la demanda de agua.</p> <p>Población Objetivo: Corporinoquia, Empresa de Acueducto de Yopal, comunidad de Yopal en las Veredas del tramo 1 y 2 del río Cravo Sur.</p> <p>Entidades Involucradas: Gobernación de Casanare y Alcaldía de Yopal: Recursos, fomento e implementación de proyectos Corporinoquia: Inversión de compensaciones, Fomento, implementación de proyectos, sanciones, acompañamiento, permisos, asesoría, seguimiento.</p>							
PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES				PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES					
2. Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	3. Escasez Hídrica (Demanda vs Oferta)	4. La Alteración de la Calidad del agua, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta)	5. Alteración de los ecosistemas, Riesgo en suplir el caudal ecológico (25% caudal de oferta)	1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	2. Conflicto entre usuarios (Legales -concesionados, ilegales -Sin concesión)	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones Actuales y Futuras)	4. Conflictos institucionales (Públicos y Privados)		
Al tener fuentes alternas de suministro de agua se disminuye la demanda de agua del río Cravo Sur, aumentando la disponibilidad de la misma para otros usos.	Al disminuir la presión de demanda de agua, se aumenta la oferta y disminuye la posibilidad de escasez hídrica.	Al quitar demanda o presión hídrica, se tiene más caudal remanente de oferta, siendo más fácil cumplir con el caudal de seguridad.	Al quitar demanda o presión hídrica, se tiene más caudal remanente de oferta, siendo más fácil cumplir con el caudal ecológico.	Al tener fuentes alternas de suministro de agua se disminuye la demanda de agua del río Cravo Sur, aumentando la disponibilidad de la misma para otros usos, evitando conflictos entre los usos.	Tener fuentes alternas diferentes al río Cravo Sur hace que los actores ilegales y legales disminuyan la presión al río, lo que disminuye los conflictos entre usuarios.	Se tendría más oferta de agua disponible del río Cravo Sur para las generaciones futuras, además se crea un estado de tranquilidad, disminuyendo así los conflictos intergeneracionales.	Se disminuye los conflictos institucionales sobre el río Cravo Sur, porque disminuye la presión en el mismo.		

Tabla 35. Estrategia mixta de adaptación y mitigación, control de la deforestación y realizar reforestación de las márgenes del río Cravo Sur.

#	Tipo	Estrategias Propuestas								
13	Mixta Adaptación y Mitigación Gestión Integral del Recurso Hídrico	<p>Control de la Deforestación y Realizar Reforestación de las Márgenes del Río Cravo Sur: Esta estrategia busca: 1. mejorar la vigilancia y sancionar a la comunidad que realice talas en las riveras del Cravo Sur, 2. conservar y enriquecer los bosques de galería existentes, así mismo reforestar las márgenes deforestadas generando sostenibilidad del caudal ecológico, depuración natural del agua y supervivencia ecosistémica del río Cravo Sur.</p> <p>Población Objetivo: Entidades, Corporinoquia, comunidad de Yopal en las Veredas del tramo 1 y 2 del río Cravo Sur.</p> <p>Entidades Involucradas: Gobernación de Casanare y Alcaldía de Yopal: Recursos, fomento e implementación de proyectos Corporinoquia: Inversión de compensaciones, Fomento, implementación de proyectos, sanciones, acompañamiento, permisos, asesoría, seguimiento.</p>								
PRINCIPALES AFECTACIONES AMBIENTALES				PRINCIPALES CONFLICTOS SOCIALES						
1. El aumento de temperatura sostenida a través del Cambio Climático	2. Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	3. Escasez Hídrica (Demanda vs Oferta)	4. La Alteración de la Calidad del agua, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta)	5. Alteración de los ecosistemas, Riesgo en suplir el caudal ecológico (25% caudal de oferta)	1. Conflicto entre usos del agua (Consumo humano, agrícola y pecuario)	2. Conflicto entre usuarios (Legales -concesionados, ilegales -Sin concesión)	3. Conflictos intergeneracionales (Generaciones Actuales y Futuras)	4. Conflictos institucionales (Públicos y Privados)	5. Conflictos con actores no usuarios (Explotación Pétreo).	
Los árboles ayudan a la absorción de GEI (sumideros de carbono) en general, y en lo local a la regulación micro climática en la disminución de la temperatura del lugar intervenido.	Los árboles en especial los bosques de galería en las riveras de los ríos, ayudan a mantener la oferta hídrica por que disminuyen las pérdidas de caudal en especial las generadas por evaporación.	con la sostenibilidad ofrecida por los árboles aumenta la oferta disponible y disminuye la escasez hídrica.	Las márgenes reforestadas ayudan a la depuración natural del agua y supervivencia ecosistémica del río.	Las márgenes reforestadas ayudan a la generación de biomasa, a la creación y restauración, ecosistémica, etc. Todo esto genera sostenibilidad del caudal ecológico disminuyendo la alteración ecosistémica.	La reforestación de las márgenes ayudan a mantener la oferta hídrica sin pérdidas y por ende más recurso para los usos del agua.	La ilegalidad de deforestación, pérdidas de recurso y conflicto entre usuarios, es necesario conservar y reforestar lo que genera sostenibilidad de caudal y disminución de conflictos.	Al reforestar se da vida a los ecosistemas, flora, la fauna, el medio ambiente, se protege el agua, se protegen las riveras de las públicas, se protege las generaciones futuras, si se protege se evitan estos conflictos generacionales.	Reforestar es una medida de ideales, de beneficios, ambientales y ayuda al cumplimiento de las funciones de las instituciones públicas, como corporinoquia en la conservación y protección de los recursos naturales, con esto se evitan conflictos generacionales.	Se tiene desconfianza en los actores no usuarios se creen que son causantes de impactos, al reforestar las márgenes se tendrá mas protección ambiental del río y se entendería mejor la necesidad de estos actores en el río.	

El agua es un recurso vital, por lo que su administración influye en todas las dimensiones, económica, social y ambiental, y así mismo genera conflictos; En los conflictos sociales evaluados y relacionados con la Gestión integral del recurso hídrico, es importante mencionar que la principal estrategia para el manejo y resolución de los mismos es la ***Gobernanza del Agua***.

El rol de las diferentes entidades, frente a la gestión integral del recurso hídrico, está establecida por la ley y normas: Corporinoquia, SINA, CRA, ANLA, procuraduría, etc... el de la comunidad recae en el uso racional y eficiente del recurso hídrico y de la conservación, así como de una efectiva participación y vigilancia del recurso.

Las afectaciones ambientales se presentan como consecuencia de los cambios esperados en la oferta hídrica del río Cravo Sur, oferta que se modeló y proyectó dando como resultado afectaciones negativas y escasez hídrica en diferentes tramos de la corriente principal.

Los conflictos socio-ambientales se presentan como consecuencia de problemáticas ambientales en este caso, se desarrollan en torno a la disminución de la oferta hídrica del río Cravo Sur, situaciones que dan paso a la temática denominada desarrollo y manejo de conflictos; el primero paso en el manejo de conflictos es: evitar que se presenten, el segundo paso, ya con el conflicto se debe establecer el diálogo y la negociación, y, por último: la prevención.

Todas las afectaciones ambientales identificadas, surgen a partir de la modelación hídrica realizada y los cambios esperados en el recurso hídrico, y todos los conflictos sociales identificados en la investigación, emergieron de las etapas de planteamiento del problema, problemática preliminar, formulación del problema, pregunta de investigación, encuesta de percepción a la comunidad, etc... Las afectaciones y los conflictos se contextualizan a la afectación que presenta la disminución de la oferta hídrica en el río Cravo Sur por el cambio climático; y contaron con la participación de diferentes actores.

11. Discusión de Resultados

11.1 Con Resultados Internacionales

Hoy en día numerosas organizaciones gubernamentales, universitarias y científicas en todo el mundo voltean sus investigaciones a establecer cómo se está presentando y como el cambio climático va a provocar el crecimiento de la temperatura y la disminución de la precipitación y las consecuencias que esta acarrearía; organizaciones como: ONU Organización de las Naciones Unidas, Organización Meteorológica Mundial OMM, NASA Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, Banco Mundial, Banco Inter Americano de Desarrollo BID, más de 10.000 instituciones de educación superior según la ONU realizan inversiones, cambios e investigaciones sobre cambio climático, etc....

La principal Organización que lidera las proyecciones e investigaciones del Cambio climático en el mundo es la ONU, que a través del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC emiten informes sobre estimaciones de temperatura y precipitación, así mismo la ONU lidera las conferencias de cambio climático y medio ambiente, donde se desarrolla la Agenda 2030 que contiene los Objetivos de Desarrollo Sostenible, una serie de metas comunes para proteger el planeta y garantizar el bienestar de todas las personas, donde los países que la integran, pretenden cumplir la meta mundial de evitar el aumento de la temperatura promedio global por encima de los 2 °C.

A continuación, los resultados de la investigación se comparan con lo proyectado por el IPCC.

Temperatura.

El IPCC en su quinto informe en 2019, estima que “Es probable que el calentamiento global llegue a 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual”. De igual forma en el 2019, IPCC en su lanza un informe advierte si se mantiene el actual ritmo de emisiones de gases de efecto invernadero, la temperatura global aumentará 2,7 grados a finales de siglo con respecto a la media de la era preindustrial, con un escenario más pesimista, donde las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero se doblaran a mediados de siglo, el aumento podía alcanzar niveles catastróficos de alrededor de 4 grados en 2100. (IPCC, 2019).

Los resultados de la investigación concuerdan con lo proyectado por el IPCC a nivel mundial, en cuento a la temperatura; el IPCC pronostica aumentos de temperatura de 2.7-4°C a finales de siglo y como resultados de la modelación la investigación nos arroja aumentos de 1-2 °C en RCP 4.5 y de 2-4 °C para el escenario extremo de RCP 8.5.

Oferta hídrica.

El IPCC prevé que los riesgos relacionados con el clima para la salud, los medios de subsistencia, la seguridad alimentaria, el suministro de agua, la seguridad humana y el crecimiento económico aumenten con un calentamiento global de 2 °C. En lo concerniente con la oferta de agua, se pronostica que hasta en un 50 % la proporción de la población mundial estaría expuesta a un aumento del estrés hídrico causado por el cambio climático (IPCC, 2019).

Coincidiendo así con la investigación, ya que en modelación realizada y el análisis de la misma muestra que en el Municipio de Yopal, el cambio climático afectaría la oferta hídrica de la corriente principal del río Cravo Sur, por ejemplo: en los tramos 1 y 2 para los años 2040,2099 y crítico 2029, en la mayor parte del tiempo la comunidad no podría suplir la demanda de agua a través de las concesiones otorgadas por Corporinoquia; y extremo de escasez se tendría el año 2029, donde se tendrían caudales de oferta menores de 1 m³/seg; razón por la cual se tendrían afectaciones al recurso hídrico, se presentan escasez hídrica y estrés hídrico por no tener disponibilidad del recurso para el desarrollo de diferentes actividades.

Afectaciones Socio-Ambientales.

El IPCC vaticina que la pobreza y las desventajas crezcan en algunas poblaciones a medida que aumente el calentamiento global y la escasez hídrica. Se calcula que serán menores las reducciones netas del rendimiento del maíz, el arroz y el trigo, y posiblemente de otros cereales, especialmente en África subsahariana, el sureste de Asia, y América Central y del Sur. Se prevé que el ganado se vea afectado negativamente por el aumento de las temperaturas, según sea la magnitud de los cambios en la calidad de los piensos, la propagación de enfermedades y la disponibilidad de recursos hídricos. Los riesgos en los sectores de la energía, la alimentación y el agua se podrían traslapar espacial y temporalmente, creando nuevos peligros, exposiciones y vulnerabilidades que podrían afectar a un número cada vez mayor de personas y regiones. (IPCC, 2019). Todo esto, se toca en la investigación; el calentamiento global y la escasez hídrica acarrearían más conflictos sociales como la tensión, choque, discusión, diferencias, incompatibilidades que existe entre actores, por el acceso a un recurso en este caso el recurso hídrico del río Cravo Sur.

El IPCC prevé que, por el calentamiento global, de las 105.000 especies estudiadas, el 18 % de los insectos, un 16 % de las plantas y un 8 % de los vertebrados pierdan más de la mitad de su alcance geográfico determinado; se calcula cambios y pérdidas en ecosistemas terrestres, costeros y de agua dulce afectando los servicios ecosistémicos para los seres humanos. (IPCC, 2019)

Esta proyección se encuentra en relación con el resultado de la investigación, referente que se proyectan caudales de oferta menores de 1 m³/seg amenazando la sostenibilidad del caudal ecológico, lo que pone en riesgo la supervivencia ecosistémica de la fuente hídrica; El riesgo de no poder suplir el caudal ecológico en los tramos 1-2 en algunos meses de sequía, traería como consecuencia desplazamiento de fauna, disminución de individuos o ejemplares de una o más especies, modificación de poblaciones, Cambio en su composición, estructura y función, Fragmentación de ecosistemas, entre otras.

Estrategias de mitigación y adaptación.

El IPCC establece que hay una amplia gama de opciones de adaptación que pueden reducir los riesgos del cambio climático. Sin embargo, la adaptación y la capacidad de adaptación de algunos sistemas naturales y humanos son limitadas en el mundo. Por lo tanto el número de opciones de adaptación y su disponibilidad varían en función del sector, por ejemplo para los ecosistemas naturales y gestionados: la adaptación basada en los ecosistemas, la restauración de ecosistemas y la prevención de la degradación y la deforestación, la gestión de la biodiversidad, la acuicultura sostenible, y los conocimientos locales e indígenas; para los riesgos en salud, de subsistencia, los alimentos, el agua y el crecimiento económico, especialmente en los entornos rurales: están las prácticas de riego eficiente, redes de seguridad social, gestión de riesgos de desastres, diversificación y distribución de los riesgos, y adaptación basada en las comunidades; y en las zonas urbanas: infraestructuras ecológicas, utilización y planificación sostenibles de la tierra y gestión sostenible del agua. (IPCC, 2019).

Como bien lo establece el IPCC existen numerosas estrategias de mitigación y adaptación generales, sin embargo es necesario que estas se establezcan según los riesgos para cada sector, la investigación establece 13 estrategias generadas a partir de los resultados de la valoración de las afectaciones socio-ambientales que presenta la disminución de la oferta hídrica en el río Cravo Sur en el municipio de Yopal por el cambio climático; por lo tanto estas 13 estrategias son específicas para lo investigado, lo que se encuentra en sinergia con lo recomendado por el IPCC.

11.2 Con Resultados Nacionales y Locales

En Colombia en los últimos años, muchas organizaciones gubernamentales, privadas, ONG'S, universitarias y científicas enfocan recursos y realizan cambios e investigaciones orientadas a la toma de decisiones para enfrentar el cambio climático.

El IDEAM es el organismo público encargado oficialmente de generar y suministrar información hidrológica, meteorológica y ambiental para la definición de políticas públicas y toma de decisiones relacionadas con el desarrollo sostenible y la prevención de los efectos de cambio climático.

CORPORINOQUIA, es la corporación Autónoma del área de estudio y la encargada legalmente de vigilar, cuidar y administrar los recursos naturales, en este caso lo referente al caudal de oferta del río Cravo Sur.

Existen documentos técnicos del IDEAM y de CORPORINOQUIA, que pronostican para el área de estudio, cambios de temperatura y precipitación dados por el cambio climático. Sin embargo, se desconoce de investigaciones o documentos que modelen el comportamiento del caudal de oferta hídrica del río Cravo Sur, bajo los escenarios de cambio climático, y las posibles afectaciones socio ambientales específicas que traería la disminución del mismo; este desconocimiento del comportamiento del caudal de oferta a futuro, es parte de la problemática y justificación que se tiene en la investigación.

El IDEAM en el 2011, mediante la tercera comunicación de cambio climático da a conocer, proyecciones al fin de siglo (año 2100), en lo concerniente a Casanare, pronostica aumentos de temperatura de hasta 2,4 °C, y disminución de la precipitación hasta en un 36%. Datos que concuerdan con lo proporcionado por el mismo IDEAM, en el Estudio Nacional del Agua año 2011, donde establece que en Casanare no se presentará aumentos de precipitación para el fin de siglo; y se tendrá en la cuenca del río Cravo Sur reducción en la escorrentía media anual, entre el 10% y el 30%. (ENA, 2011).

La Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia, CORPORINOQUIA en el 2018, realiza el Plan Regional Integral de Cambio Climático Para la Orinoquia PRICCO, presenta impactos en un horizonte de mediano plazo (año 2040); dentro de estos impactos se proyecta para Casanare, aumentos de temperatura superiores a 38°C, donde la probabilidad de días con temperaturas superiores a 38°C puede incrementarse en más de 20%. La probabilidad de aumento de sequías en la región también irá en aumento, acompañado de un aumento en el número de días sin lluvia. No obstante, los excesos de lluvia también se incrementarán, aguaceros por encima de 90mm serán más comunes. (PRICCO, 2018).

En lo referente a la cuenca del río Cravo Sur, se proyecta que, en su zona media, aumentará la probabilidad de inundación en 29%, llamando la atención el municipio de Yopal. (PRICCO, 2018).

A continuación, los resultados de la investigación, se comparan con lo proyectado por el IDEAM y CORPORINOQUIA.

Temperatura.

La modelación arroja un aumento de temperatura sostenida a través del siglo, con picos máximos de temperatura de 41.05 °C en RCP4.5 en el mes de febrero del año 2049, y de 42.93°C en RCP8.5 en el mes de febrero del año 2098, proyectando así un comportamiento donde las mayores temperaturas se acentúan hacia la temporada seca, lo que aumentaría aún más la evaporación hídrica y disminución de la oferta hídrica.

Este resultado concuerda con lo proyectado por el PRICCO, que establece aumentos de días con temperaturas superiores a 38°C.

Se proyecta que, por el cambio climático, cada vez va aumentando la temperatura al pasar de los años, aumentos de 1-2 °C en RCP 4.5 y de 2-4 °C para el escenario extremo de RCP 8.5. Concordando así estos resultados con lo estipulado por el IDEAM respecto a que se pronostica aumentos de temperatura de hasta 2,4 °C para finales de siglo.

Precipitación.

El PRICCO establece para mediano plazo año 2040, aumentos en la precipitación, en el RCP 4.5 de 1.4 % de aumento y RCP 8.5 de 1.9 % de aumento; contrario son los resultados de la investigación, que proyectan disminución de la precipitación a mediano plazo; se considera diferente el resultado, debido a que los datos tomados de la página de PROJETA son diferentes o varían de los dados que se proyectaron y tomaron por PRICCO.

En el largo plazo o finales de siglo, los resultados muestran una tendencia a descender drásticamente la precipitación, con resultados que van desde 0- 51 mm/día RCP 4.5 y 0-55 mm/día RCP8.5, datos que no superan los 100 mm/día. Se pronostica para el periodo del fin de siglo año 2099 la disminución de la precipitación promedio de 30-50%. Concordando así estos resultados, con lo establecido por el IDEAM para finales de siglo con reducciones de precipitaciones hasta del 36%.

Oferta hídrica.

Se desconoce de investigaciones o documentos que modelen el comportamiento del caudal de oferta hídrica del río Cravo Sur, bajo los escenarios de cambio climático.

Sin embargo, se encuentra una investigación de la Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano Universidad UNITROPICO, denominada “Pronóstico del Caudal del Río Cravo Sur, Sector del Morro – Puente La Cabuya, Departamento de Casanare, Colombia” autores: los ingenieros civiles e investigadores Linson Javier Higuera Infante, William Rojas Vergara; la investigación utiliza proyección estadística del caudal de la estación hidrológica Puente El Yopal, y por medio de métodos estadísticos, proyecta los caudales con el Software IBM SPSS Statistics (software estadístico empresarial) , caudales del año del 2015 al 2029.

Como resultado, se determinó que, a lo largo del tiempo 2015-2029, los caudales tienden levemente a aumentar, pero sin generar riesgos superiores a los que en la actualidad está expuesta la región especialmente en épocas de constantes lluvias; esta estimación se ajusta a las características propias de la estación y depende única y exclusivamente de su historia.

El caudal promedio pronosticado en los meses de altas caudales es de 112.49 m³/seg en el año 2015 y aumenta levemente hasta llegar a 123.10 m³/seg en el 2029.

Estos resultados se asemejan con los resultados obtenidos en esta investigación, para el RCP 4.5 don se tiene un promedio de los tres meses con más altos caudales obteniendo: 159,36m³/seg en el 2015 y 102,66 me/seg en el 2029. Contrario, se evidencia una disminución del caudal promediado y no un aumento leve del mismo al pasar de los años.

Esta diferencia de disminución del caudal al transcurrir los años en esta investigación, y por el contrario aumento del mismo la investigación en el de la Unitropico, se analiza, en razón al software utilizado y la cantidad de variables con que se alimentaron. En esta investigación se realizó la modelación de caudales con software hidráulico, metodología ampliamente utilizada en todo el mundo para este fin, y en la otra un software estadístico empresarial, que no se creó para este fin.

Mientras que para proyectar caudales el software estadístico utilizo solo datos de caudal de una estación hidrométrica, por otro lado, el software hidráulico RS-Minerve en esta investigación, manejó más variables y datos; para ello se utilizó datos de precipitación y temperatura de 5 estaciones climáticas, datos de caudal de 4 estaciones hidrométricas y datos de variables climáticas bajo escenarios de cambio climático, con más variables y el software adecuado el resultado adecuado a la realidad por el cambio climático, es el aumento de la temperatura y disminución de precipitación a través de los años, lo que infiere directamente en la disminución y no en el aumento de caudal, del rio Cravo Sur.

Este análisis lo respalda la investigación de la Unitropico en sus conclusiones, donde establece:

Es claro que se presenta un pronóstico estimados de caudales derivados de datos históricos hasta el año 2014 pero ello no implica que los datos obtenidos sean cien por ciento reales por lo cual, podría ocurrir un evento anormal de caudal en la zona llegando a niveles no vistos antes debido a la constante variación del clima en los últimos años, es recomendable que la comunidad en general solicite a las entidades locales (alcaldías, corporaciones regionales ambientales entre otras), estudios más especializados con el fin de prevenir eventos no deseados.

Es importante continuar realizando investigaciones de este tipo, incorporando al análisis otras variables como lo son: temperatura, humedad, precipitación, velocidad del viento, evaporación, evapotranspiración entre otros, con el fin de evaluar el efecto de las mismas sobre los niveles del caudal. (Higuera L, Rojas W, 2020).

Estrategias de mitigación y adaptación.

Las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, se pueden encontrar de manera general en diferentes documentos; sin embargo, lo que diferencia las estrategias acá presentadas de las que se pueden encontrar de manera general, es que estas surgen a partir de los resultados de la modelación de la oferta hídrica en el río Cravo Sur, y son específicas para reducir o enfrentar las afectaciones ambientales y los conflictos sociales dados por el cambio climático, e identificados y evaluados durante el desarrollo de la investigación.

Sin embargo, para una solución integral en búsqueda de un desarrollo sostenible, se debe primero tratar de hacer procesos de educación sobre el cambio climático, y procesos más participativos en la comunidad, con el fin de que se puedan analizar desde las dinámicas propias del territorio y por todos los actores, las estrategias mitigación y adaptación al cambio climático acá presentadas.

12. Conclusiones

El software RS-Minerve, es una herramienta útil, fácil de manejar y libre, que otorga la posibilidad de modelar con pocos parámetros escenarios de cambio climático en una fuente hídrica; RS-Minerve con su modelo SOCONT, simulo bajo escenarios de cambio climático el caudal de oferta de la cuenca del río Cravo Sur, para lo cual se utilizó solo dos parámetros de entrada, la temperatura y la precipitación; y un parámetro en la calibración y validación, el de caudales históricos, y cuyo resultados de caudales diarios de oferta e hidrógramas representan una posible realidad al año 2099 .

La modelación del caudal de oferta del el río Cravo Sur como cualquier simulación, depende especialmente de la calidad y cantidad de datos de las variables climáticas a tener en cuenta, en nuestro caso, la temperatura y precipitación; las series de las estaciones climáticas suministradas por el IDEAM poseen gran cantidad de años y días sin datos, razón declarada en la carencia de estaciones, en la dificultad de la toma de parámetros, por fallas de los mismos, y fallas de error humano en la toma de datos por los fontaneros. Razón por la cual es indispensable complementar los datos faltantes; el método la regresión lineal simple y descarga de información histórica satelital de PROJETA, son valiosas herramientas, para obtener datos donde no se no se tienen estaciones o falta de registros.

La página del gobierno de Brasil PROJETA y su modelo de simulación de cambio climático MIROC5, es un modelo regional especializado para américa del sur, que tiene mayor resolución o más detalle para el área de Colombia que un modelo global. Esta página, es esencial para obtener de un área específica o georreferenciada, información histórica (1900-2005) y proyecciones (2006-2100) de variables climáticas diarias, afectados por los escenarios representativos de concentración de cambio climático.

La técnica de vías Correction es fundamental para relacionar y ajustar los datos de temperatura y precipitación registrados de las estaciones en campo IDEAM (1974-2021) con los datos del modelo regional PROJECTA (2021-2099) disminuyendo la diferencia entre estos.

La temperatura en la cuenca hidrográfica del río Cravo sur, por el cambio climático, aumentará a través del siglo, de 1-2 °C en RCP4.5 presentando picos máximos de 41.05 °C, y de 2-4°C en RCP8.5 con picos máximos de 42.93°C.

La precipitación en los primeros años tiende al aumentar por el aumento de temperatura y la evaporación del agua, sin embargo, con el incremento sostenido de la temperatura y al pasar de los años, la precipitación irá descendiendo; a largo plazo o finales de siglo, los resultados muestran una tendencia a descender drásticamente la precipitación, con resultados que van desde 0- 51 mm/día RCP 4.5 y 0-55 mm/día RCP8.5, datos que no superan los 100 mm/día.

En cuanto al caudal de oferta, los resultados muestran que el cambio climático en sus diferentes escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, afectará el recurso hídrico de la corriente

principal del río Cravo Sur , el aumento sostenido en la temperatura y disminución en la precipitación, conlleva a disminución de la oferta hídrica y escasez del recurso, esta escasez hídrica genera afectaciones socio-ambientales directas en el municipio de Yopal; por ejemplo en los tramos 1 y 2 para los años 2040,2099 y crítico 2029, en la mayor parte del tiempo la comunidad no podría suplir la demanda de agua a través de las concesiones de aguas otorgadas por corporinoquia; y a un más extremo de escasez se tendría el año 2029 donde con caudales de oferta menores de 1 m³/seg se pone en riesgo el caudal ecológico y de seguridad, lo que conlleva directamente a pérdida de fauna y flora del ecosistema.

La comunidad de Yopal, percibe que el cambio climático está ocurriendo por aumento de la temperatura y disminución de la precipitación, situación que se evidencian en la cuenca del río Cravo Sur, acarreando una sentida y palpable disminución de caudal en la corriente principal de esta fuente hídrica. Consideran el agua como líquido vital, necesario para el desarrollo de sus actividades en el futuro, sin embargo, se establece desconocimiento del que hacer ante esta situación o de implementación de actividades específicas de mitigación y adaptación del cambio climático.

Las estrategias de mitigación y adaptación a las afectaciones esperadas por el cambio climático sobre la oferta hídrica del río Cravo Sur, son herramientas útiles para enfrentar el cambio climático y ser resilientes a este.

Las modelaciones hidrológicas y climáticas donde se tiene en cuenta el cambio climático, son las principales herramientas que tiene el mundo para predecir su futuro, un ejemplo de ello es el IPCC, quienes proporcionan “proyecciones” de temperatura de acuerdo a emisiones de GEI. Tan importantes son las modelaciones climáticas, que han sido la principal prueba científica del cambio climático, y base de las cumbres mundiales de medio ambiente, donde nace el concepto y la búsqueda del desarrollo sostenible. Se tiene una relación estrecha de las proyecciones de cambio climático con el concepto y objeto del Desarrollo Sostenible, el Desarrollo Sostenible en gran parte nace como medida de búsqueda de solución a las proyecciones o modelaciones climáticas que nos muestran cambios catastróficos en nuestro futuro.

Nunca se sabrá exactamente cómo pueden variar a futuro la oferta hídrica en el río Cravo Sur por el cambio climático, ya que existe la normal incertidumbre relacionada con los factores de cambio, sin embargo, la investigación es significativa porque identifica y analiza en contexto el resultado de la modelación de la oferta hídrica en el río Cravo Sur y de cómo la disminución del caudal, genera afectaciones Socio-Ambientales a la comunidad Yopaleña que se beneficia diariamente de este recurso.

La investigación, pretende servir de instrumento de consulta, en la planificación del uso del agua y de la ocupación del territorio con una visión a largo plazo. Adaptarnos a la variabilidad hídrica es parte de los retos que genera el cambio climático, nos incita a prepararnos para estos, a ser más resilientes, lo que implica, que la comunidad de Yopal, las entidades y nuestros dirigentes den vuelta a nuestro destino “cambiar radicalmente

nuestras formas de percibir y vivir la realidad hídrica”, se debe apuntar a desarrollar una nueva conciencia más ecológica y más solidaria, ejercer un cambio más respetuoso con el medio ambiente, se debe iniciar la búsqueda de del desarrollo sostenible del recurso hídrico en el río Cravo Sur.

13. Recomendaciones

Se recomienda generar proyectos en el abordaje de cambio climático local, y su incidencia en la oferta hídrica del río Cravo Sur, en cómo se podría afectar la comunidad por inundaciones, crecientes súbitas, pérdidas de recurso hídrico – sequías, pérdidas económicas en cultivos y ganadería, alteraciones en los ecosistemas, generación de conflictos sociales, entre otros y las respectivas estrategias de adaptación y mitigación.

Existen numerables modelos nacionales y regionales de proyecciones de variables climáticas en todo el mundo, en la investigación se utilizó la página de PROJETA del gobierno de Brasil, la cual muestra proyecciones regionales de cambio climático para América del Sur basado en el modelo MIROC5 para los escenarios 4.5 y 8.5 como escenarios normales y extremos; por lo tanto, es recomendable para futuras investigaciones utilizar otros modelos de cambio climático con el fin de realizar comparación entre los mismos y utilizar el más adecuado para la zona de estudio.

En la modelación hidrológica del caudal, se utilizó el software libre RS-Minerve y su Modelo SOCONT, teniendo en cuenta que este software permite la modelación de los cambios climáticos en una fuente hídrica; sin embargo, existen otros software pagos, que permiten modelar bajo escenarios de cambio climático, por lo tanto, es recomendable para futuras investigaciones utilizar otros software, y así tener resultados para comparación.

Se tiene como resultado de la modelación los caudales año a año del periodo 1983-2099, para la investigación se analizaron los años 2040, 2029 y 2099, en los RCP 4.5 y 8.5; se recomienda que, para obtener información de otro año en específico, revisar los datos correspondientes en los archivos magnéticos.

La demanda hídrica utilizada de 8,86 m³/seg es dada por corporinoquia y corresponde a lo concesionado del año 2022, dentro de los cuales se encuentran usos agropecuarios de siembra de arroz, ganadería, piscicultura y palma. Se recomienda para futuras investigaciones actualizar la demanda y tener en cuenta el caudal de las concesiones ilegales.

Las estrategias de mitigación y/o adaptación acá propuestas, están relacionadas con las afectaciones y los conflictos identificados; sin embargo, para una solución integral en búsqueda de un desarrollo sostenible, se recomienda primero tratar de hacer procesos de diálogo y negociación, donde en estos diálogos se analicen por todos los actores las estrategias acá presentadas, las cuales surgen a partir de las dinámicas del territorio y como oportunidades de afrontar el cambio climático.

14. Referencias.

Alzate, D.F. (2014) Cambio Climático y Variabilidad Climática para el Periodo 1981- 2010 en las Cuencas de los Ríos Zulia y Pamplonita, Norte de Santander – Colombia. Tesis de Maestría, Magíster en Ingeniería Ambiental. Universidad de Pamplona. Pamplona. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n40/n40a10.pdf>

Asociación Ambiente y Sociedad, Colombia (2017), Conflictos Socioambientales en los Páramos de la Sabana de Bogotá, Obtenido de <https://www.ambienteysociedad.org.co/conflictos-socioambientales-en-los-paramos-de-la-sabana-de-bogota/>

AUTODESK (2022). Complemento de archivos DEM modelo digital de elevación, Obtenido de <https://knowledge.autodesk.com/es/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Civil3D-UserGuide/files/GUID-C8D36E34-F7A6-4B6C-A09D-F0B3BCB634B9-htm.html>

Asesoría en el manejo de software QGIS (2022). Ingeniero Henry M. Gómez Salazar, RHydro Ingenieros del Perú.

Buitrago R, Armando D, Universidad de Manizales, Colombia (2022). Tesis Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Formulación de estrategias de adaptación al cambio climático para los sistemas productivos agroalimentarios del municipio de Facatativá. Obtenido de <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/6208>

Banco Interamericano de Desarrollo, BID. (2014). Impactos económicos del cambio climático en Colombia: Recurso Hídrico. Obtenido de <https://publications.iadb.org/es/publicacion/13867/impactos-economicos-del-cambio-climatico-en-colombia>

Celis Rivera, P y Pedraza Gomez R. (2008). Análisis de los factores de Amenaza y riesgo por inundación de áreas adyacentes del río Cravo Sur, en Yopal. (Tesis especialización). Universidad Industrial de Santander.

Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia, CORPORINOQUIA. (2016). Plan Regional Integral de Cambio Climático Para la Orinoquia. PRICCO. 2018.

Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia, CORPORINOQUIA. (2018). Actualización del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Cravo Sur, POMCA.

Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia, CORPORINOQUIA. (2016) Plan de Acción 2016-2019. (p 12).

Datos generados CPTEC/INPE y disponibles en la “Plataforma PROJETA” Obtenido de : <https://projeta.cptec.inpe.br/#/reference>

Referencias bibliográficas de la plataforma:

1. Chou, S.C, Lyra, A. , Mourão, C. , Dereczynski, C. Pilotto, I. , Gomes, J. , Bustamante, J. , Tavares, P. , Silva, A. , Rodrigues, D. , Campos, D. , Chagas, D. , Sueiro, G. , Siqueira, G. , Nobre, P. and Marengo, J. (2014) Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate

Models. American Journal of Climate Change, 3, 438-454. doi:10.4236/ajcc.2014.35039. http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=52887#.VakHg_IViko

2. Chou, S.C, Lyra, A. , Mourão, C. , Dereczynski, C. Pilotto, I. Gomes, J. , Bustamante, J. , Tavares, P. , Silva, A. , Rodrigues, D. , Campos, D. , Chagas, D. , Sueiro, G. , Siqueira, G. and Marengo, J. (2014) Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. American Journal of Climate Change,3, 512-527. doi: 10.4236/ajcc.2014.35043. http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=52877#.VakIh_IVikp

Chuquin D, Universidad Politécnica de Valencia, España (2016). Tesis Maestría en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Aplicación de un modelo semidistribuido de precipitación-escurrentía para la evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jalón. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/67872>

Curso de Modelación Hidrológica con RS-MINERVE (2021). RHydro Ingenieros del Perú.

CIAT; CORMACARENA. 2017. Plan Integral de Cambio Climático para la Orinoquia-departamento del Casanare, Alcances generales de las medidas de adaptación y mitigación. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

Dellavedova M. Universidad Nacional de La Plata, Argentina (2016), guía metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental. Obtenido de <https://blogs.ead.unlp.edu.ar/planeamientofau/files/2013/05/Ficha-N%C2%BA-17-Gu%C3%ADa-metodol%C3%B3gica-para-la-elaboraci%C3%B3n-de-una-EIA.pdf>

Dirección de Asuntos Marinos Costeros y Recursos Acuáticos DAMCRA (2022), mapa de las Subzonas hidrográficas de Colombia, obtenido de http://geonodesiam.invenmar.org.co/layers/geonode%3Aszh_sep_26_2012

Elizalde, A. (1994) Ecología, ética, epistemología y economía. Relaciones difíciles pero necesarias, Obtenido de Revista El Canelo, 2000 - unida.org.ar

Escobar, Arturo (2005) El “postdesarrollo” como concepto y práctica social. Obtenido de <https://umanizalesvirtual.edu.co/mds/ch4/dsh/unidad1/pdf/El%20postdesarrollo%20como%20concepto.pdf>

Erazo D, Osorio M. Universidad de Manizales, Colombia (2017). Tesis Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Análisis de la Gobernanza local del Agua: Equidad, Participación y Responsabilidad en Calima El Darién – Valle del Cauca, Colombia. Obtenido de <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3427>

El diario del llano. 22 de abril de 2019. Colombia: amenazan de muerte a líder comunal en Yopal por denuncias contra Corporinoquia. Obtenido de <https://eldiariodelllano.com/amenazan-de-muerte-a-lider-comunal-en-yopal-por-denuncias-contra-corporinoquia/>

García, María Claudia; Piñeros Botero, Andrea; Bernal Quiroga, Fabio Andrés; Ardila Robles, Estefanía. Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia Revista de Ingeniería, núm. 36, enero-junio, 2012, pp. 60-64 Universidad de Los Andes Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n36/n36a12.pdf>

Guo y Ying, (1997). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP7.pdf>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC. ONU, (2019). Resumen para responsables de políticas. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC. Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC.WGI. “Cambio Climático: Bases Físicas”, ONU, (2015). Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climático/publicaciones/publicaciones/guia_resumida_ar5-ipcc_tcm30-177777.pdf

Google Earth (2021), Plataforma de SIG, Obtenido de <https://www.google.com/intl/es/earth/>

Hernández, S. R; Fernández, C. C; Baptista, L. P (1997). Metodología de la investigación. McGraw Hill. México. Panamericana Formas e Impresos S.A. Colombia. 505 pp.

Higuera L, Rojas W. Universitaria Internacional del Trópico Americano UNITROPICO (2020). Tesis de Ingeniería agrícola Ingeniero Civil, Pronóstico del Caudal del Río Cravo Sur, Sector del Morro – Puente La Cabuya, Departamento de Casanare, Colombia. Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2840/3780>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2011). Tercera comunicación de cambio climático-IDEAM-Nuevos escenarios de Cambio Climático Para Colombia 2011-2100. (p. 28).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2019). Catálogo nacional de estaciones. Colombia. Obtenido de. <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Cat-logo-Nacional-de-Estaciones-del-IDEAM/hp9r-jxuu/data>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2021). SOLICITUD DE INFORMACIÓN - IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2008). Protocolo para la emisión de los pronósticos hidrológicos. Colombia. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/15016/ProtocoloEmision.pdf/7a801741-6e42-435b-aed4-669e30ef0e16>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2012). Efectos de la variabilidad climática (vc) y el cambio climático (cc) en los recursos hídricos en Colombia. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932012000100012.

Instituto Nacional de Meteorología de Perú SENAMHI (2015) Modelización hidrológica con un enfoque semidistribuido en la cuenca del río Chillón, Perú. Obtenido de <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1066>

Manfred A. Max-Neef (1994) Con colaboraciones de: Antonio Elizalde y Martín Hopenhayn, Desarrollo A Escala Humana Conceptos, Aplicaciones Y Algunas Reflexiones. Obtenido de

[https://www.academia.edu/14668372/DESARROLLO A ESCALA HUMANA Conceptos aplicaciones y algunas reflexiones](https://www.academia.edu/14668372/DESARROLLO_A_ESCALA_HUMANA_Conceptos_aplicaciones_y_algunas_reflexiones)

M Betancourt Mesa. (2018) El cambio climático en Colombia , Obtenido de <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/1052/80087794.pdf?sequence=1>

Muños R. Universidad Politécnica de Valencia, (2017). Tesis de Maestría, Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de la Subcuenca Quilcayhuanca, Perú. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/80276>

Martín L, Bautista J. Organización de las Naciones Unidas ONU, Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2016), Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/37877-analisis-prevencion-resolucion-conflictos-agua-america-latina-caribe>

Mappinggis (2022), Plataforma de mapas libres, mapa de delimitación del municipio de Yopal y otros, descarga y utilización de herramientas OpenStreetMap (OSM), Whitebox, obtenido de [https://mappinggis.com/2021/04/openstreetmap-la-plataforma-de-mapas-libre-mas-grande-del-mundo/#:~:text=OpenStreetMap%20\(OSM\)%20es%20un%20proyecto,un%20mapa%20gratuito%20del%20mundo.&text=Un%20mapa%20libre%20del%20mundo,mundo%20a%20un%20repositorio%20com%C3%BA](https://mappinggis.com/2021/04/openstreetmap-la-plataforma-de-mapas-libre-mas-grande-del-mundo/#:~:text=OpenStreetMap%20(OSM)%20es%20un%20proyecto,un%20mapa%20gratuito%20del%20mundo.&text=Un%20mapa%20libre%20del%20mundo,mundo%20a%20un%20repositorio%20com%C3%BA)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia (2017), Guía metodológica para el diseño y la implementación de procesos de prevención y transformación de conflictos por el agua. Conceptos y herramientas de diálogo y negociación. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/GUIA_METODOLOGICA_DE_MANEJO_DE_CONFLICTOS.pdf

National Aeronautics and Space Administration NASA, EARTHDATA, open Access for open science (2022), descarga de información libre y gratuita de datos y mapas o rásters de la cuenca del río Cravo Sur, Obtenido de <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/get-started>

Organización Meteorológica Mundial, OMM. 2020. La Organización Meteorológica Mundial confirma que 2019 fue el segundo año más cálido jamás registrado. Obtenido de <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/la-organizaci%C3%B3n-meteorol%C3%B3gica-mundial-confirma-que-2019-fue-el-segundo>.

Posada Carlos, (2007). La adaptación al cambio climático en Colombia. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a10.pdf>

Puma F. Universidad Nacional Agraria de la Molina (2019). Tesis de Ingeniería agrícola, modelación en Weap y RS Minerve para la proyección hidrológica futura de la microcuenca Machique – Sincos - Huancayo. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4311>

Pinzón K, Universidad de Manizales, Colombia (2018). Tesis Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Afectación ambiental de la calidad del agua del caño Usivar generada por la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Yopal, departamento de Casanare. Obtenido de <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3512>

Prensa libre Casanare. 22 de Julio de 2017. Colombia: Pérdidas por creciente del río Cravo Sur en Punto Nuevo. Obtenido de <https://prensalibrecasanare.com/yopal/25972-pyrdidas-por-creciente-del-rno-cravo-sur-en-punto-nuevo.html>

Ríos S. Universidad Nacional Agraria de la Molina (2021). Tesis de Doctorado, modelamiento de procesos hidrológicos en cuencas de la sierra central del Perú. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4659>

RS MINERVE - User Manual - Technical Manual, Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP) HydroCosmos SA. Version 2.15, April (2020). Obtenido de <https://crealp.ch/rs-minerve/>

Software RS-MINERVE, Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP) HydroCosmos SA. Obtenido de <https://crealp.ch/rs-minerve/>

Software SIG – QGIS (2022), versión QGIS 3.16.9, obtenido de <https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>

TEUTSCHBEIN, C; SEIBERT, J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. Journal of Hydrology. Obtenido de <https://projeta.cptec.inpe.br/#/tutorial>

Universidad Autónoma de Aguas Calientes, México (2017). estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/674/67452917005/html/>

Universidad Nacional de Colombia, (2021). RS-Minerve, software para la simulación de flujos en sistemas de superficie libre. Obtenido de <https://ingenieria.bogota.unal.edu.co/es/noticias/item/224-rs-minerve-software-para-la-simulacion-de-flujos-en-sistemas-de-superficie-libre.html>

Violeta estéreo. 28 marzo, 2019. Colombia: Corporinoquia revisará sistemas de captación de agua del río Cravo Sur. Obtenido de <https://www.violetastereo.com/wp/corporinoquia-revisara-sistemas-de-captacion-de-agua-del-río-cravo-sur/>.

World Wildlife Fund, WWF. 2019. Agua riqueza para la gente y la naturaleza. Colombia. Obtenido de http://www.wwf.org.co/que_hacemos/agua/.

Washington j. Universidad del altiplano Puno-Perú. (2019) Tesis de grado, Efecto del Cambio Climático en la Oferta Hídrica Superficial de la Cuenca del Río Llave – Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13718>

14. Anexos

14.1 Anexo 1. Metodología de Delimitación de la Cuenca y Cauce Principal

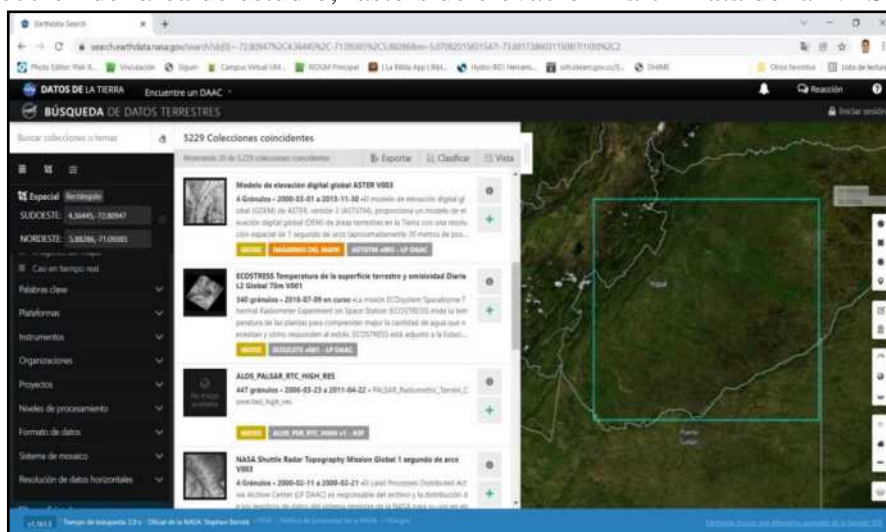
Se descargó e instaló el software libre QGIS 3.16.9 de la página <https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>

1. Después de registrar, se descargó la información libre y gratuita de datos de mapas o rásters de la cuenca en la página de Earth Data de la NASA.

Earth Data de la NASA provee datos vectoriales y rásters para la creación de mapas por medio de un software GIS. Durante más de 30 años, el Sistema de Información y Datos del Sistema de Observación de la Tierra (EOSDIS) de la NASA ha proporcionado mediciones a largo plazo de nuestro planeta dinámico. Los miles de productos de datos únicos en la colección EOSDIS provienen de una variedad de fuentes que incluyen la Estación Espacial Internacional, satélites, campañas aéreas, campañas de campo, instrumentos in situ y resultados de modelos. (NASA, 2022). <https://earthdata.nasa.gov/learn/getting-started>

2. Se realizó la búsqueda del municipio de Yopal, por ser un punto estratégico y fácil de encontrar dentro del globo terráqueo, se seleccionó con la herramienta de búsqueda en rectángulo el área aproximada de inicio y fin de la cuenca y se utilizó el modelo de elevación digital global (GDEM) de ASTER, versión 3 (ASTGTM).

Imagen 31. Selección del área de estudio, rásters de elevación Earth Data de la NASA.



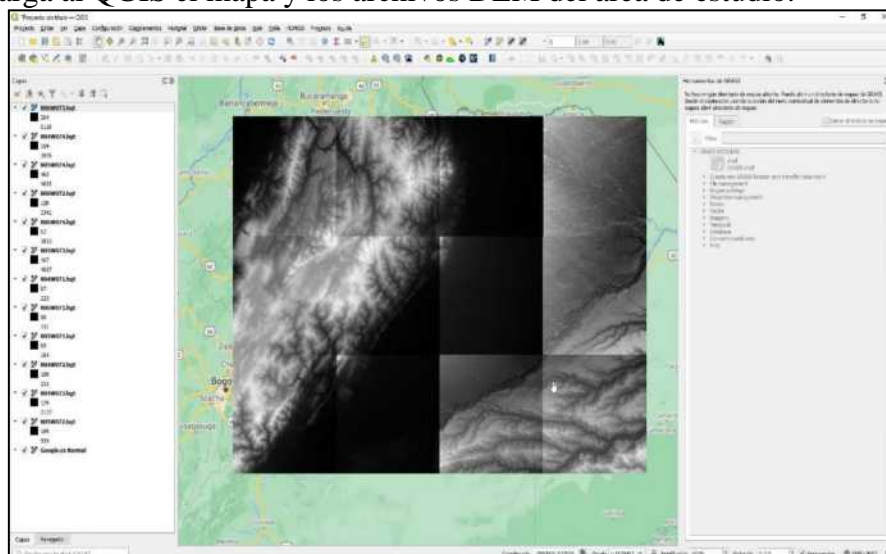
Fuente: <https://earthdata.nasa.gov/learn/getting-started>

3. Se descargaron los rásters o mapas de la zona de estudio, que se guardan automáticamente como archivos DEM, los cuales se pueden abrir en QGIS.

Los **archivos de modelo digital de elevación (DEM)** o los archivos SDTS convertidos a formato DEM permiten importar puntos en una superficie. Los archivos DEM se utilizan para almacenar y transferir información de relieve topográfico de gran escala para su uso en proyectos de GIS (Geographic Information Systems, Sistemas de información geográfica), ciencias de la tierra, gestión de recursos, planificación de terrenos, topografía e ingeniería. Los archivos DEM suelen contener información de coordenadas XYZ del terreno en intervalos de espaciado de rejilla regulares para representar el relieve del terreno. (Autodesk-2022)

Otra opción de descargar los rásters de la zona de estudio es instalar el complemento QuickMapServices y el SRTM- Downloader de la NASA directamente en el QGIS, por medio de los cuales se buscan y se descargan los rásters o mapas de la zona de estudio.

Imagen 32. Carga al QGIS el mapa y los archivos DEM del área de estudio.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

4. Para obtener el área de la cuenca del río Cravo Sur delimitada, se efectuaron dos Opciones:

4.1 La primera de ellas fue descargar del Dirección de Asuntos Marinos Costeros y Recursos Acuáticos (DAMCRA) el mapa de la Subzonas hidrográficas de Colombia, el cual se encuentran las cuencas de Colombia de acuerdo a la clasificación para el Sistema Nacional del Recurso Hídrico – SIRH del IDEAM, de la pagina http://geonodesiam.invemar.org.co/layers/geonode%3Aszh_sep_26_2012

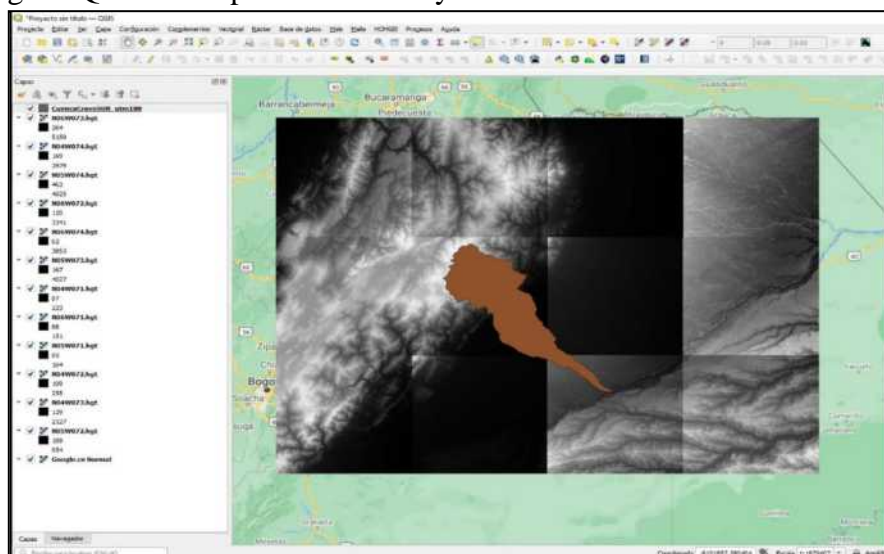
Imagen 33. Página de DAMCRA mapa de las Subzonas hidrográficas de Colombia. (Cuencas hídricas y ríos).



Fuente: http://geonodesiam.invemar.org.co/layers/geonode%3Aszh_sep_26_2012

Se realizó en el QGIS la selección de la cuenca del río Cravo Sur y sus ríos, se guardó este archivo, con el fin de compararlo con la delimitación realizada.

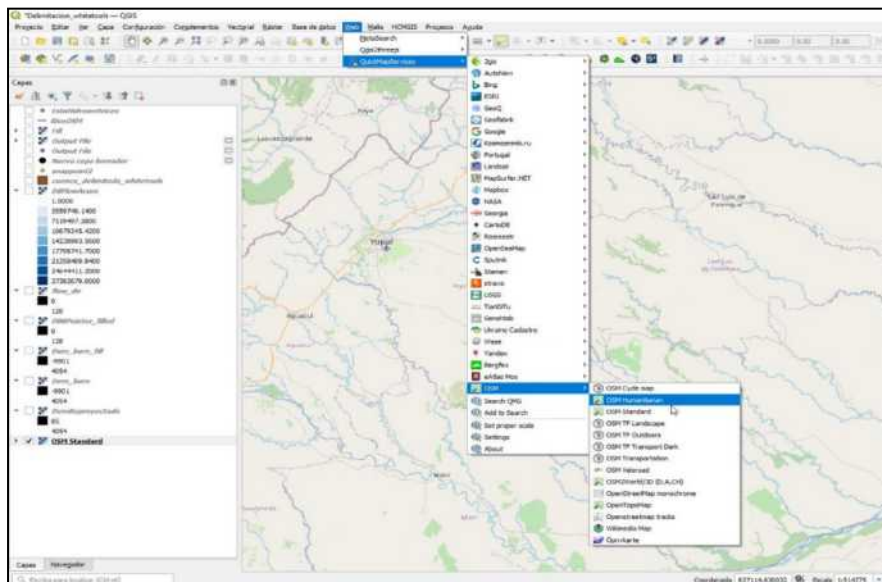
Imagen 34. Carga al QGIS el mapa de la cuenca y los archivos DEM del área de estudio.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

4.2 Como segunda opción, se descargó el archivo DEM del área de estudio con los ríos desde la herramienta de QGIS, QuickMapServices, OpenStreetMap (OSM).

Imagen 35. Carga al QGIS de la imagen satélite o mapa de los ríos del área de estudio desde la herramienta OpenStreetMap (OSM).



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

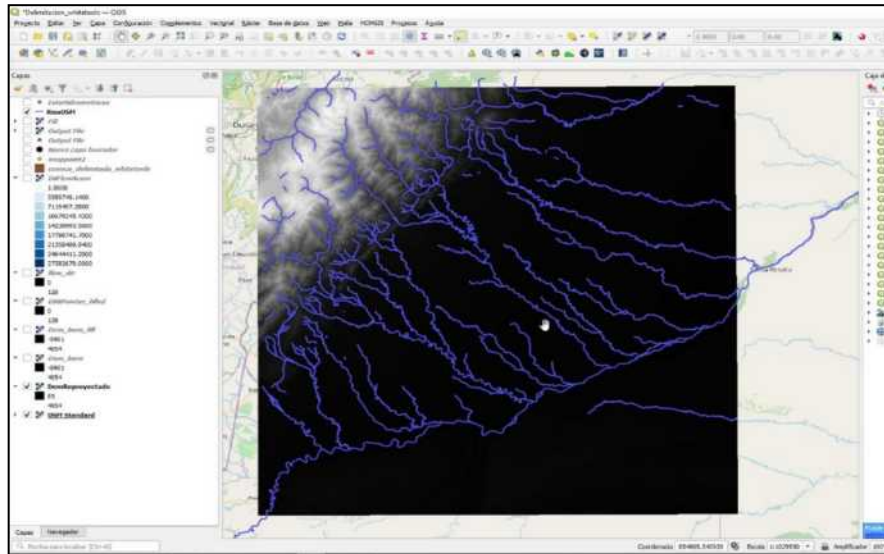
Se buscó y se descargó de diferentes plataformas como, QuickMapServices o Google Maps la delimitación del municipio de Yopal, como la zona de interés.

OpenStreetMap (OSM) es un proyecto internacional para crear un mapa gratuito del mundo. Existe desde 2004 y es un esfuerzo de mapeo comunitario abierto. (mappinggis-2022)

Whitebox es una completa aplicación gis de acceso abierto como con decenas de herramientas para realizar análisis espacial, trabajar con áreas, hidrología, etc. y un gran software gratuito para trabajar con imágenes de satélite. (mappinggis-2022)

5. Se obtuvo la capa o Shape de los ríos, y esta se comparó con otros mapas de las herramientas como Google Earth con el fin de verificar que los ríos coincidían; se delimitó la cuenca teniendo en cuenta los ríos, para esto se utilizó el Dem o capa proyectada.

Imagen 36. Carga al QGIS de la imagen satélite o mapa de los ríos del área de estudio y el DEM proyectado de elevación.

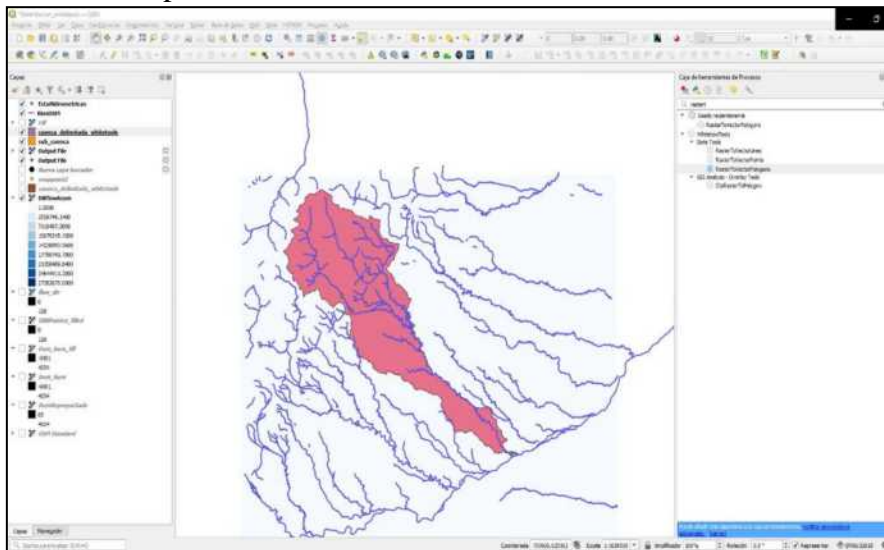


Fuente: Becerra V., M. A., 2022

6. Se instaló el complemento de QGIS Whitebox Geoespacial inc., se descargó sus herramientas desde la página de Whitebox siguiendo la guía de instalación para QGIS.
7. Con la opción de fillburn de Whitebox se creó un nuevo DEM o capa con los ríos, seguidamente con la opción de fillDepressionsWangAndLiu se generó otro DEM o capa denominada (Demfill).
8. Con la herramienta D8pointer se ejecutó el Demfill y se crea el DEM o capa nueva denominada (Dem8pointer)
9. Se generaron los DEM de acumulación de flujo y dirección de flujo de los ríos con las herramientas D8FlowAccumulation, y se creó un DEM o capa nueva denominada (D8FlowAccum), con estas herramientas podemos evidenciar cuales son las alturas del terreno, donde se encuentran los ríos y las direcciones de flujo del agua de los ríos.
10. Con la herramienta nueva capa borrador se creó un archivo temporal de puntos, se crea la capa borradores, esta sirvió para seleccionar el punto final del río el cual queremos delimitar.
11. Con la herramienta SnapPourPoints se creó una nueva capa que reconoce el punto final de delimitación, con la capa D8FlowAccum, se creó una nueva capa o DEM donde se reconoce el punto final de delimitación y de acumulación de flujo.
12. Con la herramienta watershed se generaron los DEM de delimitación de la cuenca a partir de D8FlowAccum y se creó un DEM o capa nueva denominada (OutputFile)

13. Por último, con la herramienta RasterToVectorPolygons se generó y guardó el Shape denominado Cuenca-Delimitada-río Cravo Sur.

Imagen 37. Resultado final de la Cuenca río Cravo Sur delimitada en QGIS con la herramienta Whitebox Geoespacial inc.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

NOTA: A la investigación se anexan en medio magnético, los resultados de lo realizado en archivos Shapefile.

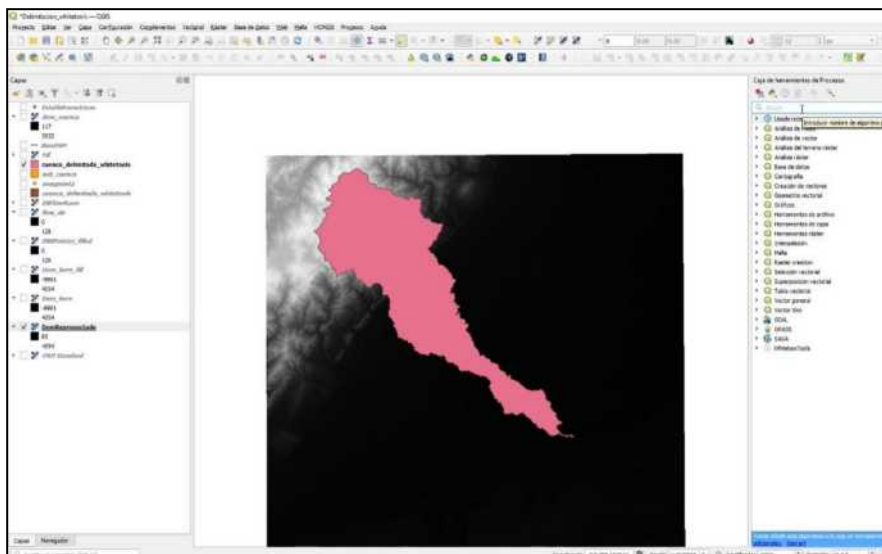
Ver Anexo - Carpeta Magnética 1 Shapefile de Delimitación de la Cuenca y Cauce Principal Río Cravo Sur.

14.2 Anexo 2. Metodología Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca y Cauce Principal

14.2.1 Parámetros de Forma

1. Teniendo el archivo Shapefile con las capas de la delimitación de la cuenca, de los ríos y del municipio de Yopal, y el rásters de elevación Earth Data de la NASA, se creó una capa unificada, esto con el fin de conocer la elevación del área de estudio y la dirección de flujo de los ríos.

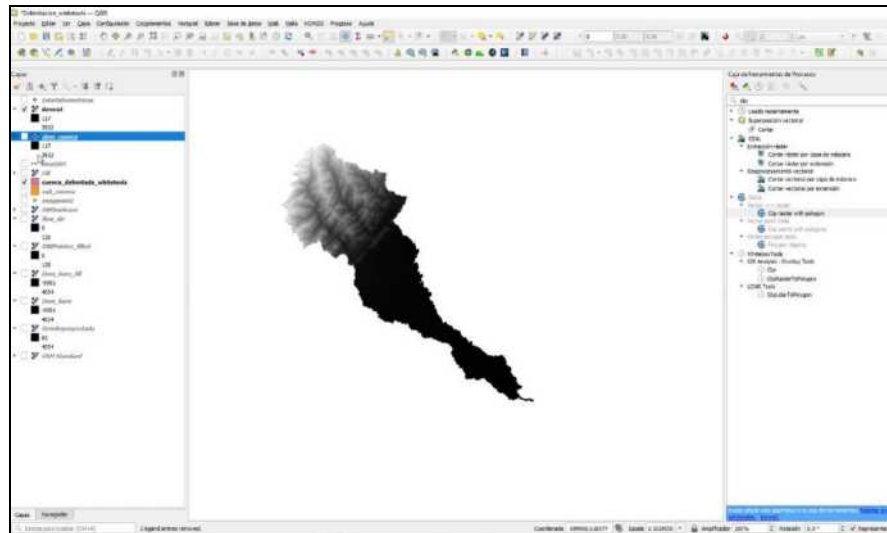
Imagen 38. Se cargan al QGIS la capa de delimitación de la cuenca y rásters de elevación.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

2. Se realizó el corte de rásters de elevación de acuerdo a la cuenca, para esto se utilizó la herramienta Clip rásters with polygon, se seleccionó la capa o DEM de elevación como entrada y como salida la capa o DEM de la cuenca delimitada y se guardó un nuevo archivo con extensión SDT. (démcortado)

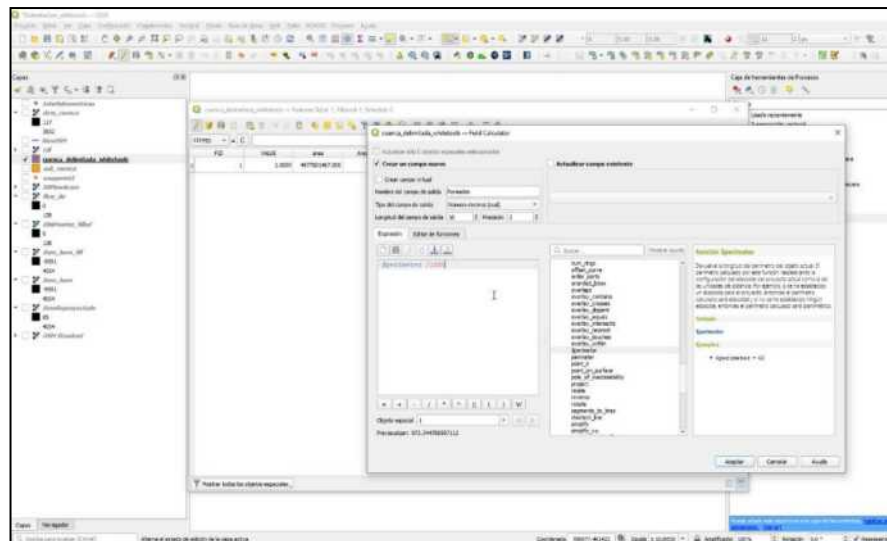
Imagen 39. Capa o DEM recortado de elevación de la cuenca río Cravo Sur.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

3. En el QGIS, con el Shapefile de la cuenca delimitada con la tabla de atributos se realizó la edición y con la calculadora de campos se creó un nuevo campo de área en km^2 , se buscó en la herramienta geometría el área que por defecto sale en m^2 y esta se dividió en 1'000.000 para pasarla a km^2 ; de la misma forma se calculó el perímetro de la cuenca en km, para este se dividió en 1.000.

Imagen 40. Tabla de atributos de QGIS, se utilizó para calcular el área de la cuenca y perímetro.

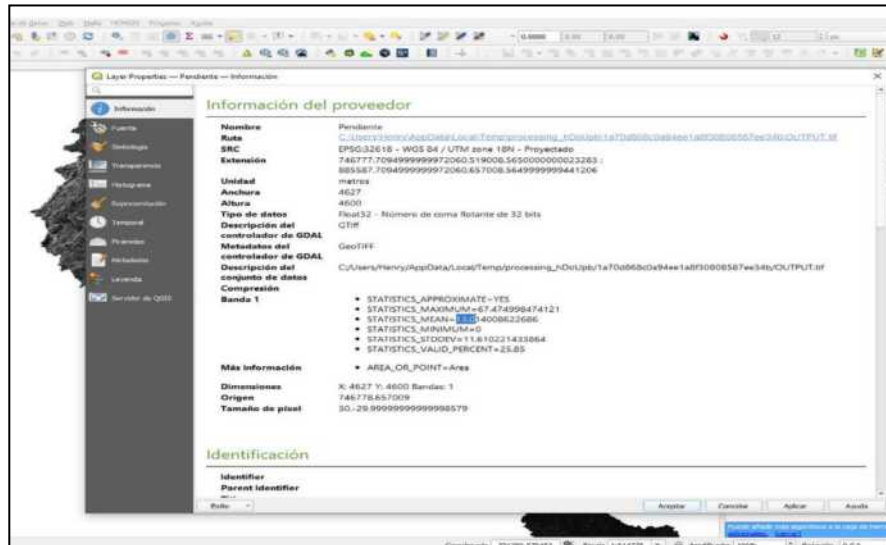


Fuente: Becerra V., M. A., 2022

4. Para calcular la longitud de la cuenca se utilizó desde QGIS la herramienta de medir línea y se midió en km de un extremo o punto más cercano a otro extremo o punto más lejano de la cuenca.

- Para calcular la pendiente media de la cuenca, se utilizó el DEM recortado de elevación; desde QGIS con la herramienta Raster, se buscó Análisis y luego Pendiente, así se crea el rásters de pendiente, después abre el rásters en QGIS y se abrió propiedades, en la información se encontró el promedio de la pendiente de la cuenca.

Imagen 41. Con la tabla de atributos de QGIS, se calculó el área de la cuenca y perímetro.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

- La longitud del cauce principal, la altura máxima del río y la altura mínima del río se obtuvieron desde el QGIS con las herramientas de medición.

Los demás parámetros geomorfológicos de la cuenca se calcularon según fórmulas que se encuentran en la plantilla de Excel anexa, estas fórmulas se realizaron según lo especificado en bibliografía para cada parámetro, a continuación, se describe cada parámetro y la fórmula utilizada.

14.2.2 Tamaño de la Cuenca o Área (A)

El tamaño de una cuenca se determina según el área que ésta abarca; propiedad más importante, pues permite determinar el potencial de escorrentía que se pueda generar en una superficie expuesta a la precipitación, debido al efecto de flujo superficial que pudiera generar.

Para definirla Campos (1992) propone una clasificación basada en la superficie de la cuenca. (Viramontes- Olivas *et al.*, 2007).

Tabla 36. Clasificación de cuencas por superficie según Campos.

Tamaño de la cuenca (km ²)	Descripción
Menos de 25	Muy pequeña
25 a 2 50	Pequeña
250 a 500	Intermedia
500 a 2500	Intermedia grande
2500 a 5000	Grande
5000 a más	Muy grande

Fuente: Campos, 1992.

14.2.3 Perímetro de la Cuenca

El perímetro de la cuenca está representado por la longitud de la línea divisoria de aguas de la cuenca.

14.2.4 Longitud del Cauce Principal (L)

Es la longitud de mayor recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, y sigue todos los cambios de dirección o sinuosidades hasta un punto fijo de interés. Aquel punto puede ser una estación de aforo o su desembocadura.

14.2.5 Ancho Promedio de la Cuenca (Ap)

Es la relación existente entre el área de la cuenca y la longitud de la cuenca, cuya expresión es la siguiente:

$$Ap = \frac{A}{Lc}$$

Donde:

AP = Ancho promedio de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km²).

Lc=Longitud de la cuenca (km)

14.2.6 Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (1914)

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el de una circunferencia; sus resultados están basados en la clasificación de Campos (1992) mostrada en el Cuadro 2.

Cuánto más cercano esté el índice a la unidad, la cuenca será más circular; es decir, más compacta, y en la medida que aumenta, la cuenca adquiere una forma más oval (Viramontes-Olivas et al., 2007).

La fórmula está dada por la siguiente expresión:

$$C_c = \frac{0.282P}{A^{0.5}}$$

Donde:

Cc = Coeficiente de Compacidad.

P = Perímetro de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km²).

De la expresión se desprende que Cc siempre es mayor o igual a uno y se incrementa con la irregularidad de la forma de la cuenca. Este factor adimensional constituye un indicativo de la tendencia de la avenida en una cuenca. Una cuenca de forma circular posee el coeficiente mínimo igual a 1 y tiene mayor tendencia a las crecientes en la medida que el valor de Cc se aproxima a la unidad; cuando se aleja de la unidad, presenta una forma más irregular con relación al círculo.

Tabla 37. Formas de las cuencas de acuerdo al coeficiente de compacidad.

Clase de Forma	Coeficiente de Compacidad	Forma de la Cuenca
Clase I	1.0-1.25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1.26-1.50	Oval-redonda a oval-oblonga
Clase III	1.51 a más de 2	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: Campos, 1992.

14.2.7 Razón de Elongación

Es la relación entre el diámetro de un círculo, con igual área que la de la cuenca, y la longitud máxima de la misma (Viramontes-Olivas et al., 2007).

La fórmula es la propuesta por Shumm (1956):

$$R_e = \frac{1.128A^{0.5}}{L_c}$$

Donde:

Re= Relación de elongación.

L_c = Longitud de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km^2).

Valores cercanos a la unidad implicarán formas menos alargadas y cuanto menor sean a la unidad, serán más alargadas (González, 2004).

14.2.8 Factor de Forma

El factor de forma fue propuesto por Horton (1945). Este relaciona el área de la cuenca y la longitud de la misma. En este sentido, valores cercanos a cero indican cuencas alargadas y aquellos cercanos a uno indican cuencas redondeadas (Viramontes-Olivas et al., 2007).

Una descripción cuantitativa de la forma es proporcionada por la siguiente fórmula:

$$F_f = \frac{A}{L_c^2}$$

Donde:

F_f = Factor de forma.

A = Área de la cuenca (km^2).

L_c = Longitud de la cuenca (km).

Los valores interpretativos de la relación de forma de Horton pueden se presenta en el Tabla 38.

Tabla 38. Valores interpretativos del factor de forma.

Valores aproximados	Forma de la cuenca
Valores aproximados	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 – 0.30	Alargada
0.30 – 0.37	Ligeramente alargada
0.37 – 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 -0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 – 0.80	Ensanchada
0.80 – 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Horton, 1945.

14.2.9 Rectángulo Equivalente

Consiste en representar el vaso colector en un rectángulo ideal que tiene la misma área y perímetro que la cuenca. Para efectos de cálculo, en este rectángulo se convierten las curvas de nivel en rectas paralelas al lado menor.

Las longitudes de los lados del rectángulo equivalente están dadas por las siguientes expresiones:

$$L = \frac{Cc\sqrt{A}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Cc} \right)^2} \right] \text{Lado Mayor}$$

$$l = \frac{Cc\sqrt{A}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Cc} \right)^2} \right] \text{Lado Menor}$$

Donde:

Cc= Coeficiente de compacidad.

A = Área de la cuenca (km²).

El rectángulo equivalente fue introducido por hidrólogos franceses con la intención de comparar mejor la influencia de las características de la cuenca sobre la escorrentía superficial (Mejía, 2012).

14.2.10 Radio de Circularidad

Relaciona el área de la cuenca y la del círculo que posee una circunferencia de longitud igual al perímetro de la cuenca. Su valor es uno para una cuenca circular y 0.785 para una cuenca cuadrada.

La fórmula está dada por la siguiente expresión:

$$RC = \frac{4A}{P^2}$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km²).

14.2.11 Parámetros de Relieve

Son de gran importancia puesto que el relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma. La pendiente es la principal variable puesto que a mayor pendiente habrá un menor tiempo de concentración de las aguas en la red de drenaje. Con carácter general, podemos decir que a mayor relieve o pendiente la generación de escorrentía se produce en lapsos de tiempo menores.

Asimismo, estos parámetros nos determinan la relación existente entre el área y la elevación, la cual muestra la preeminencia de las pendientes a lo largo de toda la cuenca.

14.2.12 Altitud más Frecuente

Se refiere a la altitud predominante con mayor porcentaje de área de la cuenca. Para este dato analizamos la curva hipsométrica y los polígonos de frecuencia.

14.2.13 Pendiente Media de la Cuenca

Se calcula como la media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante; este es un índice de la velocidad media de la escorrentía.

La fórmula está dada por la siguiente expresión:

$$J = 100 \frac{\sum L_i E}{A}$$

Donde:

J = Pendiente media de la cuenca.

L_i = Longitud de cada una de las curvas de nivel (km).

E = Equidistancia de las curvas de nivel (km).

A = Área de la cuenca (km²).

14.2.14 Coeficiente de Masividad (Cm)

Es la relación entre el área de la cuenca y la elevación media de la misma, la cual es obtenida mediante la curva hipsométrica. Su resultado toma valores altos en cuencas montañosas y bajos en cuencas llanas.

La fórmula está dada por la siguiente expresión:

$$Cm = \frac{E}{A}$$

Donde:

E = Elevación media de la cuenca (m.s.n.m.)

A = Área de la cuenca (km²)

14.2.15 Curva Hipsométrica

La Curva hipsométrica (Strahler, 1952) representa, gráficamente, cotas de terreno en función de las superficies que encierran. Para su trazado se debe tener en cuenta que sobre la sección de control (altura mínima de la cuenca) se tiene el cien por ciento de su superficie. Si se ubica en el punto más alto de la cuenca y se calcula a partir de cada curva de nivel, las áreas acumuladas por encima de ellas, se puede construir la curva hipsométrica (Martínez et al, 1996). Las curvas hipsométricas también están asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas. Esto debido al arrastre de sedimentos de modo que en los ríos maduros el mayor porcentaje de área está en la parte baja y en cambio en los ríos jóvenes cuentan con mayor porcentaje de área en la parte alta de la cuenca.

Los resultados se pueden encontrar dentro del cuerpo de la investigación.

Ver Anexo - **Carpeta Magnética 2** Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca

14.3 Anexo 3. Metodología de Estimación de Datos Faltantes de Temperatura y Precipitación por el Método de Regresión Lineal Simple

Para el análisis de Temperatura y Precipitación se requiere contar con una base de datos continuos, homogéneos y que abarque el máximo intervalo temporal posible, en los datos otorgados por el IDEAM existen muchos días sin datos, esto se puede relacionar en su mayoría con días que no se realizó registro por parte del encargado o fontanero, o días en que fallaron los equipos, o días en que se realizó mal la toma o el registro por lo tanto el IDEAM rechazó el dato por estar desfasado de la realidad, entre otras situaciones que se pueden presentar.

Existen numerosos métodos para estimar datos faltantes, la Organización Meteorológica Mundial, en su guía de prácticas de métodos estadísticos para el relleno de valores faltantes, como regresión lineal. Del mismo modo números autores Kashani y Dinpashoh (2012), Presti, Barca y Passarella (2010), You, Hubbard y Goddard (2008), manifiestan que la regresión lineal simple es el método con mejores resultados entre los tradicionales, para las variables temperatura mínima, máxima y precipitación en diferentes condiciones climáticas. (U. Autónoma de Aguascalientes, 2017)

Se realizó en Excel el método de regresión lineal simple donde $Y = a + bx$, se repitió la regresión lineal con diferentes estaciones en el caso de ser necesario, así mismo se utilizó la base de datos de PROJETA histórico para el lugar de referencia, cuando la estación al final de compararse con otras estaciones quedaba con datos faltantes.

El método de regresión lineal simple no considera las características física y geomorfológica de la cuenca, solo se realizan ecuaciones estadísticas, por lo tanto, en este

método es necesario seleccionar estaciones similares en ubicación y dentro de la misma cuenca para realizar la comparación mejor relacionada.

A continuación, se plasma como ejemplo lo realizado para el llenado de datos faltantes de Precipitación Diaria PTPD (mm/día) en la estación El Morro

1. Se escogió la estación de interés es decir la que tiene datos sin llenar o faltantes para ser complementados, en este caso la estación El Morro.

Se ordenaron en Excel las series de datos de precipitación suministrados por el IDEAM, en orden cronológico del más antiguo a la más reciente de fecha.

Tabla 39. Datos de precipitación de la estación el Morro ordenados por fecha, se obtuvieron 16.337 datos de precipitación.

Longitud	Latitud	Altitud		
-72,45625	5,453055556	656		
1. EL MORRO - [35210010]				
#	FECHA	AÑO	MES	PRECIPITACION DIARIA PTPD (mm/día)
1	19/11/1974	1974	11	0,00
2	20/11/1974	1974	11	0,00
16336	30/08/2021	2021	8	0,00
16337	31/08/2021	2021	8	3,70

Estación	Parámetro	Municipio	Periodo de Datos	# Datos
EL MORRO [35210010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	YOPAL CASANARE	19/11/1974 al 31/08/2021	16.337

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

2. Esta serie de datos de la estación de interés contiene saltos de fechas, días sin registros o datos faltantes, lo primero que se realizó fue una nueva serie de datos la cual debe contener todas las fechas o días de corrido sin saltos, con fecha de inicio 19/11/1974 y fecha final de 31/08/2021; en Excel se arrastró la fecha inicial y el mismo programa llena las celdas con las fechas día a día sin ningún salto.

Para buscar y pegar los datos de precipitación en la nueva serie (serie todos los días) se utilizó la fórmula BUSCARV y se seleccionó el valor buscado de la serie inicial en la fecha correspondiente y la fecha que no se encuentre se pone como falso. Esto con el fin de trasladar los datos de la serie inicial a la nueva.

Lo que nos arrojó como resultado las fechas que no contienen valor y que no se encontraban en los datos suministrados por el IDEAM colocando como valor #N/A.

Tabla 40. Complemento de serie de datos con fechas faltantes, se obtienen alrededor de 17.088 datos.

1. EL MORRO - [35210010]		2. EL MORRO - [35210010] TODOS LOS DIAS		Estación	Parametro	Municipio	Periodo de Datos	# Datos
FECHA	PRECIPITACION DIARIA PTPD (mm/día)	FECHA	PRECIPITACION DIARIA PTPD (mm/día)					
19/11/1974	0,00	19/11/1974	0,00	EL MORRO [35210010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	YOPAL CASANARE	19/11/1974 al 31/08/2021	17.088
20/11/1974	0,00	20/11/1974	0,00					
20/07/1975	28,00	18/07/1975	#N/A					
31/07/1975	5,00	19/07/1975	#N/A					
01/08/1975	35,00	20/07/1975	28,00					

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

En este cuadro se puede evidenciar que al complementar la serie con las fechas se introducen nuevas celdas con fechas que no se encontraban en los datos del IDEAM. Las celdas en amarillo son los datos que faltantes en esas fechas o los saltos que tenía la estación de interés.

La diferencia entre 17.088 datos y 16.337 datos suministrados por el IDEAM, dio como resultado 751 datos faltantes o por complementar de Precipitación en la en la estación de interés El Morro.

3. Se escogió otra estación climática de referencia con serie de datos más completos o continuos, es decir que casi no tenga datos faltantes, así mismo que sea con características similares a la evaluada, que se encuentre en la misma cuenca y similar altura en ella, en este caso se seleccionó la estación Aeropuerto Yopal.

A esta serie de datos de estación Aeropuerto Yopal, se realizaron los mismos pasos anteriores, es decir se ordenó por fechas y se completó la serie con las fechas.

4. Teniendo las dos series de datos de la estación El Morro y Aeropuerto Yopal completas sin saltos de fechas, se ordenan seguidamente y se realizaron tablas dinámicas para ser comparadas y evidenciar si los datos faltantes de la estación El Morro, se encuentran en la estación Aeropuerto Yopal, esto con el fin de realizar el complemento de los datos faltantes.

Tabla 41. Comparación de datos faltantes de la serie estación El morro con la serie estación Aeropuerto Yopal la cual que posee datos en las fechas faltantes para el Morro.

Dependiente Y		Independiente X	
2. EL MORRO - [35210010]		AEROPUERTO YOPAL - AUT	
FECHAS COMPLETAS	PRECIPITACION DIARIA PTPD (mm/dia)	FECHA	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)
17/07/1975	82,00	17/07/1975	20,11
18/07/1975	#N/A	18/07/1975	9,79
19/07/1975	#N/A	19/07/1975	21,40
20/07/1975	28,00	20/07/1975	6,87
21/07/1975	#N/A	21/07/1975	0,00
22/07/1975	#N/A	22/07/1975	0,00
23/07/1975	#N/A	23/07/1975	1,30
24/07/1975	#N/A	24/07/1975	7,16

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

- Estos datos faltantes en la serie de la estación del Morro no se pueden simplemente completar copiando los datos de la serie Aeropuerto Yopal, ya que se considera como una acción errónea en hidrología, por lo tanto, se buscó un método para poder completar datos y se estableció una regresión y correlación lineal entre estas dos estaciones, para esto se utilizó el método de regresión lineal simple como herramienta estadística comúnmente empleada en hidrología para estimar datos faltantes y ampliar el registro de la estación El Morro.

La fórmula está dada por la siguiente expresión:

$$Y = a + bx$$

Y= Variable dependiente con datos faltantes, serie de datos de la estación El Morro

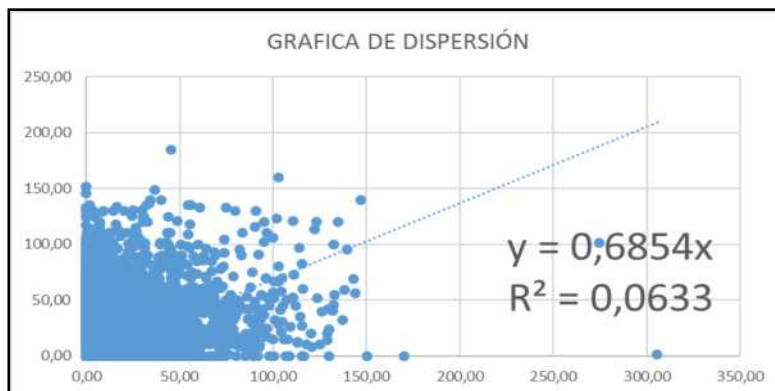
X= Variable Independiente o completa, serie de datos de la estación Aeropuerto Yopal

a y b: Pendientes de la ecuación

El método de la regresión lineal me correlaciona las variables, este método se gráfica y se calcula en Excel, dando como resultado una ecuación lineal la cual tiene por obligación que pasar por el origen X y Y es decir el punto de intercepción.

- Teniendo las dos series ordenadas en Excel se insertó un gráfico de dispersión donde al seleccionar los datos del gráfico seleccione los valores de X (Serie de valores de Aeropuerto Yopal) y los valores de Y (serie de valores del El Morro), se muestra como resultado el gráfico de dispersión de los valores de X y Y.
- Seguidamente sobre el gráfico de dispersión se da clic izquierdo y se adiciona una línea de tendencia, se selecciona forma lineal, se selecciona señalar intersección, así mismo se selecciona presentar ecuación en el gráfico y el R^2

Imagen 42. Gráfica de dispersión de la Comparación de serie de datos de la estación El Morro Vs estación Aeropuerto Yopal, Excel calcula la ecuación del gráfico y el R2.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Para esta gráfica de dispersión la ecuación de resultado es $y=0,6854x$, esta ecuación se tiene que realizar en las celdas donde no se tienen datos de la estación el Morro.

- En una nueva celda de Excel realizó una condición que me relacione la búsqueda de los datos faltantes de la estación El Morro y donde existan datos faltantes se realice la ecuación $0,6854x$, es decir multiplicar el valor a la celda X (valores de Aeropuerto Yopal), así mismo que donde exista datos se deje el dato de Y (valores del El Morro). Para esto se utilizó la ecuación de Excel SI.ND., ya con teniendo la ecuación seleccionar y arrastrar hasta el final para completar mi nueva serie de datos ya completa.

Tabla 42. Resultado de datos faltantes de la serie estación El Morro vs serie estación Aeropuerto Yopal. utilizando la regresión lineal simple y el resultado de la gráfica de dispersión.

Dependiente Y		Independiente X		
2. EL MORRO - [35210010] TODOS LOS DIAS		AEROPUERTO YOPAL - AUT [35215020]		3. RESULTADO EL MORRO VS YOPAL
FECHAS COMPLETAS	PRECIPITACION DIARIA PTPD (mm/día)	FECHA	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	COMPLETADO
17/07/1975	82,00	17/07/1975	20,11	82,00
18/07/1975	#N/A	18/07/1975	9,79	6,71
19/07/1975	#N/A	19/07/1975	21,40	14,67
20/07/1975	28,00	20/07/1975	6,87	28,00
21/07/1975	#N/A	21/07/1975	0,00	0,00
22/07/1975	#N/A	22/07/1975	0,00	0,00
23/07/1975	#N/A	23/07/1975	1,30	0,89
24/07/1975	#N/A	24/07/1975	7,16	4,91

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

El cuadro nos muestra que en las celdas donde no se tienen datos se ejecuta la ecuación $0,6854x$ (X = valores de Aeropuerto Yopal) y en las celdas que tiene datos se dejan los datos de la estación El Morro.

9. Como resultado se obtiene una serie de datos completa sin datos faltantes de la estación El Morro, esta serie de datos se ordena por fechas y se realiza análisis estadístico y se comprueba con una tabla dinámica que todos los datos estén completos.

Tabla 43. Serie completa de Precipitación Diaria PTPD, estación El Morro. Contiene 17.088 datos de 19/11/1974 al 31/08/2021, con valores mínimos de 0 mm/día y máximo de 185 mm/día.

Longitud	Latitud	Altitud		
-72,456	5,453	656,000		
FINAL COMPLETO (LLENO DE DATOS FALTANTES) EL MORRO - [35210010]				
#	FECHA	AÑO	MES	PRECIPITACION DIARIA PTPD (mm/día)
1	19/11/1974	1974	11	0,00
2	20/11/1974	1974	11	0,00
17087	30/08/2021	2021	8	0,00
17088	31/08/2021	2021	8	3,70

Estación	Parametro	Municipio	Periodo de Datos	# Datos
EL MORRO [35210010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	YOPAL CASANARE	19/11/1974 al 31/08/2021	17.088

Promedio	Varianza	Desviacion Estandar	Valor Minimo	Valor Maximo
9,83	349,36	18,69	0,00	185,00

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

10. Estos mismos pasos se realizaron para complementar los datos faltantes de Precipitación y Temperatura de todas las estaciones; los resultados se dé la regresión lineal simple, las gráficas de dispersión y las ecuaciones de Y y R^2

Imagen 43. Resultados de estimación de datos faltantes por el método de regresión lineal simple.

Lleno de datos Faltantes por Regresión lineal simple.			
Estacion Dependiente Y	Parametro	Estacion Independiente X	Grafica de Dispersion
EL MORRO [35210010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	AEROPUERTO YOPAL	
AEROPUERTO YOPAL [35215020]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	1. AGUAZUL 2. EL MORRO 3. PROJETA	
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/dia)	1. AGUAZUL 2. PROJETA	
	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN-D (°C/dia)	1. AGUAZUL 2. PROJETA	
	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	AEROPUERTO YOPAL	

Fuente: Becerra V.,

Lleno de datos Faltantes por Regresión lineal simple.			
Estacion Dependiente Y	Parametro	Estacion Independiente X	Grafica de Dispersion
AGUAZUL [35195030]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	AEROPUERTO YOPAL	
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/dia)	AEROPUERTO YOPAL	
	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN-D (°C/dia)	AEROPUERTO YOPAL	
MODULOS [35225010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	1. OROCUE 2. PROJETA	
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/dia)	1. OROCUE 2. PROJETA	
	TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN-D (°C/dia)		

M. A., 2021

Se anexan los archivos magnéticos en Excel de cada una de las series de Temperatura y Precipitación de las estaciones climáticas utilizadas, ellas contienen los datos y ecuaciones realizadas.

Del mismo modo se anexa un video de ejemplo de paso a paso de la realización de la estimación de datos faltantes por la metodología de regresión lineal simple.

Ver Anexo Magnético 6. Series de Datos Completos de Temperatura y Precipitación, Resultado de la Regresión Lineal simple.

14.4 Anexo 4. Metodología de Obtención de Datos Climáticos Complementarios y Proyectados

4.1 Datos históricos MIROC5 obtenidos de PROJETA (1961-2005)

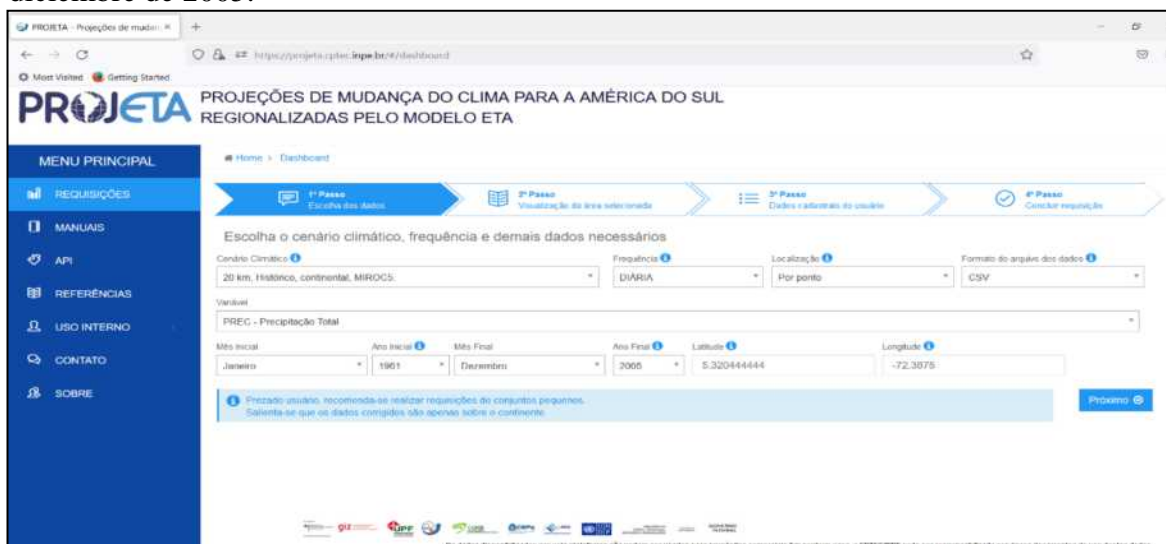
Se utilizó la página (<https://projeta.cptec.inpe.br/#/dashboard>) “PROJETA” donde se encuentran proyecciones regionalizadas, esta página es del gobierno de Brasil, y contiene límites al año 2100 de Modelación del Clima Para América del Sur.

Se seleccionó el modelo de simulación de cambio climático MIROC5, por ser uno de los más utilizados en el mundo y específicamente en Suramérica y Colombia.

Se procedió a descargar los datos de temperatura y precipitaciones desde la página de PROJETA, para cada una de las estaciones y teniendo como referencia de búsqueda la georreferencia de estas, es de anotar que a esta base de datos descargada se le denomina *Escenario de datos Histórico* el cual comprende datos de temperatura y precipitación de 1900 hasta 2005

1. Estando en la página de PROJETA, el primer paso fue seleccionar los datos a descargar, para los datos históricos y como ejemplo la precipitación diaria en la estación AEROPUERTO YOPAL - AUT [35215020].

Imagen 44. Precipitación histórica MIROC5, con frecuencia diaria, localización por punto con las coordenadas de la estación, en formato CSV (Excel), desde enero de 1961 hasta diciembre de 2005.

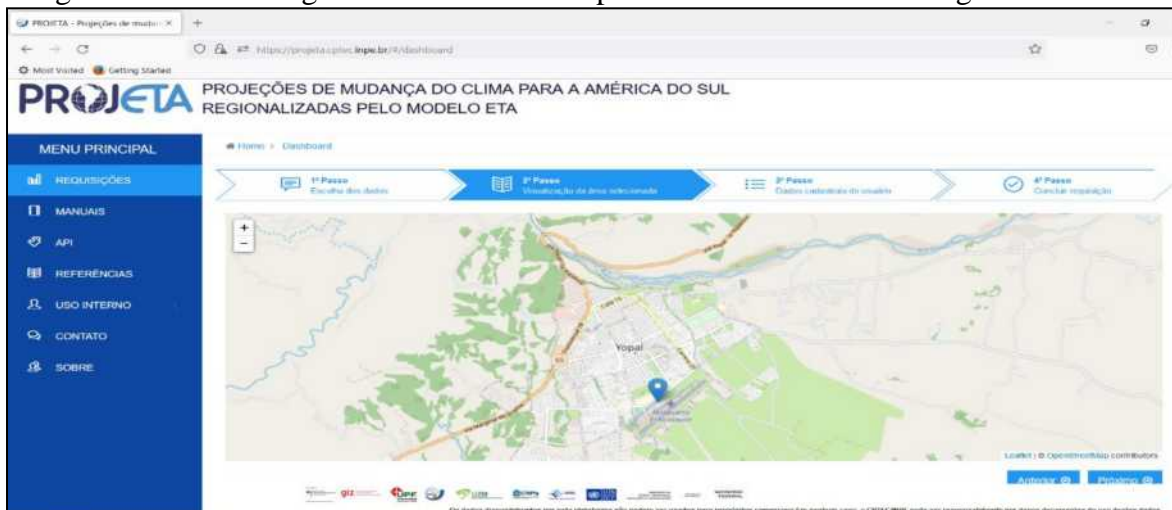


Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Se seleccionó una frecuencia diaria, por ser datos que necesito como insumo para modelar, así mismo localización por punto con las coordenadas de cada una de las estaciones por ser los puntos donde tengo datos a comparar, y se seleccionó el periodo de enero de 1961 hasta diciembre de 2005, por ser el inicio y el límite de datos en el escenario Histórico.

2. Se da Clic en próximo, y en el segundo paso se visualiza el área seleccionada, PROJETA muestra en un mapa un punto con las coordenadas que se introdujeron, en este mapa se verifica que la triangulación corresponda a la estación climática seleccionada y su ubicación real.

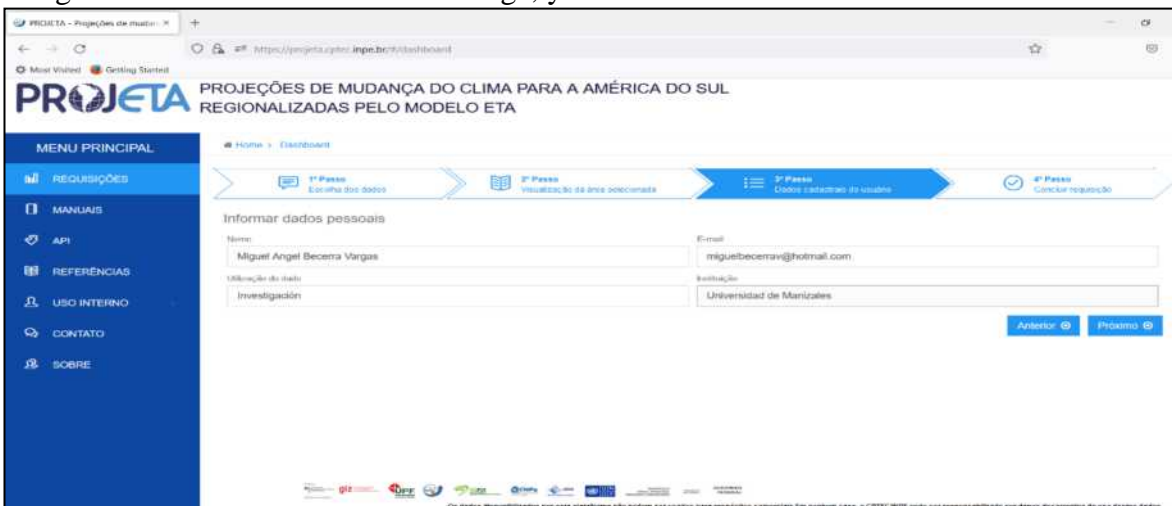
Imagen 45. Muestra la georreferenciación del punto donde se van a descargar los datos.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

3. Se da Clic en próximo, y como tercer paso se introducen los datos de usuario de descarga y para qué van a ser utilizados dichos datos.

Imagen 46. Datos de usuario de descarga, y utilización a ser utilizados dichos datos.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

- Como paso final, se muestra un resumen de lo que se quiere descargar, después de la descarga, llega un correo con los datos en Excel, así como un resumen de lo solicitado.

Imagen 47. Resumen de lo descargado PROJETA.



Resumo da Requisição

Nome: Miguel Angel Becerra Vargas
 E-mail: miguelbecerrav@hotmail.com
 Cenário Climático: 20 km, Histórico, continental, MIROC5.
 Frequência: DIÁRIA
 Tipo de Requisição: Por ponto
 Latitude: 5.32044
 Longitude: -72.3875
 Variáveis: PREC
 Período: 1-1961/12-2005
 Utilização do dado: Investigación
 Instituição: Universidad de Manizales
 Saída: CSV

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Tabla 44. Muestra de Tabla de datos en Excel descargados.

#	Data	Hora	Latitud	Longitud	PREC
1	1/01/1961	0:00:00	5.4	-72.4	0.135489121
2	2/01/1961	0:00:00	5.4	-72.4	0
3	3/01/1961	0:00:00	5.4	-72.4	0
4	4/01/1961	0:00:00	5.4	-72.4	0
5	5/01/1961	0:00:00	5.4	-72.4	0
16430	25/12/2005	0:00:00	5.4	-72.4	149.492.979
16431	26/12/2005	0:00:00	5.4	-72.4	4.455.236.435
16432	27/12/2005	0:00:00	5.4	-72.4	4.134.005.547
16433	28/12/2005	0:00:00	5.4	-72.4	8.894.569.397
16434	29/12/2005	0:00:00	5.4	-72.4	0
16435	30/12/2005	0:00:00	5.4	-72.4	5.248.995.781
16436	31/12/2005	0:00:00	5.4	-72.4	2.631.675.339

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Para este ejemplo de datos descargados de precipitación diaria histórica MIROC5, en la estación Aeropuerto Yopal, se muestra la tabla 16436 datos descargados desde 1961 hasta 2005, los cuales se ordenan y se utilizarán en otros procesos de estación de datos faltantes y complemento de datos climáticos.

4.2 Datos MIROC5 RCP4.5 Y RCP 8.5 descargados de PROJETA (2006-2009)

De la misma forma se descargan de PROJETA los datos de las 5 estaciones climáticas, datos de los parámetros de Temperatura Máxima Diaria, Temperatura Mínima Diaria y Precipitación Diaria, cada uno de estos parámetros con bases de datos históricos MIROC5 obtenidos de PROJETA (1961-2005), Datos de proyecciones MIROC5 con RCP 4.5 obtenidos de PROJETA (2006-2009), Datos de proyecciones MIROC5 con RCP 8.5 obtenidos de PROJETA (2006-2009).

Tabla 45. Bases de datos descargados de PROJETA, por estación y por RCP.

Bases de Datos Descargados de PROJETA por Estaciones Climáticas.				
Estación	Parametro	Base de Datos	Periodo	Cantidad de Datos Descargados
EL MORRO [35210010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	HISTORICA	1-1961/12-2005	16.436
		MIROC5 RPC4.5	1-2006/12-2009	34.333
		MIROC5 RPC8.5	1-2006/12-2009	34.333
AEROPUERTO YOPAL [35215020]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	HISTORICA	1-1961/12-2005	16.436
		MIROC5 RPC4.5	1-2006/12-2009	34.333
		MIROC5 RPC8.5	1-2006/12-2009	34.333
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/dia)	HISTORICA	1-1961/12-2005	16.436
		MIROC5 RPC4.5	1-2006/12-2009	34.333
		MIROC5 RPC8.5	1-2006/12-2009	34.333
TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D (°C/dia)	HISTORICA	1-1961/12-2005	16.436	
	MIROC5 RPC4.5	1-2006/12-2009	34.333	
	MIROC5 RPC8.5	1-2006/12-2009	34.333	
MOLINOS DE CASANARE [35210040]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	HISTORICA	1-1961/12-2005	16.436
		MIROC5 RPC4.5	1-2006/12-2009	34.333
		MIROC5 RPC8.5	1-2006/12-2009	34.333
AGUAZUL [35195030]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	HISTORICA	1-1961/12-2005	16.436
		MIROC5 RPC4.5	1-2006/12-2009	34.333
		MIROC5 RPC8.5	1-2006/12-2009	34.333
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/dia)	HISTORICA	1-1961/12-2005	16.436
		MIROC5 RPC4.5	1-2006/12-2009	34.333
		MIROC5 RPC8.5	1-2006/12-2009	34.333
TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D (°C/dia)	HISTORICA	1-1961/12-2005	16.436	
	MIROC5 RPC4.5	1-2006/12-2009	34.333	
	MIROC5 RPC8.5	1-2006/12-2009	34.333	
MODULOS [35225010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	HISTORICA	1-1961/12-2005	16.436
		MIROC5 RPC4.5	1-2006/12-2009	34.333
		MIROC5 RPC8.5	1-2006/12-2009	34.333
	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA TMX-D (°C/dia)	HISTORICA	1-1961/12-2005	16.436
		MIROC5 RPC4.5	1-2006/12-2009	34.333
		MIROC5 RPC8.5	1-2006/12-2009	34.333
TEMPERATURA MINIMA DIARIA TMN -D (°C/dia)	HISTORICA	1-1961/12-2005	16.436	
	MIROC5 RPC4.5	1-2006/12-2009	34.333	
	MIROC5 RPC8.5	1-2006/12-2009	34.333	

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Ver Anexo - Carpeta Magnética 7. Bases de Datos Descargados de PROJETA.

4.3 Vías Correction, Técnica de Corrección de Sesgo del Modelo Climático Regional.

Se tienen 4 bases de datos de Temperatura y 4 bases de datos de precipitación en cada una de las estaciones climáticas escogidas, las 4 bases de datos para cada parámetro son:

1. Datos completos de las estaciones, obtenidos del IDEAM y completos (fecha-2021)
2. Datos históricos MIROC5 obtenidos de PROJETA (1961-2005)
3. Datos de proyecciones MIROC5 con RCP 4.5 obtenidos de PROJETA (2006-2099)
4. Datos de proyecciones MIROC5 con RCP 8.5 obtenidos de PROJETA (2006-2099)

Todas las bases de datos proyectadas se tienen que comparar, y complementar, con fecha de inicio y límite de acuerdo a lo entregado por el IDEAM para cada estación.

A continuación, se plasma como ejemplo lo realizado en la técnica de Vías Correction o de sesgo para MIROC5 con RCP 4.5 Precipitación Diaria PTPD (mm/día) en la estación El Morro.

Se tiene las siguientes bases de datos de Precipitación Diaria PTPD (mm/día) en la estación El Morro:

1. Base de datos obtenida del IDEAM y completa es decir con el lleno de los datos faltantes por regresión lineal (del 19/11/1974, hasta 31/08/2021).
 2. Base de datos histórico MIROC5 obtenida de PROJETA (del 19/11/1974, hasta 31/08/2021).
 3. Base de datos proyecciones MIROC5 con RCP 4.5 obtenidos de PROJETA (del 01/09/2021, hasta 31/12/2099).
1. Como primer paso, con las dos primeras bases de datos, la histórica de IDEAM Completa y de PROJETA; se crearon tablas dinámicas a cada una, en estas se establece el promedio de precipitación diaria multianual por mes.

Imagen 48. Fragmento de base de datos y la tabla dinámica, IDEAM completa del 19/11/1974, hasta 31/08/2021.

Longitud	Latitud	Altitud		
-72,456	5,453	656,000		
FINAL COMPLETO (LLENO DE DATOS FALTANTES) EL MORRO - [35210010]				
#	FECHA	AÑO	MES	PRECIPITACION DIARIA PTPD (mm/día)
1	19/11/1974	1974	11	0,00
2	20/11/1974	1974	11	0,00
3	21/11/1974	1974	11	0,00
4	22/11/1974	1974	11	31,00
5	23/11/1974	1974	11	1,00
6	24/11/1974	1974	11	0,00
7	25/11/1974	1974	11	0,00
8	26/11/1974	1974	11	0,00
9	27/11/1974	1974	11	0,00
10	28/11/1974	1974	11	0,00
49	06/01/1975	1975	1	0,00
50	07/01/1975	1975	1	0,00
51	08/01/1975	1975	1	0,00

Promedio de PRECIPITACION Etiquetas de columna													Total general
Etiquetas de	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total general
1974											2,667	0,000	0,744
1975	0,000	0,643	4,548	3,200	17,935	18,333	12,748	19,258	12,300	18,839	7,833	6,548	10,258
1976	0,161	2,241	1,675	15,300	17,226	13,300	14,032	7,581	10,800	7,452	8,100	0,000	8,147
1977	0,000	0,000	2,097	4,666	11,065	17,200	16,419	15,742	3,638	14,903	10,600	0,000	8,083
1978	0,290	0,357	9,452	19,433	12,935	14,667	11,871	15,935	0,900	14,935	4,800	0,742	8,918
1979	0,065	0,143	5,581	18,300	15,710	19,667	10,935	11,677	12,500	21,387	16,933	2,581	11,321
1980	0,000	0,000	5,806	13,100	20,065	24,300	19,129	18,000	17,333	18,548	5,467	1,129	11,937
1981	0,000	11,536	5,419	16,567	25,452	19,333	16,194	10,161	22,033	10,645	3,867	1,161	11,827
2020	0,400	0,259	0,455	14,160	13,981	19,987	15,048	6,694	8,180	13,587	20,363	1,665	9,549
2021	1,684	0,357	4,316	15,920	9,571	16,617	10,623	13,635					9,139
Total general	0,551	2,017	4,016	12,884	16,471	17,592	15,406	13,674	13,268	12,689	7,421	1,771	9,831

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Imagen 49. Fragmento de base de datos y la tabla dinámica, PROJETA MIROC5 RCP 4.5 del 19/11/1974, hasta 31/08/2021.

PROJETA MIROC5 RCP4.5 1974-2021			
FECHA	AÑO	MES	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)
19/11/1974	1974	11	0,00
20/11/1974	1974	11	0,00
21/11/1974	1974	11	5,17
22/11/1974	1974	11	8,28
23/11/1974	1974	11	9,94
24/11/1974	1974	11	10,67
25/11/1974	1974	11	7,19
26/11/1974	1974	11	10,35
27/11/1974	1974	11	13,78
28/11/1974	1974	11	8,77
06/01/1975	1975	1	3,81
07/01/1975	1975	1	6,11
08/01/1975	1975	1	10,35

Promedio de PRECIPITACION Etiquetas de fila													Total general
Etiquetas de fila	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total general
1974											6,179	4,109	4,687
1975	5,329	3,722	11,796	7,922	20,260	21,389	21,791	13,693	15,867	9,727	6,979	1,322	11,700
1976	1,087	2,466	12,554	24,216	26,256	23,889	20,778	21,516	15,658	13,063	4,238	11,464	14,808
1977	5,128	5,154	1,910	14,085	19,080	20,104	23,139	22,221	16,927	15,874	7,671	4,360	13,016
1978	0,329	0,649	6,862	9,996	16,452	25,123	24,533	22,414	14,897	12,884	8,135	9,162	12,697
1979	6,528	7,199	3,973	9,792	22,661	20,056	21,018	21,613	15,557	14,451	9,515	5,092	13,163
1980	6,456	1,191	5,878	10,865	27,962	25,229	25,029	15,946	16,499	12,841	11,913	7,743	14,009
1981	0,142	3,036	7,308	14,541	21,316	22,342	24,922	19,251	11,664	13,297	6,126	6,141	12,572
2020	4,221	5,995	6,386	8,848	25,396	23,326	22,454	20,031	12,911	6,884	3,896	2,487	11,931
2021	3,017	3,148	7,742	22,904	23,513	21,501	14,313	10,747					13,414
Total general	3,747	3,953	5,693	12,823	23,483	23,278	22,074	19,904	14,760	11,781	8,154	5,239	12,958

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Estas imágenes dan a conocer parte de lo realizado y como resultado final de la tabla dinámica lo resaltado en rojo, el total general de los resultados del promedio acumulado de precipitación diaria multianual por mes.

2. Con los resultados finales del promedio histórico acumulado de precipitación diaria multianual por mes del IDEAM (estaciones) y de PROYECTA (proyecciones), se realiza la comparación entre las dos, y con el cálculo de Vías Correction se realiza la Corrección de Sesgo del histórico del IDEAM (estaciones).

La técnica de vías Correction se realiza para relacionar y ajustar los datos del modelo regional PROYECTA (2021-2099), con los datos registrados de las estaciones en campo IDEAM (1974-2021). Con este método se constata y disminuye la diferencia entre los datos proyectados y los datos históricos registrados de las estaciones en campo.

Imagen 50. Ecuación de Vías Correction o Corrección de vías, utilizada en el modelo regional de cambio climático.

$$P_{contr}^*(d) = P_{contr}(d) \cdot \left[\frac{\mu_m(P_{obs}(d))}{\mu_m(P_{contr}(d))} \right]$$

$$P_{scen}^*(d) = P_{scen}(d) \cdot \left[\frac{\mu_m(P_{obs}(d))}{\mu_m(P_{contr}(d))} \right]$$

$$T_{contr}^*(d) = T_{contr}(d) + \mu_m(T_{obs}(d)) - \mu_m(T_{contr}(d))$$

$$T_{scen}^*(d) = T_{scen}(d) + \mu_m(T_{obs}(d)) - \mu_m(T_{contr}(d))$$

Fuente: TEUTSCHBEIN,C,;SEIBERT,J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. Journal of Hydrology.

$P_{contr}^*(d)$ = Resultado Precipitación Diaria - (PROJETA 2021-2099) Corregida

$P_{contr}(d)$ = Precipitación Diaria Proyectada - (PROJETA 2021-2099)

$\mu_m(P_{obs}(d))$ = Promedio de la precipitación diaria observada - Promedio Histórico IDEAM Completa (1974-2021).

$\mu_m(P_{obs}(d))$ = Promedio de la precipitación diaria proyectada- PROJETA MIROC5 RCP 4.5 (2021-2099)

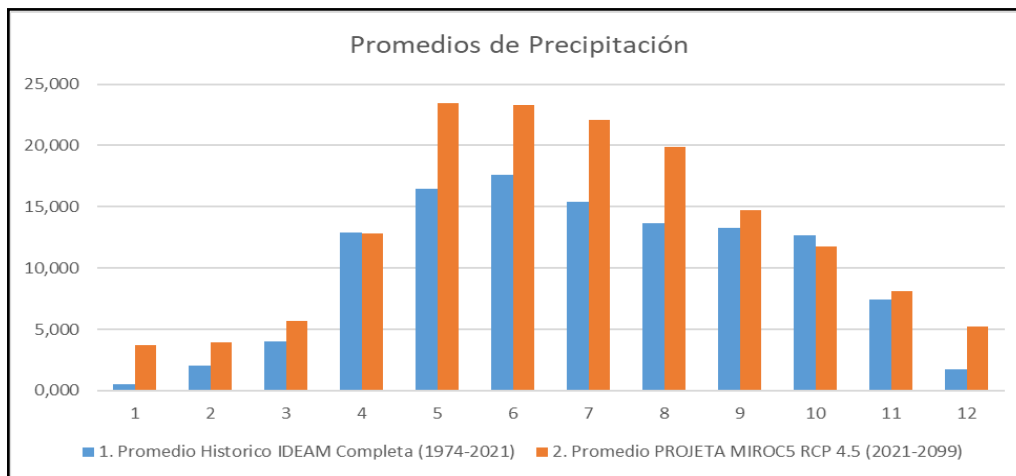
Como primer paso para comparar las bases de datos de precipitación los resultados de los promedios, los cuales fueron resaltados en rojo anteriormente, se ordenaron de forma vertical y se les realizó el cálculo de la división de la ecuación de Vías Correction

Tabla 46. Comparación entre los promedios Históricos y Proyectados.

Comparación de Promedios de Precipitación- División Vías Correction- Estación El Morro			
Mes	1. Promedio Histórico IDEAM Completa (1974-2021)	2. Promedio PROJETA MIROC5 RCP 4.5 (2021-2099)	División 1/2
1	0,551	3,747	0,147
2	2,017	3,953	0,510
3	4,016	5,693	0,705
4	12,884	12,823	1,005
5	16,471	23,483	0,701
6	17,592	23,278	0,756
7	15,406	22,074	0,698
8	13,674	19,904	0,687
9	13,268	14,760	0,899
10	12,689	11,781	1,077
11	7,421	8,154	0,910
12	1,771	5,239	0,338

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Imagen 51. Gráfica Comparación de Promedios de Precipitación por meses, Histórico IDEAM (1974-2021) Vs Proyectada PROJETA MIROC5 RCP 4.5 (2021-2099).



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

La gráfica muestra que existen diferencias entre los datos Históricos y Proyectados de precipitación, un marcado sesgo a ser mayores los datos proyectados que los tomados en campo o históricos, se evidenció diferencia en los meses 1,5,6,7,8 y 12. La disminución a esta diferencia o sesgo, es la razón principal por la cual se debe realizar un ajuste de los datos proyectados, en este caso se realizó por el método de Vías correction.

Como segundo paso de la técnica de vías Correction, es el cálculo de la multiplicación, en esta se multiplican los datos proyectados con el resultado de la división de acuerdo al mes.

En la base de datos Proyectada PROJETA MIROC5 RCP 4.5 (2021-2099), se busca el mes del dato y se multiplica la precipitación con el dato de la división respecto al mes. Como ejemplo, de la siguiente gráfica, para el dato del 01/09/2021 se multiplica 11. 31 dato de la precipitación * 0.899 resultado de la división de tabla anterior en el mes respectivo; dando como resultado corregido 10,17 mm/día. Y así se realizó para todos los datos de la tabla.

Imagen 52. Ejemplo de corrección de sesgo, calculo técnica vías Correction.

PROJETA MIROC5 RCP4.5 2021-2099				
FECHA	AÑO	MES	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/dia)	CORREGIDA Multiplicación Según Mes (R. División * PTP-D)
01/09/2021	2021	9	11,31	10,17
02/09/2021	2021	9	14,64	13,16
30/12/2099	2099	12	0,00	0,00
31/12/2099	2099	12	0,00	0,00

Comparación de Promedios de Precipitación- División Vías Correction- Estación El Morro			
Mes	1. Promedio Histórico IDEAM Completa (1974-2021)	2. Promedio PROJETA MIROC5 RCP 4.5 (2021-2099)	División 1/2
9	13,268	14,760	0,899
12	1,771	5,239	0,338

$P * \text{contr}(d) = 0,899 * 11,31$ $P * \text{contr}(d) = 10,17 \text{ mm/día}$

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

En el ejemplo realizado se muestra que después del cálculo, se está disminuyendo el valor proyectado, por lo tanto, el resultado ya corregido se encuentra ajustado a la realidad o a los datos históricos encontrados en campo.

Imagen 53. Serie final de Precipitación Diaria PTPD, estación El Morro, resultado después de realizarse la corrección de sesgo por la técnica de vías correction. Contiene 45.699 datos de 19/11/1974 al 31/12/2099, con valores mínimos de 0 mm/día y máximo de 185 mm/día.

FINAL EST. EL MORRO CORREGIDO PTP-D 1974-2099 (MODELO MIROC5 RCP4.5)				
#	FECHA	AÑO	MES	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)
1	19/11/1974	1974	11	0,00
2	20/11/1974	1974	11	0,00
3	21/11/1974	1974	11	0,00
4	22/11/1974	1974	11	31,00
45694	26/12/2099	2099	12	0,55
45695	27/12/2099	2099	12	0,00
45696	28/12/2099	2099	12	0,02
45697	29/12/2099	2099	12	0,20
45698	30/12/2099	2099	12	0,00
45699	31/12/2099	2099	12	0,00

Estación	Parametro	Municipio	Periodo de Datos	# Datos
EL MORRO [35210010]	PRECIPITACION DIARIA PTP-D (mm/día)	YOPAL CASANARE	19/11/1974 al 31/12/2099	45.699

Promedio	Varianza	Desviacion Estandar	Valor Minimo	Valor Maximo
9,34	196,86	14,03	0,00	185,00

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Para las otras bases de datos se repite la técnica de Vías Correction, estos bases de datos de resultados de Temperatura y Precipitación para los RCP 4.5 y RCP 8.5 son las que se utilizan para alimentar el Software de modelación hidrológica que se utiliza, en este caso el Rs Minerve.

Ver Anexo - Carpeta Magnética 8. Bases de Datos Finales.


14.5 Anexo 5. Metodología y Modelo de Encuesta.

Tabla 47. Ficha técnica encuesta.

Persona que realiza la encuesta	El maestrante realizó la encuesta , con ayuda de un asistente , así mismo cada persona encuestada llena la encuesta.
Fecha de ejecución	De marzo 2021 – abril de 2022
Descripción general.	Diseño , aplicación y procesamiento de una encuesta ciudadana para entender la importancia del agua para los habitantes, conocer las perspectivas y conocimiento de cambio climático que tienen, las proyecciones en el aumento de temperatura y las posibles afectaciones que esto traería en la disminución del agua, en su dependencia de este líquido y en sus actividades.
Técnica de recolección	Visita personal, presentación y explicación del motivo de la visita , la realización de la encuesta individual a persona mayor de edad en cada predio seleccionado.
Actividades realizadas	Diseño metodológico de la encuesta, diseño de la encuesta, capacitación al asistente, aplicación de prueba piloto – recolección de datos, procesamiento de datos, análisis resumido de los datos y retroalimentación de los resultados de la prueba piloto.
Organización logística	Previo al trabajo de campo, el maestrante realizó la programación de encuestas a realizar en el casco urbano y zona rural del municipio de Yopal.
Instrumento utilizado y alcance temático	Se utilizó un modelo único de encuesta con preguntas de selección múltiple y también de tipo abierta. Esta se encontraba estructurada de 20 preguntas, divididas en 4 secciones: 1. Identificación del predio y de la persona encuestada, 2. Conocimiento y percepción del cambio climático y algunas variables climáticas. 3. uso del recurso hídrico e importancia del mismo 4. Percepción de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.
Grupo objetivo	Habitantes del casco urbano y zona rural de Yopal, se escogió el casco urbano para realizar el modelo piloto por facilidad de desplazamiento y premura de analizar la encuesta. No se realizó identidad de género, raza o grupo etario, ya que no se cree que aporte a la característica objetivo de la encuesta.
Tamaño de la muestra	67 encuestas
Técnica de muestreo	Diseño aleatorio: la unidad seleccionada fueron viviendas donde uno de los miembros del hogar respondía la encuesta, las viviendas seleccionadas se encontraban sobre la margen derecha del río Cravo Sur en el municipio de Yopal.
Modelo de encuesta	Anexo

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Imagen 54. Encuesta modelo.

 MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE.																
Proyecto de investigación: AFECTACIONES SOCIO-AMBIENTALES GENERADAS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA OFERTA HÍDRICA, DE ACUERDO A LAS PROYECCIONES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN EL PERIODO 2040-2100. Estudio de caso: CUENCA RIO CRAVO SUR EN EL MUNICIPIO DE YOPAL, DEPARTAMENTO DE CASANARE-COLOMBIA.																
ENCUESTA.																
N°/CODIGO:																
La siguiente encuesta hace parte de una investigación educativa y su fin es académico, se realiza para conocer la importancia del agua del rio Cravo sur para los habitantes de Yopal, y el conocimiento de su afectación por el cambio climático. agradecemos su colaboración.																
IDENTIFICACIÓN.																
1. Nombre del encuestado o código:	2. Telefono:															
3. Nombre del predio/direccion:	4. Vereda/Barrío:															
5. Nombre de quien diligencia:	6. Fecha:															
CAMBIO CLIMÁTICO.																
PREGUNTAS	RESPUESTAS															
7. ¿Conoce el termino de cambio climático? , a que lo relaciona. (marque con una X- puede seleccionar varias).	SI NO a. Aumento de Temperatura, Sequias extremas, disminución de agua en fuentes hídricas, perdidas de cultivos. b. Aumento de lluvias y aumento de caudal de agua en fuentes hídricas, inundaciones, perdidas de cultivos. c. Huracanes, terremotos, desastres naturales, ... d. Enfermedades respiratorias, cáncer, transmitidas por vectores... e. Muerte continua de Flora y Fauna. Otras _____															
8. ¿Por qué se presenta el cambio climático? (marque con una X).	a. Por fenómenos o causas naturales. b. Por voluntad divina (Dios). c. Consecuencia de las acciones del hombre. d. No existe, es un invento para sacar provecho.															
9. ¿Qué considera que es la causa del cambio climático? (marque con una X- puede seleccionar varias).	a. Deforestación, contaminación del agua, contaminación del suelo. b. Uso de vehículos (emisión de gases que contaminan). c. Actividades industriales que contaminan. d. Actividades agrícolas (pesticidas, fertilizantes, deforestación). e. Actividades ganaderas (emisión de gases que contaminan, deforestación, etc.). f. Mal manejo de los residuos sólidos- basura (emisión de gases que contaminan, contaminación del agua, etc.). Otras _____															
10. Comparado las siguientes variables, como considera su comportamiento respecto a años atrás (20-30 años). (marque con una X).	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Variables Climaticas</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Temperatura</td> <td style="text-align: center;">Precipitación (lluvia)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Mayor</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Igual</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Menor</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Variables Climaticas			Temperatura	Precipitación (lluvia)	Mayor			Igual			Menor		
	Variables Climaticas															
	Temperatura	Precipitación (lluvia)														
Mayor																
Igual																
Menor																
UTILIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO. (Rio Cravo Sur)																
PREGUNTAS	RESPUESTAS															
11. ¿Qué actividades desarrolla en su predio? (marque con una X- puede seleccionar varias).	a. Ganadería b. Cultivo de Arroz c. Cultivo de Palma. d. Piscícola.															
12. ¿En qué actividad utiliza más el agua?	e. Servicios Turísticos (Restaurantes, estaderos, Piscina, alquiler) f. Vivienda y hogar Otras _____															
13. ¿Utiliza agua de la cuenca del Rio Cravo Sur para sus actividades? Como la consigue. (marque con una X- puede seleccionar varias).	SI NO a. Acueducto Municipal o veredal b. Captación directa c. Canal d. Pozo profundo Otra _____															
14. ¿Qué tan Importante es el agua de la cuenca del Rio Cravo Sur para el desarrollo de sus actividades? (marque con una X).	a. Muy importante (vital para mis actividades y vida) b. Importante (necesito un poco de agua en mis actividades) c. Poco importante (puedo sustituirla, no es necesaria) d. Sin importancia (no necesito nada de agua en mis actividades)															
15. ¿Existen conflictos por el uso del agua en la vereda o vivienda?	SI NO Describa:															
CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSO HÍDRICO (Rio Cravo Sur)																
16. ¿Cómo relaciona el cambio climático en el rio Cravo Sur? (marque con una X- puede seleccionar varias).	SI NO a. Aumento de Temperatura, Sequias extremas y disminución de caudal de agua del rio Cravo Sur. b. Aumento de lluvias y Aumento de caudal de agua del rio Cravo Sur, inundaciones. Otras _____															
17. ¿Considera que el cambio del clima ha afectado la disponibilidad de agua en el rio Cravo Sur?	Describa:															
18. ¿Considera que esta disponibilidad de agua lo afecta o lo afectara en sus actividades?	Describa:															
ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO -RECURSO HÍDRICO (Rio Cravo Sur)																
19. ¿Ha realizado alguna actividad para ayudar a disminuir el cambio climático?	a. Siembra de árboles. b. Realiza Reciclaje. c. Ahorro de agua. d. Respeta la flora y fauna															
20. ¿Ha tomado alguna medida referente al posible aumento o disminución del agua en el rio Cravo sur?	SI NO Describa:															
GRACIAS POR SU TIEMPO.																

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

14.5.1 Prueba Piloto, y Ajustes a Realizar

La prueba piloto se realizó con el fin de establecer las falencias y fortalezas del modelo de encuesta, y establecer a esta los ajustes necesarios. La prueba piloto se realizó a 10 viviendas del casco urbano del municipio de Yopal, estas respuestas y encuestas serán contadas y son parte de los resultados finales.

14.5.1.1 Ajustes a Realizar

- **Pregunta 1. Nombre del encuestado.**

La totalidad de los encuestados (8) plasmaron sus nombres en las respectivas encuestas.

Ajustes a realizar: Cambio de los nombres a una codificación de las encuestas finales a realizar, esto con el fin de respetar el derecho a la identidad de los encuestados y evitar posibles rechazos a la realización de las encuestas, ya que en campo 2 personas no quisieron dar respuesta a la encuesta.

- **Pregunta 2. Teléfono.**

Ajustes a realizar: se pretende eliminar esta pregunta ya que algunos encuestados antes de contestar preguntaron si es obligatorio colocar el número, razón suficiente para su eliminación y no se considera como pregunta de importancia.

- **Pregunta 5 y 6. Nombre de quien diligencia y fecha.**

Ajustes a realizar: algunos encuestados volvían a colocar sus nombres en la pregunta 5. Nombre de quien diligencia, este es un error estructural grave dentro de las encuestas realizadas ya que es primordial que la misma persona encuestadora realice las preguntas, el llenado de la encuesta con las respuestas de los encuestados. Por lo tanto, esta casilla se eliminará y la acción de llenado de la encuesta se realizará por la persona encargada así se evitará el mal llenado de las mismas, y errores en las mismas.

- **Pregunta 10. Comparado las siguientes variables, ¿cómo considera su comportamiento respecto a años atrás (20-30 años)?**

las 10 personas, no respondieron a esta pregunta de precipitación.

Ajustes a realizar: Es necesario el llenado de la encuesta por el personal encuestador y no el encuestado, el encuestador debe realizar la explicación de la pregunta.

Pregunta 17. ¿Considera que el cambio del clima ha afectado la disponibilidad de agua en el río Cravo Sur?

Ajustes a realizar: 2 personas no respondieron la pregunta para lo cual se estudió la modificación de la misma cambiarla para ser abierta para que sea relacionada mejor por las personas.

Esta encuesta piloto es importante porque muestra las debilidades tanto de algunas preguntas a las cuales se les establece los ajustes a realizar, condiciones en terreno para mejorar y errores en la falta de comunicación con el entrevistado que se deben superar, de importancia el resaltar que es necesario que el encuestador llene los formularios con el fin de ir orientando al encuestado sobre el enfoque de las mismas preguntas y tener una sola orientación del llenado de cada pregunta.

Teniendo en cuenta se determinó realizar ajustes en el llenado y análisis de la misma, con las siguientes acciones:

- Serán llenadas por el encuestador, tratando de explicar cada pregunta.
- Todas las encuestas se codificaron para el análisis. Los códigos son E acompañado del número de encuesta o encuestado, por lo tanto, la encuesta empieza en E01 y termina en E67.
- La casilla de nombre del encuestado, si la persona se opone a dar datos personales en esta casilla se coloca el código respectivo.
- Las encuestas se escanearon y se mantendrán en los archivos magnéticos anexos.

14.5.2 Identificación y Codificación de las Encuestas

Tabla 48. Identificación de los 67 encuestados, nombre, teléfono predio vereda y fecha de la realización de la encuesta; se asignaron códigos, el primer encuestado es el código E01 y el último E67.

CODIGO DE ENCUESTADO	Identificación de los Encuestados según los Codigos Asignados.					
	1. Nombre del encuestado	2. Telefono	3. Nombre del predio/direccion	4. Vereda/Barrio	5. Nombre de quien diligencia	6. Fecha
CASCO URBANO.						
E01	LILIAN REYES	3124106526	CARRERA 24 # 14-35	LOS HELECHOS	ENCUESTADO	6/03/2021
E02	JHONATAN JOSÉ GUERRERO	3234198415	CALLE 21 # 25-75	LOS HELECHOS	ENCUESTADO	6/03/2021
E03	MARTHA CECILIA BELLO	3108656257	CALLE 11 # 25-14	LIBERTADOR	ENCUESTADO	6/03/2021
E04	VICTOR CAMACHO TORRES	3213659228	CALLE 11 # 25-24	LIBERTADOR	ENCUESTADO	6/03/2021
E05	JHON JAIRO LOPÉZ	3203212126	TRV 7B # 32A- 08	CASIMENA	ENCUESTADO	6/03/2021
E06	NEYDA TORRES	3208998487	CALLE 9 # 24-19	CENTRO	ENCUESTADO	6/03/2021
E07	ETELVINA VARGAS	3212242035	CARRERA 16ª # 32-25	20 DE JULIO	ENCUESTADO	6/03/2021
E08	LADY ANDREA CRISTANCHO	3103178499	CALLE 35 N° 27C-45	YOPAL	ENCUESTADO	6/03/2021
E09	SEVERO BELLO	3228345906	CALLE 7 OESTE 59-37	LLANOLINDO	ENCUESTADO	6/03/2021
E10	CARLOS ALBERTO BETANCUR	3215046959	LOTE 22 MANZANA 22	LA BENDICIÓN	ENCUESTADO	6/03/2021

CODIGO DE ENCUESTADO	Identificación de los Encuestados según los Codigos Asignados.					
	1. Nombre del encuestado	2. Telefono	3. Nombre del predio/direccion	4. Vereda/Barrio	5. Nombre de quien diligencia	6. Fecha
CANAL LA MILAGROSA -VEREDA SIRIVANA- ZONA RURAL DE YOPAL						
E11	JUAN DAVID TOBORDA	3124857620	FINCA LAS CALLENAS, VALNEARIO LAS TAPAS	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	31/03/2022
E12	ENCARGADO-LUIS ANGEL RAMOS	SIN	LOS CUNAGUAROS	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E13	ZORAIDA ACUÑA M.	3103178810	LA CABAÑA	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E14	CESAR PEREZ	3105137596	ESTADERO PALO GRANDE	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E15	JHON FORERO	3224091632	CAMINOS DE SIRIVANA	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E16	JOSE GONZALEZ	3124824211	PESQUE Y COMA DONDE SIL	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E17	FUNDACION UNIVERSITARIA DE SAN GIL UNISANGIL	6341700	UNISANGIL	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E18	JAIRO GONZALES	3202307077	LOS ANGELES	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E19	MARTHA VARGAS	321 2418237	LA SENCITIVA	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E20	ENCARGADO- MARIA LUCIA REYES ARDILA	3104219713	LA MALAGUENA	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E21	MARIA JOICE CAMARGO	6349212	HACIENDA LAS MARGARITAS	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E22	TANIA CARDENAS	3134194213	COLEGIO HISPANO INGLES	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E23	ENCARGADO-GUILLERMO MAHECHA	3214746231	LA CIENAGA	VEREDA LA UNION	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E24	VICTORIA BERNAL	3203838267	SAN MARTIN	VEREDA EL GARZON	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E25	ENCARGADO-FAMILIA AVILA	SIN	EL COPEY	VEREDA EL GARZON	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E26	NN	SIN	EL GAVAN	VEREDA EL GARZON	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E27	MERY RIVEROS	3118095657	SANTA CATALINA	EL CAIMAN	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
E28	OSCAR JIMENEZ	3118095657	MATEPALMA	EL CAIMAN	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/11/2021
CANAL MIRANCHITO- LA VICTORIA -VEREDA MATEPANTANO- ZONA RURAL DE YOPAL						
E29	DIANA MARCELA GOMEZ	3115148573	EL TERRUÑO	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	18/02/2022
E30	PEDRO FELIPE BECERRA	3102137285	SAN PARCELO	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	18/02/2022
E31	SARA SANBRIA	3229609939	MI TERRUÑO	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	18/02/2022
E32	CAMILO PEREZ	3112628941	CASA DEL ARROZ	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	18/02/2022
E33	EDELMY GARZÓN	3202422714	SIN	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	18/02/2022
E34	GELBER MORENO MORENO	3105716630	EL LIMONAR	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	18/02/2022
E35	MATEO CEPEDA	3107505219	SANTA MARTHA	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	18/02/2022
E36	CAMILA ROSERO	3007851512	LA CAYENA	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	18/02/2022
E37	ENCARGADO-JORGE ENRIQUE BERMUDEZ	3143554655	LA ESPERANZA	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	18/02/2022
E38	MARTHA CECELIA VARGAS	3102519930	LIMONAR	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/02/2022
E39	FELIPE RICARDO PACHECO	3102137285	FAMILIA PACHECO	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/02/2022
E40	CESAR ROA SANABRIA	3126695848	MATA VERDE	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/02/2022
E41	ANDREA NOCUA NEME	3023666615	MI RANCHITO	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/02/2022
E42	ANGELA JHOANA TORRES	3112343480	SIN	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/02/2022

E43	SEBASTIAN TOJUELO	3108653860	LAS GUAMAS	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/02/2022
E44	MARIA CLAUDIA BELLO	3213593351	LAS ROSAS	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/02/2022
E45	JOHAN DAVID PACHON	3174508523	VILLA LAURA	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	19/02/2022
E46	JUNIOR JOSÉ MUJICA	3203622969	VIVERO LA BENDICIÓN	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	31/03/2022
E47	MARIA DEL SOL SUAREZ	3232009529	PIQUETEADERO LA CASETA	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	31/03/2022
E48	CAMILO MONTOYA JIMENEZ	3152588390	KL 3 VIA SIRIVANA, HOTEL	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	31/03/2022
E49	ADENIS RODRIGUEZ	3232276972	EL PEDREGAL	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	31/03/2022
E46	LUIS SANTIESTEBAN	SIN	LORENA	VEREDA PALOMAS	MIGUEL ANGEL BECERRA	31/03/2022
E47	REINALDO ALFONSO JIMENEZ AGUDELO	SIN	LA CABAÑA	VEREDA PALOMAS	MIGUEL ANGEL BECERRA	31/03/2022
E48	JUAN MANUEL BARRERA	3213950965	RESTAURANTE DOÑA BARBA	VEREDA PALOMAS	MIGUEL ANGEL BECERRA	31/03/2022
E49	ENCARGADO-LUZ ADRIANA FLORES	SIN	HATOGRADE	VEREDA PALOMAS	MIGUEL ANGEL BECERRA	31/03/2022
E50	ALEJANDRO TORRES	3224465363	LA PROMESA	VEREDA SIRIVANA	MIGUEL ANGEL BECERRA	31/03/2022
E51	ANDRES BENABIDES	3202340066	PETROMICOL LTDA	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	31/03/2022
E52	ANDREA KAROLAY ZAMBRANO SOLER	3123333437	SIAN	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	31/03/2022
E53	ENCARGADO-EDILBERTO HERNANDEZ	3215090924	KM 6 VIA MATEPANTANO	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	1/04/2022
E54	ENCARGADO-DAVID PEÑA	3169166097	SOCIEDAD MARQUEZ	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	1/04/2022
E55	JAVIER ALEXANDER SABATO	3013452201	AL LADO DE UNISANGIL	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	1/04/2022
E56	ALVARO GUTIERREZ	3183772634	MI CAMPO	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	1/04/2022
E57	ALVARO GAMEZ	3214285907	LA PALMITA	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	1/04/2022
E58	HUMBERTO FONSECA	3212044117	EL BACHACO	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	1/04/2022
E59	JORGE SANCHEZ	3108000418	MONACO	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	1/04/2022
E60	AGUSTIN PINTO	3108717133	LA SENCITIVA	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	1/04/2022
E61	ANDREA KAROLAY ZAMBRANO SOLER	3123333437	SIAN	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	1/04/2022
E62	BETTY BELLO	3214285907	SIN	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	2/04/2022
E63	JUAN DAVID BLANCO	3204867972	EL YOPO	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	2/04/2022
E64	EFREN IGNACIO PLATA	3103460539	LA ESPERANZA	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	2/04/2022
E65	ANGEL NITOLA	3123515104	RESTAURANTE NITOLA	MATEPANTANO	MIGUEL ANGEL BECERRA	2/04/2022
CANAL ASOCOMUNEROS - EL TIESTAL-VEREDA SIRIVANA - ZONA RURAL DE YOPAL						
E66	NINFA CARDENAS	3108559805	SANTA LUCIA	VEREDA TIESTAL	MIGUEL ANGEL BECERRA	2/04/2022
E67	IVAN RAMIREZ	3172916481	LA MILAGROSA	VEREDA UNION	MIGUEL ANGEL BECERRA	2/04/2022

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

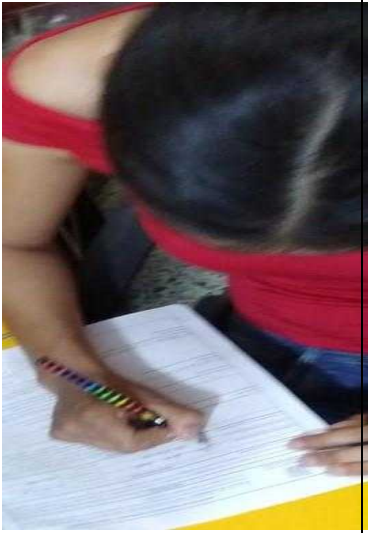





Ver Anexo - Carpeta Magnética 9. Identificación de Encuestados. (Encuesta Modelo, Cálculo de Encuestas a Realizar).

14.5.3 Encuestas Diligenciadas, Trabajo de Campo

Después de realizar las encuestas y ya diligenciadas en su totalidad, se procedió a escanearlas y guardarlas en medio magnético, esto para evidencia y consulta, del mismo modo se realizaron algunos registros fotográficos con el fin de soportar la realización del trabajo de campo.

Ver Anexo - Carpeta Magnética 10. Resultados de las Encuestas, Encuestas Escaneadas, Anexos Fotográficos, Matriz de Resultados de las Encuestas.

Imagen 55. Dos fotografías de encuestados con sus respectivas encuestas, como soporte del trabajo de campo.

		
<p>Señora Lilian Reyes</p>	<p>Escaneado con CamScanner</p>	<p>Escaneado con CamScanner</p>
		
<p>Señora Martha Bello</p>	<p>Escaneado con CamScanner</p>	<p>Escaneado con CamScanner</p>

14.5.4 Matriz de Resultados de las Encuestas

Se procedió ordenar y digitalizar las respuestas de las encuestas en una matriz de Excel, en la cual se relacionan las preguntas con las respuestas obtenidas, en la primera columna se encuentran todas preguntas del cuestionario, los encabezados de las siguientes columnas son los encuestados con los códigos respectivos de identificación, y en las casillas encontramos las respuestas de cada uno de ellos, en la última columna se encuentra la sumatoria total de las casillas por respuesta marcada, lo cual nos da un resultado cuantitativo por medio del cual se procede a realizar el análisis de los resultados.

Ver Anexo - Carpeta Magnética 10. Resultados de las Encuestas, Encuestas Escaneadas, Anexos Fotográficos, Matriz de Resultados de las Encuestas.

Tabla 49. Matriz de Resultado de las encuestas, se muestran solo cinco encuestados codificados y las respuestas dadas por cada uno de ellos a las preguntas, la columna final muestra la sumatoria de cada una de las respuestas de los 67 encuestados. Para ver toda la matriz dirigirse al anexo magnético.

Matriz de Consolidación de los Resultados de las Encuestas de Percepción a la Comunidad .								
EJES TEMATICOS	PREGUNTAS	RESPUESTAS N°/CODIGO	E01	E02	E03	E66	E67	TOTAL
CAMBIO CLIMÁTICO	7. ¿Conoce el termino de cambio climático? , a que lo relaciona.	a. Aumento de Temperatura, Sequias extremas, disminución de agua en fuentes hídricas, perdidas de cultivos.	X		X	X	X	57
		b. Aumento de lluvias y aumento de caudal de agua en fuentes hídricas, inundaciones, perdidas de cultivos.	X	X	X			54
		c. Huracanes, terremotos, desastres naturales, ...	X	X	X			55
		d. Enfermedades respiratorias, cáncer, transmitidas por vectores...	X	X	X			40
		e. Muerte continua de Flora y Fauna.		X	X	X		44
		Otras.						0
	8. ¿Por qué se presenta el cambio climático?	a. Por fenómenos o causas naturales.	X		X	X	X	51
		b. Por voluntad divina (Dios).			X	X		39
		c. Consecuencia de las acciones del hombre.			X	X	X	50
		d. No existe, es un invento para sacar provecho.	X	X				6
	9. ¿Qué considera que es la causa del cambio climático?	a. Deforestación, contaminación del agua, contaminación del suelo.	X	X	X	X	X	66
		b. Uso de vehículos (emisión de gases que contaminan).		X	X	X	X	33
		c. Actividades industriales que contaminan.			X	X	X	37
		d. Actividades agrícolas (pesticidas, fertilizantes, deforestación).	X	X	X	X	X	31
		e. Actividades ganaderas (emisión de gases que contaminan, deforestación, etc..).			X	X	X	27
		f. Mal manejo de los residuos sólidos- basura (emisión de gases que contaminan, contaminación del agua, etc..).			X	X	X	19
	Otras						0	
	10. Comparado las siguientes variables, como considera su comportamiento respecto a años atrás (20-30 años).	Temperatura MAYOR	X	X	X	X	X	66
		Temperatura IGUAL						1
		Temperatura MENOR						0
		Precipitacion MAYOR						5
		Precipitacion IGUAL						1
		Precipitacion MENOR	X	X		X	X	56

UTILIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO.	11. ¿Qué actividades desarrolla en su predio?	a. Ganadería.					X	32
		b. Cultivo de Arroz.				X		12
		c. Cultivo de Palma.						5
		d. Piscícola.						9
		e. Servicios Turísticos (Restaurantes, estaderos, Piscina, alquiler).						14
		f. Vivienda y hogar.	X	X	X	X	X	54
		Otras.						8
	12. ¿En qué actividad utiliza más el agua?		Lavando,	Lavando,		Arroz	Ganadería	
	13. ¿Utiliza agua de la cuenca del Río Cravo Sur para sus actividades? Como la consigue.	a. Acueducto Municipal o veredal	X	X	X			14
		b. Captación directa						8
		c. Canal				X	X	53
		d. Pozo profundo				X	X	43
		Otra						1
	14. ¿Qué tan Importantes es el agua de la cuenca del Río Cravo Sur para el desarrollo de sus actividades?	a. Muy importante (vital para mis actividades y vida)	X	X	X	X	X	62
		b. Importante (necesito un poco de agua en mis actividades)						3
c. Poco importante (puedo sustituirla, no es necesaria)							0	
d. Sin importancia (no necesito nada de agua en mis actividades)							0	
15. ¿Existen conflictos por el uso del agua en la vereda o vivienda?	SI						21	
	NO	X	X	X	X	X	43	
CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSO HÍDRICO	16. ¿Cómo relaciona el cambio climático en el río Cravo Sur?	a. Aumento de Temperatura, Sequías extremas y disminución de caudal de agua del río Cravo Sur.	X	X	X	X	X	64
		b. Aumento de lluvias y Aumento de caudal de agua del río Cravo Sur, inundaciones.				X	X	46
		Otras						0
	17. ¿Considera que el cambio del clima ha afectado la disponibilidad de agua en el río Cravo Sur?	SI	SI, porq	SI	SI, se	SI, por el		66
18. ¿Considera que esta disponibilidad de agua lo afecta o lo afectara en sus actividades?	SI	SI, cada	SI	SI, sin	SI, algún		66	
ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSO HÍDRICO	19. ¿Ha realizado alguna actividad para ayudar a disminuir el cambio climático?	a. Siembra de árboles.				X	X	57
		b. Realiza Reciclaje.			X			34
		c. Ahorro de agua.	X	X	X		X	46
		d. Respeta la flora y fauna.	X		X	X	X	46
		e. Utiliza transporte público, bicicleta, o camina.					X	24
		Otras.	Caminar					4
	20. ¿Ha tomado alguna medida referente al posible aumento o disminución del agua en	SI					X	8
NO	X	X	X	X		59		

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

14.6 Anexo 6. Metodología de Creación Modelo Hidrológico Cuenca Cravo Sur

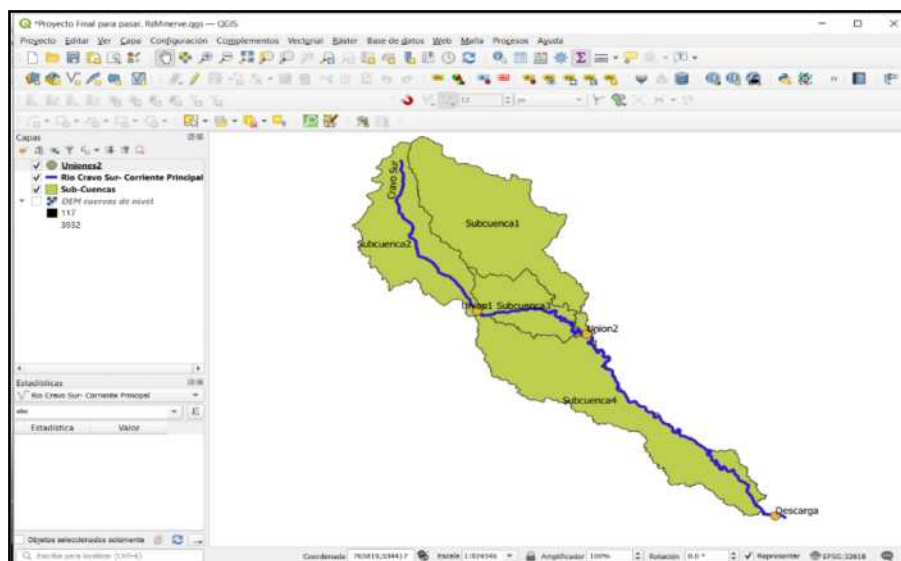
Para representar acertadamente la cuenca del río Cravo Sur, y crear el modelo Hidrológico de forma automática en RS-Minerve, se usaron las capas o los Shapefile en Qgis y se modificaron sus tablas de atributos.

14.6.1 Modificación de Atributos Archivos Shapefile en Qgis

Como resultados de la delimitación de la cuenca se obtuvieron diferentes archivos Shapefile, para creación del modelo hidrológico, se utilizaron y modificaron las tablas de atributos de 4 archivos.

1. Subcuencas: archivo que contiene la división de toda la cuenca del río Cravo Sur en 4 subcuencas, es de mencionar que este archivo fue el resultado de la delimitación previa de la cuenca desde el archivo DEM de Curvas de nivel.
 2. DEM de elevación: archivo que contiene relieve topográfico o la segregación de curvas de nivel de la cuenca, el DEM contiene información de coordenadas XYZ.
 3. Río Cravo Sur Corriente Principal: Contiene la representación de la corriente principal río Cravo Sur.
 4. Uniones: Es un archivo de puntos que representa, los dos puntos de confluencia o uniones de las subcuencas y el punto de descarga final al río meta.
1. Estos cuatro archivos Shapefile se cargaron en Qgis y en las propiedades de cada archivo se les activaron las etiquetas y la simbología.

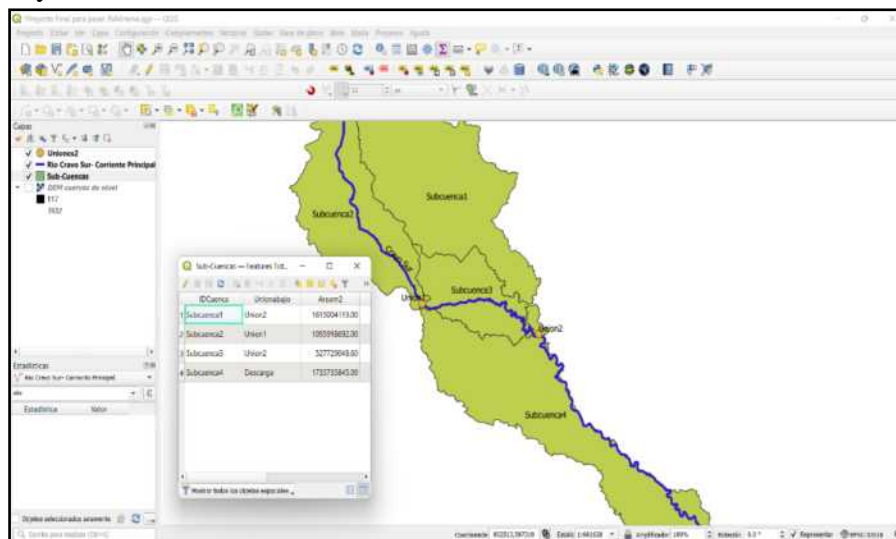
Imagen 56. Carga al QGIS, Shapefile y los archivos DEM del área de estudio.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

2. Se edita la tabla de atributos de Sub- cuencas, añadiendo un nuevo campo denominado Unión abajo donde a cada subcuenca le coloco cual es el punto de unión aguas abajo.
3. Del mismo modo, en la tabla de atributos de Sub-cuencas, añado un nuevo campo denominado Area_{m^2} y calculo con la herramienta calculadora de campos, el área de cada subcuenca.

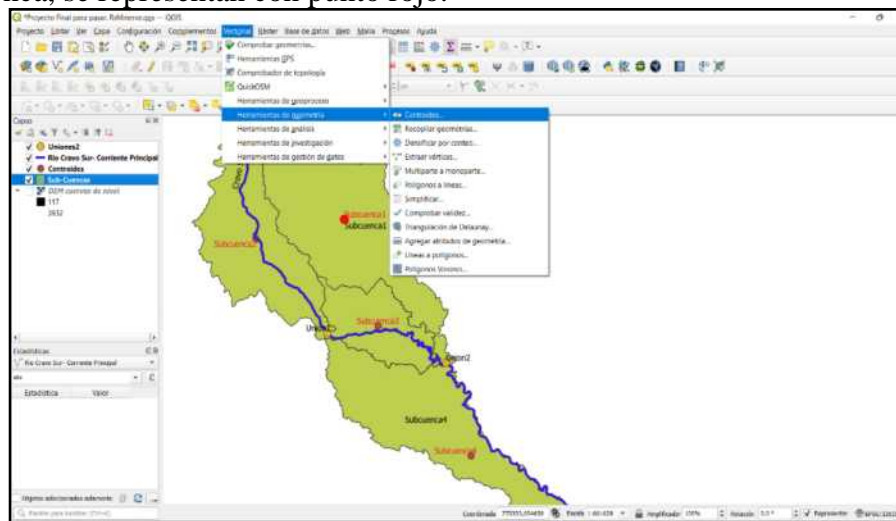
Imagen 57. Edición de tabla de atributos Shape Sub-Cuencas, se especificaron las uniones de las cuencas y se calculó el área de cada una.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

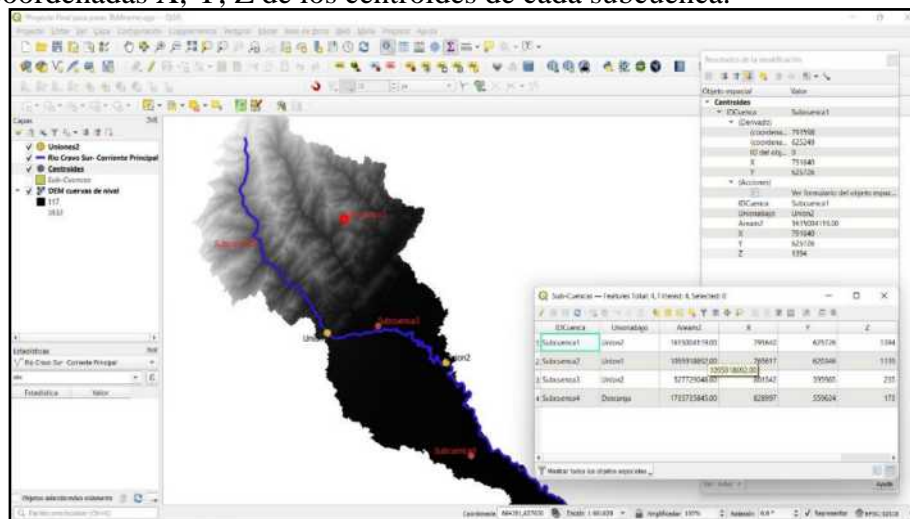
4. En la misma tabla, se crearon tres campos nuevos para las coordenadas X, Y, Z de cada Subcuenca.
5. Para conocer las coordenadas X, Y, Z de cada subcuenca, se realizó el cálculo del centroide para cada una; este se realizó con la herramienta de geometría de Qgis denominada centroide. Como resultado de ejecutar la herramienta se obtiene el centro de cada subcuenca y las coordenadas X, Y de cada punto o centro.
6. Para obtener las elevaciones o la altura sobre el nivel del mar de cada centroide se activó el DEM de Curvas de nivel y se buscan los centroides con la herramienta identificador se obtienen las alturas de cada punto. Es de anotar que en estos centroides de cada subcuenca es donde se ubican las estaciones virtuales en la modelación.

Imagen 58. Utilización de Herramienta geométrica en Qgis, se calculan los centroides de cada subcuenca, se representan con punto rojo.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Imagen 59. Edición de tabla de atributos Shape Sub-Cuencas, se calculan los centroides, se buscan las coordenadas X, Y, Z de los centroides de cada subcuenca.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

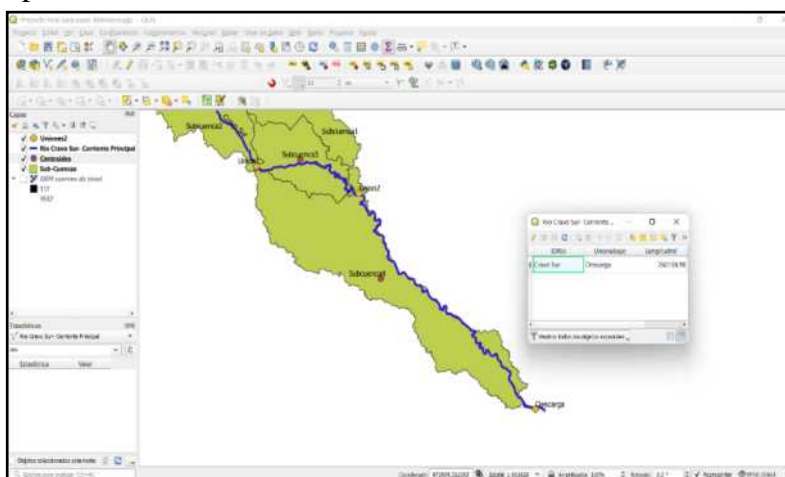
Imagen 60. Tabla de atributos final del archivo Shapefile Sub-Cuencas, contiene las casillas de uniones, área m2, X, Y, Z.

IDCuencas	Unionabajo	Aream2	X	Y	Z
1 Subcuenca1	Union2	1615004119.00	791640	625726	1394
2 Subcuenca2	Union1	1095918692.00	765617	620346	1139
3 Subcuenca3	Union2	527729048.60	801542	595965	235
4 Subcuenca4	Descarga	1735735845.00	828997	559624	173

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

- Se editó la tabla de atributos del archivo Shapefile, Río Cravo Sur – Corriente principal, donde se colocó el punto de descarga del río, que vendría ser la descarga al río Meta. Así mismo con la calculadora de campos se realizó el cálculo de la longitud de la corriente principal.

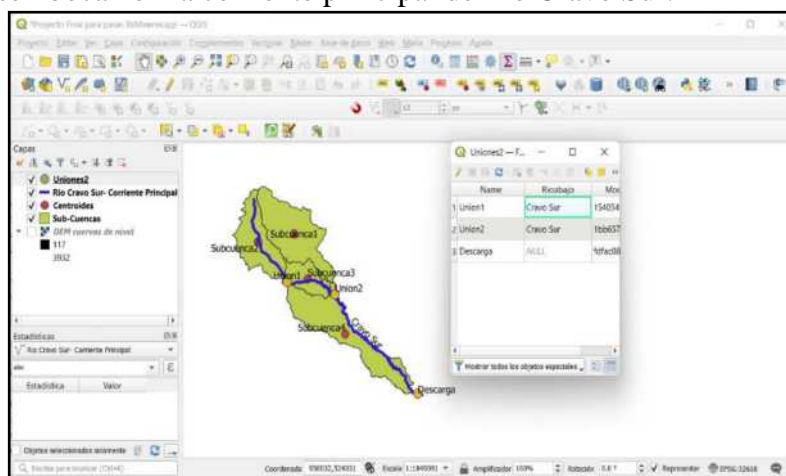
Imagen 61. Desembocadura del río y la tabla de atributos del archivo Shape, Río Cravo Sur – Corriente principal.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

- Por último, se editó la tabla de atributos del archivo Shapefile, Uniones, donde se colocó que el punto unión 1 y unión 2 desembocan en el Cravo Sur (se coloca tal como se llama en el archivo Shapefile para que se reconozca), y la unión 3 como es el punto de descarga final no se coloca ningún nombre.

Imagen 62. Edición de la tabla de atributos del archivo Shape, uniones, se muestra que las uniones 1 y 2 desembocan en la corriente principal del río Cravo Sur.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

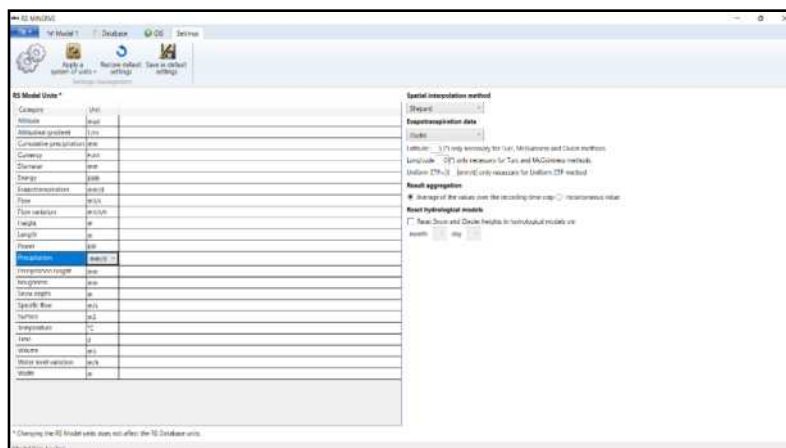
Ver Anexo - Carpeta Magnética 12. Shapefile Editados, Insumos para RS- Minerve

14.6.2 Creación Modelo Hidrológico en RS- Minerve

Los tres archivos Shapefile editados y obtenidos en QGIS, son el insumo inicial para la creación del modelo hidrológico de forma automática por parte del software RS-Minerve.

1. Se abrió el software RS-Minerve y se da un nombre y se guarda el archivo con el que trabajamos, en archivo Rs-Model.
2. Antes de cargar los archivos Shapefile se realizó una edición de unidades, se cambiaron las unidades de precipitación quedando en mm/día y de la evapotranspiración también en mm/día, del mismo modo se indicó que la evapotranspiración la calcule por el método de ODIN, y coloca la latitud donde se encuentra la cuenca.

Imagen 63. Edición de la tabla unidades de RS- Minerve, se selecciona el cálculo de evapotranspiración por el método de ODIN y se indica la Latitud 5° que corresponde a Colombia.

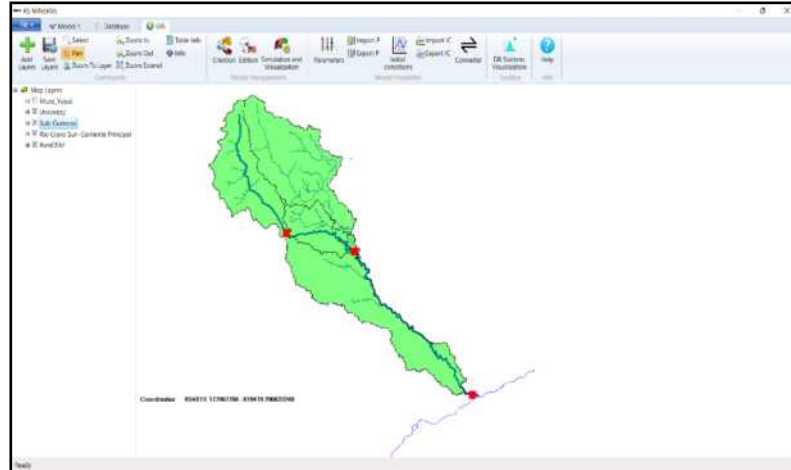


Fuente: Becerra V., M. A., 2022

3. Nos trasladamos al módulo de SIG dentro del RS- Minerve, y se cargan los tres archivos Shapefile editados: Sub-cuencas, Río Cravo Sur Corriente Principal, y Uniones.

Estos son archivos de insumo que contienen información para poder hacer la distribución espacial del modelo hidrológico, representadas para cada subcuenca un modelo GSM, que tendrá su respectiva estación virtual, ubicada en los centroides las subcuencas, las estaciones virtuales corresponden a la distribución espacial de los datos de temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas que se calculan y distribuyen a las virtuales por la metodología de polígonos de Thiessen o de Shepard.

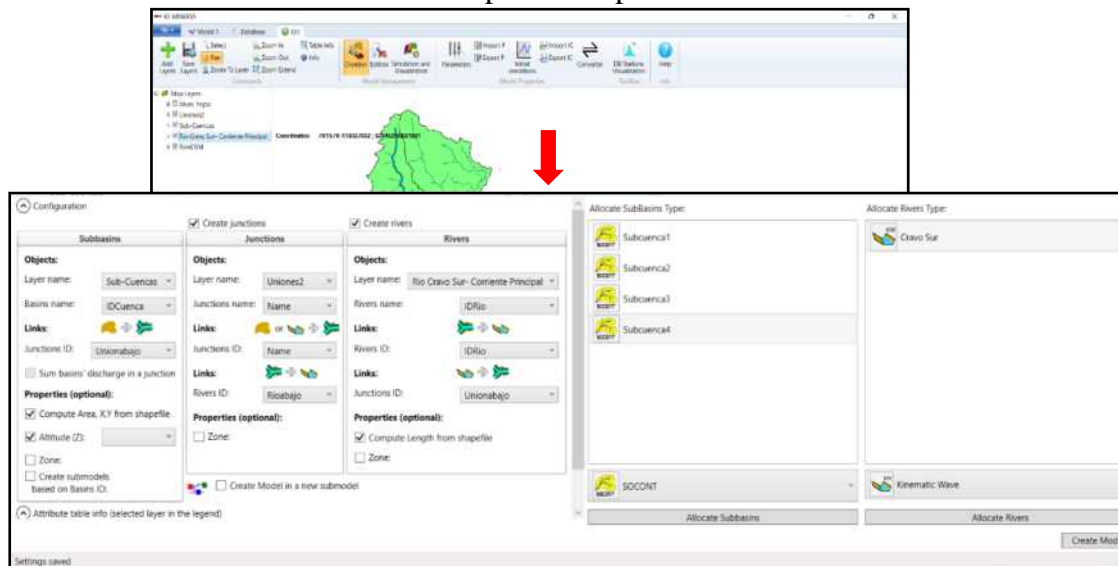
Imagen 64. Módulo de SIG dentro del RS- Minerve, con los archivos Shapefile.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

- Se seleccionó el icono de creación del modelo y se empezó la configuración del mismo, se crearon las subcuencas, los puntos de unión (junction), el río como corriente principal, para cada subcuenca se seleccionó el modelo SOCONT, para corriente principal río Cravo Sur creará un tránsito de flujo (channel routing) con la metodología de onda cinemática.

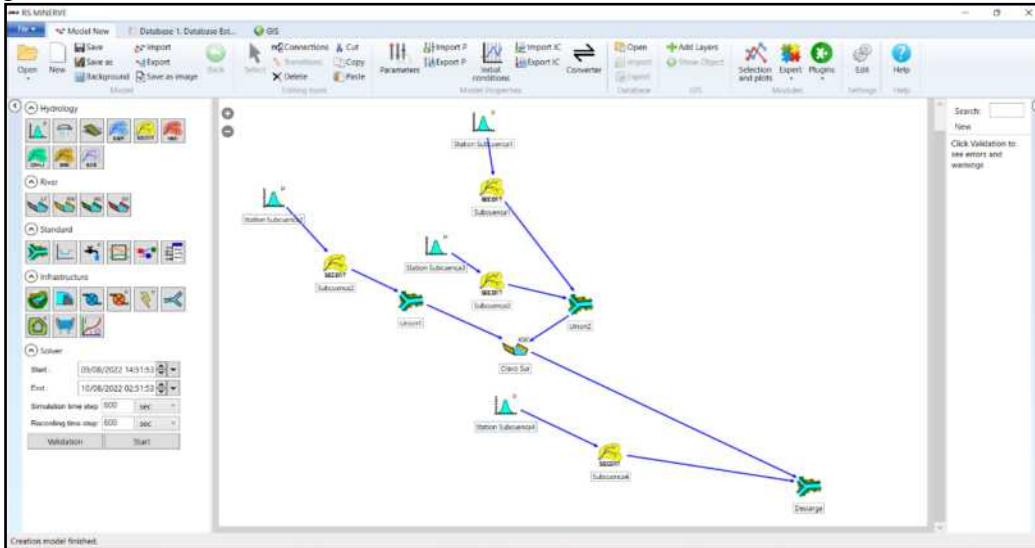
Imagen 65. Configuración del modelo Hidrológico los archivos Shapefile y según sus tablas de atributos se colocaron en los campos correspondientes.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

- Modelo creado, en este se evidencian las 4 subcuencas en modelos SOCONT, cada una con su estación virtual, los puntos de unión o descarga de las cuencas, la representación del río Cravo Sur y su punto final o de descarga en el río meta.

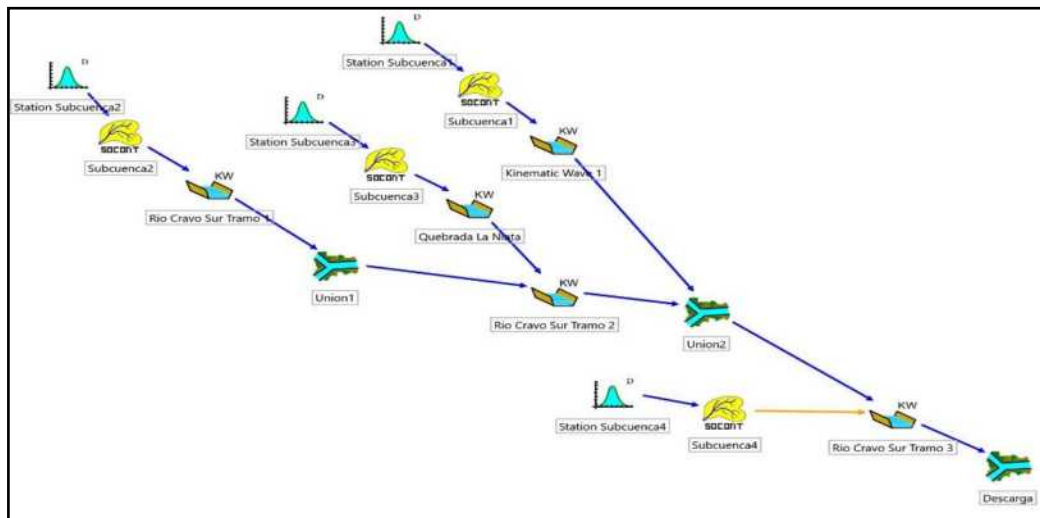
Imagen 66. Representación del Modelo Hidrológico de la cuenca del río Cravo Sur, generado desde el software RS- Minerve.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

- La corriente principal río Cravo Sur se dividió en tres secciones, parte alta (tramo 1), media (tramo 2) y baja (tramo 3), según las sub-cuencas y sus uniones, con la herramienta de medición de Qgis se midieron estos tramos del río Cravo Sur y se les restó al total, se modificó a cada tramo su longitud, se le adicionaron al modelo hidrológico, dos tránsitos de flujo (channel routing) con la metodología de onda cinemática; del mismo modo se le añadieron otras dos fuentes hídricas: la Quebrada La Niata (Long 33.8km) que hace parte de la subcuenca 3 y el río Tocaría (Long 141.6km) parte de la subcuenca 1; estas fuentes hídricas se les buscó su longitud de cauce en POMCA del río Cravo Sur.

Imagen 67. Representación del Modelo Hidrológico de la cuenca del río Cravo Sur, generado desde el software RS- Minerve.

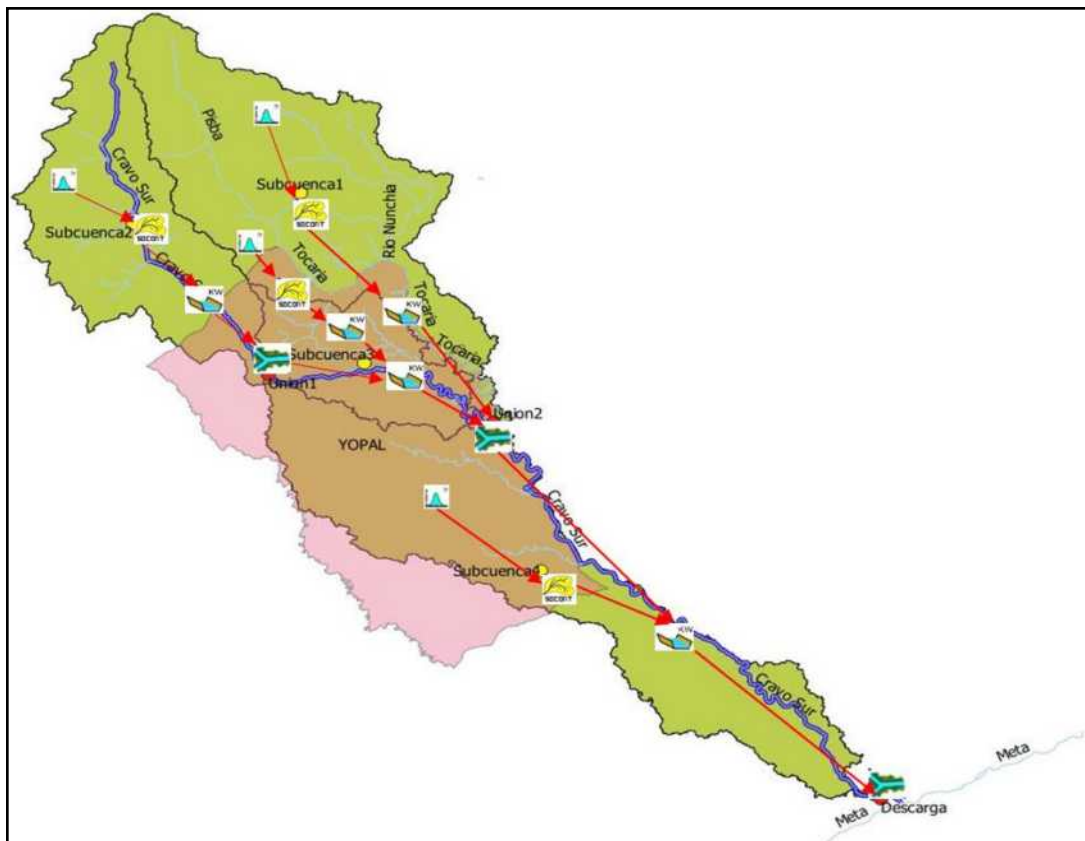


Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Esto se realizó con el fin de representar los tramos de los ríos principales de las subcuencas que desembocan en río Cravo Sur, y poder evidenciar los resultados en la modelación.

7. Se realizó una superposición de los resultados de Qgis y del modelo de RS-Minerve, donde se corroboró que las dos concuerdan con la cuenca del río Cravo Sur y sus atributos.

Imagen 68. Corroboración de modelo hidrológico y la Cuenca Río Cravo Sur, concuerdan los dos archivos resultantes.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Al ser el municipio de Yopal el área de estudio, se puede evidenciar el mapa que los puntos de interés que representan al municipio de Yopal, son aguas abajo del río Cravo Sur Tramo 1, río Cravo Sur Tramo 2, y parte del río Cravo Sur Tramo 3.

Ver Anexo - Carpeta Magnética 13. Modelo Hidrológico en RS- Minerve.

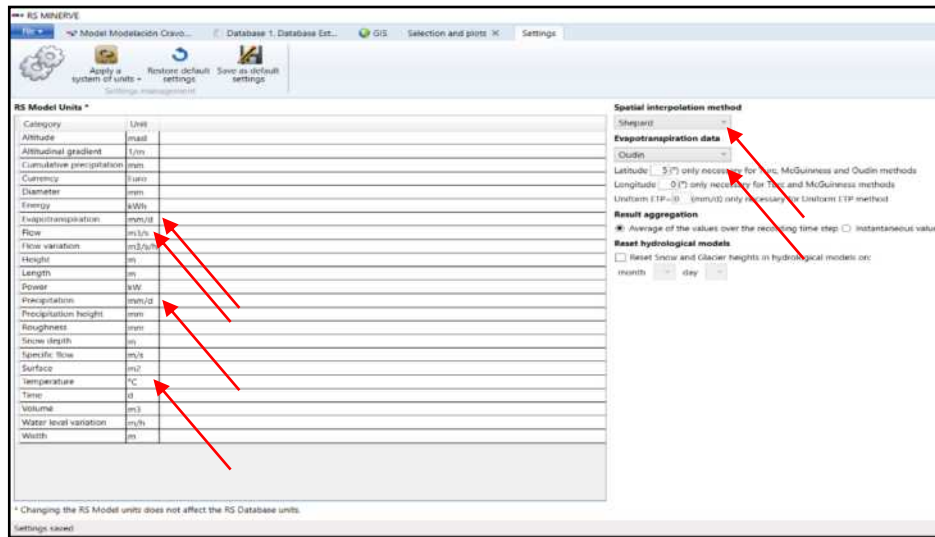
14.6.3 Entrada de Datos Climáticos en RS- Minerve

1. Se tienen los datos de Precipitación diaria PTP-D, Temperatura Máxima Diaria TMX-D y Temperatura Mínima diaria TMN-D, Se necesita seleccionar las unidades

de entrada y salida de los datos climáticos y del mismo modo seleccionar el método de interpolación y el método de cálculo de la evapotranspiración, en RS- Minerve.

En la ventana de edición, se realizó este procedimiento escogiendo Temperatura = °C, Precipitación = mm/d, método de interpolación espacial= Shepard, no se tienen mediciones de evapotranspiración en las estaciones; sin embargo, RS-Minerve cuenta con la opción de realizar los cálculos con otras metodologías, se seleccionó el cálculo de evapotranspiración por el método de ODIN donde se colocó Latitud 5° que corresponde a Colombia, caudal= m³/s.

Imagen 69. Selección de unidades de entrada y salida del modelamiento.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

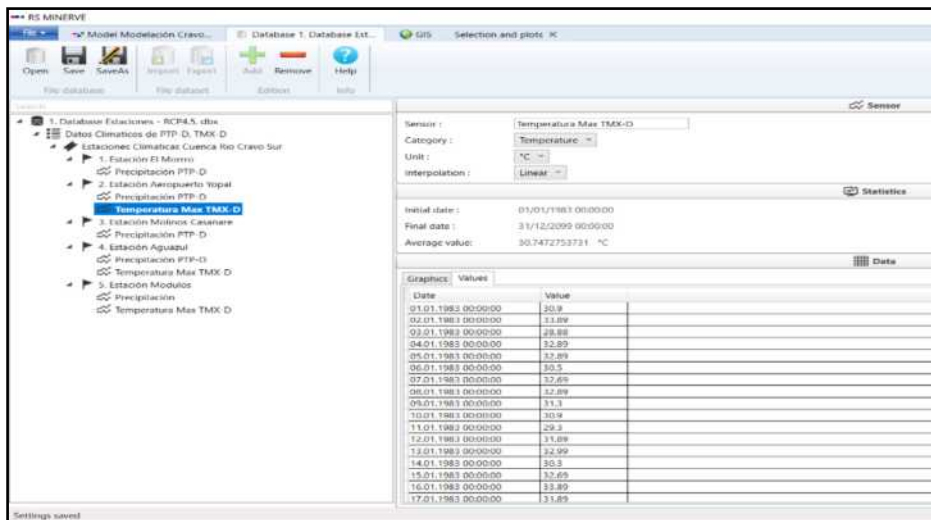
- Los datos climáticos de entrada consisten en archivos que contienen datos diarios de temperatura y precipitaciones finales (bases de datos finales), estos datos se homogeneizaron al mismo periodo de tiempo, porque así lo exige RS-Minerve, por lo que se dejó el periodo con mayor representación o periodo en las estaciones climáticas, donde se seleccionó como el más representativo, el que abarca mayor cantidad de datos, el periodo del año 1983 al 2009. Con un promedio de 42.734 datos en cada estación y por cada parámetro.

Se creó una base de datos en ventana de Rs- Minerve denominada data base, en ella se generó una estructura con las 5 estaciones climáticas, así mismo a cada una de ellas se les adicionan los datos de temperaturas y precipitación correspondientes de los resultados finales, bases de datos que se encuentran en Excel.

Es necesario copiar los datos de las series de las estaciones climáticas, en las columnas correspondientes, en la celda de valores se pega en la primera columna los datos de las fechas y en la segunda los datos.

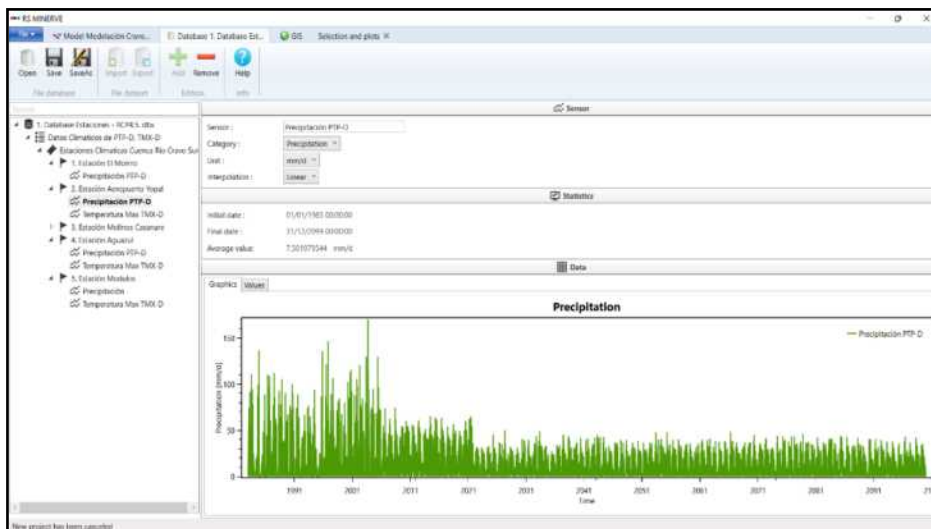
Para comprensión, RS-Minerve tiene una pestaña donde se puede observar los gráficos de los datos de entrada.

Imagen 70. Database climática en RS-Minerve, se evidencian las 5 estaciones y los parámetros de cada una, las fechas y los valores en las columnas ingresados.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Imagen 71. Pestaña de gráficas, en esta pestaña se pueden observar gráficamente los datos de entrada, gráficas pluviométricas y de temperaturas.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Ver Anexo - **Carpeta Magnética 14.** Database de RS- Minerve

14.7 Anexo 7. Metodología de Modelación de la Oferta Hídrica del Río Cravo Sur en el Municipio de Yopal

Para realizar una adecuada modelación se realizaron diferentes iteraciones, donde el software RS- Minerve establecía la validación del modelo hidrológico, de los datos meteorológicos de entrada, dando como resultados de pre simulación notas y peligros de inconformidad con correr el modelo, para lo cual se corregía y se volvía a validar.

Con el modelo validado se procedió a correrlo y analizar los resultados de caudal a través del tiempo, para después realizar la calibración del mismo, con los datos de caudal de las estaciones hidrológicas.

SOCONT en su distribución está compuesto por un reservorio lineal para la contribución de la nieve, otro no lineal que representa el agua subterránea y un último también no lineal para la escorrentía directa. Este modelo maneja diferentes parámetros iniciales con diferentes rangos, para estos parámetros se dejó los valores establecidos por defecto por RS- Minerve.

Imagen 72. Ecuación de calibración.

Table 5 List of parameters and initial conditions for the SOCONT model

Object	Name	Units	Description	Regular Range
	A	m ²	Surface	>0
	S	mm/°C/d	Reference degree-day snowmelt coefficient	0.5 to 20
	SInt	mm/°C/d	Degree-day snowmelt interval	0 to 4
	SMin	mm/°C/d	Minimal degree-day snowmelt coefficient	≥0
	SPh	d	Phase shift of the sinusoidal function	1 to 365
	ThetaCri	-	Critical relative water content of the snow pack	0.1
	bp	d/mm	Melt coefficient due to liquid precipitation	0.0125
	Tcp1	°C	Minimum critical temperature for liquid precipitation	0
	Tcp2	°C	Maximum critical temperature for solid precipitation	4
SOCONT	Tcf	°C	Critical snowmelt temperature	0
	HGR3Max	m	Maximum height of infiltration reservoir	0 to 2
	KGR3	1/s	Release coefficient of infiltration reservoir	0.00025 to 0.1
	L	m	Length of the plane	>0
	JO	-	Runoff slope	>0
	Kr	m ^{1/3} /s	Strickler coefficient	0.1 to 90
	CFR	-	Refreezing coefficient	0 to 1
	SWEIni	m	Initial snow water equivalent height	-
	HGR3Ini	m	Initial level in infiltration reservoir	-
	HrIni	m	Initial runoff water level downstream of the surface	-
	Thetalni	-	Initial relative water content in the snow pack	-

Fuente: Fuente: RS-Minerve manual técnico, versión en inglés 2.25, abril 2020

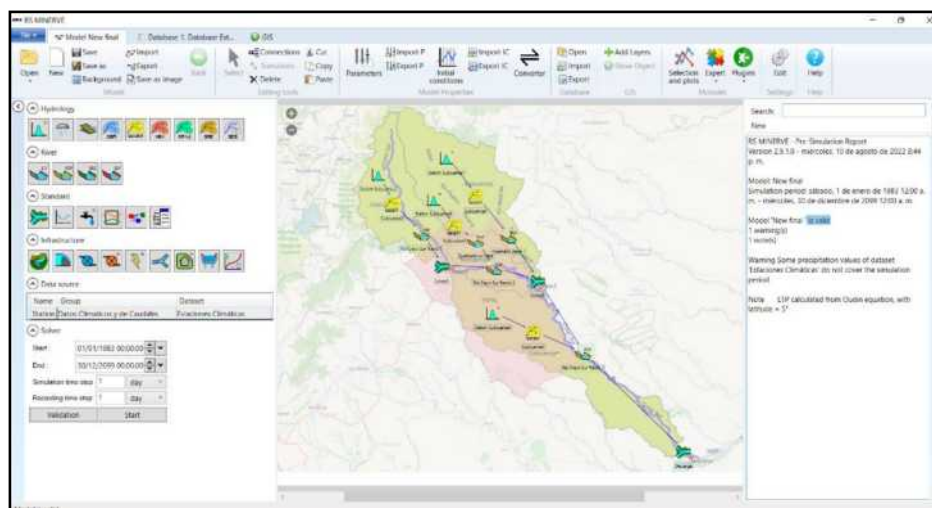
14.7.1 Primeras Iteraciones del Modelo Hidrológico

1. En la ventana del modelo en RS- Minerve, en la opción de recurso de datos se relaciona el Database con las estaciones.

2. En la opción de solucionador, se colocaron las fechas del inicio y el final de la modelación, las cuales deben concordar con las fechas de la Database creada, y se selecciona el tiempo de simulación diario. Inicio: 01/01/1983, Final: 30/12/2099.
3. Se da Start o inicio al modelo, y RS-Minerve realiza una pre-simulación, arrojando notas y peligros de inconformidad, en este caso se obtuvo como resultado, un aviso de “Warning Some precipitation values of dataset 'Estaciones Climáticas Cuenca Río Cravo Sur' do not cover the simulation period”, esto debido a que la precipitación de la estación climática Molinos de Casanare tiene el periodo de inicio desde 04/11/1995 y el resto desde 01/01/1983, todo porque la estación Molinos de Casanare no posee datos más antiguos.

Sin embargo, se dejó la estación Molinos de Casanare en la Database, ya que, al tener 38.044 datos de precipitación, es representativa para la cuenca y mejora la interpolación climática con las demás estaciones; es de aclarar que esta nota no es un impedimento para correr el modelo ya que se dio como resultado “Model is valid” y lo que deja a RS-Minerve correr el modelo.

Imagen 73. Validación del modelo, se obtiene como resultado “Model is valid”



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

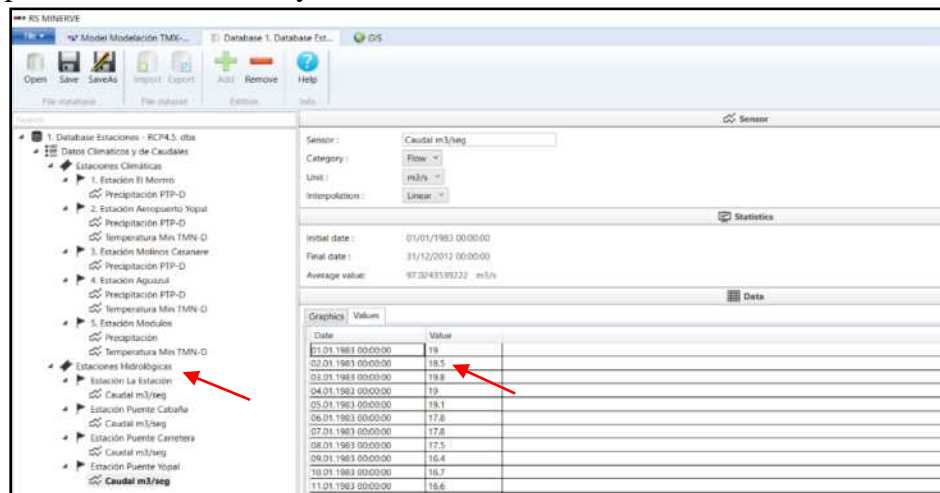
4. Se realizó la primera simulación o modelación, dando resultado caudales diarios durante el periodo Inicio: 01/01/1983, Final: 31/12/2099, con temperaturas máximas y mínimas y para los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5.

14.7.2 Calibración y Validación del Modelo Hidrológico

14.7.2.1 Calibración

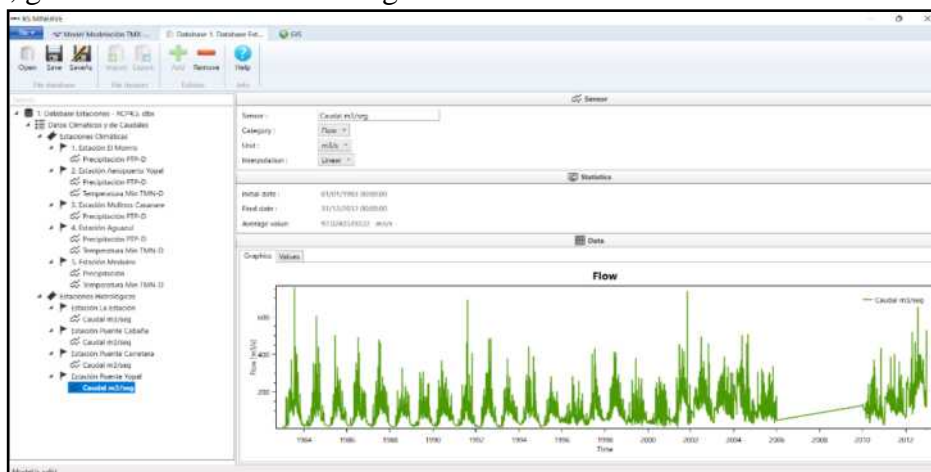
1. Para empezar la calibración, en la ventana de RS- Minerve denominada Database, donde se crearon las estaciones climáticas con sus respectivos datos, también se crean las 4 estaciones hidrológicas con los datos de caudal correspondientes a los datos de oferta hídrica aportados por el IDEAM, bases de datos que se encuentran en Excel.

Imagen 74. Database Estaciones Hidrológicas en RS-Minerve, crean 4 estaciones y se les anexan los parámetros, las fechas y los valores en las columnas.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Imagen 75. Pestaña de gráficas, en esta pestaña se pueden observar gráficamente los datos de entrada, gráficas de caudales o hidrógramas.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

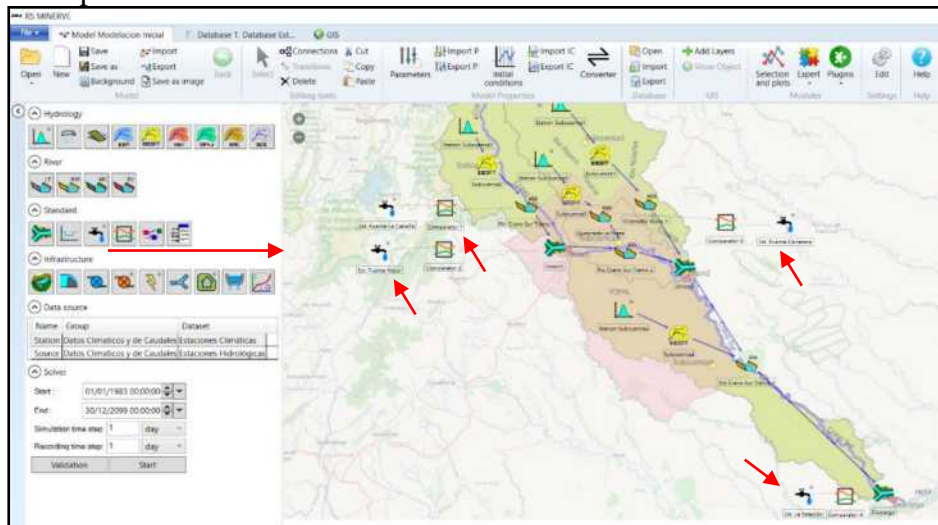
2. Se insertaron en el Modelo hidrológico los objetos *Source* y *Comparator*.

Source: representa las estaciones hidrológicas que se encuentran en la corriente principal y los datos se encuentran en Database.

Comparator: calcula diez indicadores de rendimiento comparando un simulado y una serie temporal de referencia (observada).

Estas dos herramientas siempre van juntas, el objeto *Source* se conecta con el Comparador dándole los valores de Caudales de referencia; el río o la unión donde se encuentran las estaciones se conecta con el Comparador como valores de caudales de simulación, esto para que RS- Minerve realice las comparaciones de los caudales de referencia y simulados.

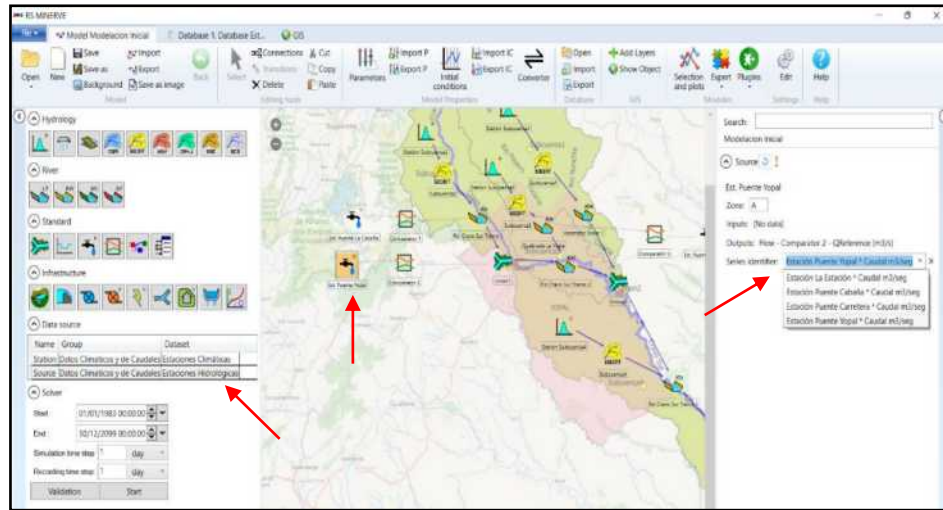
Imagen 76. Se insertan en el modelo hidrológico los objetos *Source* y *Comparator*, para cada uno de los puntos donde existen estaciones hidrométricas.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

3. En el Datasource de RS- Minerve, se selecciona Database hidrológico, para las estaciones de caudal, con el fin de insertar la Data Base al modelo.
4. A cada uno de los objetos *Source* se les identifica con la estación hidrológica correspondiente al punto.

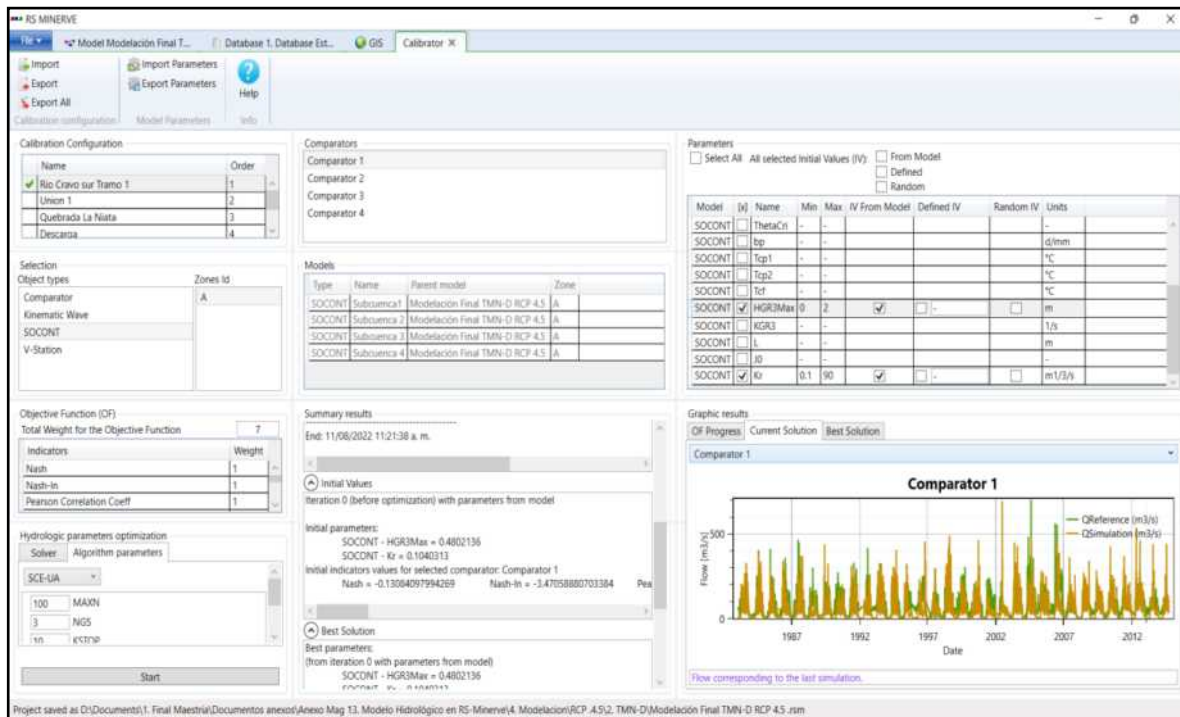
Imagen 77. Database Estaciones Hidrológicas en RS-Minerve, crean 4 estaciones y se les anexan los parámetros, las fechas y los valores en las columnas.



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

5. En la calibración de la modelación se utilizó la herramienta *Calibrator of RS Expert*, contenida en RS-Minerve. Ésta permite realizar una calibración automática de indicadores.

Imagen 78. Calibración de la modelación, se configuran las casillas y como resultado se obtienen los mejores valores de indicadores y gráfica de comparación de caudal de referencia (estaciones) caudal simulado (modelado).



Fuente: Becerra V., M. A., 2022

5.1. Configuración y comparador: En estas dos pestañas se crean y configura el orden de la modelación de acuerdo a las estaciones establecidas.

5.2 Objeto y parámetros: en estas casillas se selecciona el modelo a calibrar en este caso SOCONT, los parámetros a calibrar se establecen según la necesidad, para esta modelación se seleccionaron los parámetros HGR3Max, Kr, los cuales son los referentes para que la escorrentía superficial y los cuales influyen en la función objetivo.

5.3 Función objetivo: El software RS- Minerve establece 10 indicadores para la calibración, así mismo recomienda dar valores de “1” a los cinco primeros indicadores y a los tres últimos y a otros indicadores dejarlos con valor de “0”, esto teniendo en cuenta que son los valores ideales y absolutos a los que tiene que llegar los indicadores.

Imagen 79. Indicadores establecidos por RS- Minerve para calibración de la modelación, se observan los rangos y los valores ideales.

Indicator	Weight	Range of Values	Ideal value
Nash	w_1	$-\infty$ to 1	1
Nash-In	w_2	$-\infty$ to 1	1
Pearson Correlation Coefficient	w_3	-1 to 1	1
Kling-Gupta Efficiency (KGE)	w_4	$-\infty$ to 1	1
Bias Score (BS)	w_5	$-\infty$ to 1	1
Relative Root Mean Square Error (RRMSE)	w_6	0 to $+\infty$	0
Relative Volume Bias (RVB)	w_7	$-\infty$ to $+\infty$	0
Normalized Peak Error (NPE)	w_8	$-\infty$ to $+\infty$	0
Peirce Skill Score (PSS)	w_9	-1 to 1	1
Overall Accuracy (OA)	w_{10}	0 to 1	1

Fuente: Fuente: RS-Minerve manual técnico, versión en inglés 2.25, abril 2020

La ecuación de la calibración realiza sumas de indicadores positivos y resta de errores con negativos, dando así resultados de salida, los programas los obtienen a partir de miles de cálculos, interacciones y simulaciones realizadas comparando el caudal de simulación con el caudal de referencia.

Imagen 80. Ecuación de calibración.

$$OF = \max(\text{Nash} \cdot w_1 + \text{Nashln} \cdot w_2 + \text{Pearson} \cdot w_3 + \text{KGE} \cdot w_4 + \text{BS} \cdot w_5 - \text{RRMSE} \cdot w_6 - |\text{RVB} \cdot w_7| - |\text{NPE} \cdot w_8| + \text{PSS} \cdot w_9 + \text{OA} \cdot w_{10})$$

Fuente: Fuente: RS-Minerve manual técnico, versión en inglés 2.25, abril 2020

Parámetros de algoritmo: Por defecto se tiene seleccionado SCE-UA (Shuffled Complex Evolution-University of Arizona) el cual es un método de optimización global que encuentra el mejor conjunto de parámetros según una función objetivo determinada, la cual utiliza índices de eficiencia para estimar la efectividad de la calibración.

5.4 Parámetros de optimización: Se establece el periodo de calibración para cada comparador los cuales tienen que corresponder al periodo de cada estación hidrológica.

5.5 Interacciones: Se realiza la calibración y como resultados de cientos de interacciones se muestra el proceso en las casillas Summary results, Initial values, Best solution.

5.6 Resultados de la calibración: Como resultado de la calibración al final arroja la mejor solución con valores para los indicadores evaluados, los valores obtenidos de la calibración se cambian automáticamente en el módulo del modelo hidrológico y se corre de nuevo la simulación para que se calibre con los nuevos valores de indicadores.

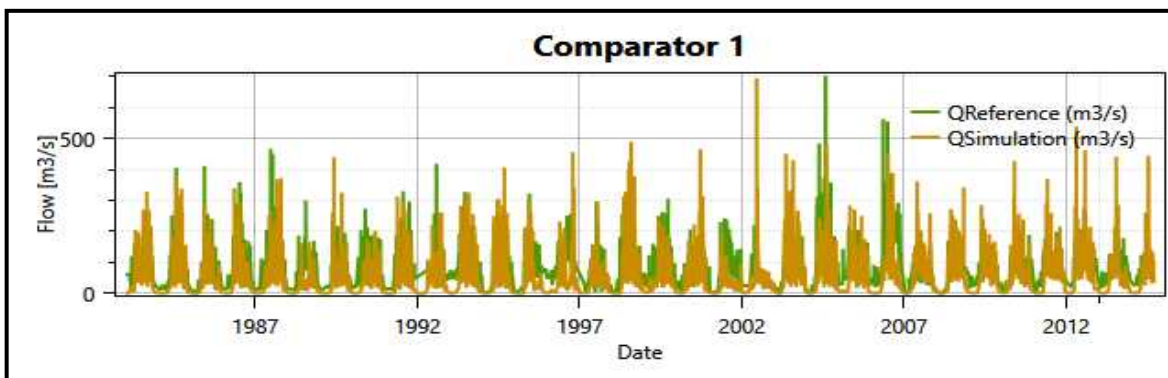
Tabla 50. Resultado de parámetros iniciales de la modelación, y parámetros finales de la calibración y validación. Ejemplo: Modelación Temperatura Mínima Diaria TMN-D RCP 4.5, Río Cravo Sur Parámetros Iniciales.

Parametros de Modelacion, Calibracion y Validacion con Temperatura Minima Diaria TMN-D RCP 4.5					
Parametros Iniciales		Calibración 1983-2020		Validación 1983-2099	
Nash	-21.60435449	Nash	-0.565853025	Nash	-2.35509
Nash-in	-29.7630713	Nash-in	-3.330532899	Nash-in	-14.95085
Pearson Correlation Coeff	0.040872849	Pearson Correlation Coeff	0.54869904	Pearson Correlation Coeff	0.36915
kling-Gupta Efficiency	-37.63428728	kling-Gupta Efficiency	0.192957943	kling-Gupta Efficiency	0.05233
Bias Score	0.871306223	Bias Score	0.98319108	Bias Score	0.9792
RRMSE	43.15763045	RRMSE	1.0037248	RRMSE	1.40832
Relative Volume Bias	0.358739149	Relative Volume Bias	-0.11476945	Relative Volume Bias	0.140832
Normalized Peak Error	29.94712719	Normalized Peak Error	0.501647186	Normalized Peak Error	0.50165
Peirce Skill Score	0.555587787	Peirce Skill Score	0.690221825	Peirce Skill Score	0.70682
Overall Accuracy	0.556616743	Overall Accuracy	0.846465523	Overall Accuracy	0.86306
Heidke Skill Score	0.005755729	Heidke Skill Score	0.020346471	Heidke Skill Score	0.00767
SOCNT - HGR3Max	1	SOCNT - HGR3Max	0.1974586	SOCNT - HGR3Max	0.1974586
SOCNT - Kr	2	SOCNT - Kr	0.1003376	SOCNT - Kr	0.1003376

Fuente: Resultado calibración y validación Software RS- Minerve, Becerra V., M. A., 2022

Se evidencian los parámetros iniciales, dados por RS- Minerve y generados por el modelo hidráulico creado, después de realizar la calibración se generan cientos de interacciones dando como resultado el mejor acercamiento al caudal de referencia, por los valores iniciales dan muestra que el modelo hidráulico se aleja un poco de los valores de referencia, pero con la calibración los valores se ajustaran más a la realidad dada en campo por a los valores de referencia.

Imagen 81. Gráfica resultado de calibración Ejemplo: Modelación Temperatura Mínima Diaria TMN-D RCP 4.5, Río Cravo Sur Tramo 1 Vs Est. Puente La Cabaña, periodo 1983-2020.



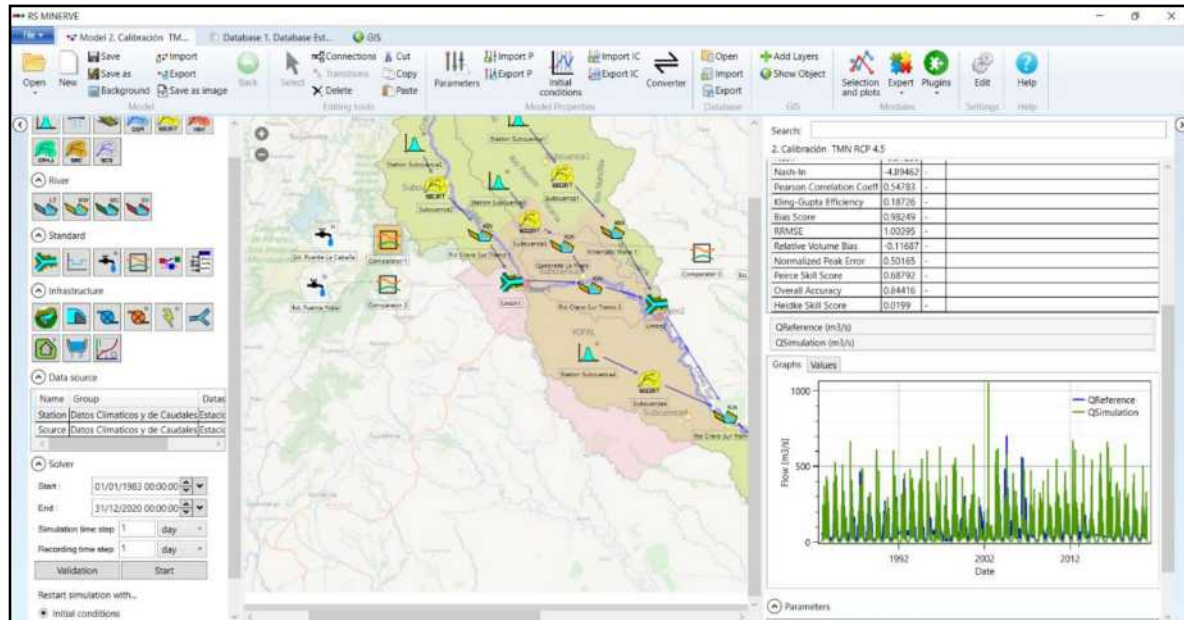
Fuente: Software RS- Minerve, Becerra V., M. A., 2022

Después de 533 interacciones y más de 12 horas de correr la calibración, este fue el resultado que más se acerca al caudal de referencia, es decir la mejor serie simulada de caudal medio.

Al analizar los parámetros obtenidos en la calibración y validación, comparados con la tabla de indicadores y condiciones ideales encontradas en el manual de RS- Minerve (tabla XX) , se concluye que los resultados se encuentran dentro del rango establecido para cada indicador, los resultados generados del modelo entregados por RS-Minerve se acoplan a la realidad con los registros de valores de referencia (las estaciones de caudal), y esto se puede evidenciar también en las gráficas de caudales obtenidas, donde la gráficas del caudal de referencia son casi iguales a la gráficas de la calibración.

El software RS- Minerve automáticamente envía los resultados de la calibración al modelo, por lo tanto se hace necesario realizar Start de la modelación con los nuevos datos ya calibrados, dando como resultados de la calibración los caudales en cada uno de las subcuencas, uniones y tramos del río Cravo Sur, así mismo en los objetos comparadores se observan los resultados de los indicadores, caudales y gráficas de comparaciones de los caudales de las estaciones (referencia) Vs los caudales simulados al año 2020.

Imagen 82. Indicadores, caudales y gráficas de comparaciones de los caudales de la estación Puente La Cabaña (referencia) Vs los caudales de Simulados al año 2020.



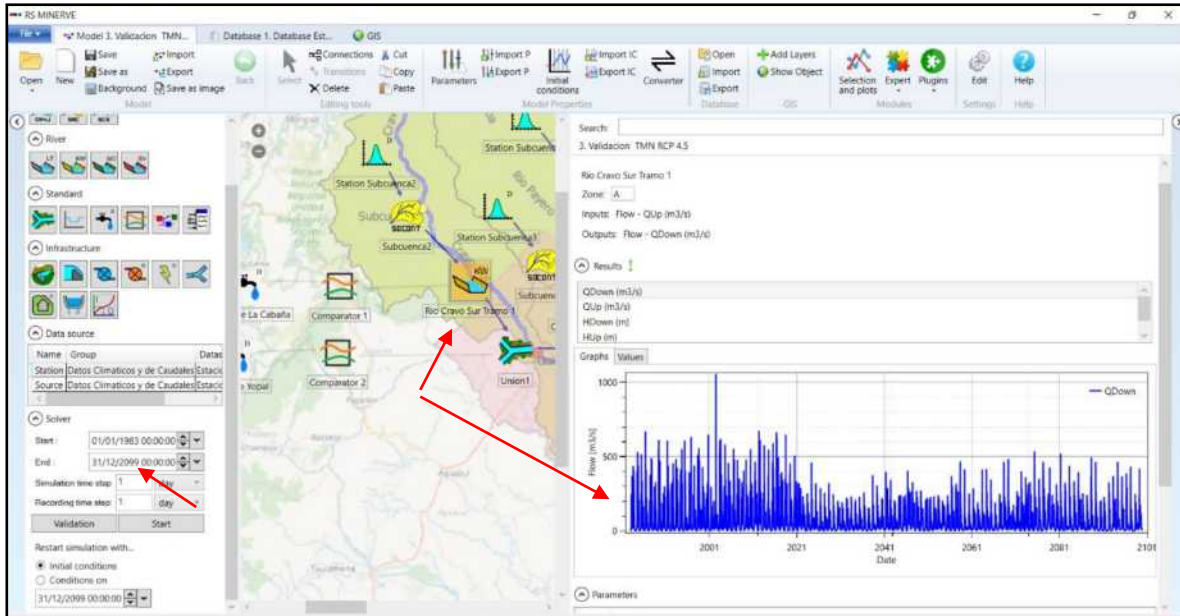
Fuente: Software RS- Minerve, Becerra V., M. A., 2022

14.7.2.2 Validación

Para la calibración se realizaron numerosas pruebas o interacciones de ensayo-error con el software RS- Minerve, hasta encontrar los valores de los indicadores más óptimos y gráficas de caudal más parecidas a los valores de referencia, por lo cual se reduce la incertidumbre entre los valores de referencia (las estaciones de caudal) y los valores de simulación.

Ahora la validación es correr el modelo hidrológico con los datos obtenidos de la calibración, pero cambiándole el periodo de modelación. Para la calibración se utilizó el periodo hasta donde existen datos de referencia de las estaciones de caudal (1983-2020), ya para el resultado final de la modelación en la validación, se corre el modelo, pero se cambia el periodo colocando el periodo final de estudio y hasta donde tenemos las proyecciones climáticas PROJETA. (1983-2099).

Imagen 83. Resultado de caudales, periodo (1983-2099) para el río Cravo Sur Tramo 1, Modelación Temperatura Mínima Diaria TMN-D RCP 4.5.



Fuente: Software RS- Minerve, Becerra V., M. A., 2022

El resultado son los datos diarios de caudales y gráficas de caudal o hidrogramas de caudal diarios, modelados para el periodo (1983-2099), para todas las subcuencas y para los diferentes tramos del río Cravo Sur.

Al ser el municipio de Yopal el área de interés y de estudio de la investigación, los puntos de interés son aguas abajo del río Cravo Sur Tramo 1, río Cravo Sur Tramo 2, y parte del río Cravo Sur Tramo 3.

Ver Anexo- Carpeta Magnética 15. Calibración y Validación del Modelo Hidrológico.

14.8 Anexo 8. Descripción de los Componentes Matriz Leopold Modificada.

Tabla 51. Descripción de las afectaciones y los resultados en la investigación y/o modelación y los documentos que sirven como soportes, para la Matriz Leopold.

Componente Abiótico				
Recurso	Afectaciones	Descripción	Resultados en la Investigación y/o Modelación Hidrológica	Documentos Soportes.
Clima	Aumento de temperatura	Aumento de temperatura sostenida a través del siglo, por el Cambio Climático.	La proyección de los picos de temperatura máxima, muestran un aumento de temperatura sostenida a través del siglo, en el RCP 4.5 es el pico máximo de temperatura es de 41.05 °C en el mes de febrero y para el año 2049, y para RCP 8.5 es de 42.93 también en el febrero del año 2098.	Informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC. Tercera comunicación IDEAM 2011: Año 2100 aumentos de temperatura de +2,4 °C, NO presentará aumentos de precipitación y decae el porcentaje de precipitación hasta en un 30%. PRICCO 2018: Año 2040, aumentos temperatura +1.3 °C, 20% de días +38°C. Los excesos de lluvia se incrementarán. El río Cravo Sur, aumentarán su probabilidad de inundación en 29%, sobre el municipio de Yopal. La probabilidad de aumento de sequías en la región también irá en aumento, acompañado de un aumento en el número de días sin lluvia.
	Aumento o disminución de la precipitación (inundaciones, sequías)	Aumento de precipitación en los primeros años, por el Cambio Climático. Disminución de la precipitación sostenida a través del siglo, por el Cambio Climático.	En los primeros años 2022 -2025 , se muestran picos máximo de 305.6 mm/día., aumento de posibilidad de inundaciones. La precipitación tiende a descender drásticamente con resultados que van desde 0- 51 mm/día RCP 4.5 y 0-55 RCP8.5, datos que no superan los 100 mm/día.. se pronostica para el periodo del fin de siglo año 2099 la disminución de la precipitación promedio de 30-50%., aumento de posibilidad de sequías. El 96% de los encuestados consideran que el cambio climático ha afectado la disponibilidad de agua, especialmente lo relacionan con la ocurrencia del aumento de la temperatura, sequías extremas y disminución del caudal del río Cravo Sur.	En esta investigación: Proyecciones de temperatura de PROJETA, Bases de datos finales Corregidas, Tablas de Proyección de temperatura y Precipitación 1983-2099, encuestas. Informes ONU, ODS, PNUMA, OMS, etc..
Agua superficial	Aumento o Disminución de la Oferta, disponibilidad del agua	Los primeros años se presentarán aumentos de temperatura y aumento de precipitaciones por la evaporación del agua, sin embargo, al aumentar la temperatura y disminuir la precipitación a través del siglo la oferta hídrica disminuiría constantemente.	Los hidrogramas en los diferentes tramos del río Cravo sur muestran altos caudales o picos en meses de lluvia y bajos caudales en los meses secos, a medida que avanzan los tramos del río el caudal aumenta.	PRICCO 2018: Año 2040, Los excesos de lluvia se incrementarán. El río Cravo Sur, aumentarán su probabilidad de inundación en 29%, sobre el municipio de Yopal. En esta investigación: Análisis de resultados de la modelación. Caudales cercanos a los 100 m3/seg en meses de lluvia y menores de 10 m3/se, en extremo menores a 1 m3/seg.
	Se produce Escasez Hídrica (Demanda vs Oferta)	El cambio climático afectaría la oferta hídrica de la corriente principal del río Cravo Sur en los años 2040 y 2090 la oferta hídrica en muchos meses no supera el caudal demandado, razón por la cual se tendrían afectaciones al recurso hídrico, se presentarían escasez hídrica.	En los tramos 1 y 2 para los años 2040,2099 y crítico 2029, en la mayor parte del tiempo la comunidad no podría suplir la demanda de agua a través de las concesiones otorgadas por corporinoquia; y extremo de escasez se tendría el año 2029, donde se tendrían caudales de oferta menores de 1 m3/seg .	Análisis de escasez hídrica. en los tramos modelados para los diferentes escenarios RCPs, se presentaría escasez hídrica donde la oferta no supera la demanda concesionada.
	Alteración de la Calidad del agua, Riesgo en suplir el caudal de seguridad. (25% caudal de oferta)	Cambios en las características fisicoquímicas, microbiológicas y/o hidrobiológicas del agua como consecuencia del Cambio Climático. Al disminuir la oferta hídrica o caudal en el río Cravo Sur, se disminuiría la capacidad natural de depurar los vertimientos.	Algunos Hidrogramas muestran que, para los meses secos de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero, el caudal de oferta no superara 1 m3/seg, lo que conlleva a afectaciones en la calidad del agua por los vertimientos directos que se hacen al Cravo Sur, en especial el de los centros poblados como Labranza grande y el Morro, ya que el río no tendría suficiente caudal para depurar naturalmente estos vertimientos, causando así posible contaminación hídrica.	POMCA río Cravo Sur 2018: Vertimientos al río Cravo Sur , afectaciones calidad del recurso. En esta investigación: Problemática preliminar, Análisis de resultados de la modelación. Análisis de caudal de seguridad, Reducción de caudal de seguridad 25 % de la oferta.

Cauce	Alteraciones hidrogeomorfológicas (Socavación, Erosión, Inestabilidad)	Al aumentar y después disminuir el caudal o la oferta hídrica en el río Cravo Sur, se modificara la dinámica fluvial, el régimen de sedimentos, transporte pétreos y morfología del cauce.	Con caudales cercanos a los 100 m ³ /seg en meses de lluvia y menos de 10 m ³ /seg en temporada seca, se presentarían alteraciones constantes en la dinámica natural del río. Cambios en el caudal generan cambios en el cauce, activación de procesos erosivos, represamientos, inundaciones, movimientos en masa, entre otros.	PRICCO, 2018: El río Cravo Sur, aumentarán su probabilidad de inundación en 29%, sobre el municipio de Yopal, el cual presenta baja capacidad de adaptación, por lo que su vulnerabilidad es más alta que en las demás cuencas. En esta investigación: Problemática preliminar, Justificación, fundamentos teóricos, análisis de las encuestas, el 69% relacionaron el cambio climático con el aumento de lluvias en la zona, aumento de caudal e inundaciones del río Cravo Sur. Estudio de la UIS 2008 destaca que en Yopal ocurrió una avalancha en 1936 y que está en riesgo de presentarse de nuevo. POMCA río Cravo Sur 2018: Reporta movimientos en masa con 109 reportes, seguido de las inundaciones con 56 y los incendios forestales con 62, avenidas torrenciales con un total de 4 reportes en 22 años, la ciudad de Yopal esta priorizada por riesgo de inundación. Documentos de Hidrología y Gestión del Riesgo.
Suelo	Modificación en las características, propiedades, en el uso y aptitud.	Cambio en las características y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo dependiente del recurso hídrico del Río Cravo Sur	Al tener escasez hídrica donde no se suple la demanda hídrica, las características de los suelos dependientes de este recurso hídrico y sus usos se modificarían, lo que conlleva a pérdidas de aptitudes del suelo para algunos usos.	PRICCO, 2018: proyecciones al año 2040 Arroz: Bajo los escenarios de cambio climático de manera generalizada en los RCP's se presentarían reducciones del rendimiento en promedio del 20% si se mantuvieran las mismas variedades y manejo del cultivo. Palma: No presenta cambios importantes en cuanto la aptitud bioclimática para el cultivo, es decir que se mantienen las amplias áreas aptas para el cultivo de palma, inclusive bajo los escenarios RCP's 2.6, 4.5 y 8.5 En esta investigación: Problemática preliminar, Análisis de Demanda de agua, Análisis de las encuestas, Análisis de resultados de la modelación. Análisis de Escasez hídrica.
Aire	Alteración de la Calidad del aire	Aumento de concentraciones de GEI por el cambio climático, industrial, etc. CO ₂ , CH ₄ , NO ₂ , HFC, SF ₆ , etc..	Los ecosistemas de ribera o de galería, dependen directamente del caudal del Río Cravo Sur, la disminución del caudal de oferta, trae consigo pérdida ecológica y pérdida en absorción y depuración natural de GEI, lo que trae consigo concentraciones de estos gases afectando comunidades ribereñas como las del municipio de Yopal.	PRICCO, 2018: Inventario de GEI Casanare con 9715 Gg ton CO ₂ eq. sector que más emite gases es el agropecuario. Listado de impactos ambientales específicos en el marco del licenciamiento ambiental Minambiente 2020. En esta investigación: Problemática preliminar, Justificación, Fundamentos teóricos, análisis de las encuestas. Informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC, ONU, ODS, PNUMA, OMS, etc..

Componente Biótico				
Recurso	Afectaciones	Descripción	Resultados en la Investigación y/o Modelación hidrológica	Documentos Soportes.
Ecosistema	Alteración de los ecosistemas, Riesgo en suplir el caudal ecológico (25% caudal de oferta)	Cambio en las comunidades de cobertura vegetal o flora como consecuencia del Cambio Climático.	En los tramos 1 y 2 para los años 2040,2099 y crítico 2029, se proyectan caudales de oferta menores de 1 m3/seg amenazando la sostenibilidad del caudal ecológico, lo que pone en riesgo la supervivencia ecosistémica de la fuente hídrica.	Resolución 865 de 2004 ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez. Resolución No 200.41-10.1397 de 08 de octubre de 2010, Corporinoquia regula el uso y aprovechamiento del recurso hídrico en el río Cravo Sur. En esta investigación: Problemática preliminar, Análisis de Demanda de agua, Análisis de las encuestas, Análisis de resultados de la modelación. Análisis de Escasez hídrica.
	Alteración de Flora y Fauna terrestre y acuática	Cambio en las comunidades de fauna como consecuencia del Cambio Climático.	El riesgo de no poder suplir el caudal ecológico en los tramos 1-2 en algunos meses de sequía, traería como consecuencia desplazamiento de fauna, disminución de individuos o ejemplares de una o más especies, Modificación de poblaciones, Cambio en su composición, estructura y función, Fragmentación de ecosistemas, entre otras.	PRICCO, 2018: Impactos del cambio sobre la fauna y flora en la Orinoquia., a diferentes especies que brindan servicios ecosistémicos, ej. dispersión de semillas, polonización, sombra, etc.. En esta investigación: Problemática preliminar, Justificación, Fundamentos teóricos, análisis de las encuestas.
	Alteración de los Servicios Ecosistémicos	Todos los beneficios o externalidades positivas que otorga de forma natural el ecosistema del río Cravo Sur a los habitantes de Yopal, los servicios ecosistémicos de abastecimiento, de regulación, de apoyo y culturales, se verían afectados por el cambio climático.	Por todos los encuestados se considera el agua como líquido vital, y el ecosistema del río Cravo Sur necesarios para el desarrollo e sus actividades en el futuro, los beneficios ecosistémicos se afectarían de forma negativa, disminuirían a la pérdida o fracturación ecosistémica por la disminución del caudal de oferta del río.	Informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC, ONU, ODS, PNUMA, OMS, etc.

CONFLICTO ENTRE USOS DEL AGUA				
Recurso	Afectaciones	Descripción	Resultados en la Investigación y/o Modelación hidrológica	Documentos Soportes.
Consumo humano y doméstico	Consumo humano y doméstico		En la cuenca del río Cravo Sur específicamente sobre el área del municipio de Yopal se tienen un total de 60 concesiones con una demanda hídrica de 8,86 m ³ /seg, dentro de los cuales los de mayor presión se encuentran los canales de riego que derivan directamente del cauce principal del Río Cravo sur y transportan una gran cantidad de agua para diferentes usos, entre los más destacados los agropecuarios de siembra de Arroz, ganadería, piscicultura y Palma.	PRICCO, 2018: Un 99% del recurso hídrico extraído es de fuentes superficiales y que su principal uso es la agricultura con un 91.2% del agua extraída, seguido por el sector pecuario que extrae el 6.4%. Para el año 2040 y la demanda hídrica actual determinada por las concesiones, se destaca un déficit hídrico en los dos primeros meses del año, el sector que se vería más afectado es el Agrícola y si este sector se expande se tendrán consecuencias mayores en la misma temporada. PRICCO, 2017: proyecciones al año 2040
Agrícola y Pecuario	Arroz, Palma, Ganadería y Piscicultura	Estos conflictos ocurren cuando disminuye la oferta hídrica y esta no satisface cuantitativa, cualitativa o en el tiempo, las demandas que generan los diferentes usos del agua en el río Cravo Sur.	En los tramos 1 y 2 para los años 2040,2099 y crítico 2029, en la mayor parte del tiempo la comunidad no podría suplir la demanda de agua a través de las concesiones otorgadas por corporinoquia; y extremo de escasez se tendría el año 2029, donde se tendrían caudales de oferta menores de 1 m ³ /seg . Actualmente existen concesiones de aguas para diferentes usos, en especial el agropecuario, sin embargo se prevé que cuando la oferta de agua disminuya por el Cambio Climático, se presentarían conflictos entre los diferentes usos, una rivalidad en quien tiene favorecimiento en el aprovechamiento del agua, las disputas entre actividades y la adecuada distribución del agua por ley, se ven más común últimamente y esto puede evidenciarse en la problemática encontrada y pronunciada en las encuestas realizadas.	Arroz: Se presentarían reducciones del rendimiento en promedio del 20% si se mantuvieran las mismas variedades y manejo del cultivo. Palma: No presenta cambios importantes en cuanto la aptitud bioclimática. Ganadería: se genera estrés calórico, lo que traduce en pérdidas de producción de leche 1.6%, de carne en 2.9%, muerte de ganado por encima de 28°C. En esta investigación: Problemática preliminar, Análisis de Demanda de agua, Análisis de las encuestas, Análisis de resultados de la modelación. Análisis de Escasez hídrica. Decreto 1076 de 2015, se establecen los usos del agua. Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe, CEPAL 2015 Guía metodológica para el diseño y la implementación de procesos de prevención y transformación de conflictos por el agua: Conceptos y herramientas de diálogo y negociación, Minambiente 2017.
Recreativo	Turísticos			

CONFLICTO ENTRE USUARIOS				
Recurso	Afectaciones	Descripción	Resultados en la Investigación y/o Modelación hidrológica	Documentos Soportes.
Usuarios	Legales (concesionados), Ilegales (Sin concesión).	Este tipo de Conflictos se centra en las características de los diferentes actores que comparten el recurso hídrico y sus intereses en competencia, siendo especialmente sensibles hoy Los Usuarios del agua actuales y futuros, tendrán cada uno sus prioridades e intereses, y este conflicto se dará por conocer cual tiene más derecho sobre el recurso, cual puede económicamente y técnicamente acceder al mismo cumpliendo con los requisitos de Corporinoquia, etc..	El 79% de los encuestados expresaron que el agua para sus actividades la consiguen o captan a través de los canales de riego existentes de forma ilegal es decir sin contar con permisos concesiones por la autoridad ambiental Corporinoquia, lo que genera constante presión sin control a la corriente principal, conflictos entre la autoridad ambiental y la comunidad, así como conflictos entre, usuarios legales e ilegales, y entre los mismos beneficiarios en época de bajas precipitaciones.	PRICCO, 2018: un total de 24 m ³ /seg es la demanda de agua proyectada al 2040, de posibles usuarios, se encontró que la cuenca del río Cravo Sur no cuenta con el caudal demandado en los primeros meses del año. En esta investigación: Problemática preliminar, Análisis de Demanda de agua, Análisis de las encuestas, Análisis de resultados de la modelación. Análisis de Escasez hídrica. Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe, CEPAL 2015 Guía metodológica para el diseño y la implementación de procesos de prevención y transformación de conflictos por el agua: Conceptos y herramientas de diálogo y negociación, Minambiente 2017.
	Potenciales o futuros		Los conflictos sociales persisten hoy en día, esto debido a que la gran mayoría de los beneficiarios de los canales de riego no se encuentran legalizados y no existe una administración y control eficaz de la autoridad ambiental, lo que implica desorden y sobre explotación del recurso sin control alguno.	

CONFLICTOS CON ACTORES NO USUARIOS				
Recurso	Afectaciones	Descripción	Resultados en la Investigación y/o Modelación hidrológica	Documentos Soportes.
Terceros	Explotación Petrea	Estos conflictos se producen entre terceros, personas que no se benefician directamente del recurso hídrico y por razones diversas a la competencia directa entre usos.	Este tipo de conflictos no son vinculados directamente al uso del agua. por ejemplo la extracción de materiales petreos, de usos de agua o cauce para hidrcarburos, la deforestacion de las riveras para la ganadería, agricultura, etc., estos terceros afectan la oferta hidrica del rio Cravo Sur y sus condiciones naturales , lo que generaria conflictos de los diferentes actores.	ANH: Actualmente existen más de 3 licencia sobre el rio Cravo sur para la explotación de material Pétreo, y a futuro se prevé la solicitud de más de 20 licencias para explotación minera sobre el cauce del mismo rio. Por lo que se prevé conflictos de actores e impactos ambientales. POMCA: La deforestación de las riveras del rio por acción antrópica es una problemática que está creciendo en el tiempo. CORPORINOQUIA:Segun demanda hídrica entregada por esta entidad no se tienen concesiones para la industria petrolera , sin embargo, existen diferentes tuberías de transporte que pasan sobre el rio lo que puede causar afectaciones al recurso hídrico.
	Deforestación		Los encuestados dan marcados conflictos entre usuarios sin embargo no expresan conflictos entre no usuarios, pero es de conocimiento que existen conflictos con las empresas de explotación pétrea y así mismo las riveras tiene un gran problema de deforestación.	
CONFLICTOS INTERGENERACIONALES				
Recurso	Afectaciones	Descripción	Resultados en la Investigación y/o Modelación hidrológica	Documentos Soportes.
Generaciones	Generaciones Actuales y Futuras	Estos conflictos involucran la tensión entre las necesidades y preferencias de las generaciones actuales y la preservación del recurso como derecho de las generaciones futuras.	Esta investigación donde se realizó una modelación de la oferta hídrica del rio Cravo Sur con el fin de evidenciar las afectaciones socio-ambientales generadas por el cambio climático nace como proyecto de la maestría de cambio climático y desarrollo sostenible de la universidad de Manizales, nace como medida de implementar un desarrollo sostenible como solución a las proyecciones o modelaciones climáticas que nos muestran cambios catastróficos en nuestro futuro.	La Justificación de toda esta investigación y desarrollo de la maestría es la Búsqueda de del desarrollo sostenible, Se tiene una relación estrecha de las proyecciones de cambio climático con el concepto y objeto del Desarrollo Sostenible, como buscar el equilibrio entre las necesidades actuales y las de las generaciones futuras. En esta investigación: todo el documento.
CONFLICTOS INTERJURISDICCIONALES				
Recurso	Afectaciones	Descripción	Resultados en la Investigación y/o Modelación hidrológica	Documentos Soportes.
Politico administrativos	Municipios de la Cuenca aguas abajo	Este tipo de conflicto refleja la tensión entre los objetivos y las competencias de las diferentes divisiones político-administrativas. Estos conflictos pueden darse entre municipios, estados, regiones que comparten una misma cuenca.	Como resultado se evidencia que los limites de la cuenca son diferentes o no concuerdan con los limites de los municipios , por ejemplo: Los municipio de San Luis de Palenque y Orocué, se encuentran aguas debajo de Yopal y comparten la misma cuenca del Rio Cravo Sur , estos municipio dependen del caudal sobrante del cauce , por lo que se prevé que a futuro se tengan conflictos intermunicipales por aprovechamiento y dominio del agua.	En esta investigación: Análisis de resultados de la modelación. Análisis de Escasez hídrica. Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe, CEPAL 2015
CONFLICTOS INSTITUCIONALES				
Recurso	Afectaciones	Descripción	Resultados en la Investigación y/o Modelación hidrológica	Documentos Soportes.
Actores	Publicos y Privados	Este tipo de conflicto refleja la tensión entre los objetivos y las competencias de las diferentes divisiones político-administrativas. Estos conflictos pueden darse entre municipios, estados, regiones que comparten una misma cuenca.	Como resultado se evidencia que los limites de la cuenca son diferentes o no concuerdan con los limites de los municipios , por ejemplo: Los municipio de San Luis de Palenque y Orocué, se encuentran aguas debajo de Yopal y comparten la misma cuenca del Rio Cravo Sur , estos municipio dependen del caudal sobrante del cauce , por lo que se prevé que a futuro se tengan conflictos intermunicipales por aprovechamiento y dominio del agua.	En esta investigación: Análisis de resultados de la modelación. Análisis de Escasez hídrica. Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe, CEPAL 2015

OTROS CONFLICTOS				
Recurso	Afectaciones	Descripción	Resultados en la Investigación y/o Modelación hidrológica	Documentos Soportes.
Socio Economicos	Emigración de población	Emigración de población debido al aumento de temperatura causado por el cambio climático y calentamiento global.	Debido al aumento de temperatura causado por el calentamiento global, se considera que existieran emigraciones de población de Yopal hacia zonas más altas en búsqueda de climas fríos, esto generara afectaciones en la población emigrante por la búsqueda de nuevas alternativas de vida, cambio en las variables demográficas, etc..	PRICCO,2018: Se estiman migraciones hacia zonas más altas, causadas por el calentamiento global. Listado de impactos ambientales específicos en el marco del licenciamiento ambiental Minambiente 2020. Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe, CEPAL 2015
	Generación de empleo	El Cambio de las condiciones para el desarrollo de las actividades económicas como consecuencia del cambio climático.	La generación de empleo en la industria agropecuaria es grande en Yopal, lo que conlleva a mejoramiento de la calidad de vida de sus ciudadanos, sin embargo, este crecimiento agropecuario puede ser contraproducente a futuro por la disminución de la oferta hídrica del río Cravo Sur por el cambio climático, al disminuir el agua, disminuye la producción agropecuaria y disminuiría la generación de empleo. Se consideran Cambio en actividades productivas de los sectores, Cambio en las actividades económicas tradicionales y/o el turismo y/o la recreación, Modificación de programas y proyectos productivos privados, públicos y/o comunitarios existentes, Cambio en las características del mercado laboral, Cambio en la tendencias del empleo en el corto y mediano plazo, afectación de recursos naturales necesarios para las actividades de subsistencia, entre otros.	En esta investigación: Problemática preliminar, Análisis de Demanda de agua, Análisis de las encuestas, Estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático. con las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, se generaran empleos de mano de obra calificados y no calificados.
	Cultural	El Cambio de las condiciones para el desarrollo de las actividades culturales llanera como consecuencia del cambio climático.	La disminución de la oferta hídrica trae consigo afectaciones a la fauna y flora dependiente del río Cravo Sur, así mismo impacto a la ganadería, en esta se puede ver afectada la cultura llanera ya que los ecosistemas llaneros son fuente de inspiración de cantos y bailes tradicionales.	La cultura llanera y sus tradiciones está enmarcada en el trabajo de llano y su relación con el ecosistema, todos los cantos y bailes tradicionales resaltan la fauna y la flora del llano, así como su trabajo de llano , principal mente enmarcado en trabajo de ganadería. "Cantos de Trabajo del Llano" Patrimonio Cultural Inmaterial del Mundo , UNESCO 2017.

Socio Economicos	Gestión del riesgo	<p>Los Escenarios de cambio climático establece que los meses de lluvias se verán afectadas por niveles de aún mayores en los primeros años, lo que ocasionaría constantes inundaciones de ríos, deslizamiento de tierras, avalanchas, entre otros desastres relacionados; y en las regiones donde los niveles son bajos se tornarían aún más bajos ocasionando graves sequías y desabastecimiento del recurso hídrico para las poblaciones.</p>	<p>En los primeros años 2022 -2025 , se muestran picos máximo de 305.6 mm/día., aumento de posibilidad de inundaciones.</p> <p>La precipitación tiende a descender drásticamente con resultados que van desde 0- 51 mm/día RCP 4.5 y 0-55 RCP8.5, datos que no superan los 100 mm/día.. se pronostica para el periodo del fin de siglo año 2099 la disminución de la precipitación promedio de 30-50%., aumento de posibilidad de sequias.</p> <p>Con caudales cercanos a los 100 m3/seg en meses de lluvia y menosr sde 10 m3/seg en temporada seca, se presentarian alteraciones constantes en la dinamica natural del rio.</p> <p>Cambios en el caudal generan cambios en el cauce, activación de procesos erosivos, represamientos, inundaciones, movimientos en masa, entre otros.</p>	<p>IDEAM: Los escenarios de la tercera comunicación indican para CASANARE, en el fin de siglo (2100) el departamento en promedio podrá presentar aumentos de temperatura de hasta 2,4 °C, no presentará aumentos de precipitación y podrá decaer el porcentaje de precipitación hasta en un 30%.</p> <p>PRICCO, 2018: El río Cravo Sur, aumentarán su probabilidad de inundación en 29%, sobre el municipio de Yopal, el cual presenta baja capacidad de adaptación, por lo que su vulnerabilidad es más alta que en las demás cuencas.</p> <p>En esta investigación: Problemática preliminar, Justificación, fundamentos teóricos, análisis de las encuestas, el 69% relacionaron el cambio climático con el aumento de lluvias en la zona, aumento de caudal e inundaciones del rio Cravo sur.</p> <p>Estudio de la UIS 2008 destaca que en Yopal ocurrió una avalancha en 1936 y que está en riesgo de presentarse de nuevo.</p> <p>POMCA río Cravo Sur 2018: Reporta movimientos en masa con 109 reportes, seguido de las inundaciones con 56 y los incendios forestales con 62, avenidas torrenciales con un total de 4 reportes en 22 años, la ciudad de Yopal esta priorizada por riesgo de inundación.</p> <p>Documentos de Hidrología y Gestión del Riesgo.</p>
	Salud	<p>Afectación en la salud publica, por el cambio climatico</p>	<p>En los escenarios de cambio climático se prevé un aumento de casos de enfermedades causadas por vectores, se encuentran los virus del Dengue, Sika y Chikungunya, los cuales son transmitidos principalmente por Aedes aegypti; y la malaria, que es transmitida por varias especies de mosquitos del género Anopheles.</p>	<p>IPCC resaltó en su reporte del año 2007 que los efectos en salud serían principalmente cargas adicionales en enfermedades diarreicas, desnutrición, enfermedades cardiorrespiratorias e infecciosas; se aumentaría la morbimortalidad producto de olas de calor, inundaciones y sequías, y se presentarían cambios en el comportamiento de enfermedades vectoriales (IPCC, 2007).</p> <p>PRICCO, 2017: El aumento de temperatura hace que los vectores ganen aptitud climática principalmente en el piedemonte de la región Andina.</p> <p>Otras enfermedades asociadas al cambio climático son el estrés térmico , falla cardio respiratoria, Cáncer, respiratorias, asma, alergias.</p> <p>La disminución de la oferta hídrica hace que el agua sea más vulnerable a la contaminación y transmisión de enfermedades como : Cólera, diarrea, gastroenteritis, problemas en la piel, hepatitis, etc..</p> <p>documentos OMS.</p>

Fuente: Becerra V., M. A., 2022

Ver Anexo - Carpeta Magnética 17. Descripción de Los Componentes Matriz Leopold.