

**ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL
AGUA, ESTUDIO DE CASO: MICROCUENCAS QUEBRADAS
CARBONERA Y QUIJANA EN EL MUNICIPIO DE LA MESA,
CUNDINAMARCA**

Otálora Viracachá, Mildred Carolina

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2019**

**ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL
AGUA, ESTUDIO DE CASO: MICROCUENCAS QUEBRADAS
CARBONERA Y QUIJANA EN EL MUNICIPIO DE LA MESA,
CUNDINAMARCA**

Otálora Viracachá, Mildred Carolina

**Proyecto de investigación para optar por el título de:
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**Directora:
Yuly Andrea Rodríguez Quiñonez**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2019**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. fecha (29 Agosto, 2019)

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos en primera instancia a Dios por darme la oportunidad de terminar con éxito este proyecto, y a todas las personas que me apoyaron durante su desarrollo. En especial, al ingeniero ambiental Carlos Alberto Daza Moreno que por sus valiosos y constantes aportes hicieron posible la culminación del proyecto y a mi mamá Gloria Maria Viracachá por su amor y apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	17
4. JUSTIFICACIÓN.....	18
5. OBJETIVOS.....	20
5.1 OBJETIVO GENERAL	20
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
6. MARCO TEÓRICO	21
6.1 MARCO CONCEPTUAL	21
6.1.1 Calidad de agua.	21
6.1.1.1 <i>Modelo conceptual para la evaluación regional de calidad del agua...</i>	21
6.1.1.2 <i>Condiciones de calidad de agua.....</i>	22
6.1.1.3 <i>Procesos de alteración.</i>	23
6.1.1.4 <i>Indicadores de estado de la calidad del agua y de presión por contaminación.</i>	25
6.1.1.5 <i>Modelación de la calidad del agua superficial.</i>	31
6.2 ESTADO DEL ARTE.....	36
6.2.1 Calidad del agua en el contexto nacional y regional.....	36
6.2.2 Modelación de la calidad del agua en Colombia.	39
6.2.3 Gestión y gobernanza del agua.....	43
6.3 MARCO NORMATIVO Y LEGAL	45
7 METODOLOGÍA.....	49

7.1	FASE DE DIAGNÓSTICO.....	51
7.1.1	Caracterización del área de estudio.	51
7.1.2	Descripción y evaluación de la información existente en las microcuencas de estudio.....	53
7.1.3	Identificación de puntos de vertimiento y captaciones en el área de estudio.	54
7.1.4	Caracterización física y química del agua.	55
7.1.5	Confrontación de la caracterización de la calidad del agua con respecto a la normativa ambiental aplicable.	57
7.1.6	Estimación del índice de calidad del agua ICA e índices de contaminación ICO.....	58
7.1.6.5	<i>Índice de calidad de corrientes superficiales ICACOSU.</i>	59
7.1.6.6	<i>Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO.</i>	63
7.1.6.7	<i>Índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS.</i>	64
7.1.6.8	Índice de contaminación por trofia ICOTRO.....	64
7.1.7	Aplicación de un modelo de calidad de agua.	65
7.1.8	Síntesis del problema de calidad del agua.	68
7.2	FASE DE DISEÑO DE LA ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS MICROCUENCAS.	68
7.2.1	Identificación de actores.....	68
7.2.2	Análisis de objetivos.....	70
7.2.3	Diseño y estructuración de la estrategia.....	70
8.	RESULTADOS	71
8.1	FASE DE DIAGNÓSTICO.....	71
8.1.1	Caracterización del área de estudio.	71
8.1.1.1	Microcuenca quebrada Quijana.....	71
8.1.1.2	<i>Microcuenca Quebrada Carbonera.</i>	92
8.1.2	Descripción y evaluación de la información existente en las microcuencas de estudio.....	112
8.1.3	Identificación de puntos de vertimiento y captaciones en el área de estudio.	114
8.1.3.1	<i>Captaciones y vertimientos legales.</i>	114
8.1.3.2	<i>Recorrido Quebrada Quijana.</i>	116
8.1.3.3	<i>Recorrido Quebrada Carbonera</i>	120
8.1.4	Caracterización física y química del agua.....	133
8.1.5	Confrontación de la caracterización de la calidad del agua con respecto a la normativa ambiental aplicable.	140

8.1.6	Estimación del Índice de Calidad del agua ICA e índices de contaminación ICO.....	150
8.1.7	Aplicación de un modelo de calidad de agua.	153
8.1.7.1	<i>Modelo de calidad de agua quebrada Quijana.</i>	153
8.1.7.2	<i>Modelo calidad de agua quebrada Carbonera.</i>	159
8.1.8	Síntesis del problema de calidad del agua.	167
8.2	FASE DE DISEÑO DE LA ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS MICROCUENCAS	171
8.2.1	Identificación de actores.	171
8.2.2	Análisis de objetivos	177
8.2.3	Diseño y estructuración de la estrategia.....	178
8.2.3.1	<i>Componente programático y administrativo.</i>	178
8.2.3.2	<i>Evaluación y seguimiento.</i>	204
9.	DISCUSIÓN	207
10.	CONCLUSIONES	212
11	RECOMENDACIONES	216
12	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	217
	ANEXOS	222

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores de calidad y contaminación del agua en Colombia.	26
Tabla 2. Carga contaminante subzona hidrográfica Río Bogotá.	38
Tabla 3. Estudios de modelación de calidad de agua en Colombia.	41
Tabla 4. Estrategias para el mejoramiento de la calidad de agua.	44
Tabla 5. Marco Normativo y legal.	46
Tabla 6. Criterios para la evaluación de información secundaria.	54
Tabla 7. Parámetros físico químicos a evaluar.	57
Tabla 8. Peso de importancia por variable.	62
Tabla 9. Clasificación de las corrientes según el caudal.	62
Tabla 10. Clasificación del ICA.	63
Tabla 11. Significancia de los índices de Contaminación ICOs.	64
Tabla 12. Caracterización parámetros físico químicos del agua año 2016.	67
Tabla 13. Relieve del terreno de acuerdo a la pendiente.	73
Tabla 14. Zonificación de unidades hidrográficas.	74
Tabla 15. Información hidrológica.	82
Tabla 16. Cobertura y uso actual de la tierra Microcuenca Quebrada Quijana.	86
Tabla 17. Unidades geomorfológicas microcuenca Q. Quijana.	89
Tabla 18. Capacidad de uso del suelo Microcuenca Q. Quijana.	91
Tabla 19. Zonificación de unidades hidrográficas Q. Carbonera.	95
Tabla 20. Información hidrológica directa cuenca baja río Apulo.	99
Tabla 21. Localización de muestreos calidad del agua del año 2016.	101
Tabla 22. Resultados de caracterización de calidad de agua quebrada Carbonera 2016.	102
Tabla 23. Porcentaje (%) de áreas de cobertura y uso actual de la Tierra Quebrada Carbonera.	105
Tabla 24. Unidades Geomorfológicas Microcuenca Q. Carbonera.	108
Tabla 25. Capacidad de uso del suelo Microcuenca Q. Carbonera.	111
Tabla 26. Matriz de descripción y evaluación de la información secundaria de las microcuencas relacionadas con calidad y gestión del recurso hídrico.	113
Tabla 27. Caudal Concesionado Quebrada Carbonera.	114
Tabla 28. Permiso de vertimientos quebrada La Carbonera.	115
Tabla 29. Vertimientos Q. Quijana.	119
Tabla 30. Captaciones Microcuenca Q. Quijana.	119
Tabla 31. Listado de vertimientos microcuenca Quebrada Carbonera, Casco urbano La Mesa.	123
Tabla 32. PTAR condominios área rural Microcuenca Quebrada Carbonera.	128
Tabla 33. Conexiones erradas Quebrada carbonera- inspección de San Joaquín.	129
Tabla 34. Puntos de muestreo calidad de agua quebrada Quijana 2019.	133
Tabla 35. Puntos de muestreo calidad de agua quebrada Carbonera 2019.	134
Tabla 36. Tipo de muestras.	135

Tabla 37. Resultados de caracterización fisicoquímica quebrada Quijana	139
Tabla 38. Resultados de caracterización fisicoquímica quebrada Carbonera	140
Tabla 39. Confrontación de resultados fisicoquímicos con decreto 1594 de 1984- Quebrada Quijana	141
Tabla 40. Confrontación de resultados fisicoquímicos con decreto 1594 de 1984 - Quebrada Carbonera	143
Tabla 41. Confrontación de resultados fisicoquímicos con acuerdo 43 de 2006 CAR- Quebrada Quijana	145
Tabla 42. Confrontación de resultados fisicoquímicos con acuerdo 43 de 2006 CAR- Quebrada Carbonera	146
Tabla 43. Resultados estimación de subíndices calidad de agua Q. Quijana	150
Tabla 44. Resultados estimación de Subíndices calidad de agua Q. Carbonera	151
Tabla 45. Índices de contaminación quebradas Quijana y Carbonera	152
Tabla 46. Identificación del sistema a modelar quebrada Quijana	154
Tabla 47. Datos de cabecera modelo calidad de agua quebrada Quijana	154
Tabla 48. Elevación y coordenadas de la quebrada Quijana en el modelo	155
Tabla 49. División del Sub-tramo para la modelación en QUAL2K.	159
Tabla 50. Identificación del sistema a modelar quebrada Carbonera.....	161
Tabla 51. Elevación y coordenadas de quebrada Carbonera en el modelo.	162
Tabla 52. Resumen de entrevistas.....	176
Tabla 53. Proyecto Formulación e implementación del Plan de Manejo Ambiental de las Microcuencas Quebrada Carbonera y Quijana adoptado por la Corporación autónoma regional CAR.	181
Tabla 54. Manejo adecuado de aguas residuales a través del funcionamiento eficiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales PTAR carbonera y Quijana y otras acciones	184
Tabla 55. Delimitación y protección de rondas hídricas quebrada Carbonera y Quijana.....	187
Tabla 56. Determinación de caudal ambiental de las quebradas carbonera y Quijana.....	190
Tabla 57. Implementación de la red de monitoreo de cantidad y calidad del agua en las quebradas Carbonera y Quijana.....	193
Tabla 58. Fortalecimiento de la educación ambiental para el desarrollo sostenible del territorio.	197
Tabla 59. Fortalecimiento de la comunicación para procesos ambientales a través de la conformación de la mesa de trabajo de las microcuencas y otras herramientas.	201
Tabla 60. Indicadores de evaluación y seguimiento de la línea estratégica gobernanza del agua.....	205
Tabla 61. Indicadores de evaluación y seguimiento de la línea estratégica Cultura y educación ambiental	206

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Modelo para la evaluación de estado y presiones sobre la calidad del agua.</i>	22
Figura 2. Mapa conceptual de la contaminación	25
Figura 3. Marco de Modelación (Camacho & Diaz Granados, 2003)	32
Figura 4. Localización de microcuencas a nivel cuenca y nacional	37
Figura 5. Fases del proyecto y actividades	50
Figura 6. Plan de muestreo de la calidad de agua	55
Figura 7. Software ICATest. Versión 1.0 (Universidad de Pamplona, 2005)	65
Figura 8. Metodología identificación de actores	69
Figura 9. Delimitación Microcuenca Quebrada Quijana.	71
Figura 10. Pendientes Microcuenca Quijana.	72
Figura 11. Perfil longitudinal Quebrada Quijana tomado de (Google Earth, 2018)	73
Figura 12. Tramos principales de la Microcuenca Q. Quijana	74
Figura 13. Distribución espacial de la precipitación anual Microcuenca Quebrada Quijana tomado de (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda, 2017)	78
Figura 14. Análisis mensual multianual de la precipitación, Estación La Mesa...	79
Figura 15. Distribución espacial de la temperatura promedio anual de la Microcuenca Quebrada Quijana. Tomado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR., 2017)	80
Figura 16. Zonificación climática Microcuenca Quebrada Quijana tomado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)	81
Figura 17. Localización Q. Quijana en Microcuenca Q. El Tigre	82
Figura 18. Índice de calidad del agua (ICA) Río Apulo tomado de (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR, 2017)	84
Figura 19. Mapa Cobertura de la tierra quebrada Quijana.	86
Figura 20. Unidades cartográficas del suelo Microcuenca Q. Quijana adaptado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)	88
Figura 21. Capacidad de uso del suelo microcuenca Q. Quijana. Adaptado de (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR, 2017)	91
Figura 22. Delimitación Microcuenca Quebrada Carbonera	92
Figura 23. Pendiente microcuenca Q. Carbonera	93
Figura 24. Perfil longitudinal Quebrada Carbonera. Tomado de (Google Earth, 2018)	94
Figura 25. Tramos principales de la Microcuenca Q. Carbonera	95
Figura 26. Distribución espacial de la Precipitación anual multianual microcuenca Quebrada Carbonera tomado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR., 2017)	98

Figura 27. Distribución espacial de la temperatura promedio anual de la Microcuenca Quebrada Carbonera. Tomado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017).....	98
Figura 28. Zonificación climática Microcuenca Quebrada Carbonera. Tomado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)	99
Figura 29. Localización de muestreo del año 2016. Q Carbonera	102
Figura 30. Mapa de Cobertura y uso de la Tierra Microcuenca Quebrada Carbonera. Tomado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)	105
Figura 31. Unidades cartográficas del suelo Microcuenca Q. Carbonera. Adaptado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)	107
Figura 32. Capacidad de uso del suelo microcuenca Q. Carbonera.	111
Figura 33. Número de concesiones de agua quebrada Carbonera. Adaptado (CAR, 2018).....	114
Figura 34. Porcentaje de caudal concesionado quebrada carbonera de acuerdo a los usos del agua.	115
Figura 35. Quebrada Quijana punto de Centro Día.....	116
Figura 36. Quebrada Quijana estación de servicio puerta del sol	117
Figura 37. Quebrada Quijana sector Hospital Pedro León Álvarez	117
Figura 38. Quebrada Quijana Barrio José Antonio Olaya	118
Figura 39. PTAR la Quijana.....	119
Figura 40. Mapa con puntos de captación y vertimientos de la microcuenca Quebrada Quijana	120
Figura 41. Invasión Ronda Hídrica	121
Figura 42. Filtración agua residual.	121
Figura 43. Nacimiento Q. Carbonera.....	121
Figura 44. Filtraciones del alcantarillado a Q. Carbonera	122
Figura 45. Conexión de aguas residuales	122
Figura 46. Falta de mantenimiento cajas de inspección.....	122
Figura 47. Colmatación de cajas de inspección	122
Figura 48. Fotografías puntos de vertimiento Microcuenca Q. Carbonera	125
Figura 49. Captaciones sobre Q. Carbonera a la altura del Condominio Miralomas de Holanda.....	126
Figura 50. Esquema de flujo PTAR La Carbonera.	127
Figura 51. Afluente PTAR La Carbonera.....	127
Figura 52. PTAR La Carbonera.....	127
Figura 53. Mapa con puntos de captación y vertimientos de la microcuenca Quebrada Carbonera.	132
Figura 54. Ubicación espacial de puntos de muestreo Microcuenca Quebrada Carbonera y Quijana.	135
Figura 55. Equipos usados para trabajo de campo.....	136
Figura 56. Multiparámetro HANNA HI9829	Figura 57. Kit colorimétrico..... 137
Figura 58. Aforo	Figura 59. Determinación de NO ₂ -y NO ₃ -..... 138
Figura 60. Toma de parámetros in situ	Figura 61. Toma de muestras..... 138

Figura 62. Toma de velocidad del viento en formatos	Figura 63. Captura de información	139
Figura 64. Resultados graficas de parámetros fisicoquímicos		149
Figura 65. ICACOSU Q. Quijana.....		150
Figura 66. ICACOSU Q. Carbonera		151
Figura 67. Esquematización del modelo quebrada Carbonera.....		160
Figura 68. Árbol de problemas		168
Figura 69. Actores identificados en las microcuencas quebradas Carbonera y Quijana.....		171
Figura 70. Árbol de objetivos.....		178
Figura 71. Estructura de la estrategia de gestión de la calidad fisicoquímica del agua quebrada Carbonera y Quijana		179

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo describe la problemática que se presenta en el municipio de La Mesa Cundinamarca referente a la contaminación de las quebradas Carbonera y Quijana por el vertimiento de aguas residuales y el bajo caudal de estos cuerpos de agua. El proyecto plantea inicialmente un diagnóstico de la problemática ambiental que es de gran importancia, ya que permite conocer el estado de las corrientes en términos de calidad y de esta manera verificar los criterios de calidad de la normativa ambiental colombiana establecidos para los diferentes usos, esta fase contempla 8 actividades que involucran: la descripción del área de estudio, descripción y evaluación de la información existente de la calidad de agua y estrategias implementadas en la gestión del recurso hídrico en las microcuencas de estudio, identificación de puntos de vertimiento y captaciones, caracterización físico química del agua, confrontación de la caracterización de la calidad del agua con respecto a la normatividad ambiental, estimación del índice de calidad del agua, aplicación de un modelo de calidad de agua y síntesis del problema.

Posteriormente, se desarrolla la fase principal correspondiente al diseño de una estrategia de gestión para la calidad físico química del agua, donde se busca a través de acciones, programas y proyectos, contribuir en la prestación de servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, regulación e incluso culturales de las microcuencas y de manera implícita el cumplimiento de los objetivos de calidad del agua estipulados dentro de la Cuenca del río Bogotá.

La estrategia planteada se basa fundamentalmente en la gobernanza del agua, fortalecida mediante la línea estratégica de cultura, educación ambiental y comunicación entre los actores. De esta manera se busca reducir los problemas de salud pública asociados a la mala calidad del agua, crecimiento económico de las actividades productivas especialmente de la agricultura y mejoramiento de la calidad ambiental.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Mesa es uno de los municipios que hace parte de la provincia del Tequendama en el departamento de Cundinamarca y se enmarca en la cuenca del río Bogotá, subcuenca del río Apulo (Alcaldía de La Mesa, Cundinamarca, 2018). Se caracteriza por ser un municipio turístico dada su cercanía a la ciudad de Bogotá y sus condiciones climáticas que favorecen esta actividad (Alcaldía de La Mesa, Cundinamarca, 2018). En los últimos años se ha incrementado esta vocación turística, que junto con la agropecuaria y el comercio son sus principales renglones económicos (Alcaldía de La Mesa, Cundinamarca, 2000). El cultivo del café y de los frutales, son fuentes de ingresos de la población campesina, que van a la par con la producción ganadera de la zona. (Alcaldía de La Mesa, Cundinamarca, 2000). Esto ha conllevado al crecimiento urbanístico y demográfico del municipio el cual demanda servicios públicos tales como acueducto y alcantarillado. De acuerdo con cifras del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2005) se evidencia el crecimiento del 73.4% de la población, que pasó de 14.041 habitantes en la cabecera municipal para el año 2005 a 24.357 habitantes de acuerdo a la Dirección de Planeación del Municipio de La Mesa, Alcaldía Municipal 2016. (P&P Gestión Integral Ltda, 2016). De igual forma, se observa un aumento en la cobertura de servicios públicos tales como acueducto, pasando del 84.9% en el año 2005 al 81.6% para área urbana y 42.2% área rural en el año 2016. Con respecto a sistema de alcantarillado en el área urbana, el porcentaje de cobertura paso de 56.3% en el año 2005 a 77.6% en el año 2016 según los datos registrados por el DANE, (2005) y la Contraloría de Cundinamarca (2016). Lo que representa que el 22.4% de los habitantes del casco urbano no cuentan con cobertura de alcantarillado, lo que se traduce en un inadecuado manejo de las aguas residuales.

Conforme a información de la administración municipal reflejada en los informes técnicos de los profesionales ambientales, para finales del año 2017 se identificaron

52 conexiones erradas de viviendas en el casco urbano y 12 vertimientos de aguas negras realizados por la empresa de acueducto y alcantarillado Aguas del Tequendama a las quebradas Carbonera, Quijana y el Tigre (Alcaldía Municipal La Mesa, 2017).

Adicionalmente, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Quijana, una de las tres (3) plantas de tratamiento de aguas residuales con las que cuenta el casco urbano y que recibe las aguas combinadas del sistema de alcantarillado, no es eficiente, de acuerdo con un informe realizado por la (CAR, 2014) ésta, superó su vida útil y para el año 2014 se encontraba trabajando en su capacidad máxima (12 l/s). Adicionalmente, de acuerdo con los resultados de la caracterización del vertimiento de esta PTAR en el año 2016, ésta no realiza la remoción de la carga contaminante esperada puesto que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos no cumplen con los límites establecidos en la norma. (P&P Gestión integral Compañía, 2016). Asimismo, en una visita que se realizó a la PTAR Carbonera, presentó problemas en su funcionamiento, que se suma a la falta de mantenimiento de la red de alcantarillado; lo que causa la colmatación de los pozos de inspección que se encuentran cerca de la fuente hídrica, generando en periodos de lluvia un flujo de agua residual a la quebrada Carbonera; como consecuencia de estas situaciones, las fuentes hídricas quebrada Carbonera y Quijana reflejan un alto grado de contaminación.

Otra presión ejercida sobre la calidad del agua de estas dos quebradas objeto de estudio son las captaciones legales e ilegales que se observan a lo largo del cauce, especialmente en el área rural donde son utilizadas para actividades agropecuarias, de acuerdo a observaciones realizadas durante la ejecución de este proyecto. Estas captaciones generan que el caudal de dilución sea menor y se concentren en mayor medida los contaminantes.

Estas situaciones de contaminación y bajo caudal del agua generan un impacto negativo, sobre el componente ambiental desencadenando de igual forma impactos negativos sobre el componente social, referente a la proliferación de enfermedades y la alteración de la calidad de vida de los habitantes de las microcuencas.

Esta situación de baja calidad del recurso hídrico, se refleja a nivel regional como lo muestra el Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) del río Bogotá, donde presenta índices de calidad malo en la cuenca baja, asociado a los vertimientos de los 12 municipios que hacen parte de esta (incluyendo el municipio de La Mesa); y desde el ámbito local en el Plan básico de ordenamiento territorial del Municipio adoptado en el año 2000, en el cual se reconoce la problemática de calidad del agua y se plantean algunas medidas preventivas y correctivas de manera general que en la actualidad, no han sido implementadas. Por otro parte, no se cuenta con otros instrumentos de planificación territorial y gestión del recurso hídrico como el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico PORH ni el Plan de Manejo Ambiental de las microcuencas quebrada Carbonera y Quijana.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué estrategia de gestión se puede implementar para mejorar la calidad fisicoquímica del agua de las microcuencas quebrada Carbonera y Quijana en el municipio de La Mesa, Cundinamarca?

4. JUSTIFICACIÓN

La calidad del agua juega un papel importante en la sociedad, debido a que se relaciona con la salud de la población, el desarrollo económico y la calidad ambiental de los ecosistemas (EcoAvant, 2016).

Al perderse la calidad del agua, empiezan a generarse un sin número de problemas relacionados con las enfermedades de origen hídrico y la baja oferta de agua para los diferentes usos. Tal es el caso de las condiciones actuales de las quebradas Carbonera y Quijana en el municipio de La Mesa; relevantes para el municipio puesto que su nacimiento se encuentra dentro del casco urbano y desde allí su calidad se ve alterada por actividades antrópicas que se realizan entorno a estas fuentes hídricas, alterando las características físicas, químicas y microbiológicas de éstas. A simple vista, cerca del cauce de estas dos quebradas se observa la presencia de vectores como roedores, moscas, zancudos, malos olores, tensoactivos, inadecuada disposición de residuos líquidos y sólidos provenientes de las actividades domésticas, comerciales e industriales de los establecimientos comerciales, lavaderos de carros, talleres, estaciones de servicio, veterinarias, centros de estética y belleza. Así mismo, se evidencia captaciones legales e ilegales derivadas de actividades agropecuarias que alteran el caudal y las condiciones óptimas del recurso hídrico.

Por otro lado, sobre estos cuerpos hídricos se vierte el agua de las PTAR's Carbonera y Quijana del casco urbano del municipio de la Mesa, y descargas de aguas residuales domésticas que alteran su calidad (P&P Gestión Integral Ltda, 2016).

Teniendo en cuenta que las presiones antrópicas sobre las quebradas Carbonera y Quijana han conllevado a un fuerte deterioro de la calidad hídrica de estos cuerpos de agua, y de acuerdo con los pactos del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 capítulo 4, línea 1 sectores comprometidos con la sostenibilidad y la mitigación del

cambio climático cuyo propósito se enfoca en establecer estrategias que permitan el uso adecuado de los recursos naturales y protección del medio ambiente; éste proyecto tiene como fin diseñar una estrategia de gestión de la calidad físico química del agua que se enfoque en la prevención y mitigación de contaminación de estas dos fuentes hídricas del municipio y uso adecuado del recurso natural, para lo cual es relevante realizar un análisis de la calidad del agua en términos físicos, químicos y de capacidad de respuesta de las quebradas a la carga contaminante. De igual manera esta estrategia busca la participación activa de los actores directos e indirectos de las microcuencas, involucrando actores institucionales como la entidad territorial alcaldía municipal de La Mesa, la CAR, actores privados como la Empresa de Acueducto y Alcantarillado Regional Aguas del Tequendama y actores sociales que aporten a través de ejercicios de apropiación, protección y conservación del recurso hídrico de estos afluentes.

La estrategia permitirá de forma implícita contribuir con el mejoramiento de la calidad de vida de la población, no solamente de los habitantes inmersos en estas microcuencas sino también, de aquellas poblaciones que se encuentran vinculadas con el recurso hídrico de la subcuenca del río Apulo, receptor de estos dos afluentes.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una estrategia de gestión de la calidad fisicoquímica del agua estudio de caso: microcuencas quebrada Carbonera y Quijana en el municipio de La Mesa, Cundinamarca.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diagnóstico de las microcuencas con respecto a la calidad del agua a partir del análisis de parámetros físico-químicos.
- Formular una estrategia de gestión para la calidad química y física del agua en las microcuencas objeto de estudio.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 MARCO CONCEPTUAL

6.1.1 Calidad de agua.

De acuerdo a la Directiva Marco del Agua de la Comunidad Europea (UE) (Unión Europea, 2007), la calidad de agua se define como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y cumpla unos determinados objetivos de calidad ecológica, que van más allá de evaluar los requerimientos para un uso determinado (Unión Europea, 2007).

Como menciona (Sierra Ramírez, 2011) la calidad de un ambiente acuático se puede definir como: una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas y la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua; la calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua.

6.1.1.1 *Modelo conceptual para la evaluación regional de calidad del agua.*

El modelo general de soporte para la evaluación de la calidad de agua en las regiones propuesto por el IDEAM se muestra en el esquema de la *Figura 1*. Se reconocen como punto de partida las condiciones iniciales de calidad de los cuerpos de agua tanto superficiales, como subterráneos y marinos. Estas condiciones son alteradas ya sea por procesos relacionados con dinámicas naturales o por procesos de contaminación de vertimientos puntuales o difusos, los cuales ejercen un impacto dependiendo de las características de calidad y de la capacidad de los cuerpos de agua receptores para asimilar o degradar dichas cargas (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM, 2013)

Las cargas contaminantes generadas de forma puntual o difusa por los sectores usuarios del recurso ejercen presión sobre los sistemas hídricos, ya sea porque se vierten a través del alcantarillado, o directamente a los cuerpos de agua después de tratamiento o sin tratamiento. (IDEAM , 2013)

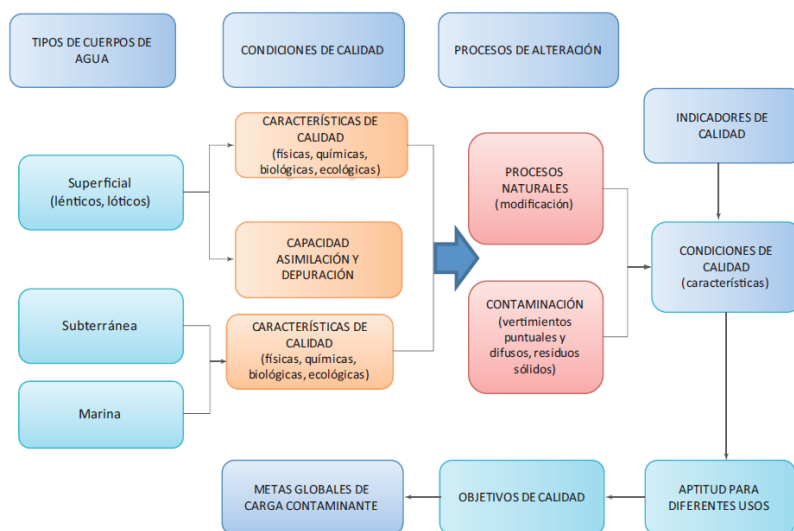


Figura 1. Modelo para la evaluación de estado y presiones sobre la calidad del agua.

Fuente: (IDEAM, 2013)

6.1.1.2 Condiciones de calidad de agua.

La calidad de agua depende de la capacidad de asimilación y dilución y de las características ecológicas físicas y químicas del agua. La capacidad de asimilación y dilución, definida como la “Capacidad de un cuerpo de agua para aceptar y degradar sustancias, elementos o formas de energía a través de procesos naturales, físicos químicos o biológicos sin que se afecten los criterios de calidad e impidan los usos asignados” (Decreto 3930, 2010). El ciclo natural del agua tiene gran capacidad de purificación; las aguas de los ríos se renuevan continuamente, su autodepuración natural por medio de microorganismos y la eliminación de los contaminantes se realiza con cierta facilidad, a no ser que la cantidad de contaminantes sobrepase un cierto límite. Cuando los contaminantes ingresan a los

cuerpos de agua hay una sucesión de cambios que se propagan a diferentes distancias en función de la dinámica y características de las corrientes. No existe un patrón fijo y se modifica en función de la intensidad, estacionalidad e hidrografía. El grado de contaminación y de purificación natural se puede medir física, química y biológicamente, dependiendo de la naturaleza de los contaminantes (Maldonado y Zuemmy, sf).

Las características ecológicas que se asocian a la calidad ambiental o calidad ecológica de las aguas, vienen dadas por las características que definen un ecosistema sano. Este último, se entiende como aquel que posee un alto nivel de biodiversidad, productividad y habitabilidad, poniendo de manifiesto una serie de indicadores concretos, propios de cada ecosistema (Unión Europea, 2007).

Por su parte las características físicas y químicas se asocian con unas directrices de calidad del agua o estándares para cada uso del recurso hídrico. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas., 2014)

6.1.1.3 Procesos de alteración.

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana. Sin la acción antrópica, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química. (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas., 2014)

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas., 2014).

Generalmente, la alteración a la calidad del agua tiene que ver con la contaminación por materia orgánica, por nutrientes y por una gran variedad de sustancias químicas y sintéticas de naturaleza tóxica (IDEAM, 2013). Como fuentes principales de contaminación de las aguas superficiales se destacan:

- Las aguas residuales domésticas e industriales;
- El escurrimiento de aguas en zonas de producción agrícola y ganadera;
- Las aguas lluvias por arrastre de compuestos presentes en la atmósfera, y
- Las aguas procedentes de los procesos de extracción minera.

La Figura 2 esquematiza el mapa conceptual de los agentes contaminantes y sus efectos en los seres vivos y en las condiciones de calidad del agua. Considera los diferentes tipos de patógenos, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, agentes físicos (sedimentos, materiales en suspensión y disueltos, contaminación térmica y cambios de temperatura), sustancias radioactivas e impactos que generan los vertimientos relacionados con actividades antrópicas.

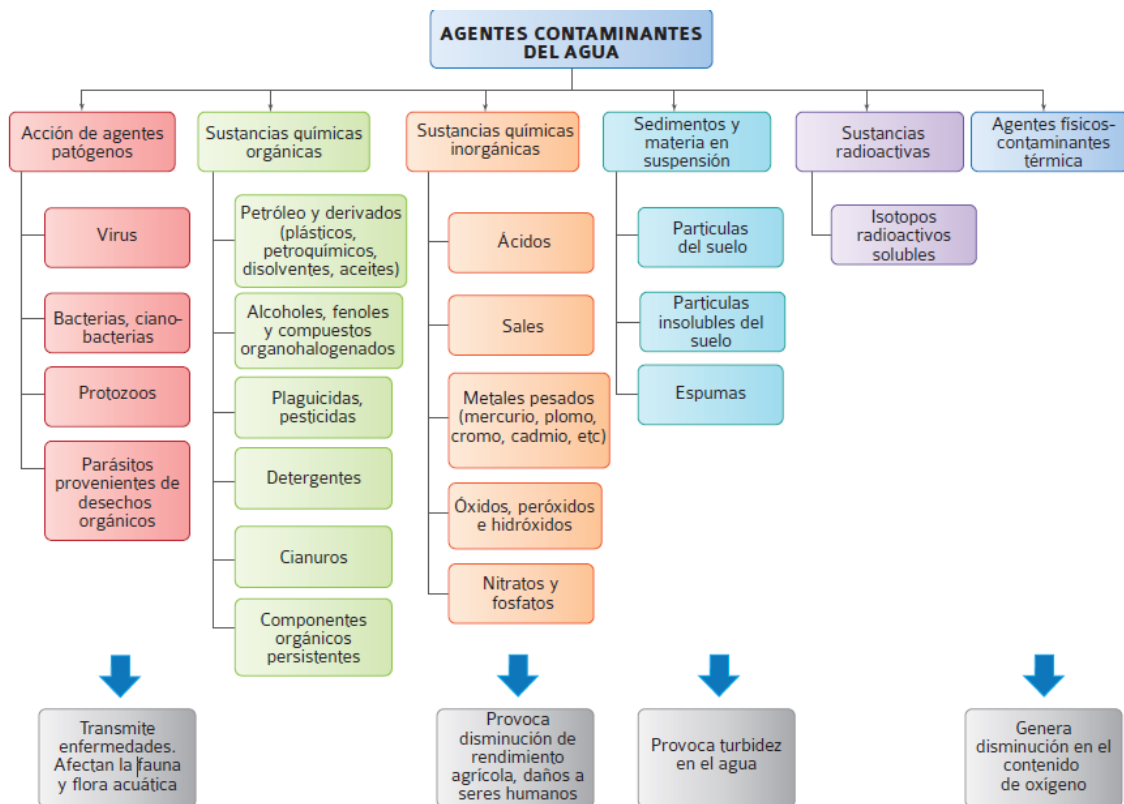


Figura 2. Mapa conceptual de la contaminación

Fuente: (IDEAM, 2013)

6.1.1.4 Indicadores de estado de la calidad del agua y de presión por contaminación.

La calidad de diferentes tipos de agua se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o en forma grupal.

Para evaluar la calidad de agua a nivel nacional e internacional se han desarrollado diferentes indicadores tanto de calidad como de contaminación. A continuación, se relacionan aquellos implementados en Colombia.

Tabla 1. Indicadores de calidad y contaminación del agua en Colombia.

Indicador	Descripción	Ventajas y desventajas																																	
Índice de calidad ambiental ICA	Índice de calidad del agua en corrientes superficiales. Aplicado actualmente por el IDEAM. Es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t. La fórmula de cálculo del indicador es: $ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right)$ ICA njt Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en n variables. Wi Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i. ikjt I Es el valor calculado de la variable i, en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada en el trimestre k, del período de tiempo t. n Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione. Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables <table> <tr> <th>Variable</th><th>Unidad de medida</th><th>Ponderación</th></tr> <tr> <td>Oxígeno disuelto, OD</td><td>% Saturación</td><td>0.2</td></tr> <tr> <td>Sólidos suspendidos totales, SST.</td><td>mg/l</td><td>0.2</td></tr> <tr> <td>Demanda química de oxígeno, DQO.</td><td>mg/l</td><td>0.2</td></tr> <tr> <td>Conductividad eléctrica, C.E.</td><td>µS/cm</td><td>0,2</td></tr> <tr> <td>pH</td><td>Unidades de pH</td><td>0,2</td></tr> </table> Variables y ponderaciones para el caso de 6 variables <table> <tr> <th>Variable</th><th>Unidad de medida</th><th>Ponderación</th></tr> <tr> <td>Oxígeno disuelto, OD</td><td>% Saturación</td><td>0,17</td></tr> <tr> <td>Sólidos suspendidos totales, SST.</td><td>mg/l</td><td>0,17</td></tr> <tr> <td>Demanda química de oxígeno, DQO.</td><td>mg/l</td><td>0,17</td></tr> <tr> <td>NT/PT</td><td>-</td><td>0,17</td></tr> </table>	Variable	Unidad de medida	Ponderación	Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	0.2	Sólidos suspendidos totales, SST.	mg/l	0.2	Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0.2	Conductividad eléctrica, C.E.	µS/cm	0,2	pH	Unidades de pH	0,2	Variable	Unidad de medida	Ponderación	Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	0,17	Sólidos suspendidos totales, SST.	mg/l	0,17	Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0,17	NT/PT	-	0,17	Ventaja El indicador refleja las condiciones fisicoquímicas generales de la calidad de una corriente de agua, y en alguna medida permite reconocer problemas de contaminación de manera ágil en un punto determinado en un intervalo de tiempo específico. Permite conceputar respecto a las posibilidades o limitaciones del uso del agua para determinadas actividades. Su formulación permite evaluar una amplia cantidad de recursos hídricos en forma periódica. Desventaja: al concentrarse en un único numero la calidad de agua, se produce una inmensa pérdida de información (en concordancia con Behar 1997) y con ello se enmascara la condición real y los cambios que se suceden sobre el recurso hídrico. No correspondencia del puntaje de la calidad de agua con el grado de contaminación en uno o entre dos o más cursos de agua. Falta de sensibilidad a fenómenos estacionales de unas u otras variables. Adicionalmente las curvas funcionales no corresponden a las condiciones de los cuerpos hídricos en Colombia. No contempla caudales. (Universidad de Pamplona, 2005)
Variable	Unidad de medida	Ponderación																																	
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	0.2																																	
Sólidos suspendidos totales, SST.	mg/l	0.2																																	
Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0.2																																	
Conductividad eléctrica, C.E.	µS/cm	0,2																																	
pH	Unidades de pH	0,2																																	
Variable	Unidad de medida	Ponderación																																	
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	0,17																																	
Sólidos suspendidos totales, SST.	mg/l	0,17																																	
Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0,17																																	
NT/PT	-	0,17																																	

Indicador	Descripción			Ventajas y desventajas
	Conductividad eléctrica, C.E.	μS/cm	0,17	
	pH	Unidades de pH	0,17	
	Las curvas funcionales adoptadas son las propuestas por Ramírez y Viña para oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), y conductividad eléctrica (CE), la propuesta por Universitat Politècnica de Catalunya (2006) para demanda química de oxígeno (DQO), la propuesta por el laboratorio del Departamento de Calidad Ambiental de Oregón (Estados Unidos) para pH y la propuesta por Rueda (2008) para la relación N/P. (Instituto de Hidrologia, Meteorología y Estudios ambientales IDEAM, 2013)			
El índice de alteración potencial de la calidad del agua IACAL	Es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la razón existente entre la carga de contaminante que se estima recibe una subzona hidrográfica j en un período de tiempo t y la oferta hídrica superficial, para año medio y año seco, de esta misma subzona hidrográfica¹ estimada a partir de una serie de tiempo. $IACAL_{jt-añomed} = \frac{\sum_{i=1}^n catiacal_{ijt-añomed}}{n}$ IACAL_{jt-añomed}: Es el Índice de alteración potencial de la calidad del agua de una subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t, evaluado para una oferta hídrica propia de un año medio. catiacal_{ijt-añomed} Es la categoría de clasificación de la vulnerabilidad por la potencial alteración de la calidad del agua que representa el valor de la presión de la carga estimada de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t dividido por la oferta hídrica propia de un año medio. n Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5. (Orjuela, 2013)			Ventaja: refleja la alteración potencial de la calidad de los sistemas hídricos superficiales en una subzona hidrográfica dada. Permite reconocer zonas susceptibles a los tipos de contaminación estimada en la medida que la categoría de amenaza es calificada como alta y muy alta en un intervalo de tiempo específico. Desventaja: Las cargas contaminantes estimadas excluyen patógenos y sustancias tóxicas de interés sanitario por no contar con los factores para todas las actividades económicas analizadas. Los factores de vertimiento empleados para estimar las cargas contaminantes son foráneos. (Orjuela, 2013)

Indicador	Descripción	Ventajas y desventajas
Índice de Macroinvertebrados Acuáticos (IMA)	Método Biological Monitoring Working Party (BMWP) ha sido adaptado para Colombia por Gabriel Roldán BMWP/Col (2003), como una primera aproximación para evaluar estos ecosistemas acuáticos ³ . Este índice se aplica a muestreos cualitativos (presencia o ausencia) con base en el conocimiento que actualmente se tiene en Colombia sobre los diferentes grupos de macroinvertebrados hasta el nivel de familia. A cada una de las familias se le asigna un puntaje, según la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM, 2013).	Ventajas: macroinvertebrados como los mejores indicadores de calidad del agua: son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar; son sedentarios en su mayoría y, por tanto, reflejan las condiciones de su hábitat; son relativamente fáciles de identificar; representan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo; proporcionan información para integrar efectos acumulativos; poseen ciclos de vida largos (semanas y/o meses). Las comunidades de macroinvertebrados presentan diferentes respuestas a la contaminación. (Roldán, 2016)
Índice de contaminación por mineralización ICOMI	El procedimiento metodológico para las formulaciones de este índice corresponde a la propuesta por Ramírez (1997) y Ramírez (1999), integra conductividad, dureza y alcalinidad. ICOMI= 1/3 (I. conductividad + I. dureza+ I. alcalinidad) donde $I. conductividad = \log_{10} I. conductividad$ $= 3.26 + 1.34 \log_{10} conductividad \left(\frac{\mu S}{cm} \right)$ $I. Conductividad = 10^{\log I. conductividad}$ Conductividades mayores a $270 \left(\frac{\mu S}{cm} \right)$, tienen un índice de conductividad =1 $I. dureza = \log_{10} I. dureza = -9.09 + 4.40 \log_{10} Dureza \left(\frac{mg}{lt} \right)$ $I. Dureza = 10^{\log I. dureza}$	Ventaja: los ICO son complementarios en sentido ecológico, permiten precisar problemas ambientales, así como profundizar en la identificación de especies con potencial indicador. La formulación y consolidación de los índices se llevó a cabo con información de condiciones nacionales. Los cuatro índices de contaminación son complementarios y por lo tanto permiten visualizar situaciones ambientales perfectamente distintas. Gracias a la disgregación de los índices se pueden evaluar situaciones específicas de contaminación mediante el empleo de alguno de ellos, monitoreando tan solo las variables que conciernen a este. Este hecho permite

Indicador	Descripción	Ventajas y desventajas
	Durezas mayores a 110 mg/l tienen un índice =1 Durezas menores a 30 mg/l tienen un índice =0 $I. alcalinidad = -0.25 + 0.005 \text{ alcalinidad } \left(\frac{mg}{lt}\right)$ Alcalinidades mayores a 250 mg/l tienen un índice de 1 Alcalinidades menores a 50 mg/l tienen un índice de 0 (Ramírez, Restrepo , & Viña , 1997)	por un lado, ahorro de costos y por el otro lado resultados concretos en relación al problema bajo estudio. (Ramírez, Restrepo , & Viña , 1997)
Índice de contaminación por materia Orgánica ICOMO	Se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionaron demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, las cuales en conjunto recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como lo demuestra la ausencia de correlaciones entre ellas. Se determina mediante la ecuación: $ICOMO = \frac{1}{3}(I.DBO + I.coliformes + I.oxigeno\%)$	Ventaja: La contaminación por materia orgánica que usualmente es la de mayor interés, puede definirse en forma concreta, sin interferencias o ruidos causados por el comportamiento de otras variables. (Ramírez, Restrepo , & Viña , 1997)
Índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS	Se determina tan solo mediante la concentración de sólidos suspendidos mediante la siguiente formula $ICOSUS = -0.02 + 0.0003 \text{ solidos suspendidos } \left(\frac{mg}{l}\right)$ (Ramírez, Restrepo , & Viña , 1997)	Ventaja: ICOSUS refleja la concentración de sólidos suspendidos y muestra relación directa con el ICOTRO durante la época de lluvia. (Ramírez, Restrepo , & Viña , 1997)
Índice de contaminación por trofia ICOTRO	Se calcula sobre la base de la concentración de fosforo total en mg/l Oligotrofia: <0.01 Mesotrofia: 0.01-0.02 Eutrofia: 0.02-1.00 Hipertrofia > 1.00 (Ramírez, Restrepo , & Viña , 1997)	
Índice de contaminación por temperatura ICOTEMP	El interés de la formulación de este índice está enfocado tácticamente a la evaluación de vertimientos, por tanto se formuló sobre la base de la diferencia ente el vertimiento y el cuerpo receptor. $ICOTEMP = -0.49 + 1.27 \text{ LOG } (t \text{ vertimiento} - t \text{ receptor})$ Si la diferencia de temperatura es menor a 2.5°C, ICOTEMP = 0 Si la diferencia de temperatura es mayor a 15.0 °C, ICOTEMP= 1	Ventaja: está enfocado tácitamente a la evaluación de vertimientos, por cuanto las temperaturas de numerosos vertimientos son elevadas a causa de su uso en refrigeración u otros procesos industriales. Busca evaluar si un cauce de alta montaña se vería impactado por vertimientos con aguas cálidas, o cuerpos

Indicador	Descripción	Ventajas y desventajas
	(Ramirez, Restrepo , & Cardeñosa, 1999)	cálidos con vertimientos de bajas temperaturas. (Ramirez, Restrepo , & Cardeñosa, 1999)
Índice de contaminación por pH	Se trata de un índice complementario e independiente que identifica condiciones ambientales particulares. $ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1+e^{-31.08+3.45pH}}$ (Ramirez, Restrepo , & Cardeñosa, 1999)	Ventaja: se tomaron como base datos obtenidos en Casanare, es una ecuación que permita relacionar el valor del parámetro y su incidencia en contaminación. (Ramirez, Restrepo , & Cardeñosa, 1999)
Índice de calidad del agua para corrientes superficiales ICACOSU	índice de calidad del agua ICA global o total que tiene en cuenta dos componentes: el primero se denomina ICA fisicoquímico agregado, ICAfa y el segundo, un componente debido al caudal, ILCAG y se puede expresar matemáticamente como: $ICAg = ICA_{fa} \times 0.8 + ILCAG \times 0.2$ Dónde: ICAg es el Índice de calidad general ICAfa es el índice agregado de calidad fisicoquímica y bacteriológica ILCAG, el índice lótico de capacidad ambiental general (referido al caudal medido). Indicador elaborado por la universidad de pamplona para (IDEAM, 2007)	Ventaja: Reduce grandes volúmenes de datos de campo a un simple valor numérico. El índice toma en cuenta una amplia gama de factores ambientales incluyendo contaminantes específicos y características claves de la columna de agua. El incluir el caudal tiene una incidencia significativa en la capacidad de las corrientes superficiales para la asimilación de contaminantes y su consecuente auto recuperación. No tiene en cuenta eventos físicos trascendentes. Desventaja: las curvas funcionales empleada de coliformes fecales y pH no son a partir de datos nacionales. (IDEAM, 2007)

6.1.1.5 Modelación de la calidad del agua superficial.

La modelación de la calidad del agua es una técnica de análisis para reproducir una serie de eventos a través del manejo de las expresiones matemáticas que representan los diferentes componentes de la calidad del agua a estudiar, se utilizan para conocer los cambios resultantes en la calidad de los cuerpos de agua como respuesta a las cargas de los vertimientos. Se basan en el comportamiento de los contaminantes en el agua, es decir, en los cambios de sus concentraciones en el tiempo y en el espacio, los cuales dependen de las características específicas de los cuerpos hídricos y de la interacción de las sustancias contaminantes con otras sustancias presentes en el agua (IDEAM, 2013).

La modelación se constituye como una herramienta de gran utilidad para la administración del recurso hídrico por parte de las autoridades ambientales, toda vez que permite caracterizar las transformaciones que ocurren en los cuerpos de agua superficiales continentales, analizar dichas transformaciones en zonas con escasa información y orientar la toma de decisiones mediante la simulación de diferentes escenarios futuros, entre otras aplicaciones. A nivel nacional está es requerida para el desarrollo de instrumentos de planificación y administración del recurso hídrico como los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH), y como parte de la Evaluación Ambiental del Vertimiento (EAV), y la estimación de la zona de mezcla en vertimientos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2018). Para tal fin el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible adopta la “Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico para Aguas Superficiales Continentales” a través de la resolución 959 de mayo de 2018.

A nivel Nacional se encuentra un marco de modelación de Calidad de agua propuesto por (Camacho & Diaz Granados, 2003) cómo se observa en la Figura 3. Allí estipula como primer paso la recopilación de información correspondiente a usos actuales y prospectivos del agua de dicha fuente y de las características y cantidad de carga contaminante que recibe a lo largo de su recorrido y finaliza con la implementación y análisis de simulaciones.

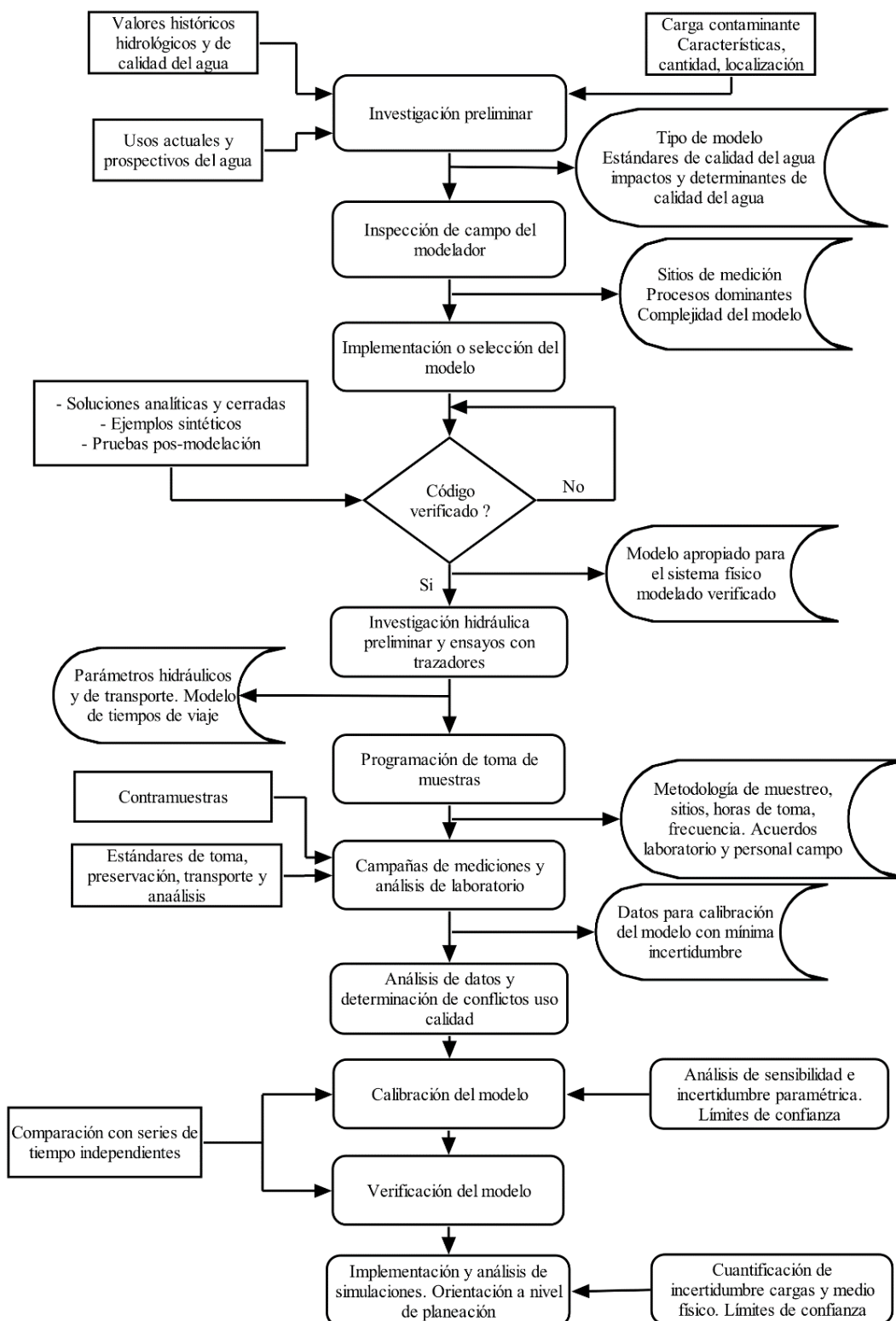


Figura 3. Marco de Modelación (Camacho & Diaz Granados, 2003)

Por otro lado, es importante hacer referencia a la existencia de diferentes modelos de calidad del agua que pueden agruparse de acuerdo con la variación en el tiempo en dinámicos (WASP, HEC-RAS, MIKE 11, QUASAR extendido) y estado estable (QUAL2K).

Los primeros se caracterizan por simular la variación espacial y temporal de la cantidad y la calidad es decir que los resultados del modelo varían en el tiempo, la base de datos de entrada es una serie de tiempo por cada variable. Esto implica una demanda muchísimo mayor que la de un modelo permanente. Por su parte los modelos en estado estable se caracterizan porque el flujo y calidad no cambian en el tiempo, la cantidad y la calidad pueden variar en la distancia (flujo no uniforme) y el resultado obtenido es la representación en equilibrio de las variables (Camacho L. A., 2018).

A continuación, se relacionan algunos de estos modelos y una breve descripción con sus ventajas y desventajas:

- **QUAL2-K (Chapra, 2001 – EPA 2002):** Modelo de calidad de agua de ríos y arroyos unidimensional destinado a representar un canal bien mezclado tanto vertical como lateralmente con sistemas hidráulicos de estado estacionario y flujo estable no uniforme (Environmental Protection Agency EPA, s.f.). Es de libre acceso y se encuentra en el lenguaje visual Basic y opera con el programa Excel de Microsoft Office; se conforma de varias hojas electrónicas donde se deben especificar los datos de la corriente a modelar. Es necesario especificar las condiciones iniciales aguas arriba, la hidráulica de cada tramo, las condiciones meteorológicas, las diferentes fuentes distribuidas y puntuales que existan a lo largo del tramo, entre otros. (Diaz, 2004).

Ventaja: Gratuito y el más utilizado en el ámbito internacional para la modelación de calidad de agua en ríos y corrientes de agua superficial. Considera condiciones anaeróbicas. La interacción de agua sedimentos se maneja endógenamente. Facilidad de uso y amigable.

Desventaja: No incluye análisis de incertidumbre, modelación de componentes tóxicos ni reservorios y no apto para hidráulica de condiciones no estables (Camacho L. A., 2018).

- **QUASAR (Whitehead, et al. 1997):** Permite la modelación dinámica de la calidad del agua en una red hídrica de canales conectados con vertimientos puntuales. El módulo permite la modelación del transporte y destino de un conjunto limitado de componentes de calidad del agua, pero puede ser fácilmente extendido a otros determinantes. El modelo utiliza la ecuación de transporte de solutos ADZ apropiada para ríos con piscinas o zonas muertas de flujo lento.

Ventaja: Software muy versátil que permite la modelación con SIMULINK en forma iconográfica. Puede utilizarse para control en tiempo real y análisis en línea del comportamiento de la calidad del cuerpo de agua.

Desventaja: Requiere modificación para considerar condiciones anaeróbicas en algunos tramos, El módulo de temperatura requiere modificación por uno más sofisticado como el de Qual2k o WASP (Camacho L. A., 2018).

- **Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) Desarrollado por Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA:** Es un modelo dinámico para sistemas acuáticos que incluye el análisis de columnas de agua y de subcapas bénticas. El programa básico puede representar los procesos variables en el tiempo de advección, dispersión, cargas puntuales y difusas y cambios en las condiciones de frontera. La estructura de WASP permite incluir de forma sencilla subrutinas cinéticas para definir problemas específicos del cuerpo de agua analizado. El programa permite especificar coeficientes, flujos advectivos, cargas de contaminantes y condiciones de frontera variables en el tiempo.

Ventaja: Software gratuito muy completo para la modelación de constituyentes de calidad del agua. Modela gran cantidad de procesos para

el análisis de calidad del agua y permite ser modificado para ajustarse a las características propias de cada proyecto.

Desventaja: Se encuentra desacoplado de un modelo hidrodinámico robusto. Solamente incluye el análisis hidráulico de onda cinemática por lo cual hidráulicamente no es un software fuerte y por lo tanto requeriría utilizar un modelo hidrodinámico de forma paralela. La interfaz para ingreso de datos e información sobre las características del río es bastante compleja y poco amigable demandando un esfuerzo importante para el montaje de un tramo de río. El software se enfoca principalmente a la modelación de lagos y embalses, y aunque es posible la modelación de ríos (tal como se reporta en la literatura) el montaje es bastante complejo. No contiene de manera predeterminada la cinética y los procesos que se presentan en condiciones anaerobias (Camacho L. A., 2018).

- **HEC - RAS (Versión 4.0) desarrollado por ingenieros de la armada de los Estados Unidos:** Está destinado a permitir al usuario realizar análisis de calidad del agua en sistemas fluviales. Incluye un módulo de Advección – Dispersión, contando adicionalmente con la capacidad de modelar temperatura del agua.

Ventaja: Software versátil gratuito, sencillo de manejar ampliamente utilizado para simulaciones hidrodinámicas. La interfaz para manejo de datos de calidad del agua es amigable y altamente flexible, cómoda para el trabajo del usuario.

Desventaja: Permite modelar un número limitado de componentes de calidad del agua. El código es cerrado y no se puede modificar. No contiene la cinética y los procesos que se presentan en condiciones anaerobias (Camacho L. A., 2018).

- **MIKE-11 Desarrollado por DHI group:** permite la simulación hidráulica, de calidad de agua y transporte de sedimentos en estuarios, ríos, sistemas de irrigación, canales y otros cuerpos de agua. Es un modelo unidimensional

dinámico para diseño detallado, manejo y operación de sistemas simples y complejos de canales y ríos. Funciona a través de módulos que son acoplados en un proyecto.

Ventaja. Software ampliamente utilizado en el campo de la ingeniería en un gran número de aplicaciones. Uso en proyectos de gran escala para consultoría e investigación.

Desventaja: Dado que es un software comercial de alto costo, los procesos, ecuaciones, cinética y desarrollo de códigos que utiliza como solución el modelo son cerrados y no se conocen en su totalidad y se mantienen por DHI bajo reserva. Las planillas predeterminadas, no contiene la cinética y los procesos que se presentan en condiciones anaerobias (Camacho L. A., 2018).

6.2 ESTADO DEL ARTE

6.2.1 Calidad del agua en el contexto nacional y regional.

A nivel nacional y regional se han realizados estudios que buscan determinar la calidad del recurso hídrico, existen investigaciones que permiten un acercamiento al tema de la calidad del agua, por ejemplo, los resultados presentados para la cuenca río Bogotá, (perteneciente al área hidrográfica Magdalena - Cauca y zona hidrográfica Alto Magdalena), dentro de la cual se encuentra la subcuenca del río Ápulo y las microcuencas en estudio quebradas Quijana y Carbonera.

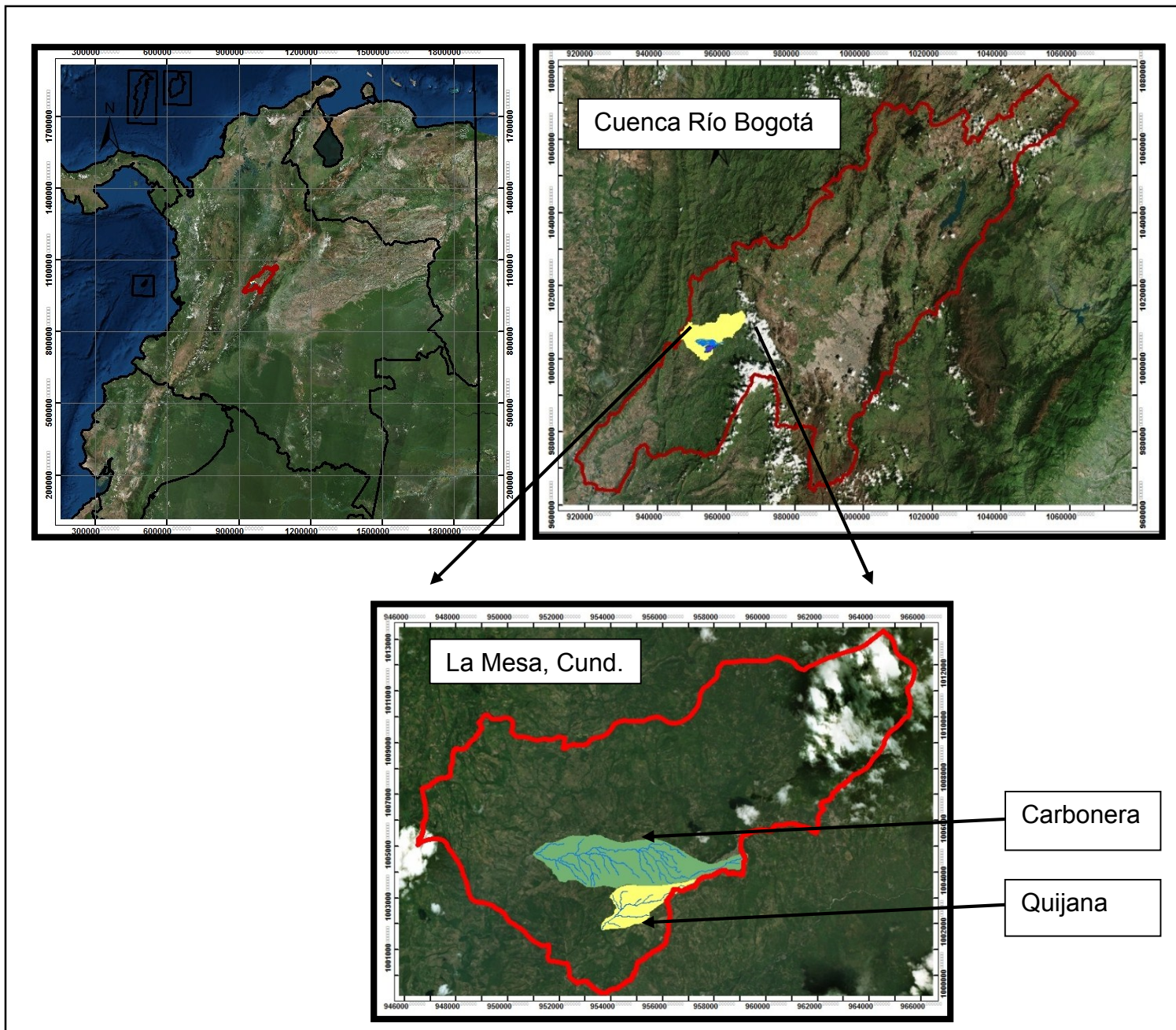


Figura 4. Localización de microcuencas a nivel cuenca y nacional.

Dentro de estos estudios se encuentra el Estudio Nacional del Agua (ENA), elaborado por el IDEAM, con versiones 2010, 2014 y 2018.

A continuación se muestra la carga contaminante de la subzona hidrográfica del río Bogotá en términos de aporte de DBO Y DQO (toneladas /año) en cada una de las versiones del ENA, evidenciando un aumento de éstas a través del tiempo, esta información demuestra que día a día las concentraciones de contaminantes son mayores en los cuerpos hídricos, y en este caso en la subzona hidrográfica a la cual pertenecen las microcuencas de estudio.

Tabla 2. Carga contaminante subzona hidrográfica Río Bogotá.

ENA	Área hidrográfica	Zona hidrográfica	Subzona hidrográfica	DBO (T/AÑO)	DQO (T/AÑO)
2010	Magdalena – Cauca	Alto Magdalena	Río Bogotá	165.525	375.743
2014				180.781	402.854
2018				Doméstico 149.756 Industrial 98.128	Doméstico 267.402 Industrial 338.882

Fuente: (IDEAM , 2014) (IDEAM, 2019)

Otro aporte importante del Estudio Nacional del agua 2018, es el cálculo del Índice de Calidad de Agua ICA, la mayoría de los puntos de monitoreo se concentra en el área hidrográfica Magdalena–Cauca con el 76 % (IDEAM, 2019). Haciendo un acercamiento a la cuenca donde se localizan las Quebradas Carbonera y Quijana (cuenca río Bogotá) se evidencia que el comportamiento a lo largo de esta corriente indica condiciones de calidad con categoría Regular hasta el municipio de Tocancipá, y Mala, del municipio de Cota, hasta el municipio de Girardot, presentando los valores más bajos en la estación Alicachí, a la salida del municipio de Soacha y estación La Campiña en el municipio de Girardot, antes de llegar al río Magdalena, debido a vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales. (IDEAM, 2019)

A nivel regional el estudio que permite conocer las condiciones físicas y químicas del agua es el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río

Bogotá (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR, 2017), adoptado mediante resolución 957 de 2019 emitida por la CAR.

Dentro de este POMCA se muestra la caracterización de la calidad del agua de la cada una de las subcuencas del río Bogotá. A partir de dicha información se generaron los indicadores ICA e IACAL.

Para la subcuenca del río Apulo en el punto de desembocadura de éste al río Bogotá en la estación numero 75 denotada en el POMCA (coordenada W 943.295 N 991.358) el valor del ICA fue de 0.3484 lo que representa un índice de calidad “Malo” en Época de Lluvia (campaña 2016-I) y un valor ICA de 0.5774 lo que representa un índice de calidad “Regular” Época seca (Campaña 2015-II). Con respecto al índice de alteración de la calidad del agua IACAL, para año medio en la subcuenca del río Apulo se obtuvo un IACAL Medio-Alto. (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR, 2017). Estos datos reflejan la realidad que la calidad del agua de la subcuenca del río Apulo, producto de los vertimientos de aguas residuales que se realizan a través de sus afluentes como Quebrada Quijana y Carbonera, y a lo largo del río por centros poblados provenientes desde la parte alta, sin embargo es importante fortalecer la red de monitoreo en la cuenca baja del río Bogotá como se menciona en la fase de Formulación en el “Programa de seguridad hídrica en la cuenca del río Bogotá”

6.2.2 Modelación de la calidad del agua en Colombia.

Con respecto a la modelación de la calidad del agua a nivel nacional en la Guía Técnica para la Formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico PORH (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2014), se define la siguiente estructura conceptual.

1. Protocolo o marco de modelación.
2. Síntesis de la información preliminar para definir el modelo conceptual.

3. Esquemas que indiquen: entradas, salidas, fuentes, sumideros y procesos físicoquímicos y biológicos dominantes identificados en el sistema a modelar.
4. Segmentación inicial del sistema, teniendo en cuenta la definición de los tramos o sectores de análisis establecidos en el paso 2.12., y, si es necesario, de acuerdo con criterios de estabilidad y precisión numérica para la implementación del código del modelo seleccionado.
5. Definición de los parámetros de calidad del agua a simular.
6. Descripción general de la estructura del modelo seleccionado: procesos modelados, ecuaciones matemáticas, variables de estado, parámetros del modelo, condiciones de frontera, condiciones iniciales, método de solución numérica o analítica, plataforma de solución, ventajas, limitaciones y suposiciones.
7. Definición de criterios para la calibración y validación del modelo, lo cual incluye la descripción de la función objetivo, las tasas, constantes y velocidades de transformación por calibrar, y rangos, algoritmo(s) de calibración y validación y criterios de aceptabilidad del modelo. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2014).

A nivel nacional se han realizado modelaciones de calidad del agua, y ha sido tema de investigaciones de algunas universidades, a continuación se relacionan alguno de estos estudios:

Tabla 3. Estudios de modelación de calidad de agua en Colombia.

TITULO	OBJETIVO GENERAL	RESULTADOS	FUENTE
Modelación dinámica de la calidad del agua Del río Bogotá- implementación, calibración y validación de Modelos de transporte de solutos y de calidad del agua	Llevar a cabo la modelación dinámica de calidad del agua del río Bogotá en su cuenca alta, media y baja, en actividades conjuntas que permitan estimar la capacidad de asimilación de carga contaminante del río y determinar las condiciones del río en la actualidad y a futuro.	Como producto final de la implementación, calibración y validación de los modelos de transporte, se desarrolló una herramienta para la simulación de tiempos de viaje del río Bogotá, la cual utiliza el modelo integrado de transporte MDLC-ADZ para simular los tiempos de arribo y tiempos de viaje medio de un soluto entre dos secciones cualquiera del río, utilizando datos de las tres campañas de mediciones realizadas, o series de datos sintéticas según la opción escogida por el usuario del modelo.	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – Universidad Nacional de Colombia. Contrato Interadministrativo 9-07-26100-1059 de 2008
Estado del recurso hídrico en la cuenca hidrográfica del río Bogotá, en términos de calidad y cantidad; y escenarios de metas de acuerdo al análisis de las condiciones que más se ajusten al cumplimiento del objetivo de calidad.	Dar a conocer a los usuarios de la CAR y al público en general, el estado del recurso hídrico en la cuenca del río Bogotá, con base en los resultados de la modelación de calidad del agua a partir de los escenarios propuestos por la autoridad ambiental para el establecimiento de las metas globales de carga contaminante en cumplimiento del artículo 2.2.9.7.3.5 del Decreto 1076 de 2015.	El modelo implementado en QUAL2Kw es una representación matemática del comportamiento del río Bogotá, que se basa en la información hidrológica, hidráulica y de calidad medida en la corriente principal, afluentes y vertimientos. Los resultados se presentan como gráficas de concentración de SST, DBO5 y OD en función de la ubicación aguas abajo.	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR- Estado del Recurso Hídrico Cuenca Río Bogotá-2015
Estudio del modelamiento de la calidad del agua Del río Sinú, Colombia	Implementar el modelo de calidad del agua QUAL2KW en el río Sinú, Colombia, en el tramo central entre la central hidroeléctrica de Urrá y la desembocadura al mar Caribe, empleando la herramienta de los algoritmos genéticos (AG) disponible en el modelo	El modelo de calidad de aguas no podía ser calibrado con la información de campo disponible. Los resultados de OD del modelo presentaron un buen ajuste a los datos de campo, tanto en la etapa de calibración como en la de validación. Sin embargo, debe mejorarse la confiabilidad y la capacidad predictiva del modelo, debido al problema de equifinidad encontrado entre los	Artículo científico Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Diana Marcela Arroyave Gómez; Agustín Alejandro Moreno Tovar; Francisco Mauricio Toro Botero; Darío de Jesús Gallego Suárez; Luis Fernando Carvajal Serna. 2012

TITULO	OBJETIVO GENERAL	RESULTADOS	FUENTE
	para la calibración automática de los parámetros cinéticos	parámetros. Para lograr esta mejora, es necesario introducirle al modelo información adicional, especialmente de campañas de campo bajo diferentes condiciones hidrológicas, con información completa de variables de calidad.	
Modelación espacial de la calidad del agua en el río Tapartó, municipio de Andes, Antioquia, Colombia	Analizar la calidad de agua del río Tapartó a partir de resultados obtenidos de la medición de variables hidráulicas, fisicoquímicas, y de los índices de diversidad de Shannon-Weaver (1949), dominancia de Simpson (1949) y equidad de Pielou (1966), y biótico como el BMWP/Col, empleando macroinvertebrados acuáticos, obtenidos a través de muestreos cuantitativos y cualitativos.	Según el modelo espacial las zonas de mayores aportes de contaminación están ubicadas desde la E1 a la E3. Esto se debe a las actividades antrópicas que se desarrollan en la cuenca principalmente la caficultura donde hay procesos de siembra y recolección, que aportan MO al río. De acuerdo con el modelo de calidad del agua, los valores hidráulicos, fisicoquímicos, el dendrograma y el índice de similaridad de Jaccard (este último tiene que ver con los macroinvertebrados acuáticos), se concluye que el río Tapartó presenta cambios en la calidad del agua que están vinculados con los diferentes procesos de aprovechamiento del café que se dan a través del año.	Artículo científico. Revista MUTIS Vol. 6 (1) pp. 16-2 Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Grupo GeoLimna. Julián Andrés Ruiz Toro; Fabio de Jesús Vélez Macías; Orlando Caicedo Quintero; Néstor Jaime Aguirre Ramírez.2016
Water quality modeling of the Medellín river in the Aburrá Valley	Implementar el modelo Qual2Kw en los primeros 50 kilómetros del río Aburrá-Medellín, en sus condiciones más críticas de calidad de agua, que corresponden a caudales bajos.	Una vez obtenido el modelo calibrado, se evaluaron tres escenarios de recuperación (corto-2años, mediano- 5años y largo plazo-10años). En el primer escenario sólo se considera mejoras en el saneamiento de algunas quebradas de acuerdo con el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), mientras que los escenarios a mediano y largo plazo consideraron la operación de la Planta de Tratamiento de	Artículo científico. Revista DYNA, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Lina Claudia Giraldo-B; Carlos Alberto Palacio, Rubén Molina & Rubén Alberto Agudelo.2014

TITULO	OBJETIVO GENERAL	RESULTADOS	FUENTE
		Aguas Residuales (PTAR) de Bello y un aumento en la colección de aguas residuales. Los resultados obtenidos evidencian el impacto positivo del funcionamiento de la PTAR de Bello en los balances de DBO5, oxígeno disuelto y Nitrógeno.	
Modelación de la calidad del agua en el interceptor río Bogotá en los tramos Fucha-Tunjuelo- Canoas	busca realizar una estimación de la calidad del agua entregada por el interceptor río Bogotá en los tramos Fucha- Tunjuelo- Canoas al río Bogotá a su llegada al Embalse del Muña en Alicachin y comparar estos resultados con los valores actuales de calidad de agua del río Bogotá sin la existencia de los interceptores.	Los resultados muestran que la calidad del agua en Alicachin con y sin interceptores es prácticamente la misma. Esto se debe a que el río se encuentra en condiciones de saturación y la capacidad de degradar materia orgánica es mínima. Por esta razón, la poca degradación que se observó en el interceptor es comparable con la del río	Tesis "Modelación de la Calidad del Agua en el Interceptor rio Bogotá en los Tramos Fucha-Tunjuelo- Canoas" Universidad de los Andes. Maestría en ingeniería civil.2004

6.2.3 Gestión y gobernanza del agua

El presente proyecto contempla adicionalmente la generación de una estrategia de gestión que permita mejorar las condiciones fisicoquímicas del agua de las quebradas Quijana y Carbonera, para lo cual a continuación se presentan unos estudios desde la parte regional propuestos desde la autoridad ambiental Corporación autónoma Regional de Cundinamarca CAR:

Tabla 4. Estrategias para el mejoramiento de la calidad de agua.

TITULO	OBJETIVO GENERAL	RESULTADOS	FUENTE
Propuesta de empoderamiento comunitario en torno a la protección del agua. Caso de estudio de San Juan de Rioseco, Cundinamarca.	Implementar espacios para la formación y fortalecimiento de la participación ciudadana en la gestión ambiental a partir de la metodología de Agendas Interinstitucionales Ambientales AIA.	Modelo de gobernanza del agua efectivo, los actores sociales ejercen un rol activo, articulan esfuerzos con la institucionalidad y las organizaciones no gubernamentales. El modelo consiste en diagnóstico y sensibilización inicial, construcción participativa de la AIA, interacción con actores de interés, generación de acuerdos y compromisos, seguimiento y evaluación.	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.2017
Proceso socio ambiental de autogestión en torno a la recuperación de la microcuenca de la quebrada La Aguilita. municipio de Quipile (Cundinamarca)	fortalecer el tejido social histórico y actual involucrado con el uso y manejo de la microcuenca, además de reforzar, destacar y transferir esas habilidades comunitarias y de identidad regional que permitieron la adecuada gestión del conflicto ambiental, con el objeto de que otras poblacionales aprendan, repliquen, y comuniquen dichos saberes y experiencias.	Un proceso de gestión comunitario que ha desarrollado (en conjunto con instituciones como la CAR) un destacado ejercicio para dar solución a diversos conflictos ambientales y proyectos de desarrollo generados en su momento, por la necesidad apremiante de contar con un servicio permanente, adecuado y sostenible de suministro de agua. La comunidad organizada, particularmente en el área rural, fue gestando acciones de desarrollo para suplir muchas de sus necesidades. A través de importantes líderes sociales y con la gestión, el trabajo y los recursos comunitarios se desarrollaron importantes obras como la apertura de caminos para la distribución de los productos del campo, la tan necesaria electrificación rural y sobre todo la generación de un importante proceso de gestión socio ambiental para impulsar un uso adecuado, incluyente y sostenible del recurso hídrico proveniente del nacimiento de la microcuenca La Aguilita.	Documentación e iniciativa Socio ambiental de la jurisdicción CAR. Tomo I. octubre 2016
Red de Reservas de la Sociedad Civil de la Laguna de Pedro Palo	Constituir la reserva de la sociedad civil para la conservación del ecosistema aledaño a la laguna de Pedro Palo.	Los propietarios de los predios cercanos a la Laguna de Pedro Palo han constituido una red de reservas de la sociedad civil para avanzar en la conservación ambiental de esta zona desde hace varios años, de manera que han logrado estar de acuerdo a la normatividad y las restricciones de la zona de reserva forestal protectora productora declarada por la CAR, aportando a la conservación de bosques y el recurso hídrico, que han hecha de esta una de las lagunas más conservadas del departamento.	Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá. (Orarbo, 2018)

6.3 MARCO NORMATIVO Y LEGAL

A nivel nacional y regional se han generado un marco normativo con respecto al uso y calidad del agua. A continuación, se relacionan las principales normas aplicables y vigentes para el proyecto.

Tabla 5. Marco Normativo y legal

ITEM	AREA	NORMA	FECHA	EMITIDA POR	OBJETO GENERAL	OBJETO ESPECIFICO
1	Usos de agua y residuos líquidos	Decreto 1594	Junio 26 de 1984	Presidencia de la Republica de Colombia.	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.	Destinación y uso de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas, estuarinas y servidas, vigiladas por la EMAR (entidad encargada del manejo y administración del recurso).
2	Calidad de agua	Acuerdo 43	Octubre 17 de 2006	Corporación Autónoma Regional (CAR)	Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020	Elaboración de la propuesta de Metodología para la determinación de los objetivos de calidad de la cuenca del río Bogotá, en la cual recoge las evaluaciones de calidad cualitativas y cuantitativas disponibles respecto del recurso, y desarrolla una metodología para determinar los objetivos de calidad para el río Bogotá
3	Instrumento de planificación Cuencas hidrográficas	Decreto 1640	Agosto 2 de 2012	Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.	Establece los instrumentos de planificación a nivel macrocuencas, zonas hidrográficas de diferente nivel y orienta a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible en la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Responde a la necesidad de incorporar los lineamientos y directrices de la Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico – PNGIRH (2010) en relación con la

ITEM	AREA	NORMA	FECHA	EMITIDA POR	OBJETO GENERAL	OBJETO ESPECIFICO
						estructura de planificación de cuencas hidrográficas.
4	Descontaminación	Sentencia río Bogotá	Marzo 28 de 2014	Consejo de Estado	Mediante la cual se ordena tomar medidas para la descontaminación del río Bogotá.	Realizar las diferentes sanciones a los actores que hacen parte de la cuenca del río Bogotá y tomar acciones de cumplimiento obligatorio para mejorar la calidad del agua.
5	Aguas residuales	Resolución 1207	Julio 25 de 2014	Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible	Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.	La presente resolución tiene por objeto establecer las disposiciones relacionadas con el uso del agua residual tratada y no aplica para su empleo como fertilizante o acondicionador de suelos.
6	Calidad de agua	Resolución 0631	Marzo 17 de 2015	Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.	Igualmente, se establecen los parámetros objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o servicios.
7	Ambiental	Decreto único reglamentario 1076	Mayo 26 de 2015	Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible"	Establece las directrices para el manejo adecuado de los recursos naturales, en el Artículo 2.2.3.3.1.1. y 2.2.3.3.1.7. Establece el uso adecuado del recurso hídrico y la implementación de modelos de simulación de calidad para efectos de ordenamiento del recurso hídrico.
8	Calidad de agua	Acuerdo 36	Diciembre 22 de 2015	Corporación Autónoma Regional (CAR)	Por la cual se establece la meta global de carga contaminante del DBO5 y SST para la cuenca del Río Bogotá para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2019	Para establecer esta meta global se tendrá en cuenta lo previsto en los planes de saneamiento y manejo de vertimientos, permisos de vertimientos, calidad del recurso en los cuerpos de agua.

ITEM	AREA	NORMA	FECHA	EMITIDA POR	OBJETO GENERAL	OBJETO ESPECIFICO
9	Acotamiento fuentes hídricas	Decreto 2245	Diciembre 29 de 2017	Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible	Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas.	Se establecen los criterios técnicos con base en los cuales las Autoridades Ambientales competentes realizarán los estudios para el acotamiento de las rondas hídricas en el área de su jurisdicción.
10	Calidad de agua	Decreto 050	Enero 16 de 2018	Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto número 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de las Macrocuenas (Carmac), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones.	Ordenamiento del recurso hídrico es un proceso de planificación mediante el cual se fija la destinación y uso de los cuerpos de agua continental superficial y marino.
11	Protección Ronda hídrica	Resolución 2352	Febrero 20 de 2018	Corporación Autónoma Regional (CAR)	Por medio del cual se modifica la Resolución 280 del 12 de febrero de 2015, mediante la cual se determinó la zona de protección del río Apulo.	Delimitación de ronda de protección del río Apulo, la cual comprende la franja delimitada entre la línea de niveles promedios máximos en los últimos 15 años y una línea paralela de 30 metros a lado y lado.
12	Ordenamiento	Resolución 957	Abril 2 de 2019	Corporación Autónoma Regional (CAR)	Por medio de la cual se aprueba el ajuste y la actualización del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá.	Articulación de programas y líneas de acción para la recuperación del río Bogotá.

7 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se planteó de manera general una fase de diagnóstico de la calidad fisicoquímica del agua que contempla ocho actividades y una fase de diseño de la estrategia, la cual permita mejorar las condiciones de calidad de las quebradas Carbonera y Quijana. En la Figura 5 se observa un mapa conceptual con las fases y actividades detalladas.

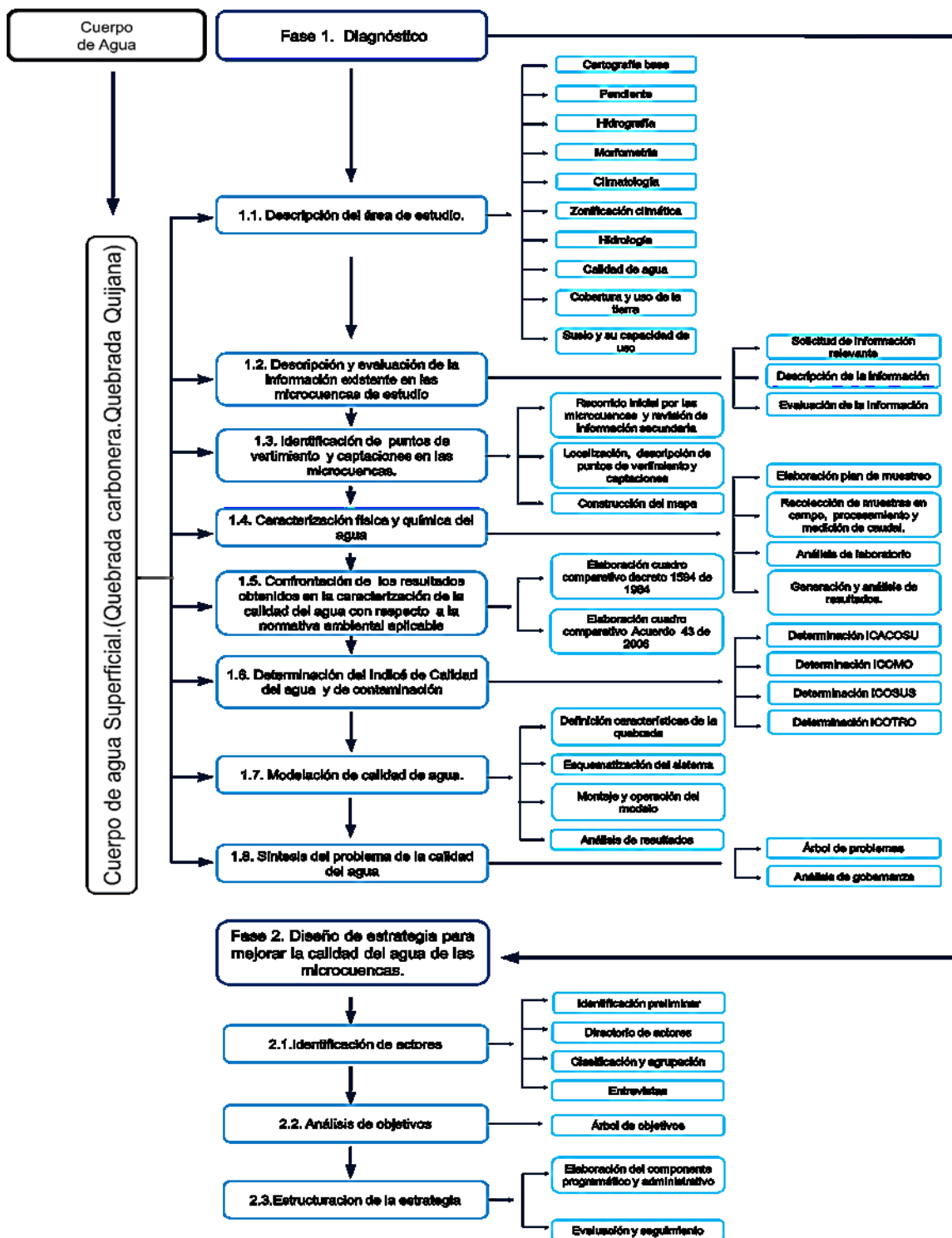


Figura 5. Fases del proyecto y actividades

7.1 FASE DE DIAGNÓSTICO

7.1.1 Caracterización del área de estudio.

La caracterización del área de estudio se realizó de acuerdo a la metodología planteada en la Guía Metodológica para la Formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas PMAM (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018) donde establece a) caracterización básica transversal: cartografía base, y b) caracterización específica para cada problemática, donde se incluye el análisis de los componentes abiótico y biótico.

A partir de información secundaria obtenida a través de la página oficial de la alcaldía del municipio de La Mesa, el Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá obtenido a través de la página oficial de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR (2018) y documentos oficiales se realizó la caracterización del componente físico (cartografía base, pendiente, hidrografía, morfometría, climatología, zonificación climática, hidrología, calidad del agua, cobertura y uso de la Tierra, suelos y su capacidad de uso). Es importante mencionar que la principal fuente de información secundaria para la caracterización del área de estudio es el POMCA río Bogotá (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR, 2017), ya que es la información confiable más actualizada con respecto a componentes bióticos y abióticos.

A continuación, se realiza una breve descripción del procedimiento metodológico realizado para cada elemento de la caracterización:

Cartografía base: Con respecto a la delimitación de las microcuencas esta se efectuó a partir de la información cartográfica disponible del POMCA del río Bogotá 2018 específicamente el DEM, curvas de nivel y red hídrica a través de la herramienta de sistema de información geográfica ARCGIS.

Pendiente: A partir del DEM de tamaño de pixel 12.5, se realizó el procedimiento en ArcGIS, haciendo uso de ArcToolbox, spatial analyst tools, surface y slope. Teniendo como resultado el mapa de pendiente en (%) que posteriormente es clasificado y permite conocer el tipo de relieve de las microcuencas.

Hidrografía: Teniendo en cuenta la red hídrica del POMCA del río Bogotá y las coordenadas tomadas en el trabajo de campo, se genera el perfil longitudinal de las quebradas a partir de Google Earth, de esta manera se conoce cota mínima, máxima, longitud del cauce principal y permite definir parte alta, media y baja de las microcuencas a través de un mapa elaborado en ArcGIS.

Morfometría: Basado en la divisoria de agua de las microcuencas, se determina el área, el perímetro, la longitud axial, ancho promedio y la forma de la cuenca en ArcGIS.

Climatología: Para el desarrollo del componente climatológico se tiene como base el mapa multianual de precipitación y temperatura del POMCA río Bogotá e información de la estación climatológica de la CAR con código 2120639. En ArcGIS se hace uso de las capas mencionadas y la divisoria de la aguas de las microcuencas, a las cuales se les realiza un procedimiento de corte a través de la herramienta “Clip”, y de esta forma se obtiene la distribución espacial de estas variables climatológicas en las dos microcuencas.

Zonificación climática: De igual forma se hace uso de la cartografía existente del POMCA río Bogotá y la herramienta “clip” de ArcGIS que permitió delimitar la zonificación climática según la metodología de Caldas – Lang para las microcuencas objeto de estudio.

Hidrología: La información hidrológica se obtiene a través de información secundaria POMCA río Bogotá, en éste se identifica la unidad hidrográfica nivel II a la cual pertenecen las microcuencas y se construye una tabla con la información de régimen de caudales anuales y rendimiento hídrico medio anual, oferta hídrica,

demandas hídricas sectoriales y totales por microcuenca., Índice de Uso del Agua (IUA) e Índice de retención y regulación hídrica (IRH), esta información permite un acercamiento al régimen hídrico de las microcuencas en estudio puesto que no existe información de estas.

Calidad del agua: A partir de información del índice de calidad del agua ICA del río Apulo y de análisis de calidad del agua elaborados por el laboratorio Instituto de Higiene Ambiental S.A.S en el año 2016 (acreditado por el Ideam a través de la resolución 3569 del 2014), se realiza una descripción de los resultados que permiten caracterizar la calidad del agua de las microcuencas. Como se mencionó previamente, las microcuencas no cuentan con un monitoreo y dicha información utilizada es la más reciente y veraz.

Cobertura y uso de la Tierra: A través de ArcGIS y el mapa de cobertura y uso de la tierra de la cuenca del río Bogotá a escala 1:25.000, se realizó el corte con la divisoria de agua de las microcuencas, obteniendo el mapa y la tabla con el tipo de cobertura y área (Ha) de cada microcuenca.

Suelos y su capacidad de uso: De igual forma se hace uso de la cartografía del POMCA río Bogotá y la herramienta “clip” de ArcGIS que permitió obtener el mapa de suelos y su capacidad de uso de las microcuencas, a partir de allí se construyó la tabla con el tipo de suelo y el área que abarcan en las microcuencas en estudio.

7.1.2 Descripción y evaluación de la información existente en las microcuencas de estudio.

Se realizó la solicitud de información a la alcaldía municipal de la Mesa Cundinamarca, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, Empresa de acueducto y alcantarillado del Municipio, de información relevante correspondiente a estudios ambientales que se hayan realizado en el área con respecto a la calidad del agua, Plan de Saneamiento y manejo de vertimientos del

municipio, monitoreos que se hayan realizado en las fuentes hídricas de interés entre otros. Posteriormente, se organizó la información en una matriz donde se realizó la descripción de los documentos y evaluación de la información a través de la pertinencia, fiabilidad, calidad y actualidad, a las cuales se les asignó un valor numérico de acuerdo a las características mencionadas en la Tabla 6. En la cual se

Tabla 6. Criterios para la evaluación de información secundaria.

Pertinencia	Calificación
Estudios técnicos de las quebradas Carbonera y Quijana	Baja
Estudios referentes a calidad del agua de las quebradas Carbonera y Quijana con medición de parámetros fisicoquímicos	Media
Estudios referentes a calidad del agua de las quebradas Carbonera y Quijana con medición de parámetros fisicoquímicos e indicadores de calidad	Alta
Fiabilidad	puntuación
Estudios realizados sin ningún aval de algún ente gubernamental	Baja
Estudios técnicos de caracterización físico química validados por laboratorio que se encuentre certificado del Ideam	Media
Estudios de caracterización físico química generado o validado por la autoridad ambiental.	Alta
Calidad	puntuación
Estudios que no cuentan con métodos validados y aprobados.	Baja
Estudios que cuentan con metodologías estándar y avaladas por algún ente gubernamental.	Media
Estudios que cuentan con metodologías estándar generadas o avaladas por la autoridad ambiental.	Alta
Actualidad	puntuación
Estudios realizados antes del 2009	Baja
Estudios realizados entre 2009 a 2014	Media
Estudios realizados entre 2014 a 2019	Alta

7.1.3 Identificación de puntos de vertimiento y captaciones en el área de estudio.

Se realizó la identificación de puntos de vertimiento y captaciones sobre el afluente principal de las microcuencas a partir de información primaria (información recolectada en campo) y secundaria (consultado de estudios previos).

Se realizó un recorrido por las microcuencas iniciando desde la parte alta y siguiendo su cauce, se tomaron las coordenadas haciendo uso de GPS Garmin,

evidencias fotográficas y descripción del tipo de afectación. La información se organizó mediante un cuadro. Posteriormente se generó el mapa en ArcGIS con la información obtenida.

7.1.4 Caracterización física y química del agua.

La caracterización física y química del agua se efectuó de acuerdo con el plan de muestreo que se relaciona a continuación en la Figura 6.

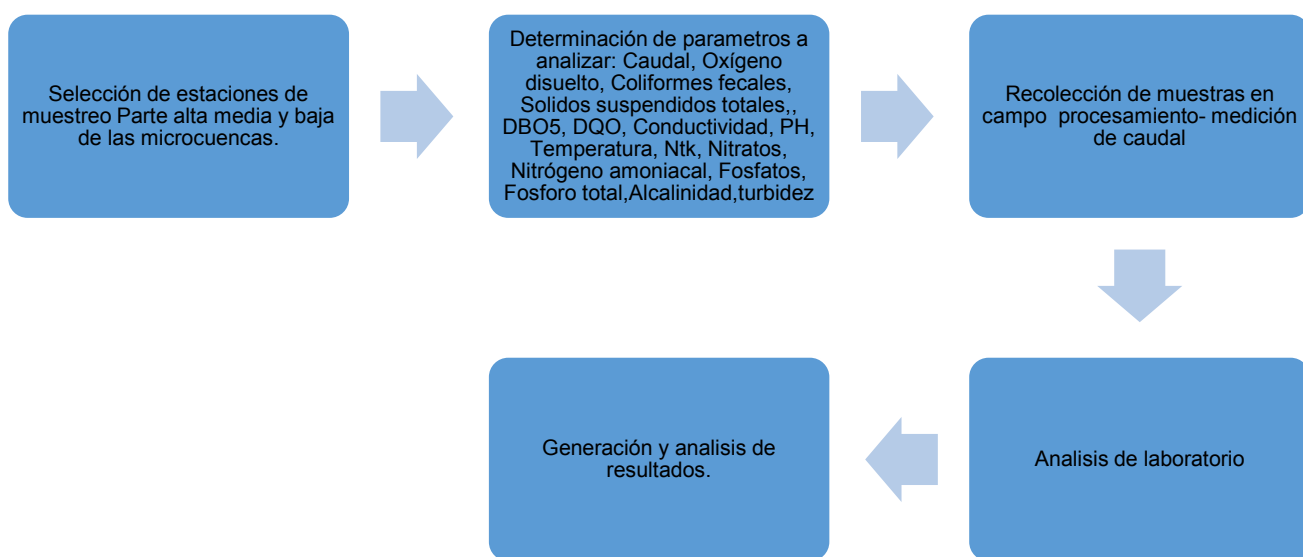


Figura 6. Plan de muestreo de la calidad de agua

La selección de estaciones de muestreo se determinó a partir de algunos criterios como:

- Puntos de Influencia de zonas agrícolas, urbanas o industriales considerables: a partir de un recorrido inicial de las microcuencas y localización en el mapa.
- Puntos de descarga de aguas residuales relevantes: localización de vertimientos que cuentan con permisos y un censo de vertimientos ilegales.
- Accesibilidad al sitio.

La localización de estaciones de muestreo, como regla general, se estableció en lugares en donde el agua está lo suficientemente mezclada con el propósito de que una sola muestra sea lo suficientemente representativa. La mezcla completa de las aguas aportadas por un tributario y el curso principal puede no ocurrir a lo largo de una distancia considerable, dependiendo de las características físicas de la quebrada y de las variables climáticas, entre otros. Por lo tanto, se estimó en cada caso particular la zona donde se produce la mezcla total de las aguas (Cormacarena, 2015). Teniendo en cuenta puntos de muestreo en la parte alta, media y baja de las microcuencas.

Teniendo en cuenta lo anterior, el diseño de muestreo empleado para este proyecto corresponde a un diseño estratificado, se divide la microcuenca en parte alta, media y baja, donde se tomó una muestra por punto para los análisis fisicoquímicos teniendo en cuenta la influencia de zonas agrícolas, urbanas o industriales, puntos de descarga de aguas residuales y accesibilidad al sitio.

El tamaño de muestra para cada microcuenca fue de tres (3) puntos considerando que son los más representativos para la posterior modelación de la calidad del agua y teniendo en cuenta que ya existe monitoreos sobre los vertimientos, los cuales serán utilizados.

Posteriormente se determinaron los parámetros fisicoquímicos a evaluar en el monitoreo de acuerdo a los requeridos para la determinación del índice de calidad de agua y la modelación, los cuales se muestran a continuación.

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos a evaluar.

	Parámetro	Expresada como
1	Caudal	m ³ /s
2	Oxígeno disuelto	mg/l
3	Coliformes fecales	NMP/100 ml
4	Sólidos suspendidos totales	mg/l
5	Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	mg o ₂ /l
6	Demanda química de Oxígeno, DQO	mg o ₂ /l
7	Conductividad	μs/cm
8	pH	Unidades de pH
9	Temperatura	°C
10	Ntk	mgN/l
11	Nitratos	mgN/l
12	Nitritos	mgN/l
13	Fosfatos	mg/l
14	Fosforo total	mgP/l
15	Alcalinidad	mg/l
16	Sólidos totales disueltos	mg/l
17	Turbidez	FNU

El trabajo de campo correspondiente a la toma de muestras y a la medición de parámetros in situ y de caudal (mediante aforo), se programó y desarrollo para el primer periodo del año 2019 en el mes de febrero y de acuerdo con la disponibilidad de los equipos a utilizar (multiparámetro, molinete, anemómetro entre otros) de la Universidad Santo Tomás. Estos equipos son calibrados previamente por el laboratorio. Conservando la cadena de custodia se entregan las muestras al laboratorio Biopolab previamente contratado y que cuenta con acreditación del Ideam. Finalmente, los resultados son presentados a través de una tabla.

7.1.5 Confrontación de la caracterización de la calidad del agua con respecto a la normativa ambiental aplicable.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la fase anterior se confrontó mediante un cuadro comparativo la caracterización física química realizada, con el Decreto 1594 de 1984 criterios de calidad para cada uso del recurso hídrico, artículos 38 al 43 y 45. Adicionalmente se realizó otro cuadro comparativo con el Acuerdo No. 43 de 2006 “Por la cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca

del río Bogotá a lograr en el año 2020”, Emanado por El Consejo Directivo de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, específicamente con el artículo Segundo.- Objetivos de Calidad para la Cuenca del río Bogotá. Numeral 18.3 subcuenca río Apulo zona baja, ítem (a) que establece los parámetros permisibles para los afluentes del río Apulo, desde la desembocadura del río Curí hasta su desembocadura en el río Bogotá (Clase II), grupo al cual pertenecen las microcuencas Quijana y Carbonera.

7.1.6 Estimación del índice de calidad del agua ICA e índices de contaminación ICO.

De acuerdo a las ventajas y desventajas de cada uno de los indicadores de estado de la calidad de agua y de presión por contaminación aplicados en Colombia descritos en el numeral 0 y los parámetros físico químicos obtenidos en el muestreo, se determinó estimar cuatro indicadores dentro de los que se encuentra el índice de calidad de corrientes superficiales ICACOSU propuesto por la universidad de Pamplona debido a que es un parámetro que contempla dos componentes importantes como el fisicoquímico que involucra variables importantes como la DBO5 y DQO y el caudal que tiene una incidencia significativa en la capacidad de las corrientes para la asimilación de contaminantes y su consecuente auto recuperación.

De igual forma se estimaron tres índices de contaminación: índice de contaminación por materia orgánica ICOMO, índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS e índice de contaminación por trofia ICOTRO, los cuales permitieron evaluar situaciones específicas de contaminación y son utilizados en la actualidad en investigaciones académicas relacionada con la evaluación de contaminación del recurso hídrico en Colombia.

7.1.6.5 Índice de calidad de corrientes superficiales ICACOSU.

Se calculó en cada uno de los puntos de muestreo, tres en la quebrada Quijana y tres en la quebrada Carbonera, de acuerdo a la siguiente metodología

ICA global o total que tiene en cuenta dos componentes: el primero se denomina ICA fisicoquímico agregado, ICA_{fa} y el segundo, un componente debido al caudal, ILCAG y se puede expresar matemáticamente como:

$$ICA_g = ICA_{fa} \times 0.8 + ILCAG \times 0.2$$

Dónde:

ICA_g es el Índice de calidad general

ICA_{fa} es el índice agregado de calidad fisicoquímica y bacteriológica

ILCAG, el índice lótico de capacidad ambiental general (referido al caudal medido).
(IDEAM, 2007)

En el proceso, las variables seleccionadas se ponderan asignándoles un peso de importancia. El procedimiento general consiste en entrar el parámetro en la curva funcional (o ecuación) correspondiente, o aplicar la función que define dicha curva y hallar el subíndice I. (IDEAM, 2007)

Las curvas funcionales adoptadas son las propuestas por (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997) para porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y conductividad eléctrica (CE), la adoptada por (Beltrán, 2002) para demanda química de oxígeno (DQO) y la propuesta por el laboratorio del Departamento de Calidad Ambiental de Oregón (Estados Unidos) para coliformes fecales (CF) y pH. (IDEAM, 2007)

Cada curva indica en la ordenada la calidad del agua en una escala de 0 a 1 (es equivalente a usar de 0 a 100); en la abscisa se definen varios niveles de la variable en particular. Cuando se toman como referencia las curvas desarrolladas por Ramírez y Viña respecto al concepto de contaminación, para traducirlo a términos de calidad el subíndice se toma como la diferencia entre uno (1) y el índice de contaminación respectivo de la magnitud de la variable.

Para la estimación del índice agregado de calidad fisicoquímica se tuvieron en cuenta siete (7) variables consideradas relevantes como representativas del estado del recurso y de diferentes presiones u orígenes de contaminación: porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (% de saturación de OD) – como indicador de estado-, Escherichia coli como indicador bacteriológico, sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), conductividad eléctrica y pH.

A continuación, se presentan los algoritmos de cálculo para hallar los subíndices de calidad para cada variable.

Subíndice de Porcentaje de saturación de oxígeno

$$I\%satOD = 1 - (1 - 0.01 * \% \text{ saturación de OD})$$

Cuando el % de saturación de OD > 100%

$$I\%satOD = 1 - (0.01 * \% \text{ saturación de OD})$$

Subíndice de calidad para Coliformes Fecales (CF) expresadas como Escherichia coli (en NMP/100 ml ó UFC/100 ml):

- Si $CF < 50/100 \text{ ml}$ entonces $ICF = 0.98$
- Si $50/100\text{mL} < CF < 1600/100\text{mL}$ entonces $ICF = 0.98 \times e^{((CF-50) \times -9.917754E-4)}$
- Si $FC > 1600/100\text{mL}$ entonces $ICF = 0.10$

El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula como sigue:

$$I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 \times SST \text{ mg/l})$$

Si $SST < 4.5$, entonces $ISST = 1$

Si $SST > 320$, entonces $ISST = 0$

El subíndice de calidad para la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO5 se aplica:

$$IDBO5 = 1 - (-0.05 + 0.70 \log_{10} DBO5)$$

Para $DBO5 > 30 \text{ mg O}_2/\text{L}$ tienen $IDBO5 = 1$

Para $DBO5 < 2.0 \text{ mg O}_2/\text{L}$ tienen $IDBO5 = 0$

El subíndice de calidad para Demanda Química de Oxígeno (mgO₂/L) Según la propuesta de Beltrán el subíndice de calidad se calcula mediante:

$$IDQO = [(0.558 + 0.009 * DQO)^{\frac{-1}{0.1273}}] / 100$$

El subíndice para la conductividad eléctrica, se tiene:

$$I \text{ Conductividad} = 1 - 10^{(-3.26 + 1.34 \log_{10} \text{Conductividad})}$$

Cuando $I \text{ cond} < 0$ (negativo), entonces $I \text{ cond} = 0$

En el caso del pH el valor del subíndice (homologado de 0 a 1) se obtiene así:

- Si $pH < 4$ entonces $I = 0.10$
- Si pH está entre 4 y 7 entonces $I \text{ pH} = 0.02628419 \times e^{(pH * 0.520025)}$
- Si pH está entre 7 y 8 entonces $I \text{ pH} = 1$
- Si pH está entre 8 y 11 entonces $I \text{ pH} = 1 \times e^{((pH - 8) \times -0.5187742)}$
- Si $pH > 11$ $I \text{ pH} = 0.10$

Para calcular el ICAfa se utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices (Ii).
Estas agregaciones ponderadas se expresan matemáticamente de la siguiente manera:

$$ICA_{fa} = \sum_{i=1}^n w_i I_i$$

Donde w es el peso de importancia asignado a cada variable e I es el subíndice de calidad de acuerdo con las curvas funcionales correspondientes, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 8 Peso de importancia por variable

Variable	Expresada como	Peso de importancia
Oxígeno Disuelto, OD	% Saturación	0.20
Escherichia coli	NMP/100ml	0.18
Sólidos Suspendidos	mg/l	0.15
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	mgO ₂ /l	0.15
Demanda química de oxígeno, DQO	mgO ₂ /l	0.12
Conductividad	μS/cm	0.12
pH	Unidades de pH	0.08

Fuente: (IDEAM, 2007)

El caudal, tiene una incidencia significativa en la capacidad de las corrientes superficiales para la asimilación de contaminantes y su consecuente auto recuperación. Por esto, se contrasta el ICAfa con el caudal medido.

La clasificación de las corrientes según el caudal se hace en cinco categorías, como sigue:

Tabla 9 Clasificación de las corrientes según el caudal

Caudal	(m ³ /s)	ILCAG	Capacidad ambiental
<1		0	Muy Baja
>1-10		0-0.333	Baja
>10-100		0.333-0.666	Media
>100-1000		0.666-1	Alta
>1000		1	Muy Alta

(Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997)

ILCAG: índice lótico de capacidad ambiental general.

$$ILCAG = 0.333 * \log_{10} \text{Caudal (m}^3/\text{s)}$$

Finalmente, los descriptores para presentar el aplicativo del ICA son los que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 10 Clasificación del ICA

Descriptor	Ámbito numérico	Color
Muy malo	(0 – 0.25)	Rojo
Malo	(0.26 – 0.50)	Naranja
Regular	(0.51 – 0.70)	Amarillo
Aceptable	(0.71 – 0.90)	Verde
Bueno	(0.91 – 1.00)	Azul

Fuente. ENA, 2010

El índice y los subíndices se estimaron a través de la aplicación de las fórmulas en Excel. Finalmente se obtiene una tabla y grafica que presenta la información de manera organizada.

7.1.6.6 Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO.

Este índice se evaluó en cada uno de los puntos de muestreos a través de la siguiente ecuación

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I.DBO + I.coliformes + I.oxigeno\%)$$

Donde:

$$I.DBO = -0.05 + 0.70 \log_{10} DBO \left(\frac{mg}{L} \right)$$

DBO>30 (mg/l) =1

DBO< 2(mg/l)=0

$$I.COLIFORMES TOTALES = -1.44 + 0.56 \log_{10} Col.Tot \left(\frac{NMP}{100} ml \right)$$

Coliformes totales > 20.000 (NMP/100)= 1

Coliformes totales < 500 (NMP/100)= 0

$$I.Oxigeno\% = 1 - 0.01 Oxígeno$$

Oxígeno (%) mayores a 100% tienen un índice de oxígeno. (Ramirez, Restrepo , & Viña , 1997)

7.1.6.7 Índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS.

Se estimó a través de la variable de sólidos suspendidos que tiene el siguiente fundamento matemático:

$$ICOSUS = -0.02 + 0.0003 \text{ solidos suspendidos } \left(\frac{mg}{l}\right)$$

Sólidos suspendidos > a 340 mg/l tienen un icosus=1

Sólidos suspendidos < a 10 mg/l tienen un icosus=0

(Ramírez, Restrepo , & Viña , 1997)

7.1.6.8 Índice de contaminación por trofia ICOTRO

Se calcula sobre la base de la concentración de fosforo total en mg/l obtenido en cada uno

Oligotrofia: <0.01

Mesotrofia: 0.01-0.02

Eutrofia: 0.02-1.00

Hiperuetrofia > 1.00

(Ramírez, Restrepo , & Viña , 1997)

A partir de los resultados numéricos obtenidos en cada uno de los índices de contaminación se clasifica el grado de contaminación en: ninguna, baja, media, alta y muy alta de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 11. Significancia de los índices de Contaminación ICOs

ICO	Grado de contaminación	Escala de Color
0-0.2	Ninguna	Azul
>0.2-0.4	Baja	Verde
>0.4-0.6	Media	Amarillo
>0.6-0.8	Alta	Naranja
>0.8-1	Muy Alta	Rojo

Fuente: (Ramírez, Restrepo , & Cardeñosa, 1999)

Los resultados de ICOMO e ICOSUS se obtuvieron a partir del software ICATest. Versión 1.0, una Herramienta para la Valoración de la Calidad del Agua desarrollada por (Universidad de Pamplona, 2005). Descargada de la página oficial a través de

http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/05082010/libros.jsp.

Esta herramienta de fácil uso permite seleccionar el índice requerido y abre una nueva ventana para la introducción de los datos. En la parte inferior se pulsa “calcular” y se obtiene el valor del índice, el grado de contaminación y gráfica.



Figura 7. Software ICATEST. Versión 1.0 (Universidad de Pamplona, 2005)

7.1.7 Aplicación de un modelo de calidad de agua.

Teniendo en cuenta las ventajas que presenta el software QUAL2K, de uso gratuito y desarrollado por la Agencia Ambiental de los estados Unidos (EPA), se realizó el modelamiento de la calidad de agua de las quebradas La Carbonera y Quijana.

Como primer paso se establecieron las características hidráulicas de cada una de las quebradas a través de la información obtenida en campo y procesamiento de la información. Posteriormente se realizó la esquematización del sistema en el cual se representa las entradas al cuerpo hídrico (correspondiente a los vertimientos), seguido del montaje en el software de los datos obtenidos en la caracterización realizada en el mes de febrero 2019 correspondiente a tres puntos en cada una de las quebradas y a la caracterización realizada por (P&P Gestión integral Compañía, 2016) de algunos vertimientos que se muestran en la Tabla 12. Finalmente se corre

el modelo y se analizan los resultados a través de las gráficas obtenidas que representan el comportamiento de los parámetros a lo largo del cauce.

Tabla 12. Caracterización parámetros fisicoquímicos del agua año 2016

Muestra	Temperatura °C	Conductividad umhos	Sólidos suspendidos inorgánicos mg/l	Oxígeno disuelto mg/l	DBO5 mgo2/l	Nitrógeno orgánico ugN/l	Nitrógeno amoniacal ugN/l	Nitratos + nitritos ugn/l	Fosforo orgánico ugP/l	Fosforo inorgánico ugP/l	Coliformes fecales cfu/100ml	DQO mgo2/l	pH s. u
Quebrada Carbonera													
100 metros arriba vertimiento 1.	24.4	76.3	20.2	1.8	29.9	6500	20000	1462	141.16	1341.16	1000	67.2	8.13
Vertimiento 1. puente carrera 19	24.7	113.4	147.9	0.1	182.9	600	30000	3793	3640	3720	20300	411.4	8.04
Vertimiento 2. colegio americano costado norte	25.4	91.4	890	0.1	938.9	15700	101900	14190	5578.95	4601.05	12200	2111.3	8.9
Vertimiento 3. colegio americano costado sur	24.9	66.3	192	0.1	749.7	13000	85000	11404	2849.05	3520.95	2400000	1686.9	8.6
100 metros abajo vertimiento 3	23.2	157.3	20	2	30.1	4400	15000	9550	331.05	1501.05	1000	67.56	8.51
100 metros arriba vertimiento 5	23.8	116.1	20	2.2	27.7	4900	15000	1281	649.47	1680.53	2000	62.3	8.01
Vertimiento 5. carrera 9 costado norte	26.1	118.1	238	0.1	341.5	9300	90000	3833	4587.16	4362.84	191800	768.4	8.46
Vertimiento 6. carrera 9 costado sur	24.1	133.7	315	0.1	464.6	29300	85000	7101	3997.68	4542.32	1000	1045.3	8.33
100 metros abajo vertimiento 6	25.8	144.4	151	0.1	268.7	6500	57400	5233	4254.63	3315.37	54600	604.1	8.62
100 metros arriba vertimiento 7. la perlita	25.1	139.2	196.3	0.1	320.9	1600	60000	9040	4741.79	364821	25600	721.9	7.98
Vertimiento 7. Barrio la perlita	26.8	99.4	308.3	0.1	395.4	32500	55000	8541	4271.79	4268.21	20300	890	9.09
100 metros abajo vertimiento 7. Barrio la perlita	25.6	89.1	66.7	0.5	188.6	16100	60000	3712	5709.47	4160.53	13500	424.3	8.2
Vertimiento 8. La perla	26.4	76.5	243.8	0.1	362.4	20000	50000	6015	2641.89	2878.11	25000	815	9.02
100 metros arriba vertimiento 9. PTAR carbonera	24.8	97.4	21	3.4	27.9	2600	43600	2190	2156.95	2803.50	16100	62.9	8.22
Vertimiento 9. Salida PTAR carbonera	23.5	11.21	25.4	1.2	58.6	78700	400	2297	2838.95	76261.05	23800	132	8.2
100 metros abajo Vertimiento 9. PTAR carbonera	24.1	146.6	21.5	2.2	27.6	400	45000	2500	1060.63	1889.37	28800	62.3	8.25
Quebrada Quijana													
Vertimiento PTAR Quijana	24.8	122.7	135.6	0.1	195.4	200	90000	4429	7132.32	5067.58	980400	439.8	6.88
100 metros abajo PTAR Quijana	24.4	140.3	101.7	0.1	23.8	7500	79300	10480	4708.11	3011.89	10900	53.7	5.58

Fuente: (P&P Gestión integral Compañía, 2016)

7.1.8 Síntesis del problema de calidad del agua.

Para sintetizar el problema de la alteración de la calidad del agua en las quebradas Carbonera y Quijana con sus causas y con sus consecuencias se elaboró el árbol de problema (sucesión encadenada tipo causa-efecto), este se fundamentó principalmente en la información primaria y secundaria obtenida a partir de la primera fase de diagnóstico.

Posteriormente, se realiza un análisis simplificado desde el punto de vista de la gobernanza del agua a nivel local en las dos quebradas, en el cual se identifica el proceso de gestión integral del agua y la participación de los diferentes actores sociales, sectoriales e institucionales en las dimensiones Política, económica y ambiental en el municipio de la Mesa.

7.2 FASE DE DISEÑO DE LA ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS MICROCUENCAS.

A partir de la fase de diagnóstico, se estableció una estrategia que pudiera ser impartida para mejorar la calidad del agua de las microcuencas, para esto se identificaron los actores y el rol de cada uno de ellos, posteriormente se establecen unos objetivos que evidencian a donde se quiere llegar y, finalmente la estructura de la estrategia.

7.2.1 Identificación de actores

La identificación, de actores a nivel metodológico se abordó a través de tres (3) etapas de trabajo, en las cuales se identifican aquellos actores que habitan y/o desarrollan actividades en el área de las microcuencas, de acuerdo al siguiente esquema:

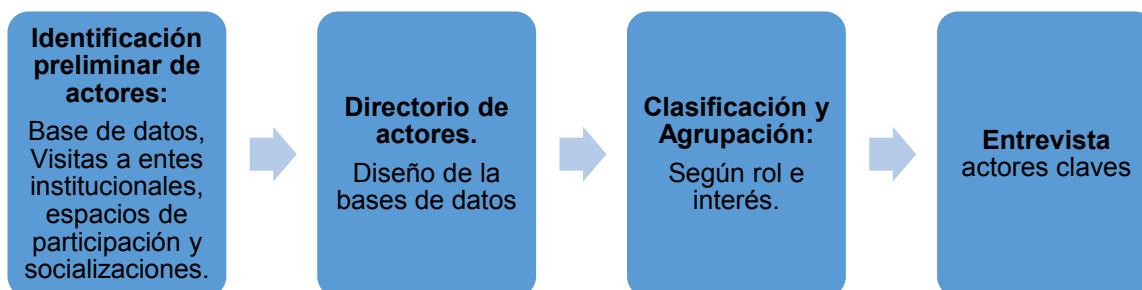


Figura 8. Metodología identificación de actores

Identificación preliminar de los actores: Se identifican de manera preliminar los individuos, organizaciones e instituciones que hacen parte de las microcuencas, se parte de la comunidad en general tanto del ámbito urbano y rural. Se consultan bases de datos existentes, se visitan diversos entes institucionales y se interactúa en diferentes espacios de participación con los actores.

Directorio de actores: El objetivo es consolidar un directorio de actores que permita agrupar toda la información recopilada en la etapa anterior. Se diseña una base de datos que se retroalimenta durante todo el proceso de identificación de actores, especificando el nombre del actor tipo de actor y persona de contacto.

Clasificación y agrupación: Con la información recopilada y analizada de los diferentes actores, se clasifican y agrupan según su rol (Actividades que desarrolla) en la microcuenca.

Entrevista: Se realiza un acercamiento a los actores claves, los cuales son entrevistados (formato previamente diseñado) y se indaga sobre las posibles medidas y propuestas a tener en cuenta dentro del diseño de la estrategia, de esta manera se construye de una manera participativa.

7.2.2 Análisis de objetivos

Consiste en convertir los estados negativos del árbol de problemas elaborado en 7.1.8, en soluciones expresadas en un diagrama de objetivos que permite describir la situación futura a la que se desea llegar una vez se han resuelto los problemas.

7.2.3 Diseño y estructuración de la estrategia

A partir de la identificación de actores, el rol que desempeñan y el árbol de objetivos se estructuró la estrategia de gestión la cual tiene un componente programático administrativo y de seguimiento y evaluación.

- Componente programático y administrativo: Se construyó una matriz en el cual se definen las líneas de acción, programas, proyectos, actividades, metas, indicadores y responsables.
- Evaluación y seguimiento: De igual manera se construyó una matriz en el cual se diseña un indicador de cumplimiento y un medio de verificación por cada línea de acción propuesta.

8. RESULTADOS

8.1 FASE DE DIAGNÓSTICO

8.1.1 Caracterización del área de estudio.

La caracterización del área de estudio contemplo la cartografía base, pendiente, hidrográfica, morfometría, climatología, zonificación climática, hidrología, calidad del agua, cobertura y uso de la Tierra, suelos y su capacidad de uso que se relaciona a continuación para cada una de las microcuencas.

8.1.1.1 Microcuenca quebrada Quijana

Cartografía base.

La delimitación de la microcuenca se efectuó en el software ArcGIS a partir de la información base de la zona, curvas de nivel, un drenaje sencillo obtenido del POMCA del río Bogotá e información obtenida en campo.

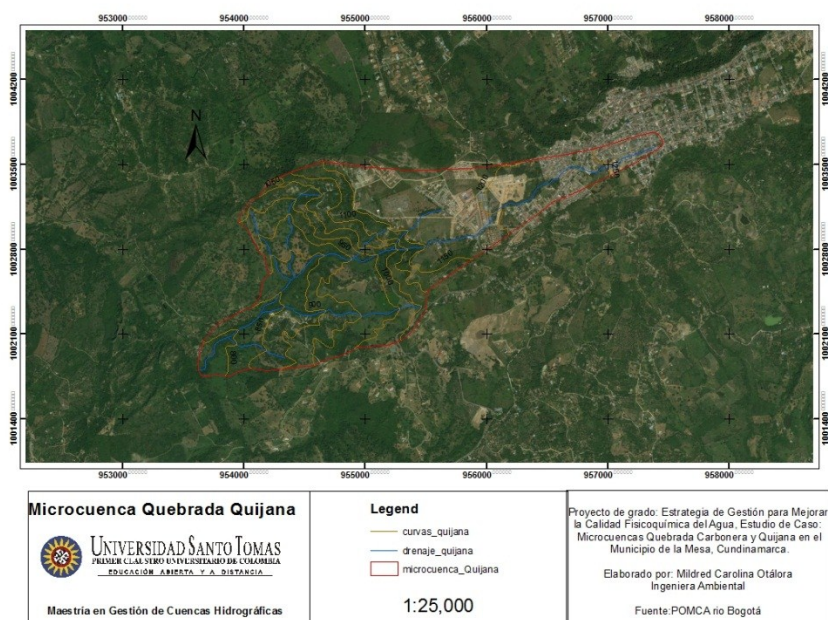


Figura 9. Delimitación Microcuenca Quebrada Quijana. Autor

Componente Físico-Biótico.

Pendiente

Realizado el proceso en ArcGIS se obtuvo el mapa de pendientes de toda el área de la microcuenca. Ver Figura 10.

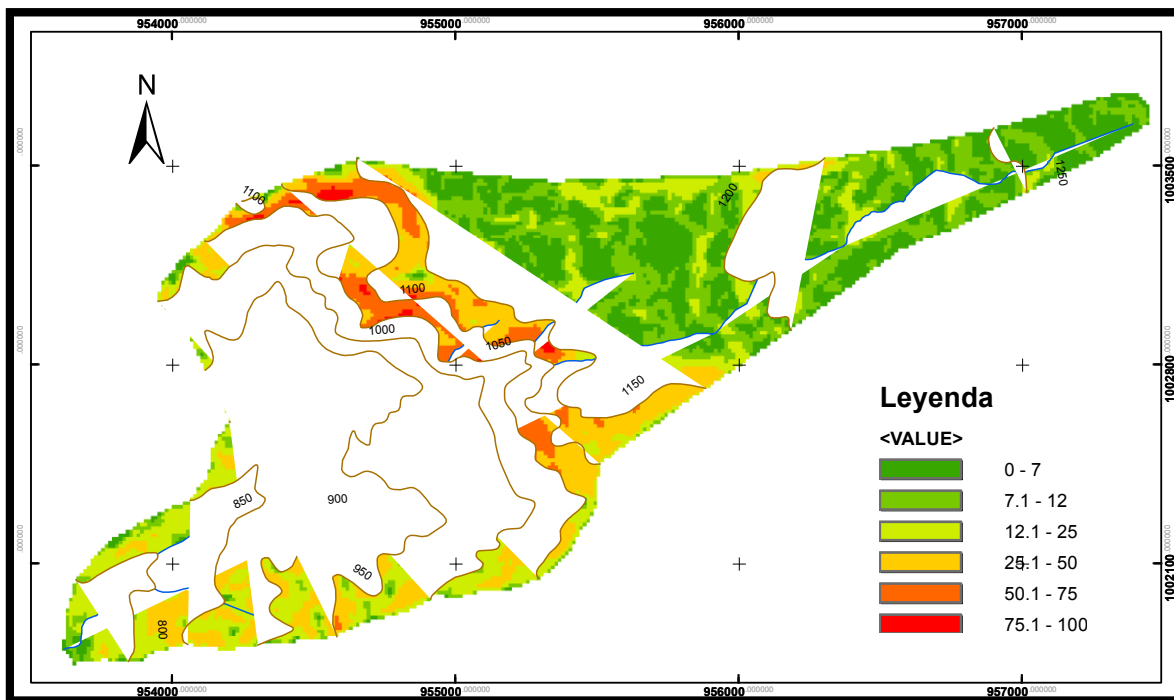


Figura 10. Pendientes Microcuenca Quijana. Autor

Como se puede apreciar en el mapa anterior y

Tabla 13, la parte alta de la microcuenca tiene pendiente en su mayoría del 0-7% lo que representa un terreno ligeramente plano. En la parte media se encuentran pendientes entre 50-75% lo que lo cataloga como terreno escarpado e incluso se encuentran áreas más pequeñas con porcentaje mayor a 75% (muy escarpado). En la parte baja de la microcuenca se encuentran pendientes entre 12% a 50%.

Tabla 13. Relieve del terreno de acuerdo a la pendiente

Pendiente	Relieve
0-7 %	Plano, plano cóncavo y ligeramente plano
7-12 %	Ondulado, inclinado
12-25 %	Fuertemente ondulado, fuertemente inclinado
25-50 %	Fuertemente quebrado
50-75 %	Escarpado
> 75 %	Muy escarpado

Fuente: (Henao Sarmiento, 1988)

Hidrografía

La quebrada Quijana nace en el casco urbano de La Mesa, Cundinamarca, sobre los 1275 msnm. Desemboca en la quebrada El Tigre sobre los 773 msnm conformando un área tributaria total de 3.27 km² y una longitud total del cauce de 4.66 km como se puede observar en el perfil longitud de la quebrada que se relaciona en la Figura 11.



Figura 11. Perfil longitudinal Quebrada Quijana tomado de (Google Earth, 2018)

En la trayectoria de la quebrada pueden distinguirse tres tramos: microcuenca alta desde su nacimiento hasta la salida del casco urbano a una cota aproximada de 1150 msnm, la microcuenca media comprendida desde la salida del casco urbano

hasta la cota 900 msnm, donde se evidencia cambio considerable de pendiente y la microcuenca baja desde la cota 900 msnm hasta la desembocadura en la quebrada El Tigre. En la Figura 12 se muestran el área de los tres tramos principales de la microcuenca.

La microcuenca de la Q. Quijana se caracteriza por tener una red de drenaje de tipo dendrítico.

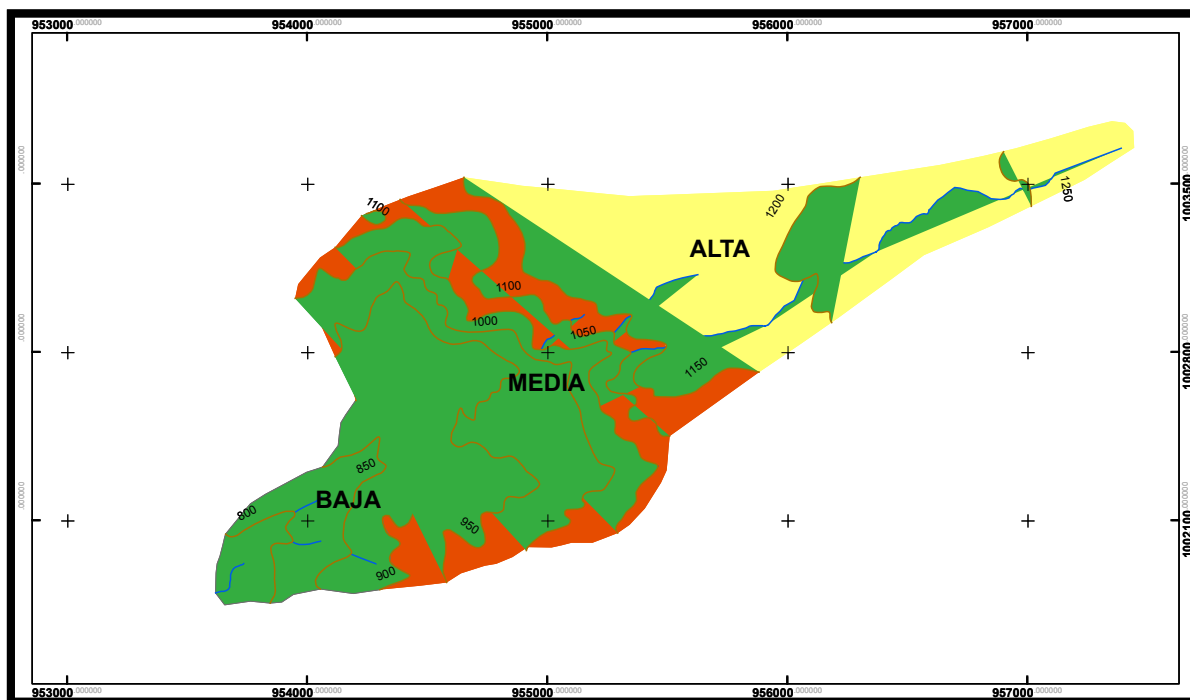


Figura 12. Tramos principales de la Microcuenca Q. Quijana

Zonificación de unidades hidrográficas

La zonificación corresponde a la presentada en el POMCA del río Bogotá, en el que se muestra la codificación hasta la unidad hidrográfica nivel II correspondiente a la quebrada El tigre, receptora de la quebrada Quijana, para la cual este proyecto propone el código que se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Zonificación de unidades hidrográficas

Zonificación	Nombre	Código
Área hidrográfica	Magdalena-Cauca	2

Zonas hidrográficas	Alto Magdalena	21
Subzona hidrográfica	Río Bogotá	2120
Unidad hidrográfica nivel I	Río Apulo	2120-16
Unidad hidrográfica nivel II	Quebrada El Tigre	2120-1602
Unidad hidrográfica nivel III	Quebrada Quijana	2120-160201

Fuente (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR, 2017)

Morfometría

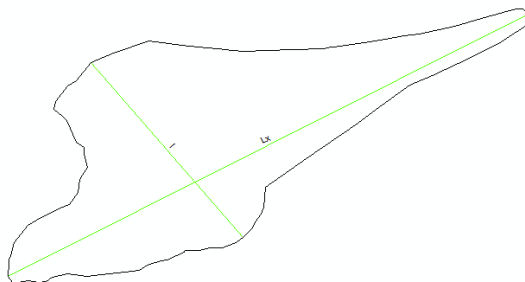
La morfometría de la microcuenca se determina a partir del programa ARC-GIS obteniendo los siguientes resultados.

Área(A): Medida de la superficie de la cuenca, encerrada por la divisoria topográfica 3.27 Km².

Perímetro (P):

Es la medición de la línea envolvente del área para la microcuenca quebrada Quijana es 9.93 km.

Longitud axial (Lx): Es la distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca.



Lx=4.27 km

Ancho promedio (Ap): Es la medida que se encuentra dividiendo el área de la cuenca por su longitud axial.

$$Ap = \frac{A}{Lx} = \frac{3.27 \text{ Km}^2}{4.27 \text{ km}} = 0.76 \text{ km}$$

Forma de la cuenca (Ff): La forma de la cuenca controla la velocidad con que el agua llega al cauce principal, cuando sigue su curso, desde el origen hasta su desembocadura.

Factor forma Este índice da alguna indicación de la tendencia de la cuenca hacia las crecidas. Así las cuencas con factor de forma bajo, son menos propensa a tener lluvias intensas y simultaneas sobre su superficie, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor.

$$Ff = \frac{Ap}{Lx} = \frac{0.76 \text{ km}}{4.27 \text{ km}} = 0.18$$

Si $Ff = 1$ entonces la forma de la cuenca tiende a ser redonda.

Si $Ff = 0$ entonces la forma de la cuenca tiende a ser alargada

Siendo el factor forma igual a 0.18, correspondiente a un factor forma bajo indica que la microcuenca quebrada Quijana tiende a ser alargada.

Coeficiente de compacidad o de Gravelius (Kc): Este coeficiente está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración.

Kc	Forma
1-1.25	Casi redonda a oval- redonda
1.25-1.50	oval- redonda- a oval-oblonga
1.51-1.75	oval-oblonga a rectangular- oblonga

$$Kc = 0.28 \frac{p}{\sqrt{A}} = 0.28 \frac{9.93 \text{ km}}{\sqrt{3.27 \text{ Km}^2}} = 1.54$$

Teniendo en cuenta que el Kc es igual a 1.54 la microcuenca Quebrada Quijana tiene una forma: oval-oblonga a rectangular- oblonga.

Índice de alargamiento (I_a): Para un la pequeño, la cuenca es poco alargada. Si el índice es elevado la forma de la cuenca tiende a ser rectangular

I_a	Clase de alargamiento
0.0-1.4	Poco alargada
1.5-2.8	Moderadamente alargada
2.9-4.2	Muy alargada

$$I_a = \frac{L}{l} = \frac{4.27 \text{ km}}{1.70 \text{ km}} = 2.51$$

La longitud más grande (L)= 4.27 km

Ancho mayor. (l)=1.70 km

Siendo el índice de alargamiento (I_a) igual a 2.51 la microcuenca es Moderadamente alargada.

Las ecuaciones fueron tomadas de (Henao Sarmiento, 1988)

Climatología

El municipio de la Mesa cuenta con una estación climatológica principal de la Corporación autónoma Regional de Cundinamarca CAR, localizada en las coordenadas 955.142 Este y 1.003.154 Norte a una altura de 1.194 msnm, cercana al casco urbano del municipio y dentro de la microcuenca de la quebrada Quijana con código 2120639. A partir de datos de la estación y cartografía del clima del POMCA del río Bogotá, se describe las siguientes variables meteorológicas.

Precipitación

De acuerdo al mapa de distribución espacial de la precipitación anual multianual del POMCA del río Bogotá y el corte realizado con el perímetro de la microcuenca Figura 13, se puede observar que la precipitación fluctúa entre 1.142 mm y 1.231 mm al año, los valores bajos corresponden a la parte baja de la microcuenca y asciende hacia la microcuenca media y alta.

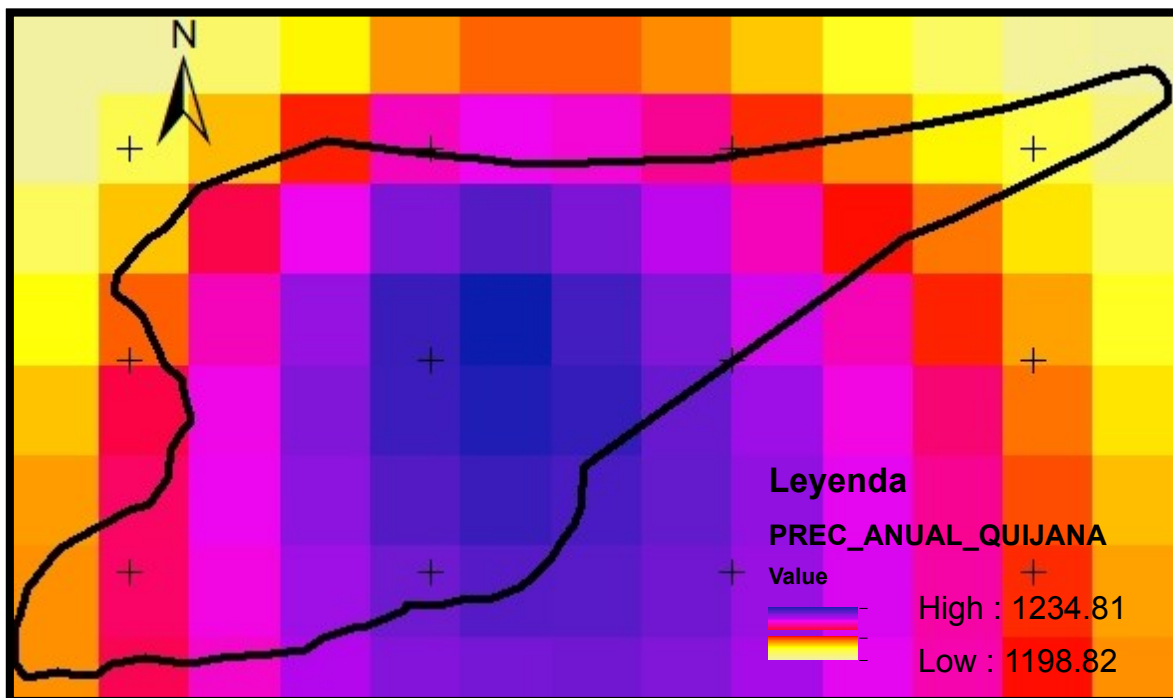


Figura 13. Distribución espacial de la precipitación anual Microcuenca Quebrada Quijana Adaptado de (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda, 2017)

De acuerdo con los registros mensuales de precipitación en el municipio de la Mesa, el régimen es bimodal presentando los picos en el mes de abril y noviembre alcanzando niveles máximos de 350 mm mensuales. En los meses de junio y julio se registra el periodo de estiaje con valores máximos de 178.4 mm y 128.2 mm respectivamente Figura 14.

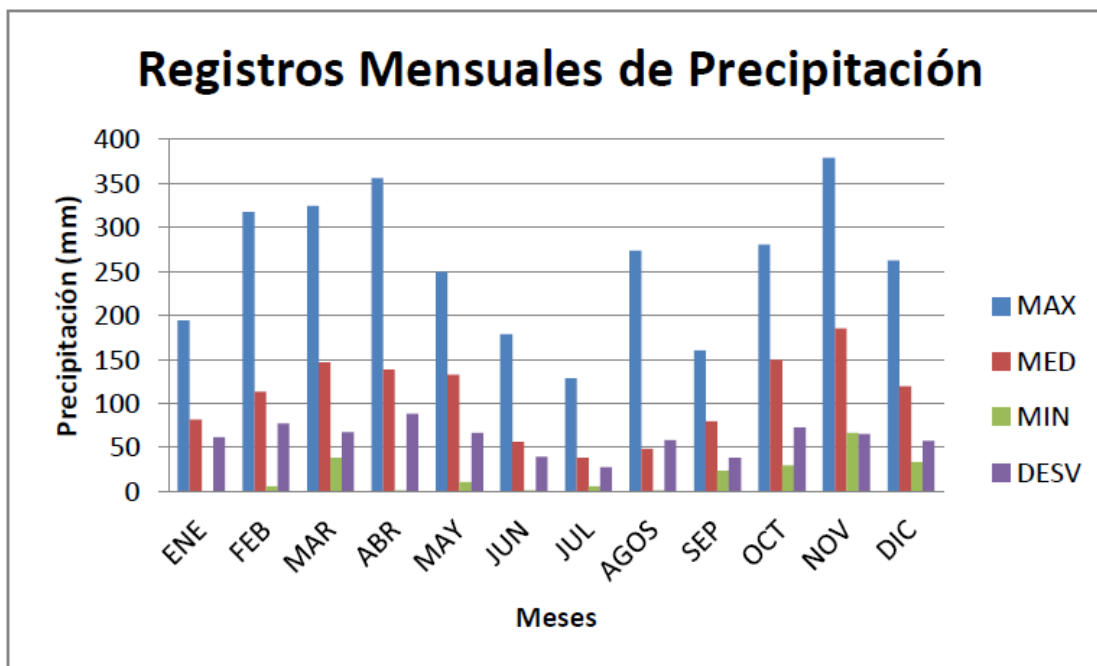


Figura 14. Análisis mensual multianual de la precipitación, Estación La Mesa.

Fuente: tomado de (P&P Gestión Integral Ltda, 2016)

Temperatura

De acuerdo al mapa de temperatura promedio anual del POMCA del río Bogotá y el corte realizado con el perímetro de la cuenca Figura 15, se puede observar que en la microcuenca esta variable climatológica varía de acuerdo a la elevación de cada sector, en la parte baja de la esta se tienen valores de 20°C -21°C en la parte media valores entre 19°C y 20°C y parte alta de la microcuenca 18 °C a 19°C.

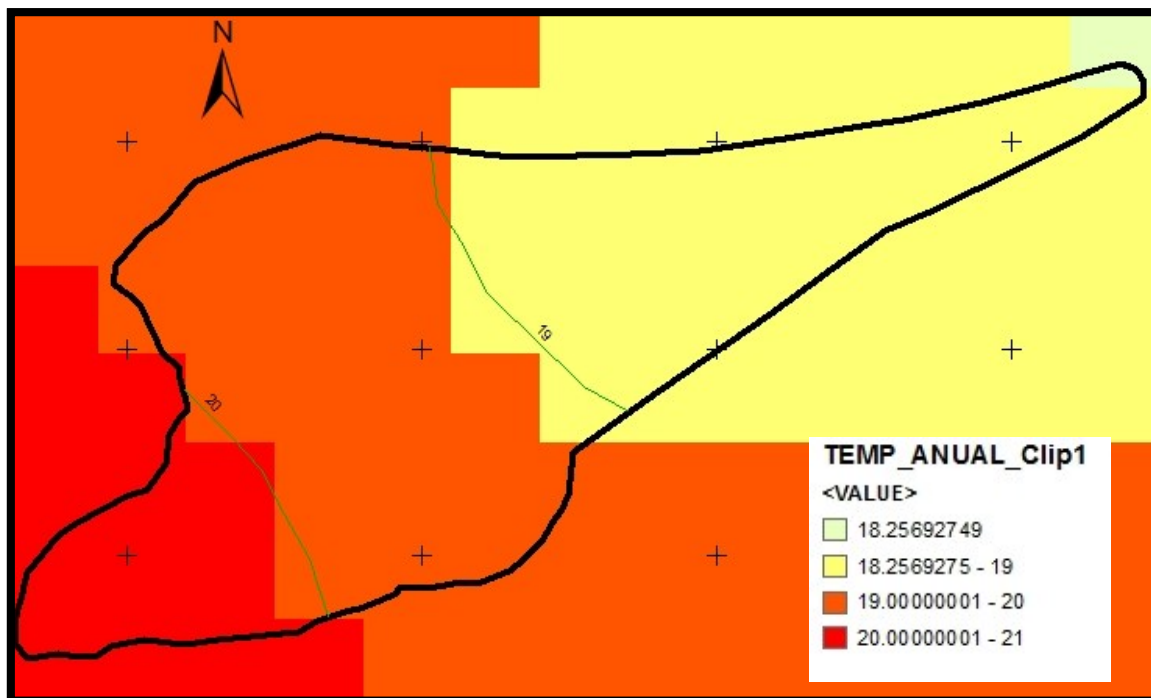


Figura 15. Distribución espacial de la temperatura promedio anual de la Microcuenca Quebrada Quijana Adaptado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

Zonificación climática

De acuerdo de a la clasificación climática de Caldas – Lang, que considera el comportamiento medio anual de la temperatura media y la precipitación y un parámetro morfométrico correspondiente al rango de elevación, la microcuenca de la quebrada Quijana se caracteriza por tener 3 zonas climáticas, correspondientes a clima cálido semiárido en la parte baja, cálido semihúmedo en parte de la microcuenca media y templado semihúmedo en parte media y alta Figura 16.

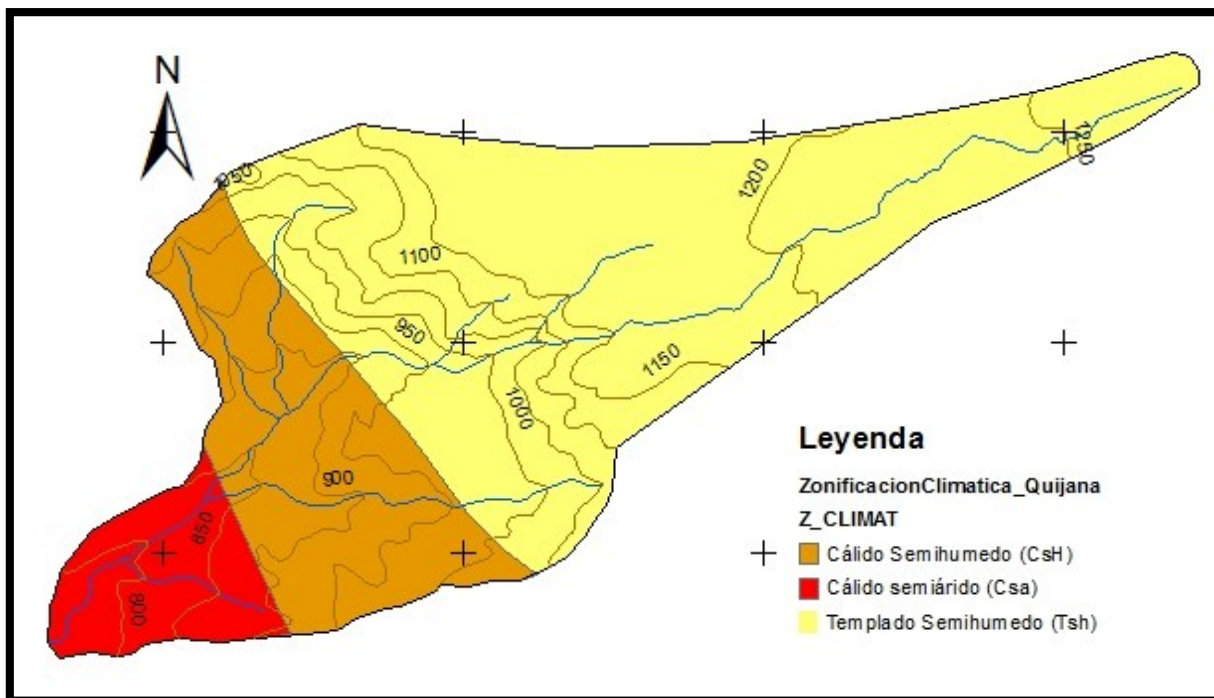


Figura 16. Zonificación climática Microcuenca Quebrada Quijana adaptado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

Hidrología

No se encuentra información referente a la hidrología de la quebrada Quijana sin embargo se puede hacer un acercamiento a dicha información a través de la presentada en el POMCA del río Bogotá de la quebrada El Tigre (Figura 17. Localización Q. Quijana en Microcuenca Q. El Tigre), en lo concerniente al régimen de caudales anuales y rendimiento hídrico medio anual, oferta y demanda hídrica y unos indicadores como el índice de uso del agua e Índice de retención y regulación hídrica (IRH) como se observa en la Tabla 15.

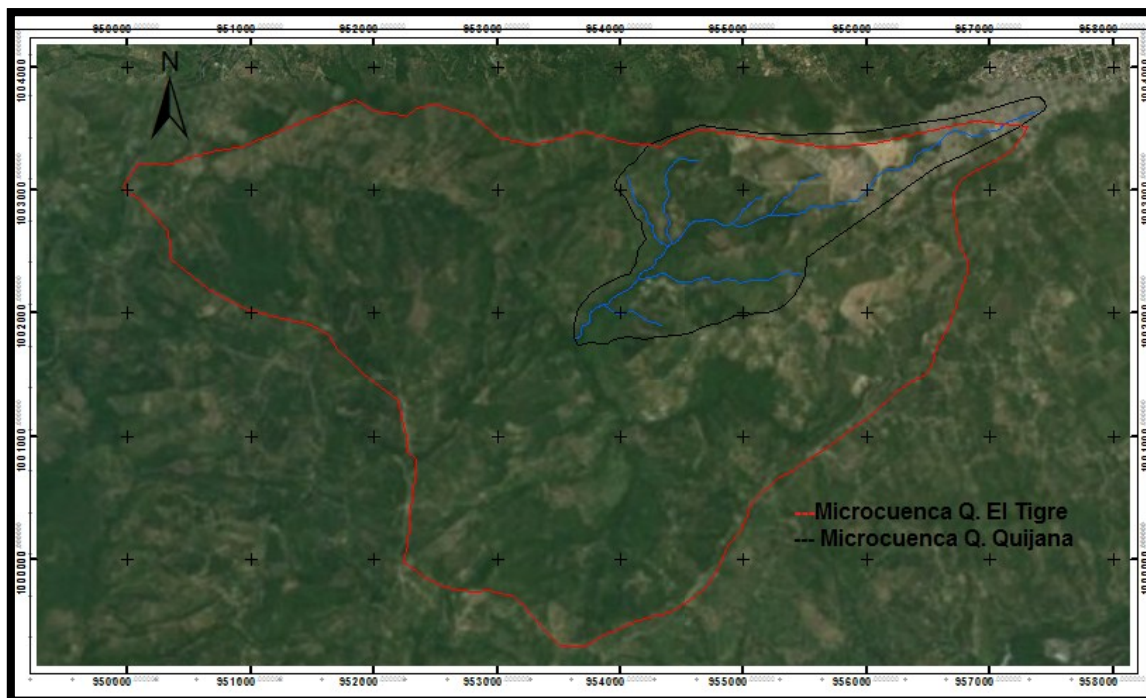


Figura 17. Localización Q. Quijana en Microcuenca Q. El Tigre

Tabla 15. Información hidrológica

Régimen de caudales anuales y rendimiento hídrico medio anual				
Q. Medio (m ³ /s)	Q Mínimo (m ³ /s)	Q Máximo (m ³ /s)	RH (l/s)/(km ²)	Q ambiental (m ³ /s)
0.618	0.002	5.371	34.57	0,057
Oferta hídrica				
oferta hídrica total superficial OHTS (m ³ /s)	oferta hídrica total disponible OHTD (m ³ /s)	oferta hídrica regional disponible OHRD (m ³ /s)	oferta hídrica regional aprovechable OHRA (m ³ /s)	
0.325	0.268	0.274	0.159	
Demandas hídricas sectoriales y totales por microcuenca.				
Demanda Agrícola	Demanda Doméstica	Demanda Pecuaria	Demanda Total (m ³ /s)	
0,107	0,006	0,003	0,115	
Índice de Uso del Agua (IUA)				
Área (ha)	Demanda Total (m ³ /s)	OHRD (m ³ /s)	Valor IUA	Rango IUA
1788,44	0,115	0,274	42,06%	Alto
Índice de retención y regulación hídrica (IRH)				
VP	VT	IRH	RANGO	
Volumen representado por el área que se	Volumen total representado por el área			

encuentra por debajo de la línea de caudal medio.	bajo la curva de duración de caudales diarios.		
0,01	0,04	0,28	Muy Baja
Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH)			
Rango IUA	Rango IRH	IVH	
Alto	Muy Bajo	Muy Alto	

Fuente: (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR, 2017)

Como se puede apreciar en la tabla anterior y los resultados de los indicadores se pueden establecer que está quebrada tiene un índice de uso de agua alto lo que significa que la presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible, por su parte el índice de retención y regulación hídrica es muy baja.

Adicionalmente el índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH) evidencia un muy alto grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno del Niño podría generar riesgos de desabastecimiento. (Ministerio de Ambiente, 2014)

Calidad del agua

La calidad del agua en la quebrada Quijana no se encuentra monitoreada, ya que sobre esta no se encuentran estaciones, ni se realizan periódicamente muestreos.

Con respecto a información del POMCA del río Bogotá, no se encuentra información de calidad del agua a nivel microcuenca, sin embargo, existe información a nivel subcuenca del río Apulo (receptor de las aguas de las quebradas Carbonera y Quijana) que permite dar un acercamiento a la calidad de las fuentes hídricas de la región a partir del Índice de calidad de agua ICA. En esta estación sobre el río Apulo se registran variaciones en los últimos 5 años de MALA a REGULAR, siendo el 2015 mala. (Ver Figura 18). Los objetivos de calidad propuestos para SST y CT no se

cumplen para los años 2008 a 2010, 2012, 2014 y 2015. (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR, 2017).

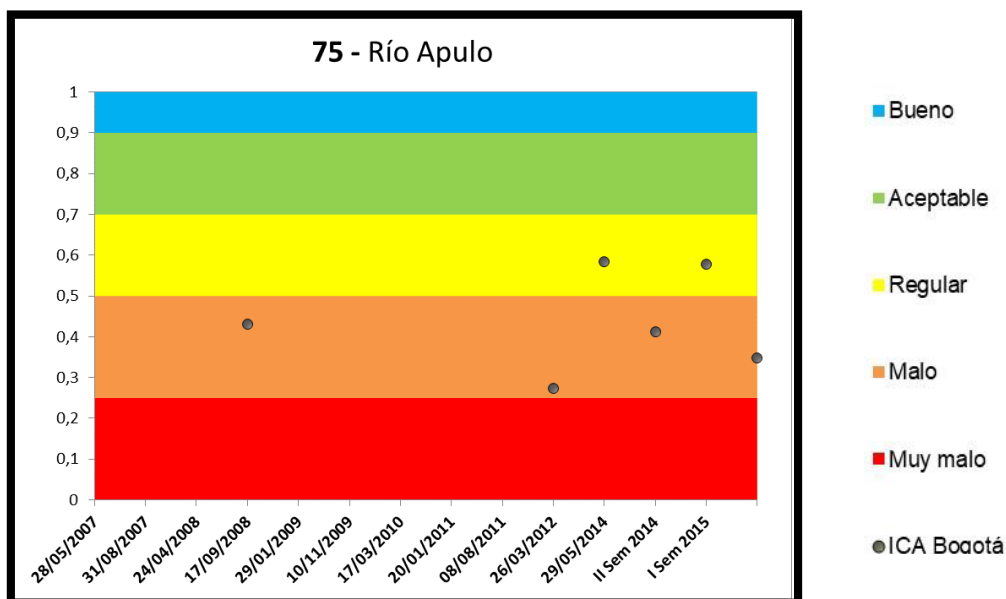


Figura 18. Índice de calidad del agua (ICA) Río Apulo tomado de (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR, 2017)

Adicionalmente existe dentro de la información secundaria, resultados sobre un análisis físico químico realizado por (P&P Gestión integral Compañía, 2016), como insumo para la elaboración del PSMV del Municipio de La Mesa, el cual muestra los siguientes resultados para el punto de muestreo denominado “100 metros aguas abajo de la salida PTAR Quijana en las quebrada la Quijana”:

Con respecto al artículo 38 del decreto 1594 de 1984 referente a los “criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional”: La quebrada Quijana cumple con el valor máximo permisible para Nitratos, Nitritos, pH y temperatura. Sin embargo, las variables detergentes, nitrógeno amoniacal, coliformes fecales y coliformes totales sobrepasan los límites de aceptación estipulados en la norma.

Los parámetros nitratos, nitritos y temperatura cumplen los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 39 del decreto 1594 de 1984 “criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere solo desinfección”. Sin embargo, las variables detergentes, nitrógeno amoniacal, pH y coliformes totales sobrepasan el límite de aceptación. Para el artículo 40 del mismo decreto, concerniente a criterios admisibles para uso agrícola, las variables de pH y temperatura cumplen, sin embargo, coliformes fecales y totales sobrepasan los límites de aceptación. Finalmente, para el artículo 41 (decreto 1594 de 1984) conexo a criterios de calidad admisibles para uso pecuario, se manifiesta el cumplimiento de los límites máximos permisibles para nitratos, nitritos y temperatura.

Adicionalmente el informe del laboratorio expresa que se evidencia baja concentración de oxígeno disuelto que es aquel que ayuda a evitar procesos de eutrofización. (P&P Gestión integral Compañía, 2016)

Cobertura y uso de la Tierra

Como se puede apreciar en la Figura 19 y Tabla 16 en la microcuenca quebrada Quijana predominan una cobertura de pastos limpios con uso actual de pastoreo intensivo cubriendo un área de 111.28 ha correspondiente al 33.94% del total del área de la microcuenca, este uso se concentra en su mayoría en la parte media de la microcuenca. Seguido de pastos arbolados para pastoreo semiintensivo con 43.29 ha localizados en la parte baja de microcuenca con 13.20% del área total y en un tercer lugar se encuentran los cultivos permanentes arbóreos con 33.55 ha y 12.06% del área. Adicionalmente se presenta otro tipo de cobertura como bosque de galería y/o ripario, tejido urbano continuo, mosaico de cultivos y espacios naturales, mosaico de pastos y cultivos, vegetación secundaria o en transición, pastos enmalezados, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, mosaico de cultivos, mosaico de cultivos, zonas industriales o comerciales, red vial, ferroviaria

y terrenos asociados, cultivos permanentes herbáceos, mosaico de pastos con espacios naturales, vegetación secundaria o en transición.

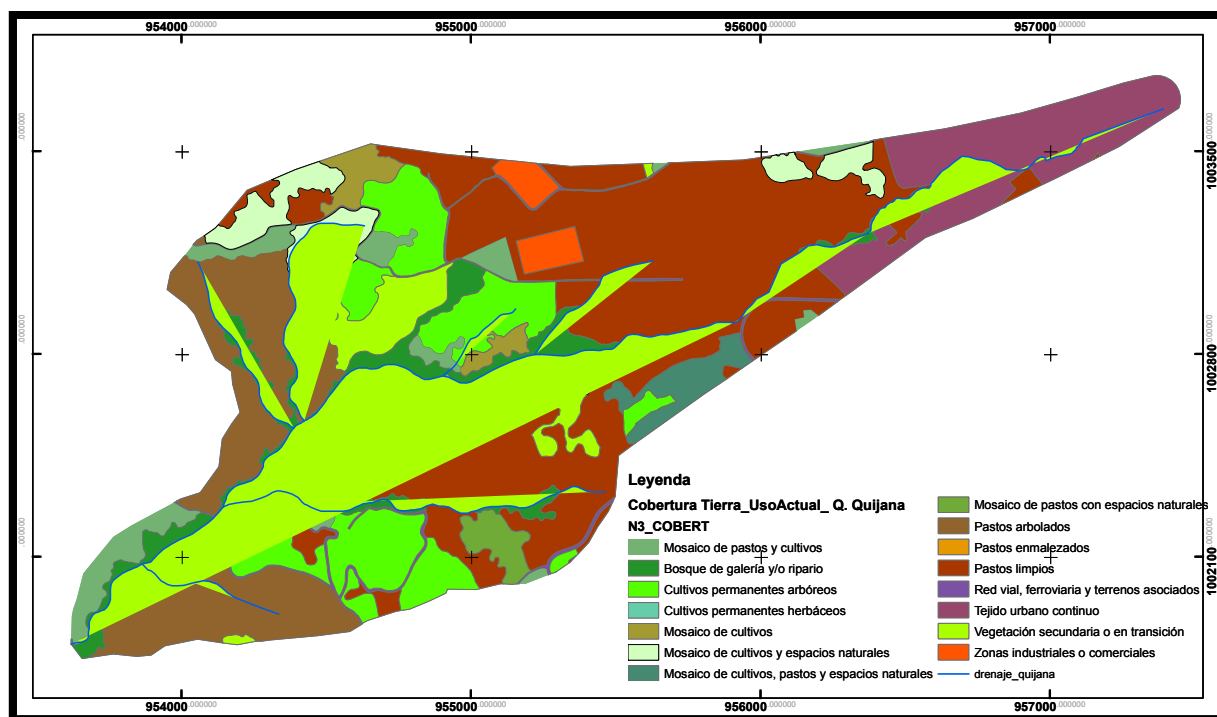


Figura 19. Mapa Cobertura de la tierra quebrada Quijana adaptado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

Tabla 16. Cobertura y uso actual de la tierra Microcuenca Quebrada Quijana

Cobertura	Uso actual	Área (ha)	Área (%)
Pastos limpios	Pastoreo intensivo	111.28	33.94%
Pastos arbolados	Pastoreo semi-intensivo	43.29	13.20%
Cultivos permanentes arbóreos	Cultivos Permanentes semi-intensivos	39.55	12.06%
Bosque de galería y/o ripario	Protección	28.43	8.67%
Tejido urbano continuo	Residencial	28.30	8.63%
Mosaico de cultivos y espacios naturales	Sistemas combinados de agricultura y forestería	16.05	4.89%
Mosaico de pastos y cultivos	Sistemas combinados de agricultura, ganadería y forestería	14.84	4.53%
Vegetación secundaria o en transición	Restauración	9.09	2.77%

Cobertura	Uso actual	Área (ha)	Área (%)
Pastos enmalezados	Pastoreo extensivo	7.18	2.19%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Sistemas combinados de agricultura, ganadería y forestería	5.58	1.70%
Mosaico de cultivos	Cultivos transitorios intensivos	4.91	1.50%
Zonas industriales o comerciales	Industrial	4.68	1.43%
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Infraestructura y transporte	4.58	1.40%
Cultivos permanentes herbáceos	Cultivos Permanentes Semi-intensivos	3.47	1.06%
Mosaico de pastos con espacios naturales	Sistemas combinados de ganadería y forestería	3.42	1.04%
Vegetación secundaria o en transición	Tierras en descanso	3.24	0.99%
	Total	327.87	100%

Fuente: Tomado de (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda, 2017)

Suelos y su capacidad de uso

El tipo de suelo y la capacidad de uso en la microcuenca quebrada Quijana se generaron a través del corte de la capa de las unidades cartográficas del suelo del POMCA del río Bogotá y el perímetro de la microcuenca, identificando 8 unidades distribuidas como se observa en la Figura 20 y con las características que se presentan en la Tabla 17.

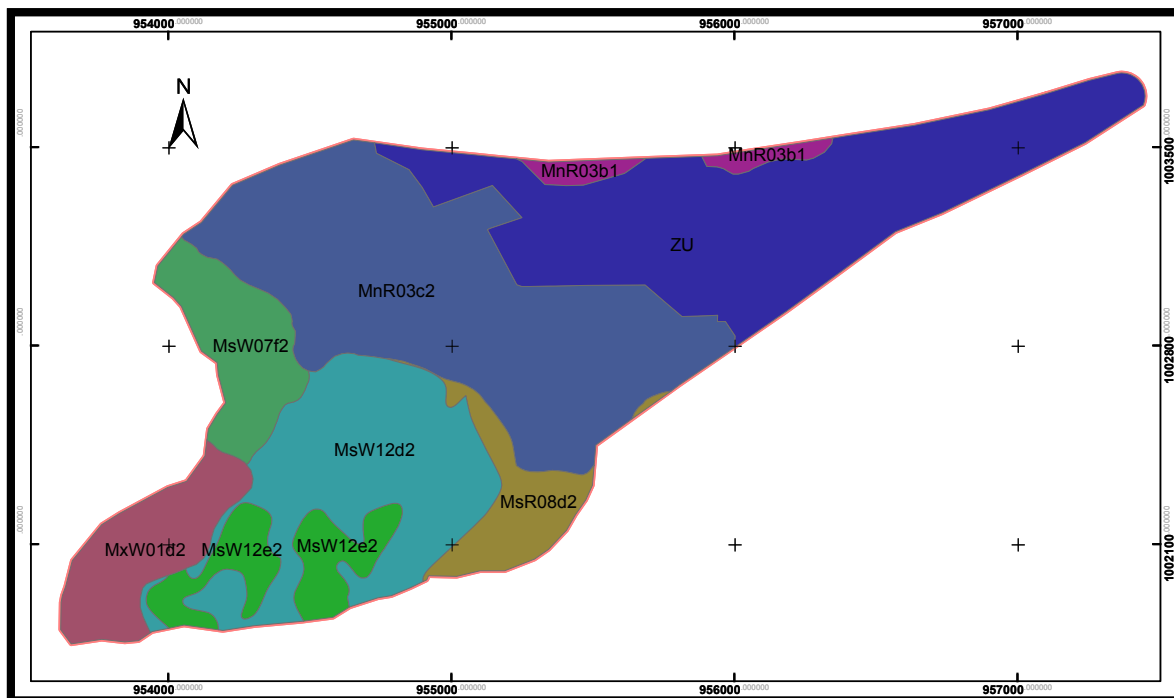


Figura 20. Unidades cartográficas del suelo Microcuenca Q. Quijana adaptado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

Tabla 17. Unidades geomorfoedológicas microcuenca Q. Quijana

Paisaje	Material parental	Principales características Suelo	Unidad geomorfoedológicas (ugp) y Componentes taxonómicos	Unidad geomorfoedológicas Símbolo	Clase Agrícola	Unidades cartográfica de suelo	Uso principal propuesto	Área (ha)	Área (%)
Montaña - Depositacional Fluvio Glaciar	Depósitos detríticos medios y finos de origen fluvio glaciar	Suelos muy superficiales y bien drenados, reacción de ligera a moderadamente alcalina y fertilidad muy alta	Consociación: Lithic Ustorthents, familia franca fina, isotérmica; Lithic Haplustepts, familia franca fina, isotérmica	MnR03	3	MnR03c2	Cultivos permanentes intensivos (CPI).	101.35	30.90
Zona urbana	Zonas Urbanas	Zona urbana	Zona urbana	ZU		ZU	Zona Urbana	92.17	28.10
Montaña - Estructural Erosional	Rocas sedimentarias tipo limolitas, lodolitas y arcillolitas	Suelos profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, reacción de fuerte a muy fuertemente ácida y fertilidad moderada	Consociación: Typic Dystrustepts, familia franca fina, Isohipertérmica; Typic Ustorthents, familia esquelética, isomélica	MsW12	4	MsW12d2	Cultivos permanentes intensivos.	54.51	16.62
Montaña - Depositacional Coluvio Aluvial	Depósitos heterométricos de origen coluvio - aluvial	Suelos moderadamente profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, reacción de neutra a moderadamente alcalina y fertilidad alta	Consociación: Typic Haplustoll, familia franca fina, isohipertérmica; Typic Haplustepts, familia fina, isohipertérmica	MxW01	4	MxW01d2	cultivos transitorios semi intensivos (CTS)	21.44	6.54
Montaña - Estructural Erosional	Rocas sedimentarias tipo limolitas, lodolitas y arcillolitas	Suelos muy superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas, reacción ligeramente alcalina y fertilidad muy baja	Complejo: Lithic Ustorthents, familia franca fina, isohipertérmica; Typic Ustorthents esquelética franca, isohipertérmica	MsW07	7	MsW07f2	Sistemas agrosilvícolas (AGS)	20.61	6.29

Paisaje	Material parental	Principales características Suelo	Unidad geomorfoedológicas (ugp) y Componentes taxonómicos	Unidad geomorfoedológicas Símbolo	Clase Agrícola	Unidades cartográfica de suelo	Uso principal propuesto	Área (ha)	Área (%)
Montaña - Estructural Erosional	Rocas sedimentarias tipo limolitas, lodolitas y arcillolitas	Suelos profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, reacción de fuerte a muy fuertemente ácida y fertilidad moderada	Consociación: Typic Dystrustepts, familia franca fina, Isohipertérmica; Typic Ustorthents, familia esquelética, isomélica	MsW12	6	MsW12e2	Sistemas agrosilvícolas (AGS)	17.48	5.33
Montaña - Estructural Erosional	Rocas sedimentarias tipo limolitas, lodolitas y arcillolitas	Suelos muy superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas, de reacción moderadamente alcalina y muy baja fertilidad	Consociación: Lithic Ustorthents, familia fina, isotérmica; Typic Ustorthents, familia esquelética, isomélica	MsR08	4	MsR08d2	Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	15.23	4.64
Montaña - Depositacional Fluvio Glaciar	Depósitos detríticos medios y finos de origen fluvio glaciar	Suelos muy superficiales y bien drenados, reacción de ligera a moderadamente alcalina y fertilidad muy alta	Consociación: Lithic Ustorthents, familia franca fina, isotérmica; Lithic Haplustepts, familia franca fina, isotérmica	MnR03	2	MnR03b1	Cultivos permanentes intensivos (CPI).	5.15	1.57

Fuente: Tomado de (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda, 2017)

Con respecto a la capacidad de uso del suelo se identificaron 4 unidades correspondientes a cultivos permanentes intensivos, cultivos transitorios semi intensivos, sistemas agro-silvícolas y zonas urbanas distribuidos como se muestra en la Figura 21.

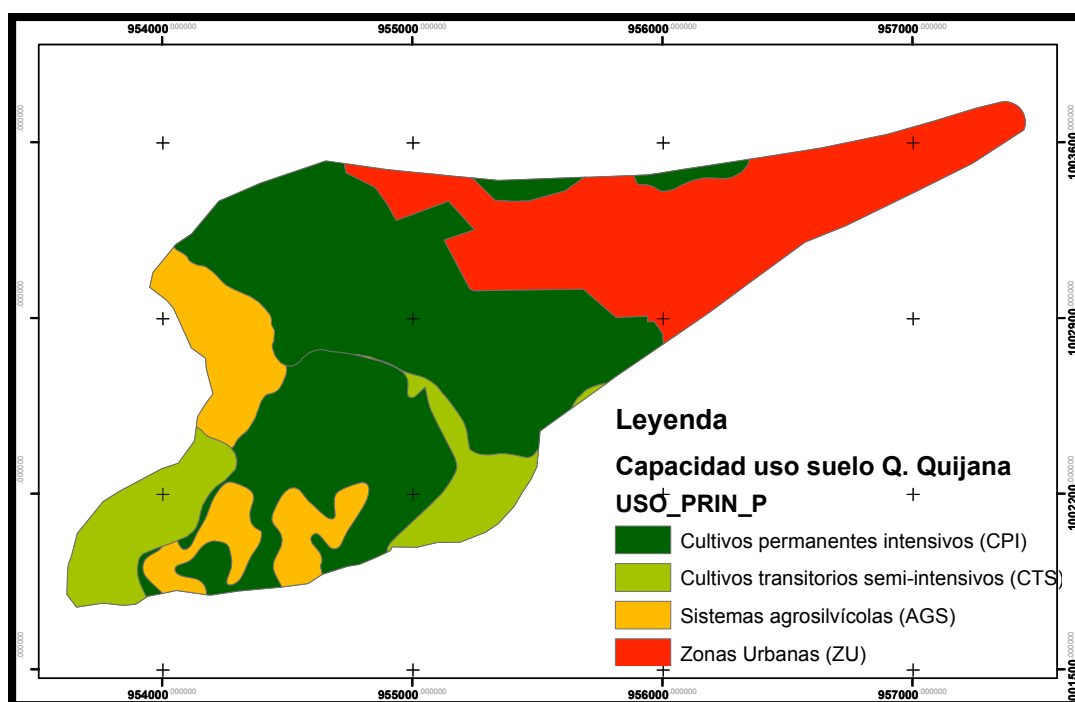


Figura 21. Capacidad de uso del suelo microcuenca Q. Quijana. Adaptado de (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR, 2017)

Como se puede apreciar en la Tabla 18 el uso principal recomendado para el 49.10% del área de la microcuenca corresponde a cultivos permanentes en la parte media y baja. 11.62% para sistemas agro-silvícolas y 11.18% para cultivos transitorios semiintensivos.

Tabla 18. Capacidad de uso del suelo Microcuenca Q. Quijana

Uso principal recomendado	Área (ha)	Área (%)
cultivos permanentes intensivos	161	49.10
zonas urbanas	92.16	28.10
sistemas agro-silvícolas	38.09	11.62
cultivos transitorios semiintensivos	36.67	11.18

Fuente: adaptado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

8.1.1.2 Microcuenca Quebrada Carbonera.

Cartografía Base

La delimitación de la microcuenca se efectuó en el software ArcGIS a partir de la información base de la zona, curvas de nivel, un drenaje sencillo obtenido del POMCA del río Bogotá e información obtenida en campo.

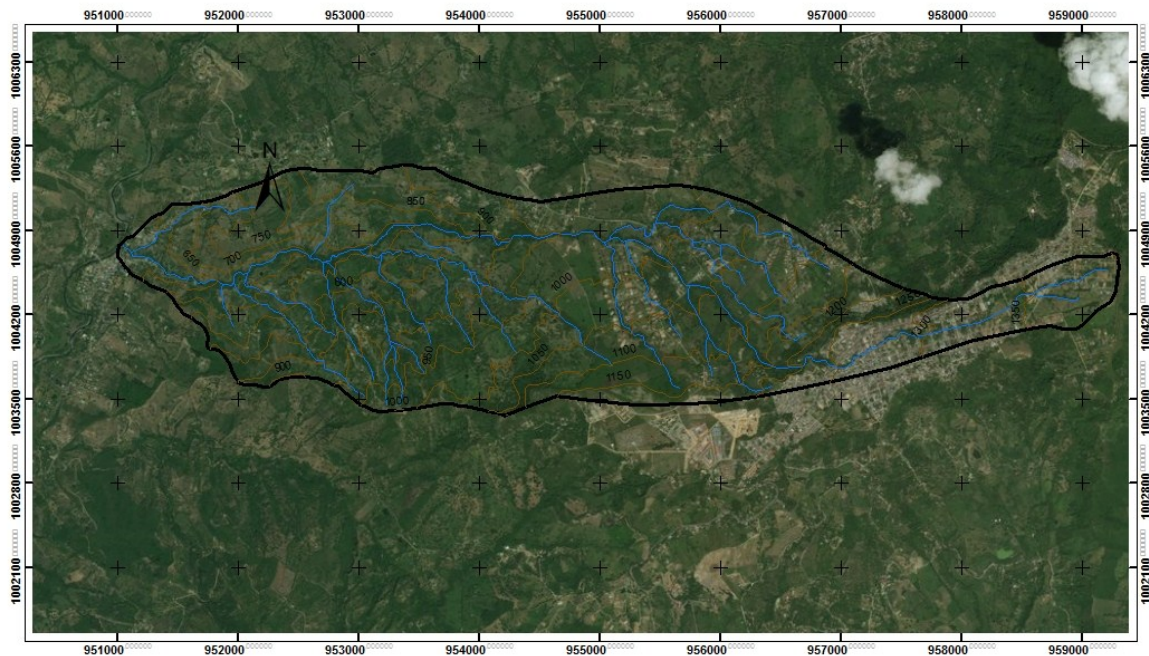


Figura 22. Delimitación Microcuenca Quebrada Carbonera

Componente Físico-Biótico

Pendiente

Realizado el proceso en ArcGIS se obtuvo el mapa de pendientes de toda el área de la microcuenca. Como se puede apreciar en el mapa de la Figura 23 y

Tabla 13, la parte alta de la microcuenca tiene pendiente en su mayoría del 0-7% lo que representa un terreno ligeramente plano. En la parte media se encuentran en su mayoría pendientes no superiores al 25% es decir que su relieve tiende a ser ondulado e inclinado. En la parte baja de la microcuenca se encuentran áreas en su mayoría con pendientes entre 12 a 50%, e incluso áreas pequeñas hasta con el 75%.

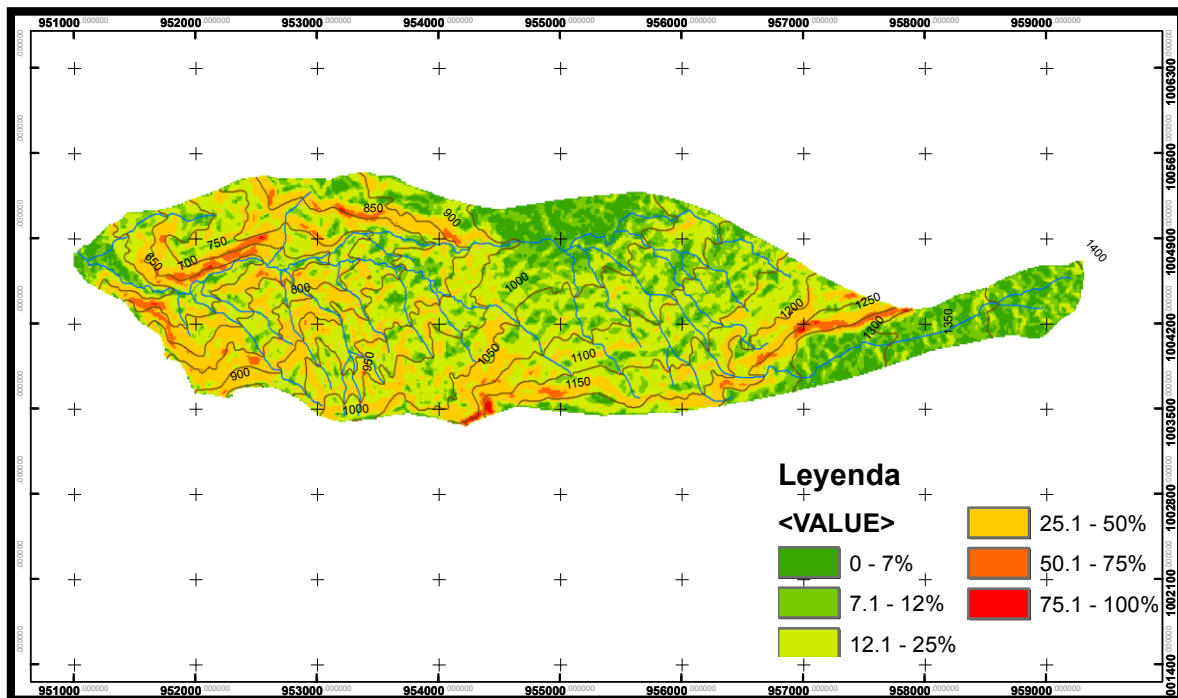


Figura 23. Pendiente microcuenca Q. Carbonera

Hidrografía

La quebrada Carbonera nace en el casco urbano de La Mesa, Cundinamarca, sobre los 1388 msnm. Desemboca en el río Apulo sobre los 617 msnm conformando un área tributaria total de 10.69 km² y una longitud total del cauce de 9.82 km como se puede apreciar en el perfil longitudinal del cauce principal de la Figura 24.

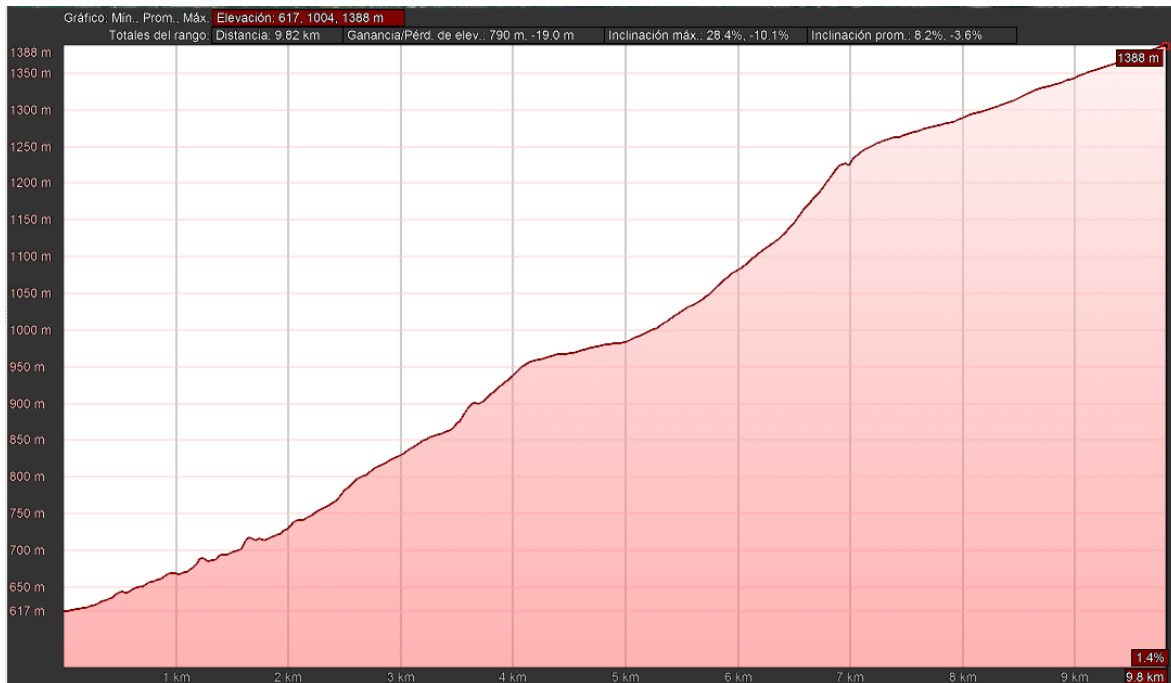


Figura 24. Perfil longitudinal Quebrada Carbonera. Tomado de (Google Earth, 2018)

En la trayectoria de la quebrada pueden distinguirse tres tramos: microcuenca alta desde su nacimiento hasta la salida del casco urbano a una cota aproximada de 1200 msnm, la microcuenca media comprendida desde la salida del casco urbano hasta la cota 950 msnm y la microcuenca baja desde la cota 950 msnm hasta la desembocadura en el río Apulo. En la Figura 25 se muestran el área de los tres tramos principales de la microcuenca.

La microcuenca de la Q. Carbonera se caracteriza por tener una red de drenaje de tipo dendrítico.

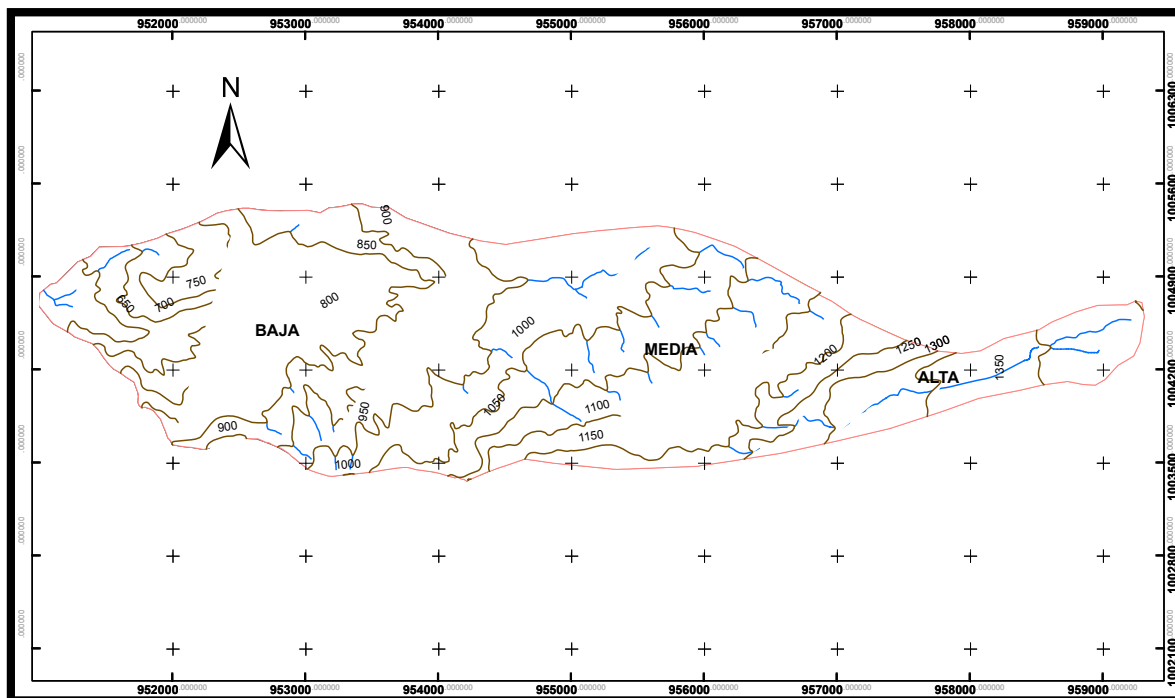


Figura 25. Tramos principales de la Microcuenca Q. Carbonera

Zonificación de unidades hidrográficas

La zonificación corresponde a la presentada en el POMCA del río Bogotá, en el que se muestra la codificación hasta la unidad hidrográfica nivel II denominada Directos Cuenca baja Río Apulo, en la cual se encuentra la quebrada Carbonera a la cual este proyecto propone el código que se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Zonificación de unidades hidrográficas Q. Carbonera

Zonificación	Nombre	Código
Área hidrográfica	Magdalena-Cauca	2
Zonas hidrográficas	Alto Magdalena	21
Subzona hidrográfica	Río Bogotá	2120
Unidad hidrográfica nivel I	Río Apulo	2120-16
Unidad hidrográfica nivel II	Directos Cuenca baja Río Apulo	2120-1601
Unidad hidrográfica nivel III	Quebrada Carbonera	2120-160101

Fuente (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR, 2017)

Morfometría

La morfometría de la microcuenca se determina a partir del programa ArcGIS obteniendo los siguientes resultados.

Área(A): Medida de la superficie de la cuenca, encerrada por la divisoria topográfica, para la microcuenca Carbonera es 10.69 Km²

Perímetro (P): Es la medición de la línea envolvente del área, para la microcuenca Carbonera es 18.50 km.

Longitud axial (Lx): Es la distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca.



Lx= 8.13 km

Ancho promedio (Ap.): Es la medida que se encuentra dividiendo el área de la cuenca por su longitud axial.

$$Ap = \frac{A}{Lx} = \frac{10.69 \text{ Km}^2}{8.13 \text{ km}} = 1.31 \text{ km}$$

Forma de la cuenca (Ff): La forma de la cuenca controla la velocidad con que el agua llega al cauce principal, cuando sigue su curso, desde el origen hasta su desembocadura.

Factor forma: Este índice da alguna indicación de la tendencia de la cuenca hacia las crecidas. Así las cuencas con factor de forma bajo, son menos propensa a tener lluvias intensas y simultaneas sobre su superficie, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor.

$$Ff = \frac{Ap}{Lx} = \frac{1.31 \text{ km}}{8.13 \text{ km}} = 0.16$$

Si Ff =1 entonces la forma de la cuenca tiende a ser redonda.

Si Ff =0 entonces la forma de la cuenca tiende a ser alargada

Siendo el factor forma igual a 0.16, correspondiente a un factor forma bajo indica que la microcuenca quebrada Carbonera tiende a ser alargada.

Coeficiente de compacidad o de Gravelius (Kc): Este coeficiente está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración.

Kc	forma
1-1.25	Casi redonda a oval- redonda
1.25-1.50	oval- redonda- a oval-oblonga
1.51-1.75	oval-oblonga a rectangular- oblonga

$$Kc = 0.28 \frac{p}{\sqrt{A}} = 0.28 \frac{18.50 \text{ km}}{\sqrt{10.69 \text{ Km}^2}} = 1.58$$

Teniendo en cuenta que el Kc es igual a 1.58 la microcuenca Quebrada Carbonera tiene una forma: oval-oblonga a rectangular- oblonga.

Índice de alargamiento (I_a): Para un la pequeño, la cuenca es poco alargada. Si el índice es elevado la forma de la cuenca tiende a ser rectangular

Ia	Clase de alargamiento
0.0-1.4	Poco alargada
1.5-2.8	Moderadamente alargada
2.9-4.2	Muy alargada

$$Ia = \frac{L}{l} = \frac{8.13 \text{ km}}{2.04 \text{ km}} = 3.98$$

La longitud más grande (L)= 8.13 km

Ancho mayor. (l)=2.04 km

Siendo el índice de alargamiento (Ia) igual a 3.98 la microcuenca es muy alargada.

Las ecuaciones fueron tomadas de (Henao Sarmiento, 1988)

Climatología

La caracterización climática de la microcuenca Quebrada Carbonera se realiza a partir de la información suministrada en el POMCA del río Bogotá. A continuación, se muestran la distribución espacial de las variables meteorológicas.

Precipitación

De acuerdo al mapa de distribución espacial de la precipitación anual multianual del POMCA del río Bogotá y el corte realizado con el perímetro de la microcuenca Figura

26, se puede observar que esta variable climatológica fluctúa entre 1.142 mm y 1.231 mm al año, los valores bajos en la parte baja de la microcuenca y asciende hacia la parte media y alta.

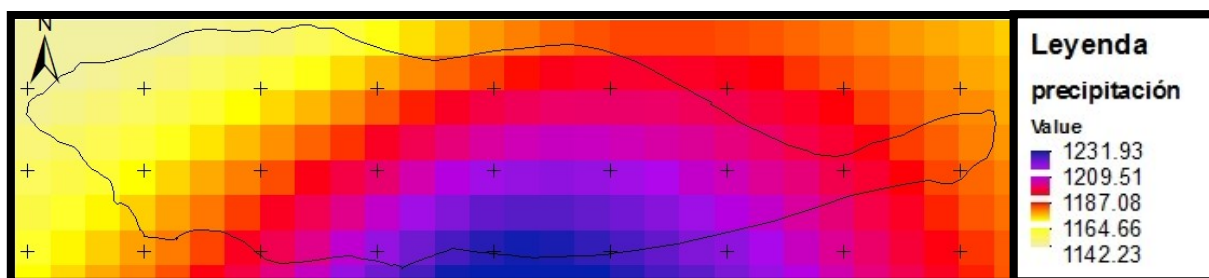


Figura 26. Distribución espacial de la Precipitación anual multianual microcuenca Quebrada Carbonera tomado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

Temperatura

De acuerdo al mapa de temperatura promedio anual del POMCA del río Bogotá y el corte realizado con el perímetro de la cuenca Figura 27, se puede observar que la temperatura promedio anual en la microcuenca varía de acuerdo a la elevación de cada sector, en la parte baja de la esta se tienen valores de 20°C a 22°C, en la parte media valores entre 19°C y 20°C y parte alta de la microcuenca 17.8 a 19°C.

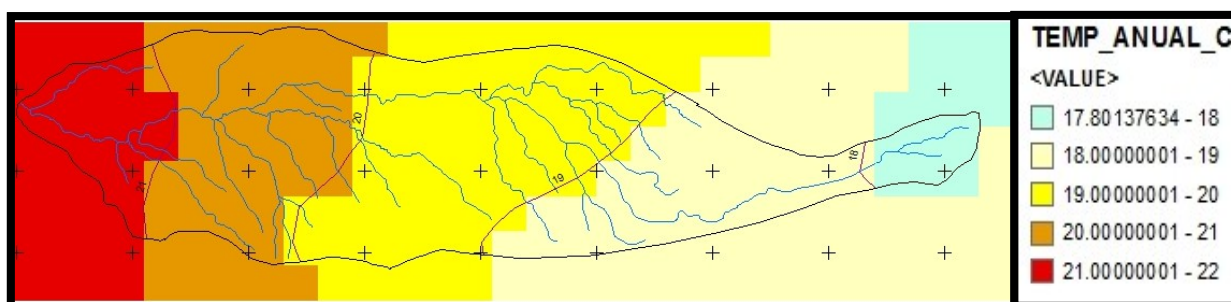


Figura 27. Distribución espacial de la temperatura promedio anual de la Microcuenca Quebrada Carbonera. Tomado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

Zonificación climática

De acuerdo de a la clasificación climática de Caldas – Lang, que considera el comportamiento medio anual de la temperatura media y la precipitación y un

parámetro morfométrico correspondiente al rango de elevación, la microcuenca de la quebrada Carbonera se caracteriza por tener 2 zonas climáticas, correspondiente a clima cálido semiárido en la zona baja y parte de la cuenca media y templado semi húmedo en parte media y alta como se observa en la Figura 28.

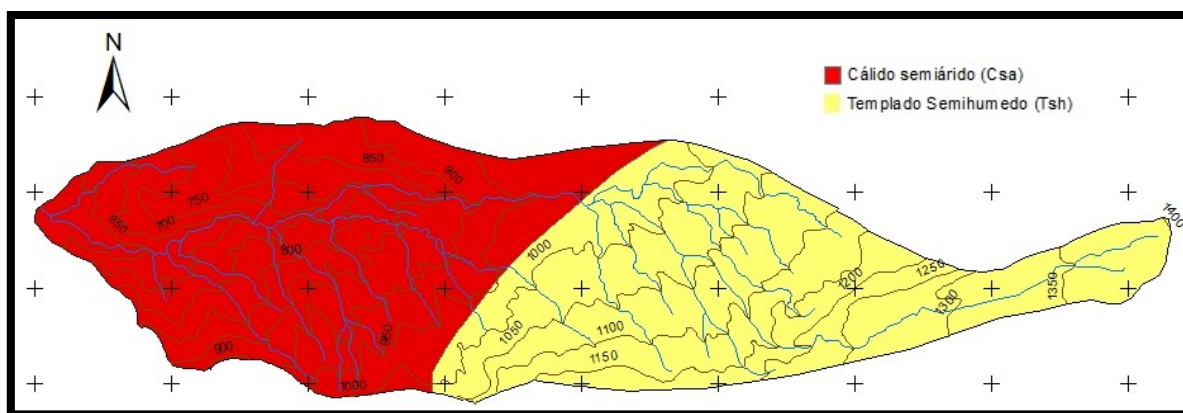


Figura 28. Zonificación climática Microcuenca Quebrada Carbonera. Tomado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

Hidrología

La información hidrológica con la que se cuenta, corresponde a la microcuenca Directos Cuenca baja Río Apulo, en lo concerniente al régimen de caudales anuales y rendimiento hídrico medio anual, oferta y demanda hídrica y unos indicadores como el índice de uso del agua e Índice de retención y regulación hídrica (IRH) (Tabla 20).

Tabla 20. Información hidrológica directos cuenca baja río Apulo

Régimen de caudales anuales y rendimiento hídrico medio anual				
Q. Medio (m3/s)	Q Mínimo (m3/s)	Q Máximo (m3/s)	RH (l/s)/(km2)	Q ambiental (m3/s)
9,259	1,041	63,525	19,104	0,133
Oferta hídrica				
oferta hídrica total superficial OHTS (m3/s)	oferta hídrica total disponible OHTD (m3/s)	oferta hídrica regional disponible OHRD (m3/s)	oferta hídrica regional aprovechable OHRA (m3/s)	
1.296	1.163	1.184	3.341	

Demandas hídricas sectoriales y totales por microcuenca.				
Demanda Agrícola	Demanda Doméstica	Demanda Pecuaria	Demanda Total (m3/s)	
0,654	0,022	0,007	0,683	
Índice de Uso del Agua (IUA)				
Área (ha)	Demanda Total (m3/s)	OHRD (m3/s)	Valor IUA	Rango IUA
11457,75	0,683	1,184	57,66%	Muy Alto
Índice de retención y regulación hídrica (IRH)				
VP Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio.	VT Volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios.	IRH	RANGO	
0,41	1,09	0,38	Muy Baja	
Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH)				
Rango IUA	Rango IRH		IVH	
Muy Alto	Muy Bajo		Muy Alto	

Fuente: (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR, 2017)

En la Tabla 20 los indicadores evidencian un índice de uso de agua muy alto lo que significa que La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible, por su parte el índice de retención y regulación hídrica es muy baja. Adicionalmente el índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH) evidencia un muy alto grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno del Niño podría generar riesgos de desabastecimiento. (Ministerio de Ambiente, 2014). Estos indicadores permiten un acercamiento a la situación actual de La Quebrada La Carbonera.

Calidad del agua

La calidad del agua en la quebrada Carbonera no se encuentra monitoreada, ya que sobre esta no se encuentran estaciones, ni se realizan periódicamente muestreos.

Sin embargo, dentro de la información secundaria, existen resultados sobre un análisis físico químico realizado por (P&P Gestión integral Compañía, 2016), como insumo para la elaboración del PSMV del Municipio de La Mesa. Se realizaron muestreos del vertimiento y sobre la fuente receptora de estos (Quebrada Carbonera). En la siguiente tabla se identifican los puntos.

Tabla 21. Localización de muestreos calidad del agua del año 2016

Punto	Descripción	Este	Norte
1	entrada PTAR carbonera	956531	1003586
2	salida PTAR carbonera	956138	1004030
3	100 m aguas abajo de salida PTAR carbonera	956120	1004176
4	100 m aguas arriba PTAR carbonera	956255	1003927
5	vertimiento la perlita	956662	1003678
6	100 m aguas arriba vertimiento la perlita en Q. carbonera	956807	1003817
7	100 m aguas abajo vertimiento la perlita en Q. carbonera	956486	1003780
8	vertimiento la perla	956457	1003667
9	vertimiento puente carrera 19	957364	1003980
10	100 m aguas arriba vertimiento puente carrera 19 en Q. carbonera	957426	1004029
11	vertimiento colegio americano costado derecho	957203	1003870
12	vertimiento colegio americano costado izquierdo	957372	1003892
13	100 m aguas abajo vertimiento colegio americano en Q. carbonera	957146	1003851
14	vertimiento calle novena costado derecho	956844	1003834
15	100 m aguas arriba vertimiento calle novena en Q. carbonera	956958	1003707
16	vertimiento calle novena costado izquierdo	956853	1003832
17	100 m aguas abajo vertimiento calle novena en Q. carbonera	956850	1003826

Fuente: (P&P Gestión integral Compañía, 2016)

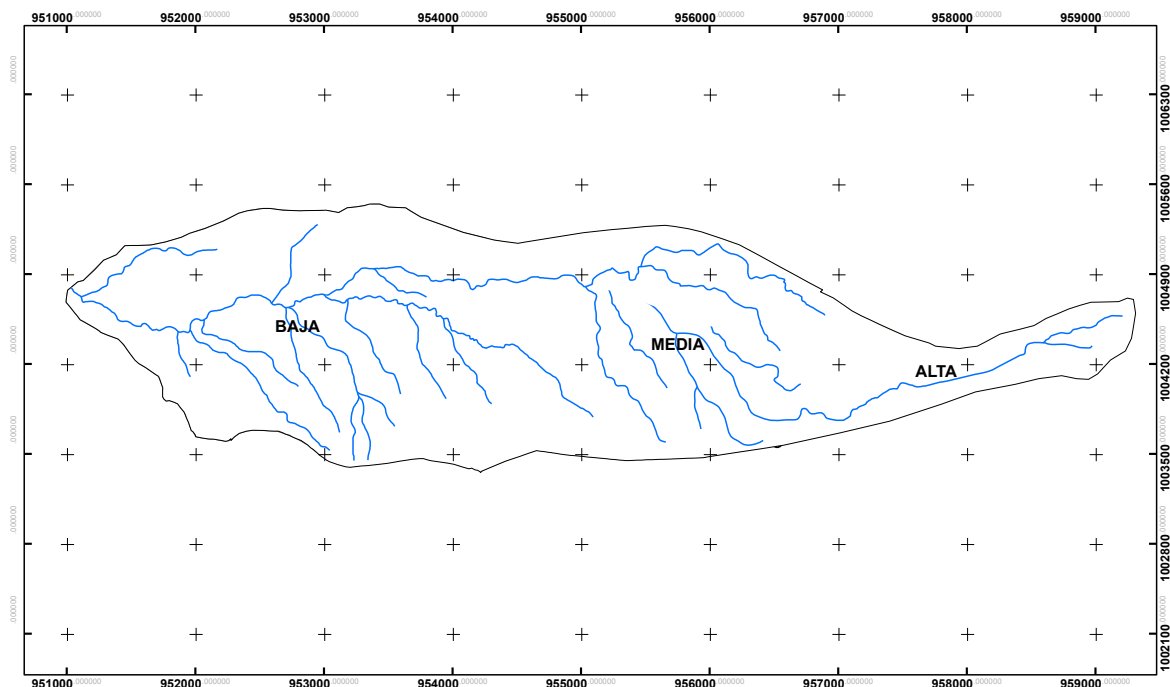


Figura 29. Localización de muestreo del año 2016. Q Carbonera

Como se logra apreciar en el mapa, estos análisis se realizaron sobre la microcuenca alta. Para el análisis de calidad del agua se tomaron los resultados de solamente el cuerpo hídrico Quebrada Carbonera resaltados en la Tabla 21.

Tabla 22. Resultados de caracterización de calidad de agua quebrada Carbonera 2016

Punto	decreto 1594/84 Art.38	decreto 1594/84 Art.39	decreto 1594/84 Art.40	decreto 1594/84 Art.41
100 m aguas arriba PTAR carbonera	Se cumple con el valor máximo permisible para nitratos, nitritos, pH y temperatura. Sin embargo, las variables detergentes, nitrógeno amoniacal, coliformes fecales, y coliformes totales sobrepasan los límites de aceptación	Se cumple con el valor máximo permisible para nitratos, nitritos, pH y temperatura. Sin embargo, las variables detergentes, nitrógeno amoniacal, y coliformes totales sobrepasan los límites de aceptación estipulados en la norma.	Se cumple con el valor máximo permisible para pH y temperatura, sin embargo, las variables coliformes fecales y coliformes totales sobrepasan los límites de aceptación estipulados en la norma.	Los parámetros de nitratos, nitritos y temperatura cumplen los límites máximos permisibles.

Punto	decreto 1594/84 Art.38	decreto 1594/84 Art.39	decreto 1594/84 Art.40	decreto 1594/84 Art.41
	estipulados en la norma.			
100 m aguas abajo de salida PTAR carbonera	Cumple con el valor máximo permisible para nitratos, nitritos, pH y temperatura. Sin embargo, las variables detergentes, nitrógeno amoniacal, coliformes fecales, y coliformes totales sobrepasan los límites de aceptación estipulados en la norma.	Se cumple con el valor máximo permisible para nitratos, nitritos, pH y temperatura. Sin embargo, las variables detergentes, nitrógeno amoniacal, y coliformes totales sobrepasan los límites de aceptación estipulados en la norma.	Se cumple con el valor máximo permisible para pH y temperatura, sin embargo, las variables coliformes fecales y coliformes totales sobrepasan los límites de aceptación estipulados en la norma.	Los parámetros de nitratos, nitritos y temperatura cumplen los límites máximos permisibles.
100 m aguas arriba vertimiento la perlita en Q. carbonera	Cumple con el valor máximo permisible para nitratos, nitritos, pH y temperatura. Sin embargo, las variables detergentes, nitrógeno amoniacal, coliformes fecales, y coliformes totales sobrepasan los límites de aceptación estipulados en la norma.	Se cumple con el valor máximo permisible para nitratos, nitritos, pH y temperatura. Sin embargo, las variables detergentes, nitrógeno amoniacal, y coliformes totales sobrepasan los límites de aceptación estipulados en la norma.	Se cumple con el valor máximo permisible para pH y temperatura, sin embargo, las variables coliformes fecales y coliformes totales sobrepasan los límites de aceptación estipulados en la norma.	Para el parámetro de temperatura se cumplen los límites máximos permisibles.
100 m aguas abajo vertimiento la perlita en Q. carbonera	No cumple con el valor máximo permisible de coliformes fecales, coliformes totales, y nitrógeno amoniacal	sobrepasa los límites de aceptación estipulados en la norma para coliformes totales y nitrógeno amoniacal	No cumple con el valor máximo permisible de coliformes fecales, coliformes totales,	Para el parámetro de Nitratos se cumplen los límites máximos permisibles.
100 m aguas arriba vertimiento puente carrera 19 en Q. carbonera	Cumple con el valor máximo permisible de coliformes fecales, Nitratos, Nitritos y pH. No cumple con el valor máximo permisible para coliformes totales y nitrógeno amoniacal.	Cumple con el valor máximo permisible de coliformes fecales, Nitratos, Nitritos y pH. No cumple con el valor máximo permisible para coliformes totales y nitrógeno amoniacal	Cumple con el valor máximo permisible de coliformes fecales, Nitratos, Nitritos y pH. No cumple con el valor máximo permisible para coliformes totales y nitrógeno amoniacal	Cumple con el valor máximo permisible para Nitratos, Nitritos y temperatura.

Punto	decreto 1594/84 Art.38	decreto 1594/84 Art.39	decreto 1594/84 Art.40	decreto 1594/84 Art.41
100 m aguas abajo vertimiento colegio americano en Q. carbonera	Cumple con el valor máximo permisible de coliformes fecales, Nitratos, Nitritos. El nitrógeno amoniacal supera el límite permisible por la norma por lo cual no cumple con este parámetro.	No cumple con el valor máximo permisible de coliformes Totales y nitrógeno amoniacal.	No cumple con el valor máximo permisible de coliformes Totales.	Cumple con el valor máximo permisible para Nitratos, Nitritos y temperatura.
100 m aguas arriba vertimiento calle novena en Q. carbonera	Cumple con el valor máximo permisible de coliformes fecales, Nitratos y Nitritos. Sin embargo no cumple con el valor máximo permisible para nitrógeno amoniacal	No cumple con el valor máximo permisible de coliformes Totales y nitrógeno amoniacal.	No cumple con el valor máximo permisible de coliformes Totales y coliformes fecales.	Cumple con el valor máximo permisible para Nitratos, Nitritos y temperatura.
100 m aguas abajo vertimiento calle novena en Q. carbonera	No cumple con el valor máximo permisible de coliformes fecales, coliformes totales y Nitrógeno amoniacal	No cumple con el valor máximo permisible de los parámetros detergentes SAAM y Nitrógeno amoniacal.	No cumple con el valor máximo permisible de coliformes Totales y coliformes fecales.	Cumple con el valor máximo permisible para Nitratos, Nitritos y temperatura.

Fuente: (P&P Gestión integral Compañía, 2016)

Cobertura y uso de la Tierra Carbonera

Como se puede apreciar en la Figura 30 y Tabla 23 en la microcuenca Quebrada Carbonera predominan una cobertura de pastos limpios con uso actual de pastoreo intensivo cubriendo un área de 362.55 ha correspondiente al 33.90% del total del área de la microcuenca, este uso se distribuye de manera heterogénea por toda la microcuenca. Seguido de cultivos permanentes arbóreos con 175.43 ha localizados en la parte baja de microcuenca con 16.40% del área total y en un tercer lugar se encuentran el tejido urbano continuo con 134.32 ha y 12.56% del área. Adicionalmente se presenta otro tipo de cobertura como pastos arbolados, bosque de galería y/o ripario, mosaico de pastos y cultivos, Vegetación secundaria o en

transición, pastos enmalezados, mosaico de cultivos y espacios naturales, red vial, ferroviaria y terrenos asociados, mosaico de cultivos, cultivos permanentes herbáceos, cereales, zonas industriales o comerciales.

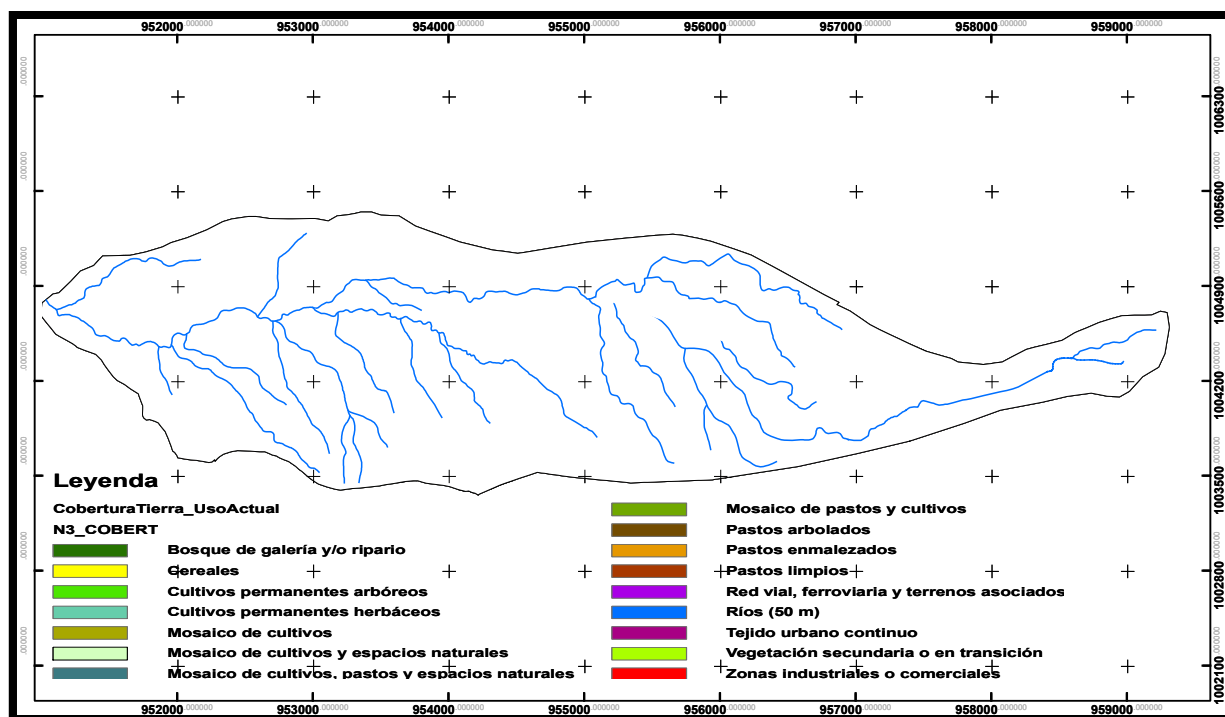


Figura 30. Mapa de Cobertura y uso de la Tierra Microcuenca Quebrada Carbonera. Adaptado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

Tabla 23. Porcentaje (%) de áreas de cobertura y uso actual de la Tierra Quebrada Carbonera

Cobertura	Uso actual	Área (ha)	Área (%)
Pastos limpios	Pastoreo intensivo	362.55	33.90%
Cultivos permanentes arbóreos	Cultivos Permanentes Semi-intensivos	175.43	16.40%
Tejido urbano continuo	Residencial	134.32	12.56%
Pastos arbolados	Pastoreo semi-intensivo	80.66	7.54%
Bosque de galería y/o ripario	Protección	67.34	6.30%
Mosaico de pastos y cultivos	Sistemas combinados de agricultura, ganadería y forestería	60.32	5.64%
Vegetación secundaria o en transición	Tierras en descanso	35.48	3.32%

Cobertura	Uso actual	Área (ha)	Área (%)
Pastos enmalezados	Pastoreo extensivo	34.77	3.25%
Mosaico de cultivos y espacios naturales	Sistemas combinados de agricultura y forestería	31.65	2.96%
Vegetación secundaria o en transición	Restauración	29.97	2.80%
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Infraestructura y transporte	19.11	1.79%
Mosaico de cultivos	Cultivos transitorios intensivos	18.83	1.76%
Cultivos permanentes herbáceos	Cultivos Permanentes Semi-intensivos	13.90	1.30%
Cereales	Cultivos transitorios intensivos	2.93	0.27%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Sistemas combinados de agricultura, ganadería y forestería	1.03	0.10%
Zonas industriales o comerciales	Industrial	0.89	0.08%
Ríos (50 m)	Protección	0.24	0.02%
TOTAL		1069.41	100.00%

Fuente: tomado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

Suelos y su capacidad de uso

El tipo de suelo y la capacidad de uso en la microcuenca quebrada Carbonera se generaron a través del corte de la capa de las unidades cartográficas del suelo del POMCA del río Bogotá y el perímetro de la microcuenca, identificando 14 unidades distribuidas como se observa en la Figura 31 y con las características que se presentan en la Tabla 24.

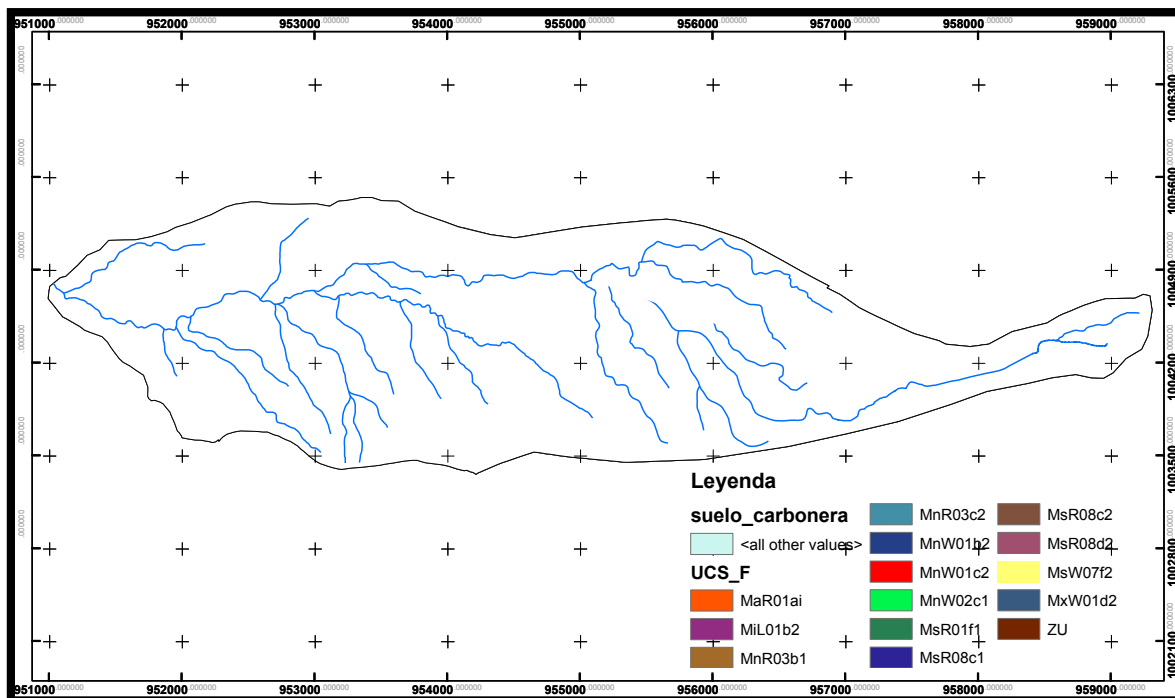


Figura 31. Unidades cartográficas del suelo Microcuenca Q. Carbonera.
 Adaptado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

Tabla 24. Unidades Geomorfopedológicas Microcuenca Q. Carbonera

PAISAJE	MATERIAL PARENTAL	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS SUELO	UNIDAD CARTOGRÁFICA COMPONENTES TAXONÓMICOS	UNIDAD GEOMORFOPE DOLÓGICA SIMBOLO	CLASE	UNIDADES CARTOGRAFICA DE SUELO	USO PRINCIPAL PROPUESTO	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Montaña - Estructural Erosional	Rocas sedimentarias tipo limolitas, lodolitas y arcillolitas	Suelos muy superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas, reacción ligeramente alcalina y fertilidad muy baja	Complejo: Lithic Ustorthents, familia franca fina, isohipertérmica; Typic Ustorthents esquelética franca, isohipertérmica	MsW07	7	MsW07f2	sistemas agro silvícolas (AGS)	453.13	42.38
Zona urbana	Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	Zona urbana	ZU	0	ZU	Zona Urbana	216.78	20.27
Montaña - Estructural Erosional	Rocas sedimentarias tipo limolitas, lodolitas y arcillolitas	Suelos muy superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas, de reacción fuertemente ácida y fertilidad moderada	Consociación: Typic Ustorthents, familia fragmental, isotérmica; Lithic Ustorthents, familia fina, isotérmica	MsR01	7	MsR01f1	sistemas agro silvícolas (AGS)	82.85	7.75
Montaña - Depositacional Aluvio Coluvial	Depósitos aluvio - coluviales	Suelos superficiales, pobremente drenados, de texturas finas, reacción de ligera a moderadamente ácida y baja fertilidad	Consociación: Typic Endoaquepts, familia fina, isotérmica; Aeris Endoaquepts, familia fina, isotérmica	MaR01	7	MaR01ai	Sistemas forestales protectores (FPR)	46.53	4.35
Montaña - Depositacional Fluvio Glaciar	Depósitos detríticos medios y finos de origen fluvio glaciar	Suelos muy superficiales y bien drenados, reacción de ligera a moderadamente alcalina y fertilidad muy alta	Consociación: Lithic Ustorthents, familia franca fina, isotérmica; Lithic Haplustepts, familia franca fina, isotérmica	MnR03	2	MnR03b1	Cultivos permanentes intensivos (CPI)	46.49	4.35

PAISAJE	MATERIAL PARENTAL	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS SUELO	UNIDAD CARTOGRÁFICA COMPONENTES TAXONÓMICOS	UNIDAD GEOMORFOE DOLÓGICA SIMBOLO	CLASE	UNIDADES CARTOGRAFICA DE SUELO	USO PRINCIPAL PROPUESTO	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Montaña - Estructural Erosional	Rocas sedimentarias tipo limolitas, lodolitas y arcillolitas	Suelos muy superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas, de reacción moderadamente alcalina y muy baja fertilidad	Consociación: Lithic Ustorthents, familia fina, isotérmica; Typic Ustorthents, familia esqueletal, isoméscica	MsR08	4	MsR08d2	Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	43.61	4.08
Montaña - Depositacional Fluvio Glaciar	Depósitos detríticos medios y finos de origen fluvio glaciar	Suelos muy superficiales y bien drenados, reacción de ligera a moderadamente alcalina y fertilidad muy alta	Consociación: Lithic Ustorthents, familia franca fina, isotérmica; Lithic Haplustepts, familia franca fina, isotérmica	MnR03	3	MnR03c2	Cultivos permanentes intensivos (CPI)	42.96	4.02
Montaña - Estructural Erosional	Rocas sedimentarias tipo limolitas, lodolitas y arcillolitas	Suelos muy superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas, de reacción moderadamente alcalina y muy baja fertilidad	Consociación: Lithic Ustorthents, familia fina, isotérmica; Typic Ustorthents, familia esqueletal, isoméscica	MsR08	3	MsR08c1	Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	40.87	3.82
Montaña - Depositacional Coluvio Aluvial	Depósitos heterométricos medios y finos	Suelos muy superficiales, bien drenados, texturas moderadamente gruesas, reacción ligeramente ácida y fertilidad alta	Complejo: Lithic Ustorthents, familia fragmental, Isohipertérmica; Typic Calciustolls, familia fina, isohipertérmica	MnW01	3	MnW01b2	Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	40.19	3.76
Montaña - Depositacional Coluvio Aluvial	Depósitos heterométricos medios y finos	Suelos muy superficiales, bien drenados, texturas moderadamente gruesas, reacción ligeramente ácida y fertilidad alta	Complejo: Lithic Ustorthents, familia fragmental, Isohipertérmica; Typic Calciustolls, familia fina, isohipertérmica	MnW01	3	MnW01c2	Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	15.98	1.49

PAISAJE	MATERIAL PARENTAL	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS SUELO	UNIDAD CARTOGRÁFICA COMPONENTES TAXONÓMICOS	UNIDAD GEOMORFOE DOLÓGICA SIMBOLO	CLASE	UNIDADES CARTOGRAFICA DE SUELO	USO PRINCIPAL PROPUESTO	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Montaña - Depositacional Coluvio Aluvial	Depósitos heterométricos de origen coluvio - aluvial	Suelos moderadamente profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, reacción de neutra a moderadamente alcalina y fertilidad alta	Consociación: Typic Haplustoll, familia franca fina, isohipertérmica; Typic Haplustepts, familia fina, isohipertérmica	MxW01	4	MxW01d2	Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	14.61	1.37
Montaña - Estructural Erosional	Rocas sedimentarias tipo limolitas, lodolitas y arcillolitas	Suelos muy superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas, de reacción moderadamente alcalina y muy baja fertilidad	Consociación: Lithic Ustorthents, familia fina, isotérmica; Typic Ustorthents, familia esqueletal, isomélica	MsR08	3	MsR08c2	Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	14.23	1.33
Montaña - Depositacional Coluvio Aluvial	Depósitos heterométricos medios y finos	Suelos muy superficiales, bien drenados, texturas moderadamente gruesas, reacción ligeramente ácida y fertilidad alta	Consociación: Lithic Ustorthents, familia fragmental, Isohipertérm; Typic Calciustolls, familia fina, isohipertérmica	MnW02	3	MnW02c1	Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	10.92	1.02
Montaña - Depositacional Aluvio Coluvial	Cenizas volcánicas sobre depósitos aluvio - coluviales	Suelos moderadamente profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, reacción de ligeramente alcalina a ligeramente ácida y fertilidad muy alta	Complejo: Eutric Hapludands, familia medial, isomélica; Typic Dystrudepts, familia franca fina, isomélica	MiL01	2	MiL01b2	Cultivos transitorios intensivos (CTI)	0.19	0.02

Fuente: Tomado de (Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda, 2017)

Con respecto a la capacidad de uso del suelo se identificaron 4 unidades correspondientes a cultivos permanentes intensivos, cultivos transitorios semiintensivos, sistemas agro-silvícolas y zonas urbanas distribuidos como se muestra en la Figura 32.

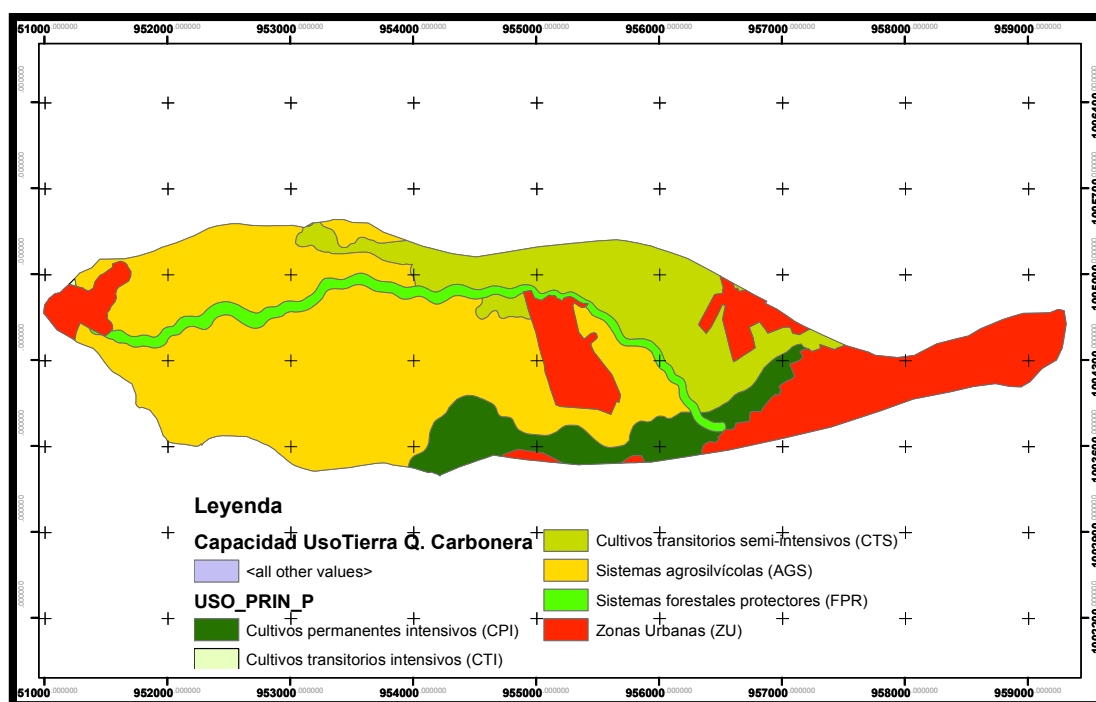


Figura 32. Capacidad de uso del suelo microcuenca Q. Carbonera. Adaptado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

Como se puede apreciar en la Tabla 25, el uso principal recomendado para el 50.12% del área total de la microcuenca corresponde a sistemas agro-silvícolas en la parte media y baja. 20.27% para zona urbana, seguido de los cultivos transitorios semiintensivos con 16.87%.

Tabla 25. Capacidad de uso del suelo Microcuenca Q. Carbonera

Uso principal recomendado	Área (ha)	Área (%)
sistemas agro silvícolas (AGS)	535.98	50.12
zonas urbanas (ZU)	216.78	20.27
cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	180.40	16.87
cultivos permanentes intensivos (CPI)	89.45	8.37
Sistemas forestales protectores (FPR)	46.53	4.35
cultivo transitorio intensivos (CTS)	0.19	0.02

Fuente: tomado de (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

8.1.2 Descripción y evaluación de la información existente en las microcuencas de estudio.

A continuación se presenta la matriz con la descripción y evaluación de la información secundaria relacionada con la calidad y gestión del recurso hídrico en las microcuencas Quebrada Carbonera y Quijana.

De acuerdo a información de la alcaldía municipal y la CAR con respecto a la gestión del recurso hídrico, se han implementado por parte de estas dos entidades y en colaboración con la comunidad jornadas de limpieza y reforestaciones en la parte alta y media de las microcuencas Q. Carbonera y Q. Quijana, sembrado alrededor de 1.700 árboles desde el año 2017 a diciembre de 2018.

Por parte de la administración municipal se programan 3 jornadas de limpieza anuales en compañía de La Empresa Regional Aguas del Tequendama, la CAR, el Ejército Nacional y la comunidad en general.

Tabla 26. Matriz de descripción y evaluación de la información secundaria de las microcuencas relacionadas con calidad y gestión del recurso hídrico.

Documento	Autor	Año	Contenido	Pertinencia	Fiabilidad	Calidad	Actualidad	Promedio calificación
Caracterización Fuentes Hídricas Del Municipio De La Mesa	Alcaldía Municipal De La Mesa, Cundinamarca	2017	Identifica acciones antrópicas que afecten las fuentes hídricas, mediante recorridos en el río Apulo, río Curí, quebradas y nacederos del municipio. Con su localización y evidencia fotográfica.	Media	Alta	Media	Alta	Alta
Borrador Revisión, Formulación, Ajuste Y/O Actualización De Los Planes De Saneamiento Y Manejo De Vertimientos – PSMV - De Las Áreas Urbanas Y Centros Poblados En Municipios Del Departamento De Cundinamarca.	Consultoría P&P	2016	Diagnóstico del municipio, del sistema de alcantarillado, análisis del PSMV anterior, análisis y selección de alternativas, horizonte de planeación, metas y programas, estructuración del PSMV, Plan de contingencia	Alta	media	Media	Media	Media
Ajuste del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Bogotá.	Consortio Huitaca	2018	Fase de aprestamiento, diagnóstico, prospectiva y formulación del POMCA del río Bogotá, Cartografía escala 1:25.000	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Análisis físico químico y microbiológico de las aguas residuales y aguas superficiales del casco urbano del municipio de la Mesa-Cundinamarca.	Consultoría P&P- Laboratorio Instituto de Higiene Ambiental S.A.S	2016	Resultados del laboratorio de puntos de vertimientos, 9 correspondientes a vertimientos sobre el cuerpo hídrico quebrada Carbonera y 1 sobre la quebrada La Quijana	Alta	Alta	Alta	media	Alta
Diagnóstico técnico, administrativo y financiero PTAR's Convenio de asociación N° 1284 DE 2014	Corporación	2014	Diagnóstico de la Planta de tratamiento de agua residual domestica PTAR la Carbonera y PTAR La Quijana	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio

8.1.3 Identificación de puntos de vertimiento y captaciones en el área de estudio.

8.1.3.1 Captaciones y vertimientos legales.

De acuerdo a la información subministrada por la oficina provincial de La Corporación autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, se identifican los puntos de captación y vertimientos que cuentan con el permiso de la autoridad ambiental. A continuación se muestran los resultados.

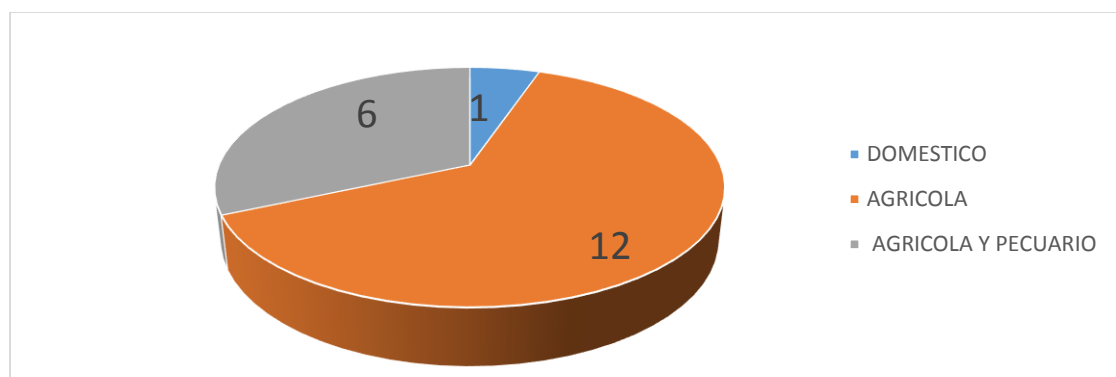


Figura 33. Número de concesiones de agua quebrada Carbonera. Adaptado (CAR, 2018)

Tabla 27. Caudal Concesionado Quebrada Carbonera.

Uso	Caudal (l/s)
Doméstico	0.07
Agrícola	3.307
Pecuario	0.1518
Total	3.5288

Fuente: adaptado (CAR, 2018)

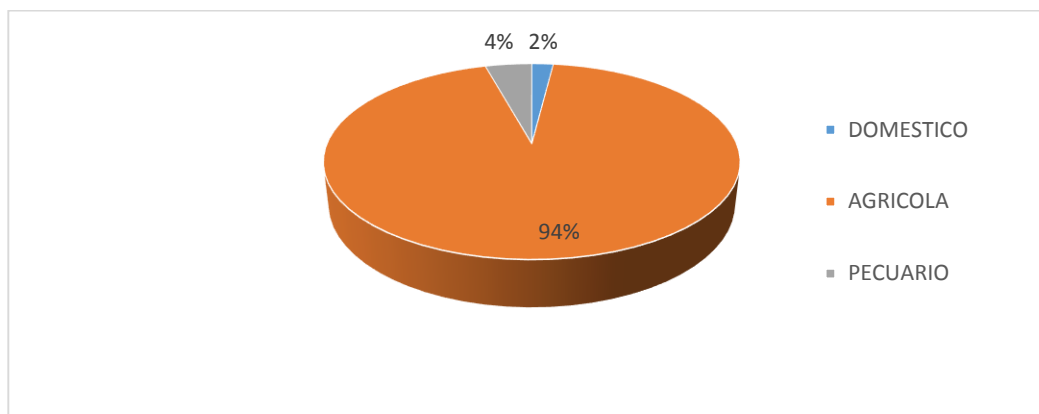


Figura 34. Porcentaje de caudal concesionado quebrada carbonera de acuerdo a los usos del agua.

De acuerdo a lo anterior se evidencia la presencia de 19 captaciones sobre la quebrada Carbonera, 12 de ellas para uso agrícola y con un caudal concesionado de 3.07 l/s correspondiente al 94% del caudal total concesionado. Seguido de uso pecuario con el 4% (0.1518 l/s) y 2% para uso doméstico (0.07 l/s). Con vigencia de concesiones de 10 años cada una.

Permiso de vertimientos Quebrada Carbonera.

Para el mes de agosto del 2018 la CAR ha otorgado 2 permisos de vertimiento sobre la fuente hídrica superficial quebrada La Carbonera para hogares privados con servicio doméstico. Como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 28. Permiso de vertimientos quebrada La Carbonera.

Estado	Permiso de vertimiento		Volumen
	cantidad	tipo de vertimiento	
Seguimiento y control	2	Doméstico	0,05- 0,089
En trámite	2	No especifica	No especifica

Fuente: (CAR, 2018)

8.1.3.2 Recorrido Quebrada Quijana.

Se realizó el recorrido por el cauce principal de la microcuenca quebrada Quijana el día 27 a 31 de marzo del 2018, identificando puntos críticos de contaminación sobre la fuente hídrica, puntos de captación y visita a las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio. A continuación, se describen las condiciones actuales sobre los afluentes:

- **Nacimiento y recorrido de la quebrada por el casco Urbano**

Este cuerpo hídrico nace en el barrio El Recreo del casco urbano del Municipio de la Mesa, básicamente se forma por un pozo de agua subterránea que se encuentra en predio privado, al salir de este se encuentra canalizada hasta el barrio José Antonio Olaya sin embargo en el punto de Centro Día (lugar de asistencia social de la alcaldía) existe un tramo abierto donde se evidencia la contaminación del recurso hídrico. Lo cual demuestra posibles conexiones erradas de aguas residuales domésticos en tramo canalizado, sin embargo no es posible verificar los vertimientos ya que este es subterráneo.



Figura 35. Quebrada Quijana punto de Centro Día.

En la estación de servicio Puerta del Sol, el canal recibe aguas lluvias de la calle cuarta y octava adicionalmente la estación cuenta con permiso de captación para lavado de vehículos.



Figura 36. Quebrada Quijana estación de servicio puerta del sol

Posteriormente la quebrada atraviesa el predio del hospital Pedro León Álvarez Díaz como se observa en la figura. Allí nuevamente es Canalizada hasta el barrio José Antonio Olaya donde nuevamente se observa la mala calidad del agua como se evidencia en la siguiente figura (imagen derecha). Sin embargo no se cuenta con una caracterización físico química que demuestre su estado real.



Figura 37. Quebrada Quijana sector Hospital Pedro León Álvarez



Figura 38. Quebrada Quijana Barrio José Antonio Olaya

La mayor causa de afectación de la quebrada se da por invasión de la ronda hídrica de urbanizaciones como barrio La Ceiba, Palmas de Iraka, y posibles conexiones erradas que no se logran evidenciar a través de conexiones de tubería pero que sin embargo se ven reflejadas en la alteración de la calidad del agua.

- **Recorrido de la quebrada por área rural**

En la quebrada Quijana en el área rural no se encuentra afectación por descargas de aguas residuales, con excepción de la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales de la PTAR La Quijana.

PTAR Quijana

No cuenta con permiso de vertimiento. Recibe el 60% de las aguas residuales del casco urbano de la mesa, sin embargo, esta planta se encuentra colapsada ya que recibe entre 12 y 15 L/s.



Figura 39. PTAR la Quijana

En la información del POMCA del río Bogotá, se evidencia que sobre la Microcuenca Q. Quijana existen unos puntos de captación y de vertimiento. Los cuales se muestran en la Figura 40 y las siguientes tablas. El agua es captada para abastecimiento de abrevaderos y para riego de cultivos.

Tabla 29. Vertimientos Q. Quijana

	Vertimiento	Coordenadas
1	Hospital	X 956757.14 Y 1003478.23
2	PTAR la Quijana	X 955312.86 Y 1002712.68

Fuente: (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

Tabla 30. Captaciones Microcuenca Q. Quijana

	Fuente hídrica	Coordenadas	Uso
1	Quebrada Quijana	X 954266 Y 1002364	Riego y silvicultura
2	Quebrada Quijana	X 954723 Y 1002762	Abastecimiento doméstico
3	Nacedero Innominado	X 954723 Y 1002762	Abastecimiento doméstico
4	Quebrada Quijana	X 954649 Y 1002772	Riego y silvicultura
5	Quebrada Quijana	X 954732 Y 1002808	Abastecimiento doméstico
6	Nacedero Innominado	X 954940 Y 1002993	Abastecimiento doméstico
7	Nacedero Innominado	X 954949 Y 1003004	Abastecimiento doméstico
8	Nacedero Innominado	X 954883 Y 1003251	Abastecimiento doméstico

Fuente: (Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR., 2017)

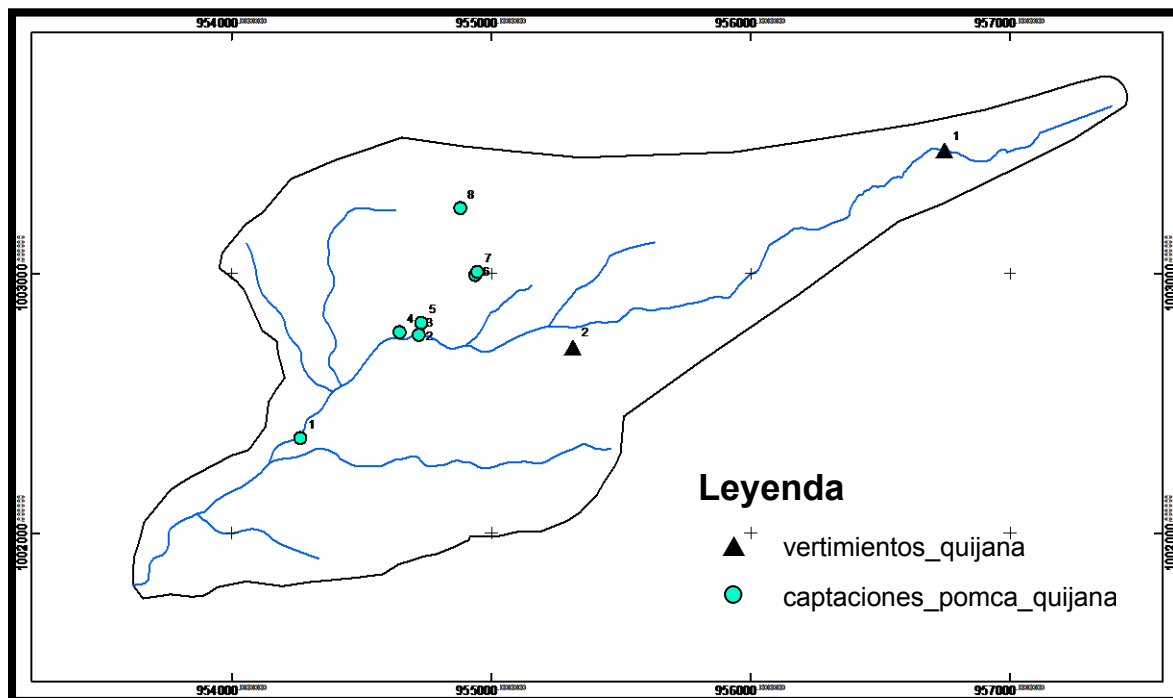


Figura 40. Mapa con puntos de captación y vertimientos de la microcuenca Quebrada Quijana. Autor

8.1.3.3 Recorrido Quebrada Carbonera

- **Nacimiento**

Este cuerpo hídrico nace en el barrio Pajonales del casco urbano del municipio de la Mesa, cuenta con cauce natural con cobertura vegetal en su mayoría de ficus y guadua, sin embargo, se evidencia urbanización dentro de la ronda hídrica de la quebrada y aproximadamente a 200 metros se evidencia la filtración de una caja de inspección de aguas residuales.



Figura 41. Nacimiento Quebrada Carbonera



Figura 42. Invasión de ronda hídrica



Figura 43. Filtración de agua residual

- **Recorrido de la quebrada por el casco Urbano**

Durante el recorrido se evidencia canalizada la quebrada y existen puntos de conexión errada a la red de alcantarillado por medio de tubos de PVC entre 3" y 8" de diámetro las cuales generan colmatación de las cajas de inspección de la red lo que conlleva a vertimientos sobre el cuerpo hídrico. De igual forma se observa la falta de mantenimiento de las cajas de inspección.



Figura 45. Filtraciones del alcantarillado a Q. Carbonera



Figura 44. Conexión de aguas residuales



Figura 47. Falta de mantenimiento cajas de inspección

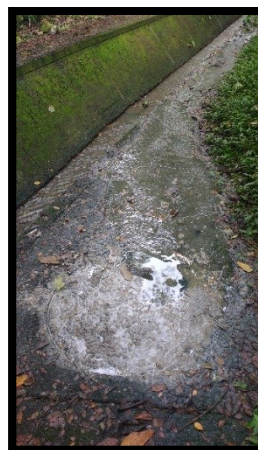


Figura 46. Colmatación de cajas de inspección

Sobre el casco urbano existen 8 puntos de descarga directa de aguas combinadas del alcantarillado. Los puntos de vertimiento se relacionan a continuación.

Tabla 31. Listado de vertimientos microcuenca Quebrada Carbonera, Casco urbano La Mesa.

	Vertimiento	Coordenadas	Elevación (msnm)	Observación
1	Sector teatro municipal Carrera 19	X:957382.80 Y 1003981.91	1294.90	Este vertimiento se localiza en la carrera 19 con calle 6, correspondiente a las aguas combinadas parciales de los barrios Santa Bárbara, centro y Toledo. Localizado cerca del colegio Americano, correspondiente a las aguas combinadas parciales de los barrios Santa Bárbara, centro y Toledo. Costado norte que vierten el agua del alcantarillado a través de un tubo de 8".
2	Sector Colegio Americano-calle 6 con carrera 22 costado norte	X 957162.3 Y 1003859.07	1273.40	Localizado cerca del colegio Americano, correspondiente a las aguas combinadas parciales de los barrios Santa Bárbara, centro y Toledo. Costado sur que vierten el agua del alcantarillado a través de un tubo de 8"
3	Sector Colegio Americano calle 6 con carrera 22 costado sur	X 957163.58 Y 1003857.52	1273.40	En el barrio Álvarez Díaz se encuentran 6 viviendas las cuales vierten sus aguas residuales directamente a la quebrada la Carbonera a través de un tubo de 3"aproximadamente.
4	Casas Calle 6 con carrera 22	X 957162.37 Y 1003859.07	1238.00	Este vertimiento recoge parcialmente las aguas combinadas de los barrios Álvarez Díaz, Recreo.
5	carrera 9 con calle octava costado norte	X 956858.20 Y 1003821.30	1265.78	Este vertimiento recoge parcialmente las aguas combinadas del Barrio Rincón Santo y Santa Bárbara. Vierte el agua a través de un tubo de 8"aproximadamente.
6	carrera 9 calle octava costado sur	X 956857.62 Y 1003819.56	1265.78	Este vertimiento recoge parcialmente las aguas combinadas del Barrio La perlita a través de un tubo de 8"aproximadamente.
7	barrio perlita	X 956670.06 Y 1003692.79	1249.29	Este vertimiento recoge parcialmente las aguas combinadas del barrio la perla y José Antonio Olaya.
8	barrio perla	X 956474.07 Y 1003652.10	1215.88	



Vertimiento 1



Vertimiento 2



Vertimiento 3



Vertimiento 4



Vertimiento 5



Vertimiento 6



Vertimiento 7



Vertimiento 8

Figura 48. Fotografías puntos de vertimiento Microcuenca Q. Carbonera

Recorrido de la quebrada por área rural

Se observa que en el área una de las afectaciones sobre la quebrada son las captaciones de agua en su mayoría para uso agrícola. Adicionalmente se presentan puntos de descarga de aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales La Carbonera del Municipio de la Mesa localizada en la vereda Hato Norte, plantas de tratamiento de los Condominios y conexiones erradas.



Figura 49. Captaciones sobre Q. Carbonera a la altura del Condominio Miralomas de Holanda

PTAR La Carbonera- vertimiento 9

Localizada en la vereda Hato Norte, coordenadas X: 956.149 Y: 1.004.003 construida en el año 2014 con un caudal de diseño de 20 l/s para una población de 60.000 habitantes. Dicha planta está contemplada en tres fases cada una con capacidad para tratar 20L/s, para una capacidad total de 60 l/s para las fases 2 y 3 no se tiene presupuesto (CAR, 2014).

Actualmente la PTAR se encuentra operando con un caudal de aproximadamente 7 l/s y recibe las aguas residuales de 6 barrios, La Perla, José Antonio, Barrio Centro, parte de Álvarez Díaz, Santa Bárbara, Toledo.

Esta planta cuenta con un sistema de rejillas, de allí el agua pasa a un desarenador y luego a la unidad de aforar caudal.

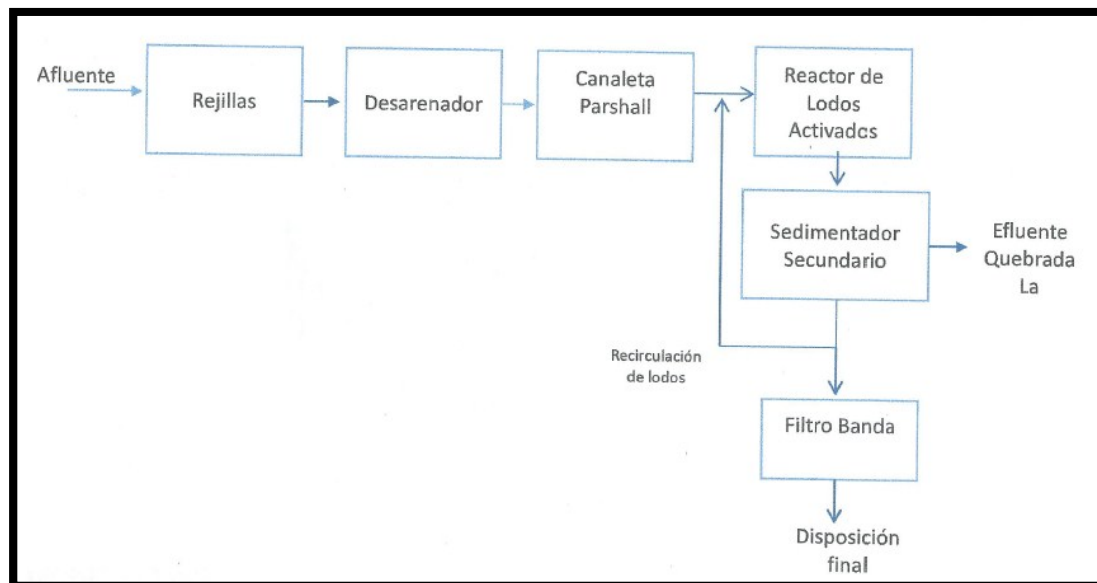


Figura 50. Esquema de flujo PTAR La Carbonera.

Fuente: (CAR, 2014)

Sin embargo a la fecha de la vista, la PTAR no se encontraba operando correctamente y se observaba insuficiencia en la remoción de contaminantes.



Figura 52. PTAR La Carbonera



Figura 51. Afluente PTAR La Carbonera

PTAR Condominios área rural

Algunos condominios localizados en el área rural cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales, los cuales se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 32. PTAR condominios área rural Microcuenca Quebrada Carbonera.

vertimiento	Nombre	Coordenada de la descarga	Tipo de tratamiento	Observación
10	Condominio Villa Camila	X 956.633 Y 1.004.779	primario	Cada una de las viviendas cuenta con caja de inspección que conduce las aguas residuales a un tanque donde se realiza tratamiento anaerobio. Se realiza adición de microorganismos para acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica. Se realiza vertimiento de la PTAR a la Q. Carbonera a través de un tubo de PCV 6" de diámetro.
11	Condominio gratamira II.	X 955.823 Y 1.004.535	Primario	Cada una de las viviendas cuenta con caja de inspección que conduce las aguas residuales a un tanque donde se realiza tratamiento anaerobio. Se realiza adición de microorganismos para acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica. En la visita no se observa vertimiento directo a la quebrada, sino al suelo.
12	Condómino Sendero Colonial	X 955.774,36 Y 1.004.774,47	Primario	El vertimiento se realiza sobre un afluente intermitente de la quebrada La Carbonera. Cuenta con un tipo de tratamiento primario que consta de 3 cajas de sedimentación y un filtro de grava y arena.
13	Condominio Miralomas de Holanda	X 955.106,02 Y 1.004.834,74	Secundario Sistema de tratamiento Facultativo.	La PTAR cuenta con 4 cajas de sedimentación primaria y adición de Biodyne producto formulado para la inoculación de PTAR domésticas. Posteriormente pasa por 3 cámaras de sedimentación secundaria, en la cámara final se hace inyección de oxígeno. Y finalmente pasa por un filtro de grava para ser descargado a la quebrada Carbonera. No cuenta con permiso de vertimiento de la CAR.

Conexiones erradas Este tipo de vertimientos se encuentran en la entrada de la inspección de San Joaquín antes de la desembocadura de la quebrada Carbonera en el río Apulo, cerca de su cauce se encuentran localizadas viviendas las cuales sus aguas residuales no se encuentran conectadas a la red de alcantarillado del corregimiento. A continuación se presenta su localización y descripción.

Tabla 33. Conexiones erradas Quebrada carbonera- inspección de San Joaquín

Punto de vertimiento	Coordenada	Observación
14	X 951386 Y 1004585	Descarga agua residual domestica de una vivienda, se evidencia tubo de pvc de aproximadamente 3" de diámetro
15	X 951380 Y 1.004.591	Descarga agua residual domestica de una vivienda, se evidencia manguera de 2" de diámetro
16	X 951292 Y 1004666	Descarga agua residual domestica de una vivienda, se evidencia tubo de pvc de aproximadamente 3" de diámetro
17	X 951285.8 Y 1004673	Descarga agua residual domestica de una vivienda, se evidencia tubo de pvc de aproximadamente 3" de diámetro
18	X 951248 Y 1004675	Descarga agua residual domestica de una vivienda, se evidencia tubo de pvc de aproximadamente 3" de diámetro
19	X 951231 Y 1004676	Descarga agua residual domestica de una vivienda, se evidencia tubo de pvc de aproximadamente 3" de diámetro.
20	X 951221.4 Y 1004673.6	Costado sur de la quebrada se evidencia descarga de agua residual domestica de una vivienda.
21	X 951.221,4 Y 1.004.673,6	Costado norte de la quebrada se evidencia descarga agua residual de 5 viviendas y lluvia a través de un canal abierto.
22	X 951201.9 Y 1004675.9	descarga agua residual domestica de una vivienda, se evidencia tubo de pvc de aproximadamente 3" de diámetro
23	X 951177.2 Y 1004668.9	Descarga agua residual domestica de una vivienda, se evidencia tubo de pvc de aproximadamente 3" de diámetro.
24	X 951132.3 Y 1004676.2	Descarga agua residual domestica de una vivienda, se evidencia tubo de pvc de aproximadamente 3" de diámetro.
25	X 951106.6 Y 1004702.6	Tubería recolecta aguas lluvias de la inspección de San Joaquín y aguas residuales domésticas.
26	X 951101.8 Y 1004744.5	Descarga agua residual domestica de una vivienda, se evidencia tubo de pvc de aproximadamente 3" de diámetro.
27	X 951070.8 Y 1004766.5	Filtración de red de alcantarillado del barrio Sara Lucia.

A continuación, se muestra la evidencia fotográfica de cada uno de los puntos de vertimientos.



Vertimiento 14



Vertimiento 15



Vertimiento 16



Vertimiento 17



Vertimiento 18



Vertimiento 19



Vertimiento 20



Vertimiento 21



Vertimiento 22



Vertimiento 23



Vertimiento 24



Vertimiento 25



Vertimiento 26



Vertimiento 27

A continuación se muestra mapa con puntos de captación y vertimientos de la microcuenca Quebrada Carbonera.

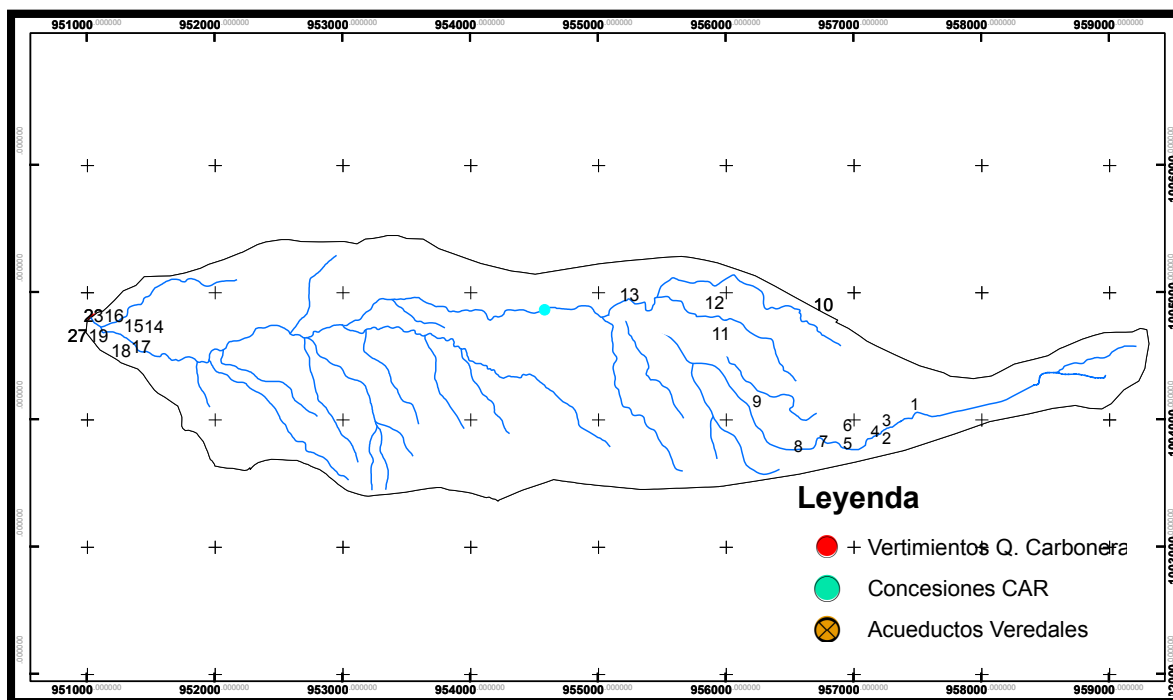


Figura 53. Mapa con puntos de captación y vertimientos de la microcuenca Quebrada Carbonera.

8.1.4 Caracterización física y química del agua

Realizada la identificación de vertimientos, la ubicación de centros poblados de las microcuencas, los puntos donde ya existían resultados de análisis fisicoquímicos del agua y accesibilidad al sitio, se determinó el número de estaciones de muestreo y la localización de estas en lugares en donde el agua está lo suficientemente mezclada con el propósito de que una sola muestra sea lo suficientemente representativa. Teniendo en cuenta puntos de muestreo en la parte alta, media y baja de las microcuencas. El tamaño de muestra para cada microcuenca fue tres (3) puntos considerando que son los más representativos para la posterior modelación de la calidad del agua y teniendo en cuenta que ya existe monitoreos sobre los vertimientos y aguas arriba y aguas abajo de estos, los cuales serán utilizados.

Microcuenca Quebrada Quijana

A continuación se describen los puntos de muestreo realizados en la microcuenca Quebrada Quijana.

Tabla 34. Puntos de muestreo calidad de agua quebrada Quijana 2019

Punto	Descripción	Coordenadas	Altura (msnm)
Q1 Parte alta- Barrio José Antonio Olaya	Este punto se encuentra aproximadamente 940 metros aguas abajo del nacimiento de la quebrada La Quijana, se toma posterior al vertimiento del hospital y al finalizar canalización del tramo inicial.	X 956.572 Y 1.003.371	1245
Q2 Parte media- aguas abajo PTAR Quijana	Este punto aguas abajo del vertimiento de la PTAR Quijana, área rural.	X 955.000 Y 1.002.712	980
Q3 Parte baja – desembocadura a quebrada El Tigre	Este punto se toma antes de la desembocadura de la quebrada Quijana a Quebrada El Tigre.	X 953.629 Y 1.001.800	773

Microcuenca Quebrada Carbonera

A continuación se describen los puntos de muestreo realizados en la quebrada Carbonera.

Tabla 35. Puntos de muestreo calidad de agua quebrada Carbonera 2019

Punto	Descripción	Coordenadas	Altura (msnm)
C1	Parte alta- barrio Santa Bárbara	X 957.490 Y 1.004.056	1291
C2	Parte media-vereda El Hato Norte- La Mesa, Cund.	X 955.089 Y 1.004.822	987
C3	Parte baja – inspección San Joaquín	X 951.044 Y 1 1.004.761	634

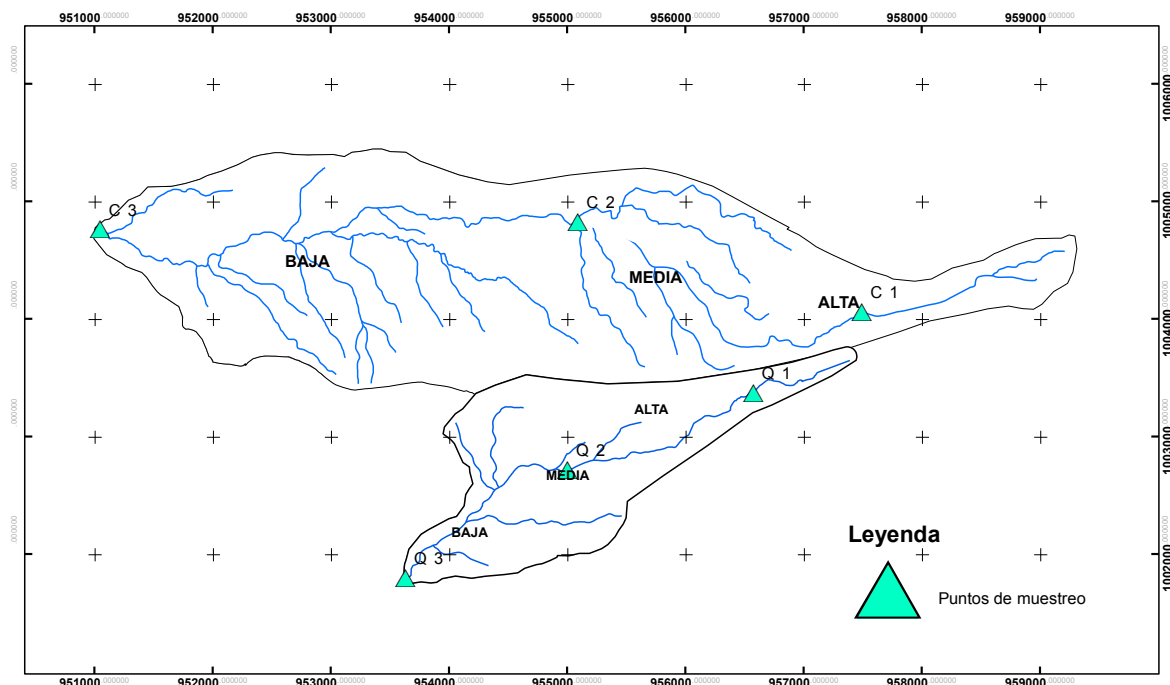


Figura 54. Ubicación espacial de puntos de muestreo Microcuenca Quebrada Carbonera y Quijana.

El trabajo de campo fue realizado por tres ingenieros ambientales el día 10 de febrero de 2019, se tomaron parámetros en campo y las muestras para análisis de laboratorio (Tabla 36) siguiendo el protocolo de cadena de custodia del laboratorio BIOPOLAB el cual cuenta con acreditación del Ideam a través de la resolución 1433 de junio 24 de 2014. Dichas muestras fueron entregadas al laboratorio el día 11 de febrero en horas de la mañana.

Tabla 36. Tipo de muestras

	Parámetro	Tipo de muestra
In situ	pH, temperatura, caudal, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales disueltos, turbidez	Puntual
	nitratos, nitritos	
Laboratorio	DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales, coliformes fecales, Ntk, fosfatos, fósforo total, alcalinidad	

Para el trabajo de campo se contó con los equipos, reactivos y materiales necesarios: Molinete Global wáter instruments model FP111, decámetro, anemómetro, gps garmin, termo higrómetro, neveras plásticas con suficientes bolsas de hielo para mantener una temperatura cercana a 5°C, frasco lavador, envases con preservantes y formatos de captura de datos.

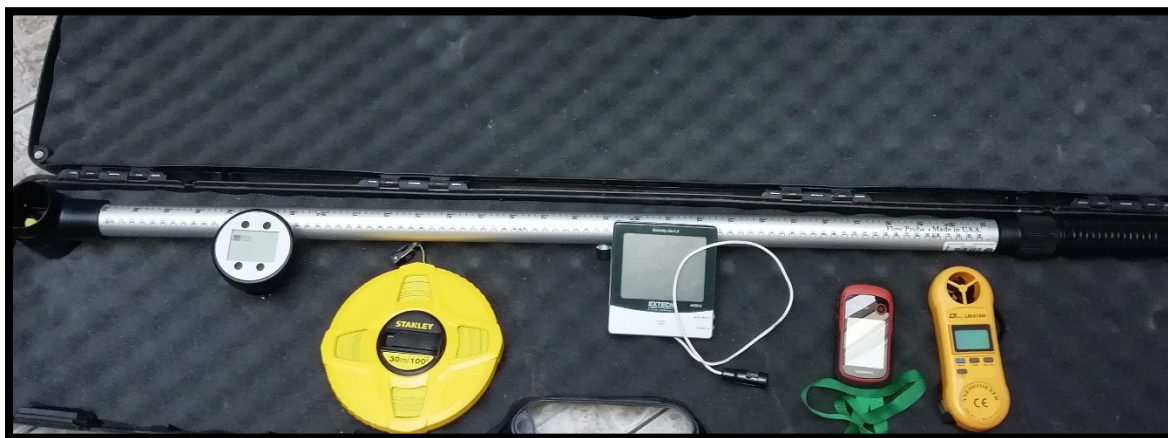


Figura 55. Equipos usados para trabajo de campo.

Adicionalmente se contó con el multiparámetro de referencia HANNA HI 9829 para determinar parámetros de calidad de agua in situ y un kit colorimétrico.



Figura 56. Multiparámetro HANNA HI9829



Figura 57. Kit colorimétrico

A continuación, se muestran a través de imágenes las actividades realizadas para determinación de parámetros in situ y toma de muestras.



Figura 58. Aforo



Figura 59. Determinación de NO₂-y NO₃-



Figura 60. Toma de parámetros in situ



Figura 61. Toma de muestras



Figura 62. Toma de velocidad del viento



Figura 63. Captura de información en formatos

Realizando el mismo procedimiento en los 6 puntos de muestreos determinados y posteriormente el análisis realizado por el laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados Tabla 37 Tabla 38.

Tabla 37. Resultados de caracterización fisicoquímica quebrada Quijana

	parámetro	unidad	Punto de muestreo		
			1	2	3
1	Caudal	m ³ /s	0.0016	0.0225	0.0032
2	Temperatura	°C	21.88	22.27	21.81
3	Conductividad	μs/cm	183	671	708
4	PH	Unidades de pH	7.32	7.98	7.62
5	Oxígeno disuelto	mg/L	2.50	6.19	4.37
		%OD	33	80.1	54.6
6	Sólidos totales disueltos	ppm	92	336	354
7	turbidez	FNU	9.4	25.7	4.3
8	Coliformes fecales	NMP/100 ml	4700	<1.8	40
9	Sólidos suspendidos totales	mg/L	<11.6	20	<11.6
10	Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	mg o ₂ /L	<20.6	103	21
11	Demanda química de Oxígeno, DQO	mg o ₂ /L	28.8	162	32.3
12	Nitrógeno Orgánico total Kieldahl (Ntk)	mgN/L	20.6	37.6	<5
13	Nitratos (NO ₃ -)	mg/L	0	10	75
14	Nitritos (NO ₂)	mg/L	0.10	0.5	0
15	Ion Amonio(NH ₄)	mg/L	2	5	0
16	Fosfatos	mg P-PO ₄ /L	1.39	10.2	5.795
17	Fosforo total	mgP/L	0.547	3.6	1.982
18	Alcalinidad	Mg CaCO ₃ /L	45.3	195	88.7

Tabla 38. Resultados de caracterización fisicoquímica quebrada Carbonera

	parámetro	unidad	Punto de muestreo		
			1	2	3
1	Caudal	M3/s	0.0085	0.0550	0.0133
2	Temperatura	°C	22.31	22.98	25.49
3	Conductividad	µs/cm	344	382	845
4	PH	Unidades de pH	7.08	7.37	7.77
5	Oxígeno disuelto	mg/L	3.10	4.77	7.21
		%OD	41.3	62.6	95.2
6	Sólidos Sólidos totales disueltos	ppm	172	192	423
7	turbidez	FNU	132	8.4	3.9
8	Coliformes fecales	NMP/100 ml	24000	200	780
9	Sólidos suspendidos totales	mg/L	59	<11.6	19
10	Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	mg o2/L	284	53.3	<20.6
11	Demanda química de Oxígeno, DQO	mg o2/L	442	82.7	28.8
12	Nitrógeno Orgánico total Kieldahl (Ntk)	mgN/L	17.9	22.3	6.8
13	Nitratos (NO3-)	mg/L	0	25	50
14	Nitritos (NO2)	mg/L	0.15	0.5	0.15
15	Ion Amonio(NH4)	mg/L	5	5	0.2
16	Fosfatos	mg P-PO4/L	5.93	20.0	2.631
17	Fosforo total	mgP/L	2.10	7.43	0.888
18	Alcalinidad	Mg CaCO3/L	98.5	98.5	96.5

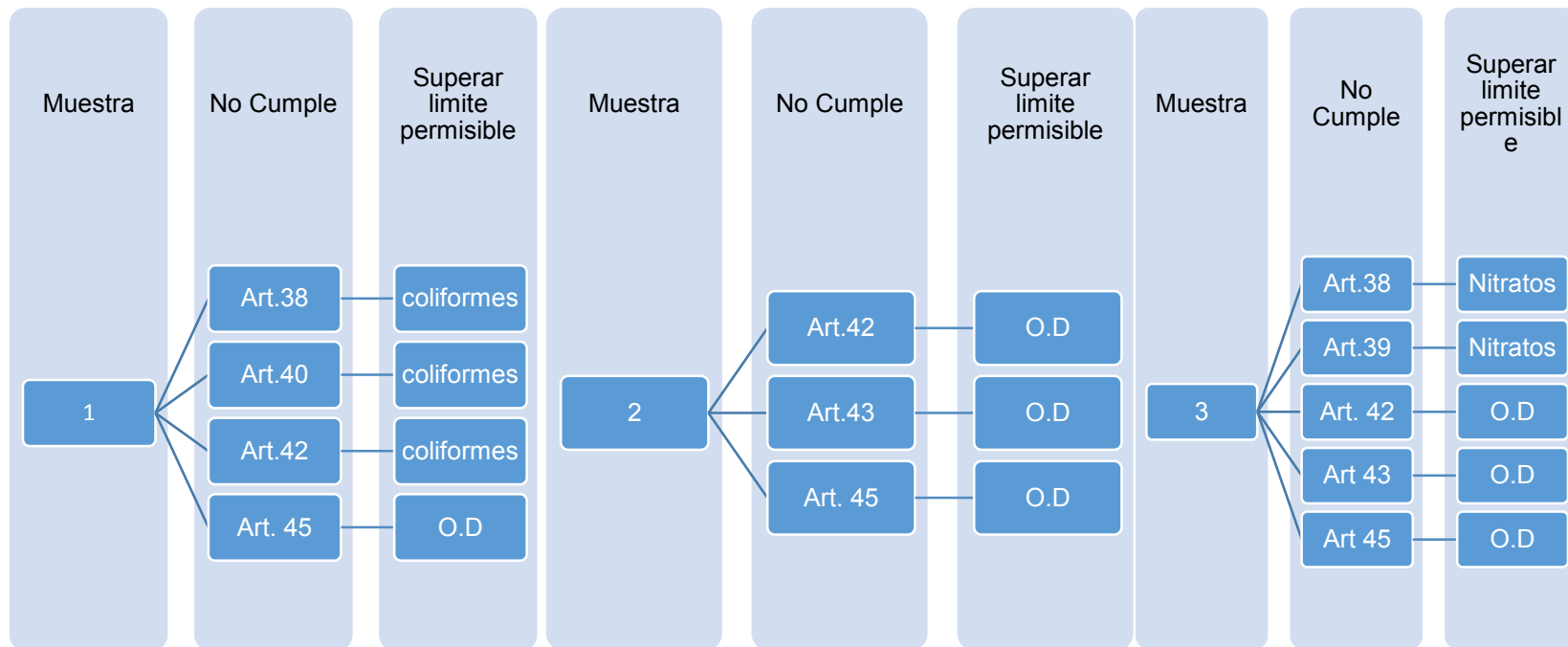
8.1.5 Confrontación de la caracterización de la calidad del agua con respecto a la normativa ambiental aplicable.

A continuación se realiza la confrontación de los análisis físicos químicos de las Quebradas Quijana y Carbonera con el decreto 1594 de 1984 específicamente los criterios de calidad de agua admisibles para cada uso, Art 38 correspondiente a en consumo humano con tratamiento convencional, Art 39 consumo humano tratamiento desinfección, Art. 40 uso agrícola, Art. 41 uso pecuario, Art 42 uso recreativo contacto primario, Art. 43 uso recreativo contacto secundario y Art 45 preservación de flora y fauna. Ver Tabla 39 y Tabla 40.

Tabla 39. Confrontación de resultados fisicoquímicos con decreto 1594 de 1984- Quebrada Quijana

parámetro	unidad	Punto de muestreo			Art. 38 - Consumo Humano Tto Convenciona l	Art. 39 - Consumo Humano Desinfección	Art. 40 - Uso Agrícola	Art. 41 - Uso Pecuario	Art. 42 - Uso Recreativo contacto Primario	Art. 43 - Uso Recreativo contacto secundari o	Art. 45 Preservació n de Flora y Fauna	
		1	2	3								
1	Caudal	M3/s	0.0016	0.0225	0.0032	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	
2	Temperatura	°C	21.88	22.27	21.81	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	
3	Conductividad	us/cm	183	671	708	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	
4	PH	Unidade s de pH	7.32	7.98	7.62	5 - 9	6.5-8.5	4.5--9	N.E	5--9	5--9	4.5-9
5	Oxígeno disuelto	mg/l	2.50	6.19	4.37	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	4
		%OD	33	80.1	54.6	N.E	N.E	N.E	N.E	70% saturación	70% saturación	N.E
6	Sólidos totales disueltos	ppm	92	336	354	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
7	turbidez	FNU	9.4	25.7	4.3	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
8	Coliformes fecales	NMP/10 0 ml	4700	<1.8	40	2000	N.E	1000	N.E	200	N.E	N.E
9	Sólidos suspendidos totales	mg/l	<11.6	20	<11.6	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
10	Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	mg o2/l	<20.6	103	21	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
11	Demanda química de Oxígeno, DQO	mg o2/l	28.8	162	32.3	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
12	Nitrógeno Orgánico total Kieldahl (Ntk)	mgN/l	20.6	37.6	<5	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
13	Nitratos (NO3-)	mg/l	0	10	75	10.0	10.0	N.E	(NO3+NO2)=1 00	N.E	N.E	N.E
14	Nitritos (NO2)	mg/l	0.10	0.5	0	1.0	1.0	N.E	10.0	N.E	N.E	N.E
15	Ion Amonio(NH4)	mg/l	2	5	0	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
16	Fosfatos	mg P- PO4/l	1.39	10.2	5.795	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
17	Fosforo total	mgP/l	0.547	3.6	1.982	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
18	Alcalinidad	Mg CaCO3/l	45.3	195	88.7	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E

De acuerdo a la información presentada anteriormente de la quebrada Quijana se puede inferir que:

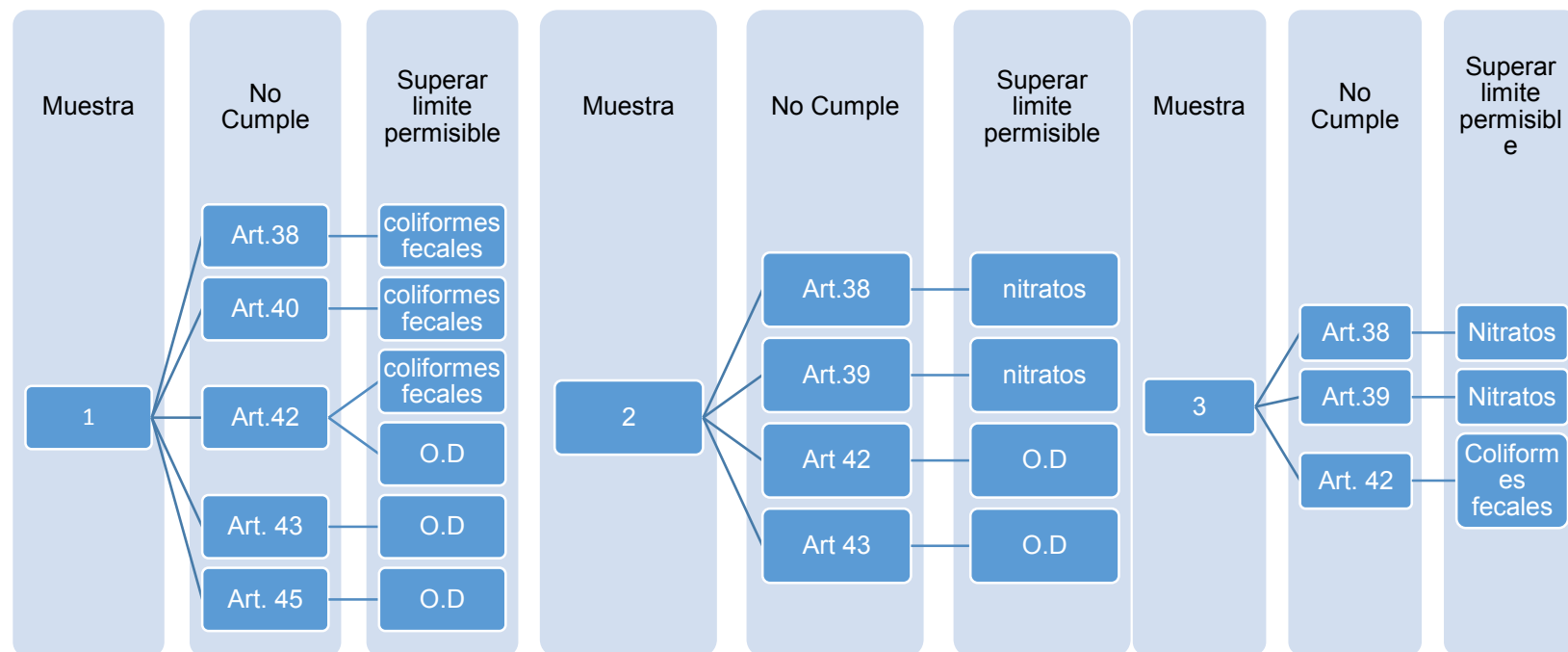


Referente al decreto 1594 de 1984, la quebrada Quijana debe tener restricciones de uso para consumo humano, a lo largo de su cauce. El uso agrícola y pecuario es permitido después de la muestra 2 sin embargo el uso recreativo contacto primario y secundario debe ser restringido.

Tabla 40. Confrontación de resultados fisicoquímicos con decreto 1594 de 1984 - Quebrada Carbonera

número	parámetro	unidad	Punto de muestreo			Art. 38 - Consumo Humano Tto Convencional	Art. 39 - Consumo Humano Desinfección	Art. 40 - Uso Agrícola	Art. 41 - Uso Pecuario	Art. 42 - Uso Recreativo contacto Primario	Art. 43 - Uso Recreativo contacto secundario	Art. 45 Preservación de Flora y Fauna
			1	2	3							
1	Caudal	M3/s	0.0085	0.0550	0.0133	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
2	Temperatura	°C	22.31	22.98	25.49	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
3	Conductividad	us/cm	344	382	845	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
4	PH	Unidades de pH	7.08	7.37	7.77	5 - 9	6.5-8.5	4.5--9	N.E	5--9	5--9	4.5-9
5	Oxígeno disuelto	mg/L	3.10	4.77	7.21	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	4
		%OD	41.3	62.6	95.2	N.E	N.E	N.E	N.E	70% saturación	70% saturación	N.E
6	Sólidos totales disueltos	ppm	172	192	423	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
7	turbidez	FNU	132	8.4	3.9	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
8	Coliformes fecales	NMP/100 ml	24000	200	780	2000	N.E	1000	N.E	200	N.E	N.E
9	Sólidos suspendidos totales	mg/L	59	<11.6	19	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
10	Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	mg o2/L	284	53.3	<20.6	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
11	Demanda química de Oxígeno, DQO	mg o2/L	442	82.7	28.8	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
12	Nitrógeno Orgánico total Kieldahl (Ntk)	mgN/L	17.9	22.3	6.8	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
13	Nitratos (NO3-)	mg/L	0	25	50	10.0	10.0	N.E	(NO3+NO 2)=100	N.E	N.E	N.E
14	Nitritos (NO2)	mg/L	0.15	0.5	0.15	1.0	1.0	N.E	10.0	N.E	N.E	N.E
15	Ion Amonio(NH4)	mg/L	5	5	0.2	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
16	Fosfatos	mg P- PO4/L	5.93	20.0	2.631	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
17	Fosforo total	mgP/L	2.10	7.43	0.888	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
18	Alcalinidad	Mg CaCO3/L	98.5	98.5	96.5	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E

De acuerdo a la información presentada anteriormente de la quebrada Carbonera se puede inferir que:



Referente al decreto 1594 de 1984, la quebrada Carbonera debe tener restricciones de uso para consumo humano, agrícola, recreativo contacto primario y preservación de fauna y flora, ya que no cumple con las concentraciones límites de los parámetros medidos en este estudio.

Conforme al Acuerdo 43 de 2006 Corporación Autónoma Regional (CAR) artículo Segundo.- Objetivos de Calidad para la Cuenca del río Bogotá. Numeral 18.3 subcuenca río Apulo zona baja, ítem (a) Afluentes del río Apulo, desde la desembocadura del río Curí hasta su desembocadura en el río Bogotá, corresponden a la Clase II. Grupo al cual pertenecen las microcuencas Quijana y Carbonera.

CLASE II: Corresponde a valores de los usos del agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones y uso pecuario.

A continuación, se realiza la confrontación de los resultados obtenidos del análisis físico químico de las quebradas en estudio con los objetivos de calidad. Tabla 41 y Tabla 42.

Tabla 41. Confrontación de resultados fisicoquímicos con acuerdo 43 de 2006 CAR- Quebrada Quijana

	Parámetro	unidad	Punto de muestreo			ARTÍCULO PRIMERO CLASE II
			1	2	3	
1	Caudal	M3/s	0.0016	0.0225	0.0032	N.A
2	Temperatura	°C	21.88	22.27	21.81	N.A
3	Conductividad	us/cm	183	671	708	N.A
4	PH	Unidades de pH	7.32	7.98	7.62	5-9
5	Oxígeno disuelto	mg/L	2.50	6.19	4.37	>4
		%OD	33	80.1	54.6	N.A
6	Sólidos totales disueltos	Ppm	92	336	354	N.A
7	Turbidez	FNU	9.4	25.7	4.3	N.A
8	Coliformes fecales	NMP/100 ml	4700	<1.8	40	1000 (riegos plantas frutales)
9	Sólidos suspendidos totales	mg/L	<11.6	20	<11.6	10
10	Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	mg o2/L	<20.6	103	21	7
11	Demanda química de Oxígeno, DQO	mg o2/L	28.8	162	32.3	N.A
12	Nitrógeno Orgánico total Kieldahl (Ntk)	mgN/L	20.6	37.6	<5	N.A
13	Nitratos (NO3-)	mg/L	0	10	75	10
14	Nitritos (NO2)	mg/L	0.10	0.5	0	10
15	Ion Amonio(NH4)	mg/L	2	5	0	N.A
16	Fosfatos	mg P-PO4/L	1.39	10.2	5.795	N.A
17	Fosforo total	mgP/L	0.547	3.6	1.982	N.A
18	Alcalinidad	Mg CaCO3/L	45.3	195	88.7	N.A

De acuerdo con la tabla anterior la muestra 1 no cumple con el acuerdo 43 de 2006 de la CAR, ya que supera la concentración de coliformes fecales para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto, adicionalmente la concentración de oxígeno disuelto es menor al mínimo requerido. La muestra 2 no cumple con la concentración máximo de sólidos suspendidos y la DBO5. Por su parte la muestra 3 no cumple con los límites de DBO5 y nitratos.

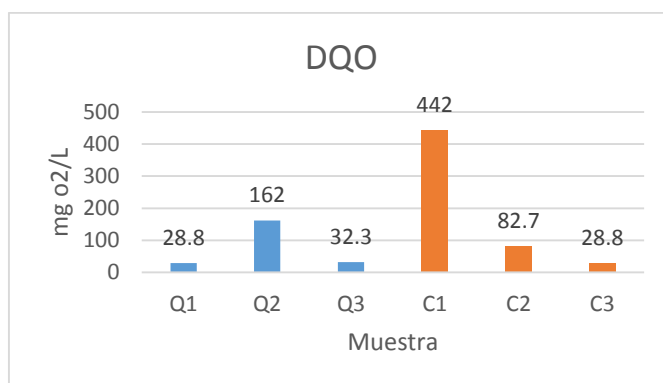
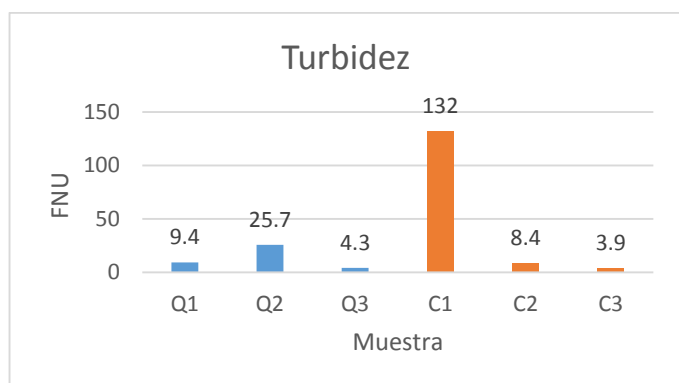
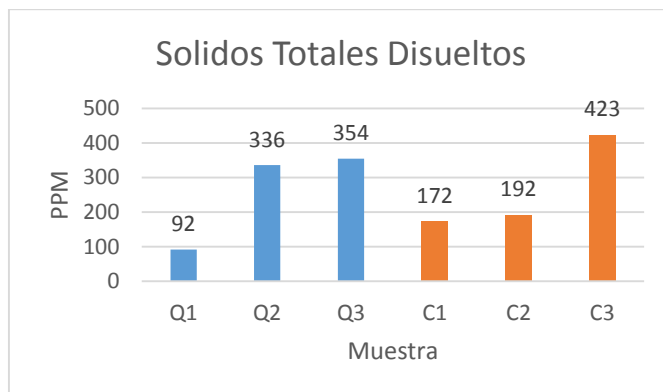
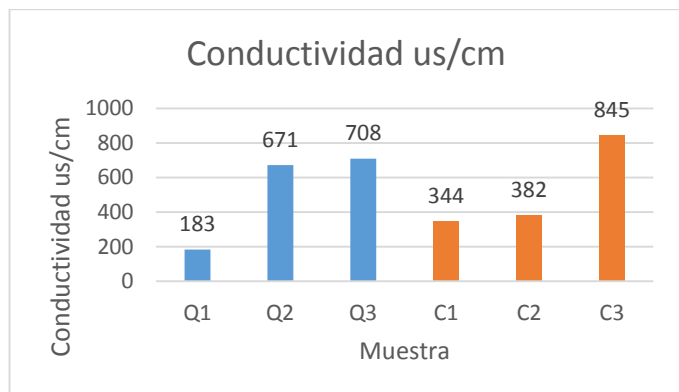
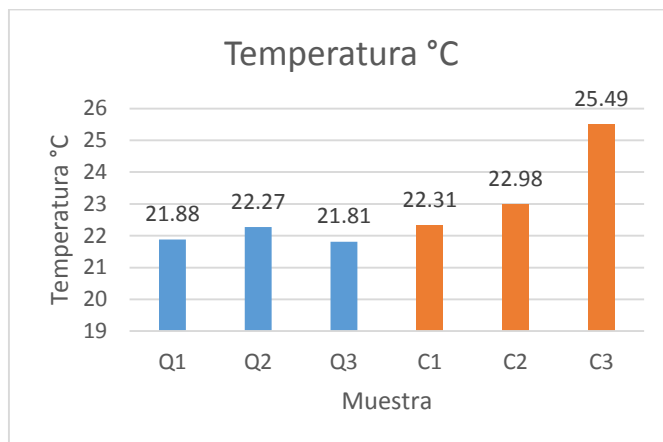
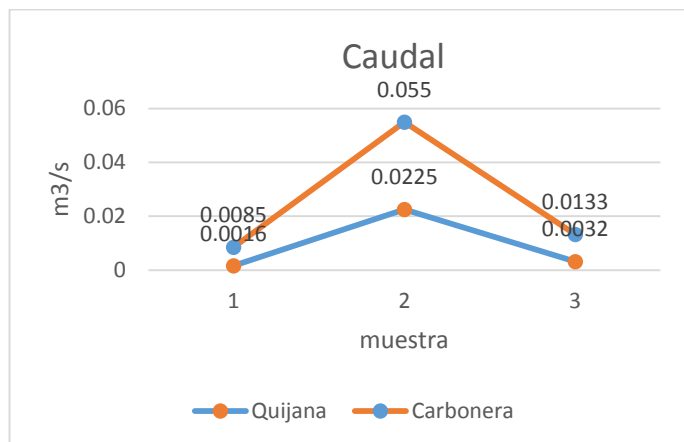
Tabla 42. Confrontación de resultados fisicoquímicos con acuerdo 43 de 2006 CAR- Quebrada Carbonera

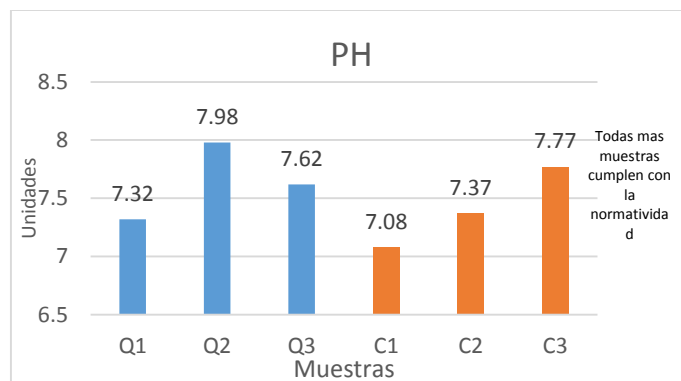
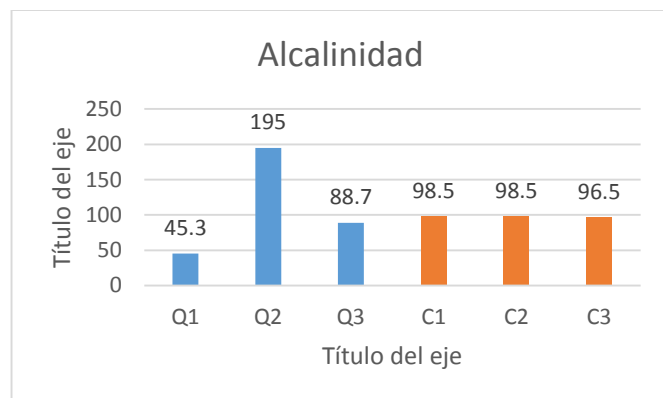
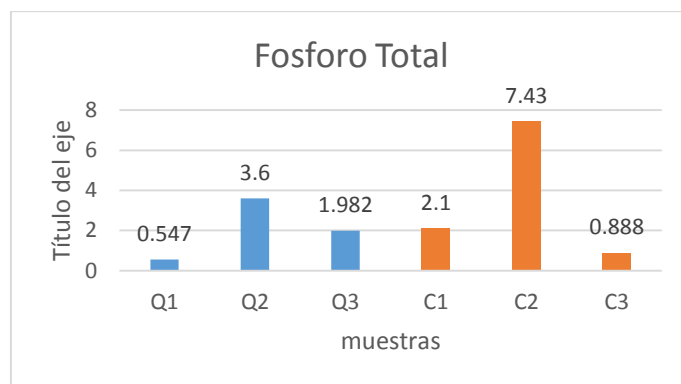
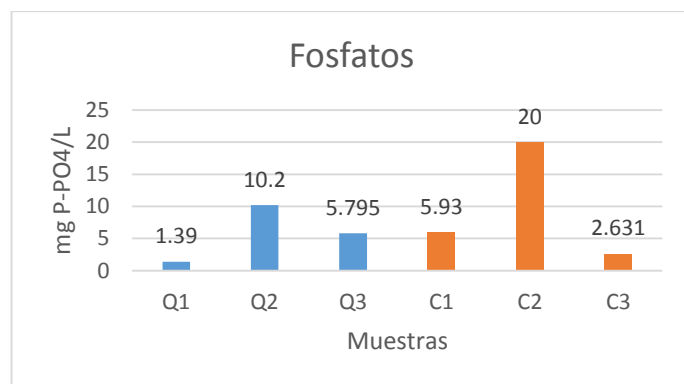
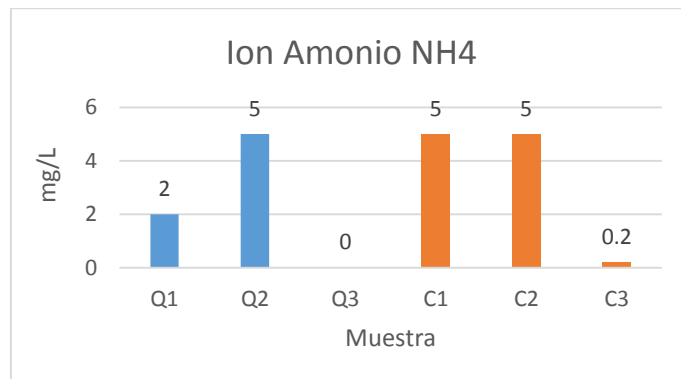
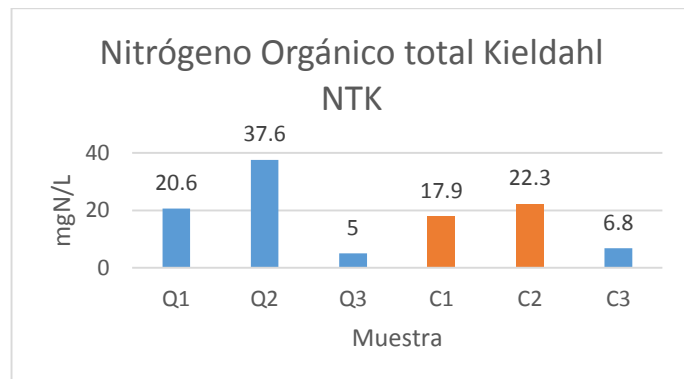
	parámetro	Unidad	Punto de muestreo			ARTÍCULO PRIMERO CLASE II
			1	2	3	
1	Caudal	M3/s	0.0085	0.055 0	0.0133	N.A
2	Temperatura	°C	22.31	22.98	25.49	N.A
3	Conductividad	us/cm	344	382	845	N.A
4	PH	Unidades de pH	7.08	7.37	7.77	5-9
5	Oxígeno disuelto	mg/L	3.10	4.77	7.21	>4
		%OD	41.3	62.6	95.2	N.A
6	Sólidos totales disueltos	ppm	172	192	423	N.A
7	turbidez	FNU	132	8.4	3.9	N.A
8	Coliformes fecales	NMP/100 ml	24000	200	780	1000 (riegos plantas frutales)
9	Sólidos suspendidos totales	mg/L	59	<11.6	19	10
10	Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	mg o2/L	284	53.3	<20.6	7
11	Demanda química de Oxígeno, DQO	mg o2/L	442	82.7	28.8	N.A
12	Nitrógeno Orgánico total Kieldahl (Ntk)	mgN/L	17.9	22.3	6.8	N.A
13	Nitratos (NO3-)	mg/L	0	25	50	10
14	Nitritos (NO2)	mg/L	0.15	0.5	0.15	10
15	Ion Amonio(NH4)	mg/L	5	5	0.2	N.A
16	Fosfatos	mg P-PO4/L	5.93	20.0	2.631	N.A
17	Fosforo total	mgP/L	2.10	7.43	0.888	N.A
18	Alcalinidad	Mg CaCO3/L	98.5	98.5	96.5	N.A

De acuerdo a los resultados expuestos en la Tabla 42 la muestra 1 no cumple con la concentración mínima de oxígeno disuelto, y las concentraciones de coliformes fecales, sólidos suspendidos y DBO5 superan el límite máximo permisible.

En la muestra 2 no cumple con los parámetros de DBO5 y nitratos y finalmente la muestra 3 no cumple con la concentración mínima de sólidos suspendidos y nitratos.

A continuación se presentan gráficamente los resultados de los parámetros físico químicos de las Quebradas Carbonera y Quijana.





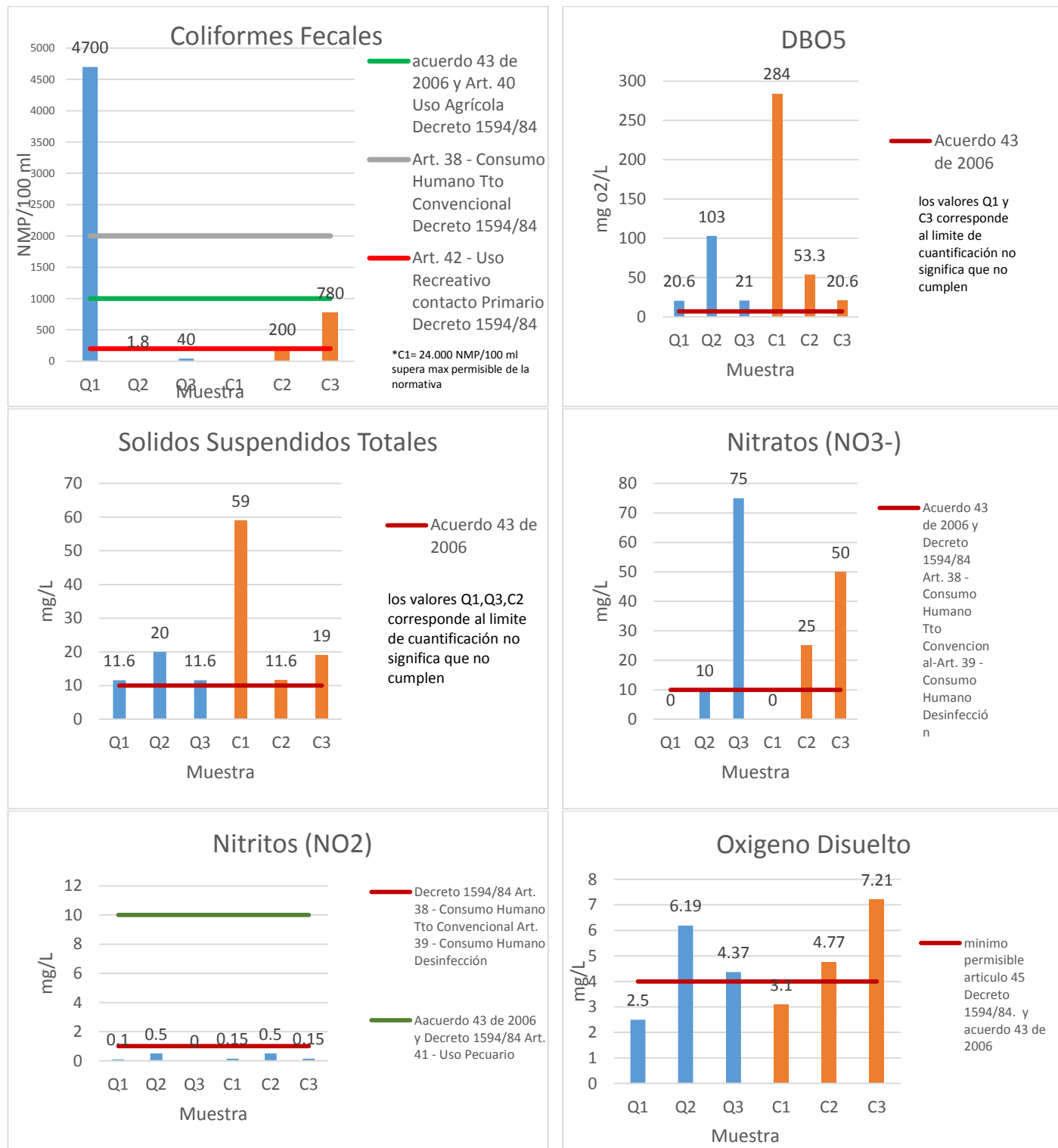


Figura 64. Resultados graficas de parámetros fisicoquímicos quebrada Carbonera y Quijana

8.1.6 Estimación del Índice de Calidad del agua ICA e índices de contaminación ICO.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del cálculo del índice de calidad de agua ICACOSU de acuerdo a la metodología presentada en 7.1.6.

Tabla 43. Resultados estimación de subíndices calidad de agua Q. Quijana

Punto de muestreo	% saturación de oxígeno	coliformes	sólidos suspendidos	DBO5	DQO	Conductividad	PH	SUBINDICE		
								ICAFA	ILCAG	ICA
1	0.33	0.10	0.99	0.13	0.05	0.41	1	0.39	-0.93	0.12
2	0.80	0.98	0.96	1.00	0.00	0.00	1	0.71	-0.55	0.46
3	0.55	0.98	0.99	0.12	0.00	0.00	1	0.53	-0.83	0.26

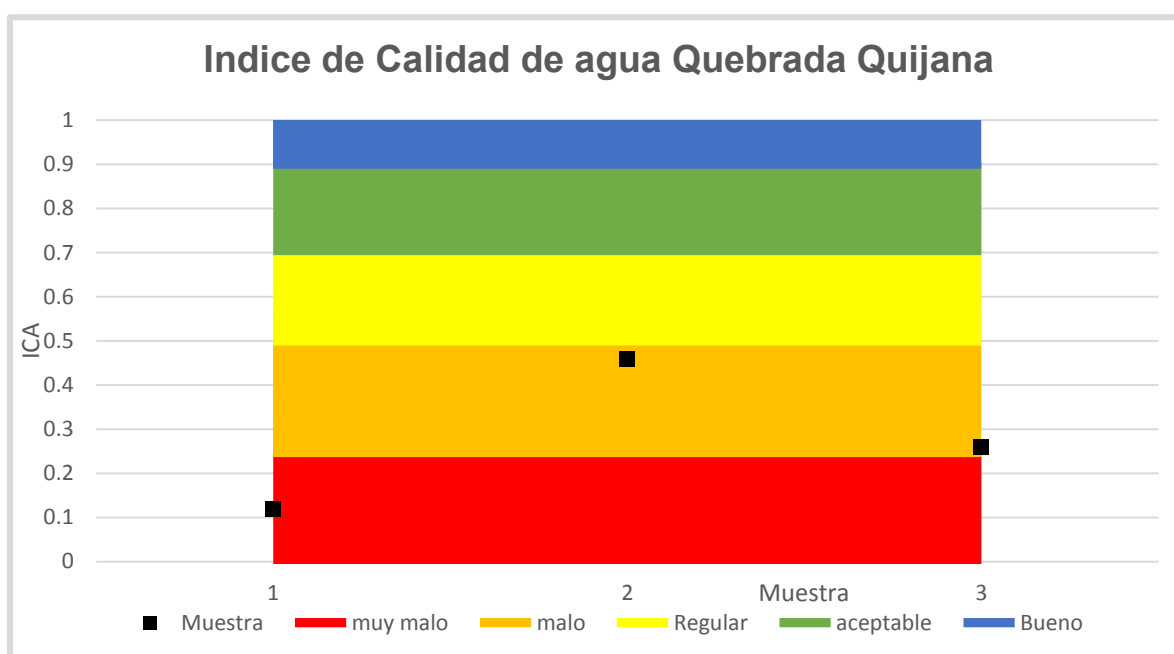


Figura 65. ICACOSU Q. Quijana.

Como se puede apreciar en la anterior figura el ICA de la muestra 1 correspondiente a la Q. Quijana en el casco urbano es muy malo, la segunda muestra correspondiente a aguas abajo de la PTAR Quijana tiene un ICA malo y se mantiene en estas condiciones hasta su desembocadura en la quebrada el Tigre.

Tabla 44. Resultados estimación de Subíndices calidad de agua Q. Carbonera

SUBINDICE										
PUNTO DE MUESTREO	% SATURACION DE OXIGENO	COLIFORMES	SÓLIDOS SUSPENDIDOS	DBO5	DQO	CONDUCTIVIDAD	PH	ICAFA	ILCAG	ICA
1	0.41	0.10	0.84	1.00	0.00	-0.38	1	0.46	-0.69	0.23
2	0.63	0.84	0.99	1.00	1.00	0.00	1	0.77	-0.42	0.54
3	0.95	0.48	0.96	0.13	0.00	0.00	1	0.52	-0.62	0.29

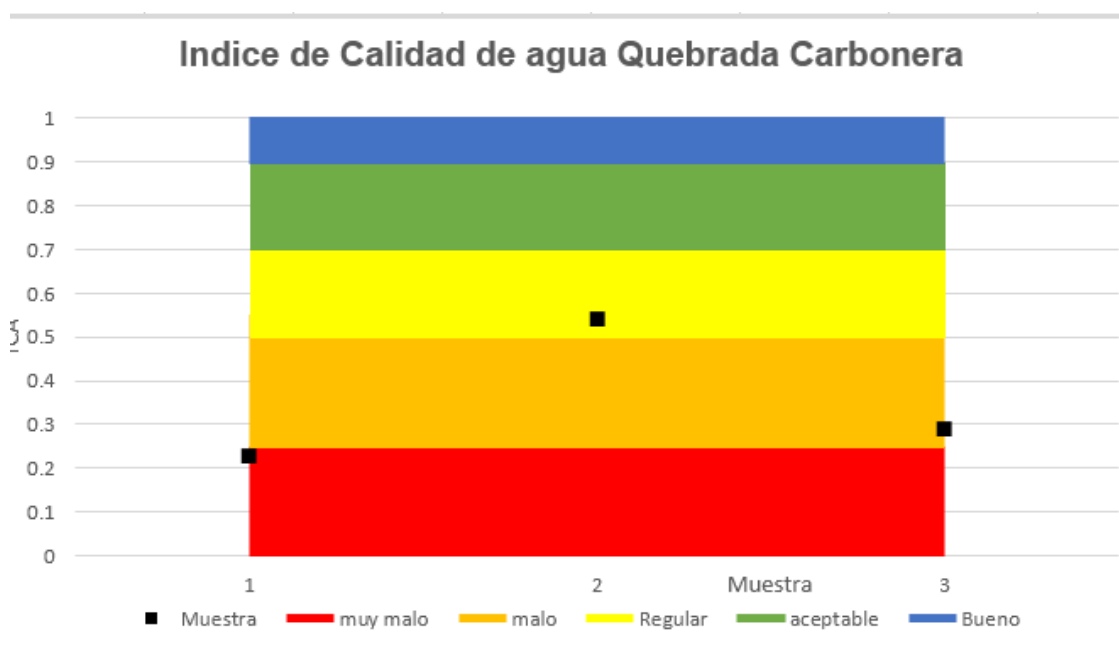


Figura 66. ICACOSU Q. Carbonera

De acuerdo a la Figura 66 el ICA de la muestra 1 de la quebrada Carbonera tomada en el casco urbano es muy malo con un valor de 0.23, la segunda muestra correspondiente a la cuenca media, área rural tiene un ICA regular con un valor de 0.54, lo que demuestra un proceso de recuperación, oxigenación y depuración de contaminantes y finalmente la muestra número 3 correspondiente a la cuenca baja en el punto previo a desembocadura al río Apulo, la calidad del agua vuelve a verse afectada y baja a un valor de ICA 0.29 correspondiente a malo; como era de esperarse por la presencia de 14 vertimientos de aguas residuales domésticas justo antes de su desembocadura.

Por su parte los resultados de los índices de contaminación obtenidos en el software ICATest, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 45. Índices de contaminación quebradas Quijana y Carbonera

Índice	Quijana muestra 1	Quijana muestra 2	Quijana muestra 3	Carbonera muestra 1	Carbonera muestra 2	Carbonera muestra 3
Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO	0.762	0.4	0.442	0.863	0.457	0.41
Grado de contaminación	Alto	Bajo	Medio	Muy alto	Medio	Medio
Índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS	0.016	0.04	0.016	0.157	0.016	0.037
Grado de contaminación	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Índice de contaminación por trofia ICOTRO	Eutrofia	Hiperuetrofia	Hiperuetrofia	Hiperuetrofia	Hiperuetrofia	Eutrofia

De acuerdo a la información presentada, el grado de contaminación por materia orgánica ICOMO en la quebrada Quijana es alto en la parte alta de microcuenca, baja en la microcuenca media y contaminación grado media en el punto de desembocadura a la quebrada el Tigre. Por su parte la quebrada Carbonera presenta un grado de contaminación muy alto en la muestra tomada en la microcuenca parte alta, y medio en la parte media y baja.

Con respecto al índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS, no se presente contaminación en ninguno de los puntos de muestreo. Sin embargo por índice de contaminación por trofia ICOTRO, se encontró que las quebradas Quijana y Carbonera pueden presentar condiciones de eutrofia e hipereutrofia por las concentraciones de fosforo encontradas.

8.1.7 Aplicación de un modelo de calidad de agua.

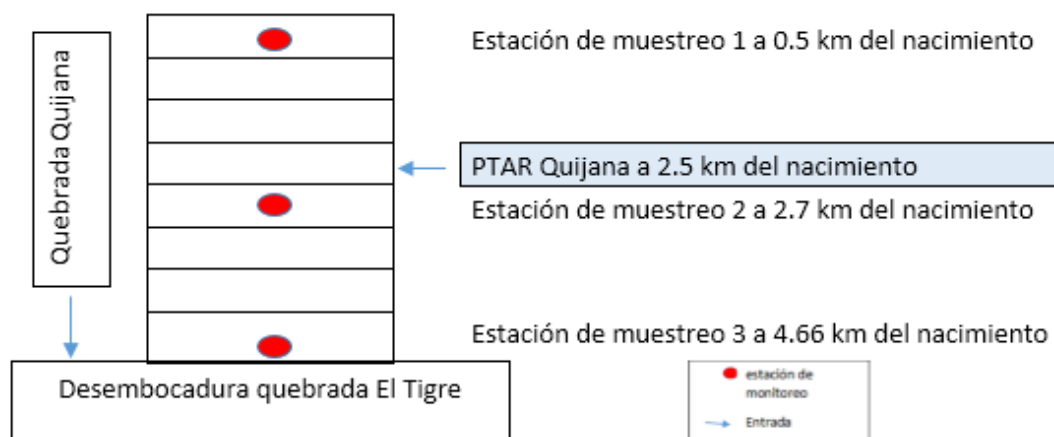
8.1.7.1 Modelo de calidad de agua quebrada Quijana.

Características hidráulicas

Debido a las formas irregulares de las secciones transversales del tramo a lo largo de su recorrido y la variabilidad de la pendiente del lecho, el tramo se ha sido dividido en 3 secciones para la modelación como se indica en la siguiente tabla.

Sección	Abscisa inicial	Abscisa final	Longitud tramo (m)	Pendiente (m/m)	Ancho cauce (m)	n-Manning
1	K0	K2+300	2.300	0.04	0.90	0.04 para canales naturales de montaña. Chow et al. 1988
2	K2+300	K2+900	600	0.31	0.84	
3	K2+900	K4+66	1760	0.11	0.72	

Esquematzación del Sistema



Montaje del modelo

Una vez se registraron los datos hidráulicos, se suministraron los datos de calidad de agua de la quebrada Quijana. Estos datos corresponden a los análisis realizados

para este proyecto en el mes de febrero de 2019 y la caracterización del vertimiento de la PTAR Quijana del año 2016.

Inicialmente se realiza el ingreso los datos de identificación del sistema a modelar (Tabla 46), los datos de la cabecera y datos de elevación y coordenadas del modelo (

Tabla 48).

Tabla 46. Identificación del sistema a modelar quebrada Quijana

System ID:			
River name	Quebrada Quijana		
Saved file name	Quebrada Quijana		
Directory where the input/output files are saved	D:\Users\Asus\Desktop\		
	MAESTRIA GESTIÓN		
	CUENCAS\ANTEPROY		
	ECTO\MODELO		
	QUIJANA		
Month	3		
Day	20		
Year	2019		
Local standard time zone relative to UTC	-5	hours	
Daylight savings time	No		
Simulation and output options:			
Calculation step	0.3515625	minutes	
Number of days	3	days	
Solution method (integration)	Runge-Kutta		
Solution method (pH)	Newton-Raphson		
Simulate hyporheic exchange and pore water quality	No		
Display dynamic diel output	No		
State variables for simulation	All		
Simulate sediment diagenesis	Option 2		
Simulate alkalinity change due to nutrient change	No		
Write dynamic output of water quality	No		
Program determined calc step	0.3515625	minutes	
Time elapsed during last model run	0.46	minutes	
Time of sunrise	6:02 AM		
Time of solar noon	12:05 PM		
Time of sunset	6:08 PM		
Photoperiod	12.11	hours	

Tabla 47. Datos de cabecera modelo calidad de agua quebrada Quijana

Headwater Flow	0.002	m ³ /s
Prescribed downstream boundary?	No	
<i>Headwater Water Quality</i>	<i>Units</i>	<i>12:00 a. m.</i>
Temperature	C	21.88
Conductivity	umhos	183.00

Inorganic Solids	mgD/L	11.60
Dissolved Oxygen	mg/L	2.50
CBODslow	mgO ₂ /L	
CBODfast	mgO ₂ /L	20.60
Organic Nitrogen	ugN/L	18600.0
NH ₄ -Nitrogen	ugN/L	2000.0
NO ₃ -Nitrogen	ugN/L	0.0
Organic Phosphorus	ugP/L	93.4
Inorganic Phosphorus (SRP)	ugP/L	453.6
Phytoplankton	ugA/L	
Detritus (POM)	mgD/L	
Coliformes fecales	cfu/100 mL	4700.00
Generic constituent	user defined	28.80
Alkalinity	mgCaCO ₃ /L	45.30
pH	s.u.	7.32

Tabla 48. Elevación y coordenadas de la quebrada Quijana en el modelo

<i>Downstream</i>			<i>Elevation</i>			<i>Downstream</i>		
<i>location</i>	<i>Upstream</i>	<i>Downstream</i>	<i>Latitude</i>			<i>Longitude</i>		
<i>(km)</i>	<i>(m)</i>	<i>(m)</i>	<i>Degrees</i>	<i>Minutes</i>	<i>Seconds</i>	<i>Degrees</i>	<i>Minutes</i>	<i>Seconds</i>
0.5		1270	4.0	37.0	38.8	74.0	27.0	55.7
1.0	1270	1250	4.0	37.0	35.0	74.0	28.0	9.4
1.5	1250	1230	4.0	37.0	28.2	74.0	28.0	22.6
2.0	1230	1210	4.0	37.0	19.7	74.0	28.0	34.9
2.5	1210	1055	4.0	37.0	16.9	74.0	28.0	50.3
2.8	1055	965	4.0	37.0	35.7	74.0	28.0	8.0
3.0	965	900	4.0	37.0	14.8	74.0	29.0	5.4
3.5	900	845	4.0	37.0	14.8	74.0	29.0	18.5
4.0	845	790	4.0	36.0	57.6	74.0	29.0	29.1
4.5	790	735	4.0	36.0	48.0	74.0	29.0	29.1
4.7	735	717	4.0	36.0	44.5	74.0	29.0	43.4

Resultados del modelo

A partir de los valores obtenidos de la caracterización de los parámetros físicos y químicos y la hidráulica de la quebrada, se realiza la modelación obteniendo las siguientes gráficas.

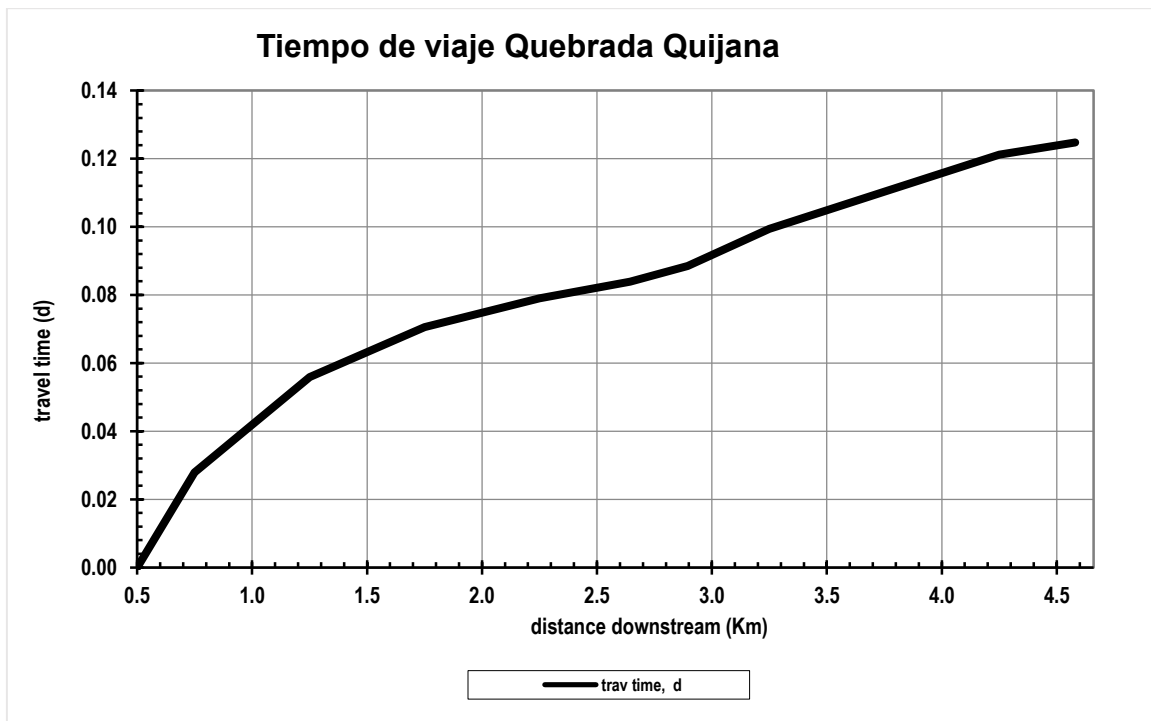


Figura 67. Tiempo de viaje quebrada Quijana

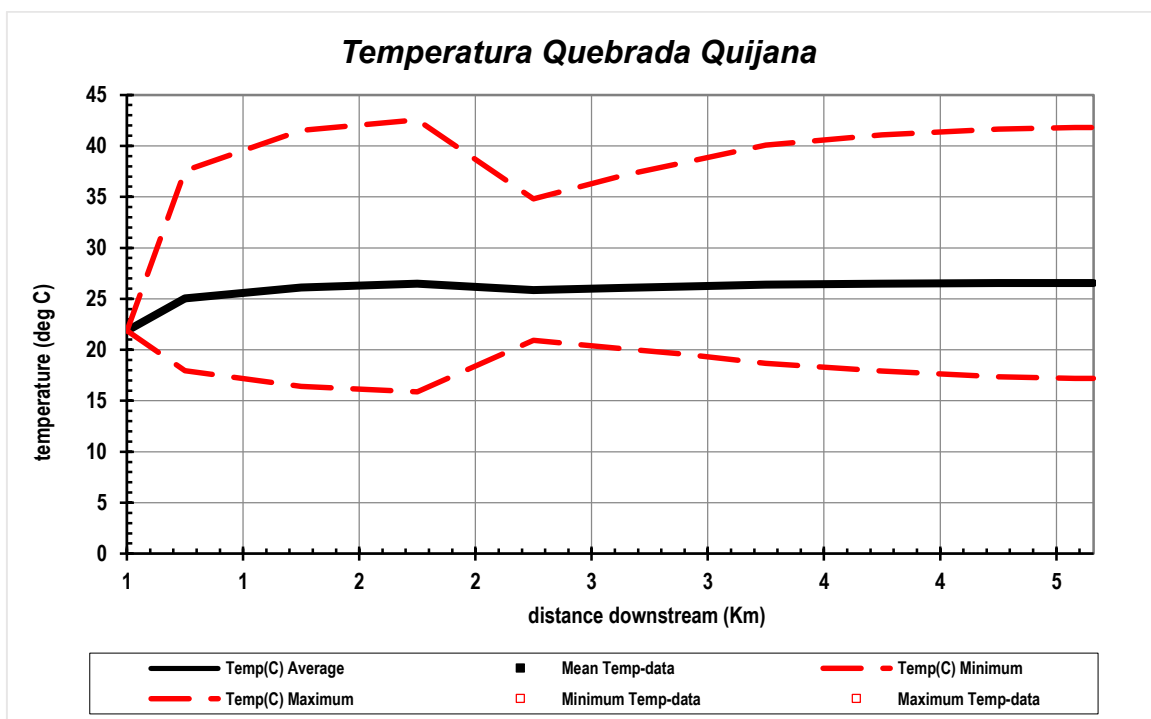


Figura 68. Modelación de temperatura quebrada Quijana.

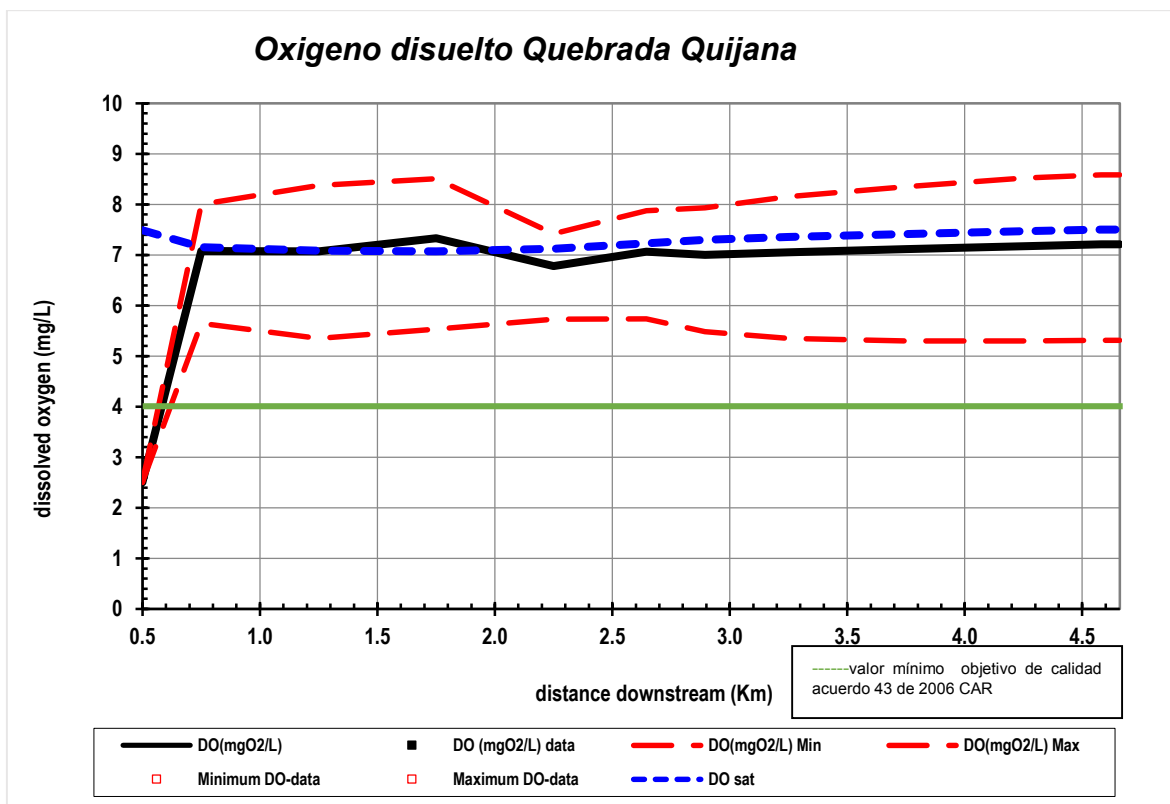


Figura 69. Modelación de oxígeno disuelto quebrada Quijana.

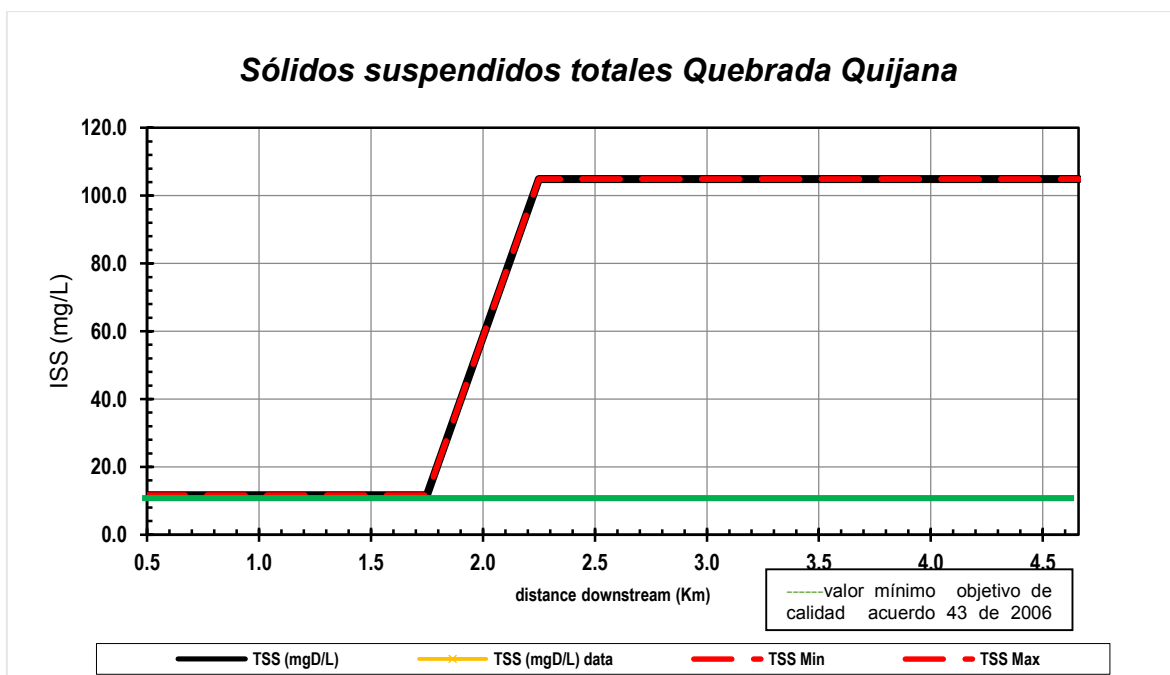


Figura 70. Modelación de solidos suspendidos en la quebrada Quijana.

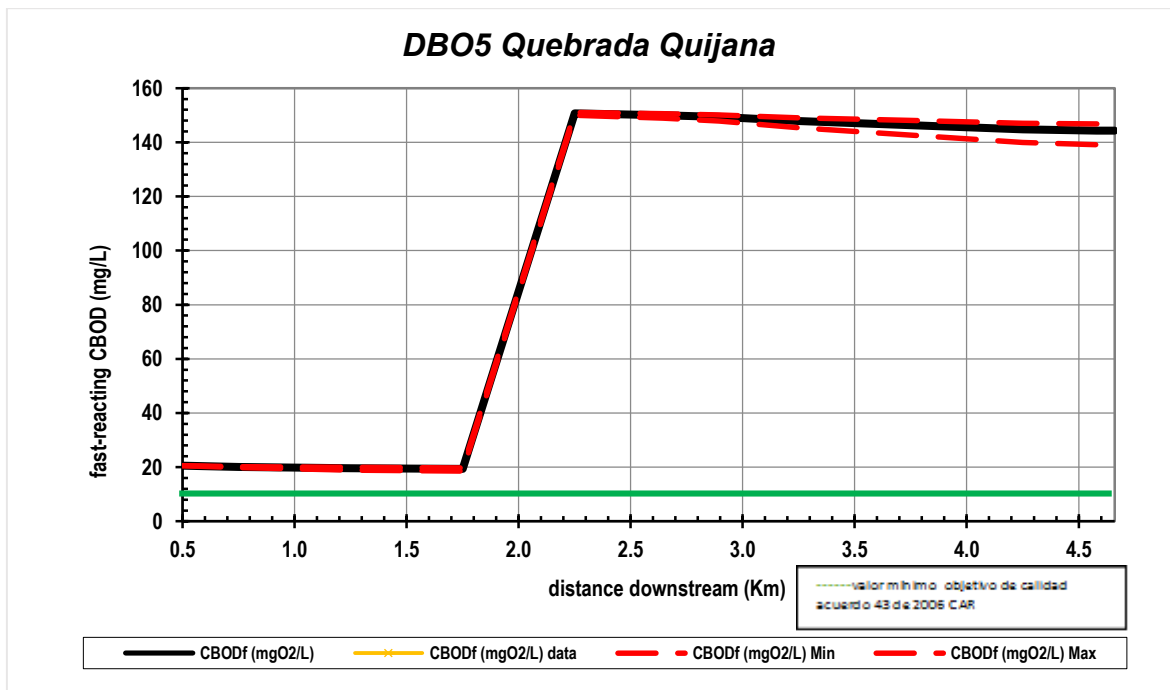


Figura 71. Modelación DBO5 quebrada Quijana.

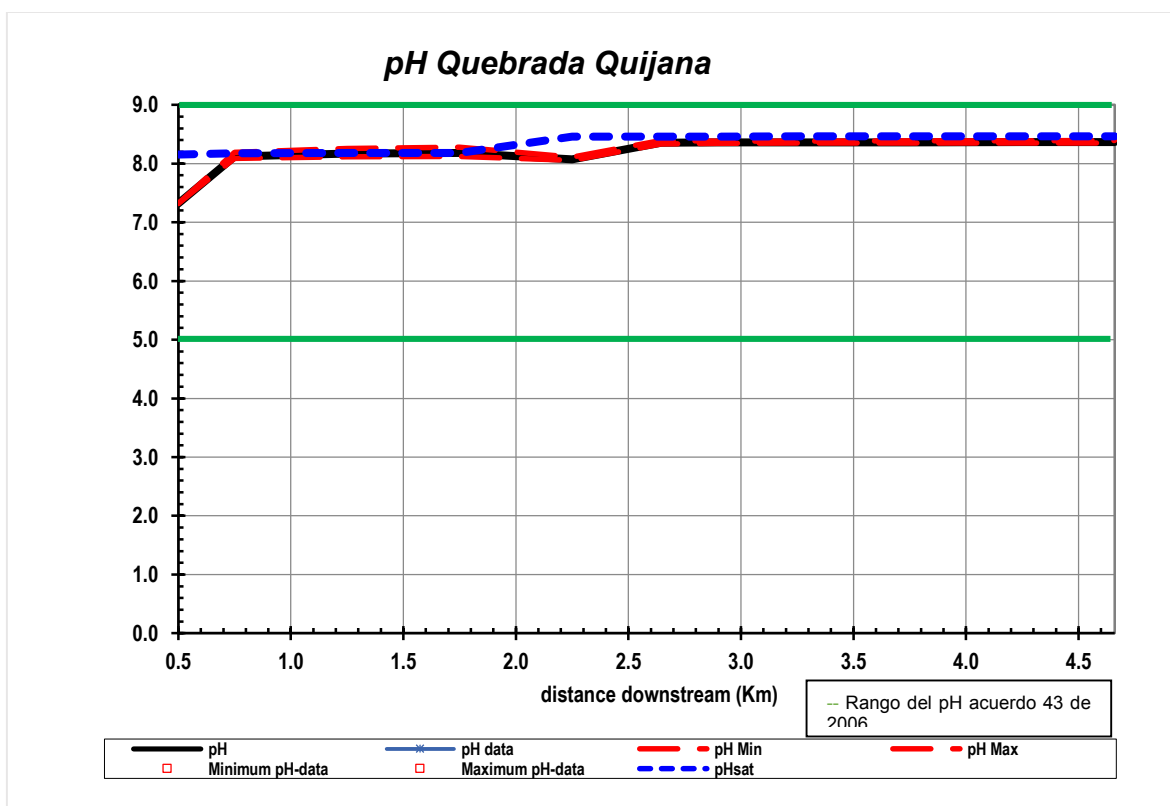


Figura 72. Modelación del pH quebrada Quijana.

Como se logra apreciar en la gráfica del oxígeno disuelto, este parámetro se encuentra por encima del valor mínimo aceptable de 4 mg/l (expuesto en los objetivos de calidad del acuerdo 43 de 2006 de CAR), a lo largo de la microcuenca quebrada Quijana, y su concentración se encuentra alrededor de 7 mg/l.

Con respecto a la concentración de los sólidos suspendidos totales se encuentra por encima del límite máximo permisible de 10 mg/L a lo largo de la microcuenca con respecto a la misma normatividad. De igual manera la demanda biológica de oxígeno DBO₅ se encuentra por encima de 7 mg/l límite máximo permisible a lo largo de la quebrada. Referente al pH este cumple con el rango permisible a lo largo de la quebrada encontrándose entre 5 y 9 unidades de pH manteniéndose en 8 unidades de pH.

De manera general y de acuerdo a los resultados de la modelación de calidad del agua de la quebrada Quijana se puede establecer que el afluente presenta desde la parte alta concentración altas de contaminantes y su calidad no mejora, por el contrario empeora con el vertimiento de la PTAR Quijana. Sin embargo es necesario realizar un monitoreo continuo y contar información actualizada con el fin de poder validar y calibrar el modelo, lo cual no es la finalidad del presente proyecto.

8.1.7.2 Modelo calidad de agua quebrada Carbonera.

Características hidráulicas

Debido a las formas irregulares de las secciones transversales del tramo a lo largo de su recorrido y la variabilidad de la pendiente del lecho, el tramo se ha sido dividido en 3 secciones para la modelación como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 49. División del Sub-tramo para la modelación en QUAL2K.

Sección	Abscisa inicial	Abscisa final	Longitud tramo (m)	Pendiente (m/m)	Ancho cauce (m)	n-Manning
1	K0	K2+500	2.500	0.05	0.5	0.04 para canales naturales de montaña. Chow et al. 1988
2	K2+500	K5+500	3000	0.18	1.3	
3	K5+500	k9+82	4320	0.05	1.3	

El caudal que se utilizó en el modelo corresponde al medido en campo a través de aforos realizados en la campaña de febrero del 2019 con la toma de muestras. Ya que son microcuencas que no se encuentran monitoreadas y no se cuenta con valores de caudales.

Esquematzación del Sistema

Se localiza las estaciones de monitoreo de la calidad del agua.

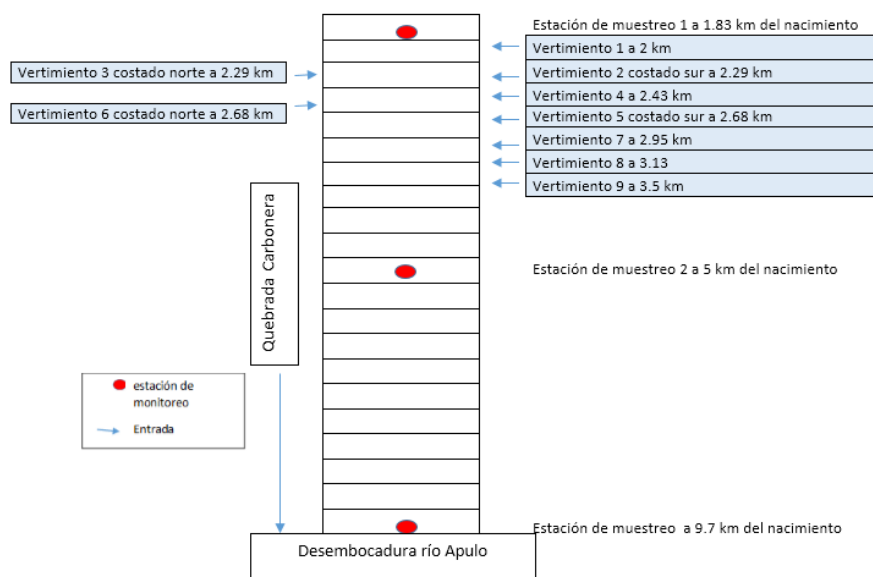


Figura 73. Esquematzación del modelo quebrada Carbonera.

Montaje del modelo

Una vez se registraron los datos hidráulicos, se suministraron los datos de calidad de agua de la quebrada Carbonera. Estos datos corresponden a los análisis realizados para este proyecto en el mes de febrero de 2019 y los datos de 8 vertimientos con los que se cuenta del año 2016 (presentados en la Tabla 12 del numeral 8.1.7).

Inicialmente se realiza el ingreso los datos de identificación del sistema a modelar (Tabla 50), los datos de la cabecera, datos de elevación y coordenadas (Tabla 51).

Tabla 50. Identificación del sistema a modelar quebrada Carbonera

System ID:	Q.Carbonera	
River name	Q.Carbonera	
Saved file name	Q.Carbonera	
Directory where the input/output files are saved	D:\Users\Asus\Desktop\MAESTRIA GESTIÓN CUENCAS\ANTEPROYE CTO\MODELO	
Month	3	
Day	20	
Year	2019	
Local standard time zone relative to UTC	-5	hours
Daylight savings time	No	
<i>Simulation and output options:</i>		
Calculation step	0.043945313	minutes
Number of days	3	days
Solution method (integration)	Euler	
Solution method (pH)	Newton-Raphson	
Simulate hyporheic exchange and pore water quality	No	
Display dynamic diel output	No	
State variables for simulation	All	
Simulate sediment diagenesis	Option 2	
Simulate alkalinity change due to nutrient change	No	
Write dynamic output of water quality	No	
Program determined calc step	0.043945313	minutes
Time elapsed during last model run	2.97	minutes
Time of sunrise	6:02 AM	
Time of solar noon	12:05 PM	
Time of sunset	6:08 PM	
Photoperiod	12.11	hours

Cabe resaltar que el nitrógeno orgánico ingresado es el nitrógeno orgánico total Kieldahl (N_{tk}) menos el nitrógeno amoniacal. (NH₄). (Camacho L. A., 2018)

El fosforo orgánico corresponde al fosforo total menos el fosforo inorgánico (fosfatos). Este último se determina a partir de la concentración dada por el laboratorio de fosfatos dado en mg P-PO₄/L.

Tabla 51. Elevación y coordenadas de quebrada Carbonera en el modelo.

<i>Downstream m</i>	<i>Elevation</i>		<i>Downstream</i>					
<i>location</i>	<i>Upstream m</i>	<i>Downstream m</i>	<i>Latitude</i>			<i>Longitude</i>		
<i>(km)</i>	<i>(m)</i>	<i>(m)</i>	<i>Degre es</i>	<i>Minute s</i>	<i>Secon ds</i>	<i>Degre es</i>	<i>Minute s</i>	<i>Secon ds</i>
0.50		1360	4.0	38.0	10.5	74.0	26.0	57.2
1.00	1360	1335	4.0	38.0	3.8	74.0	27.0	10.4
1.50	1305	1280	4.0	37.0	58.6	74.0	27.0	25.7
2.00	1280	1255	4.0	37.0	55.5	74.0	27.0	41.7
2.29	1273	1259	4.0	37.0	51.5	74.0	27.0	48.8
2.29	1273	1273	4.0	37.0	51.6	74.0	27.0	48.9
2.43	1265	1258	4.0	37.0	48.6	74.0	27.0	51.7
2.50	1260	1256	4.0	37.0	48.4	74.0	27.0	53.8
2.68	1245	1213	4.0	37.0	50.3	74.0	27.0	58.7
2.68	1245	1245	4.0	37.0	50.3	74.0	27.0	58.8
2.95	1230	1181	4.0	37.0	46.2	74.0	28.0	4.8
3.00	1210	1200	4.0	37.0	48.5	74.0	28.0	7.0
3.13	1207	1183	4.0	37.0	44.8	74.0	28.0	11.2
3.50	1112	1046	4.0	37.0	56.2	74.0	28.0	21.7
4.00	1060	970	4.0	38.0	9.1	74.0	28.0	28.6
4.50	1010	920	4.0	38.0	17.4	74.0	28.0	41.1
5.00	980	890	4.0	37.0	58.0	74.0	27.0	38.2
5.50	965	875	4.0	38.0	24.6	74.0	29.0	9.7
6.00	915	890	4.0	38.0	22.4	74.0	29.0	24.6
6.50	860	835	4.0	38.0	25.0	74.0	29.0	38.2
7.00	820	795	4.0	38.0	26.9	74.0	29.0	53.7
7.50	795	770	4.0	38.0	19.7	74.0	30.0	7.0
8.00	770	745	4.0	38.0	20.1	74.0	30.0	20.8
8.50	745	720	4.0	38.0	13.7	74.0	30.0	34.4
9.00	720	695	4.0	38.0	11.3	74.0	30.0	47.3
9.50	630	605	4.0	38.0	17.8	74.0	31.0	0.4
9.77	620	607	4.0	38.0	20.8	74.0	31.0	7.4

Resultados del modelo

A partir de los valores obtenidos de la caracterización de los parámetros físicos y químicos y la hidráulica de la quebrada, se realiza la modelación obteniendo las siguientes gráficas.

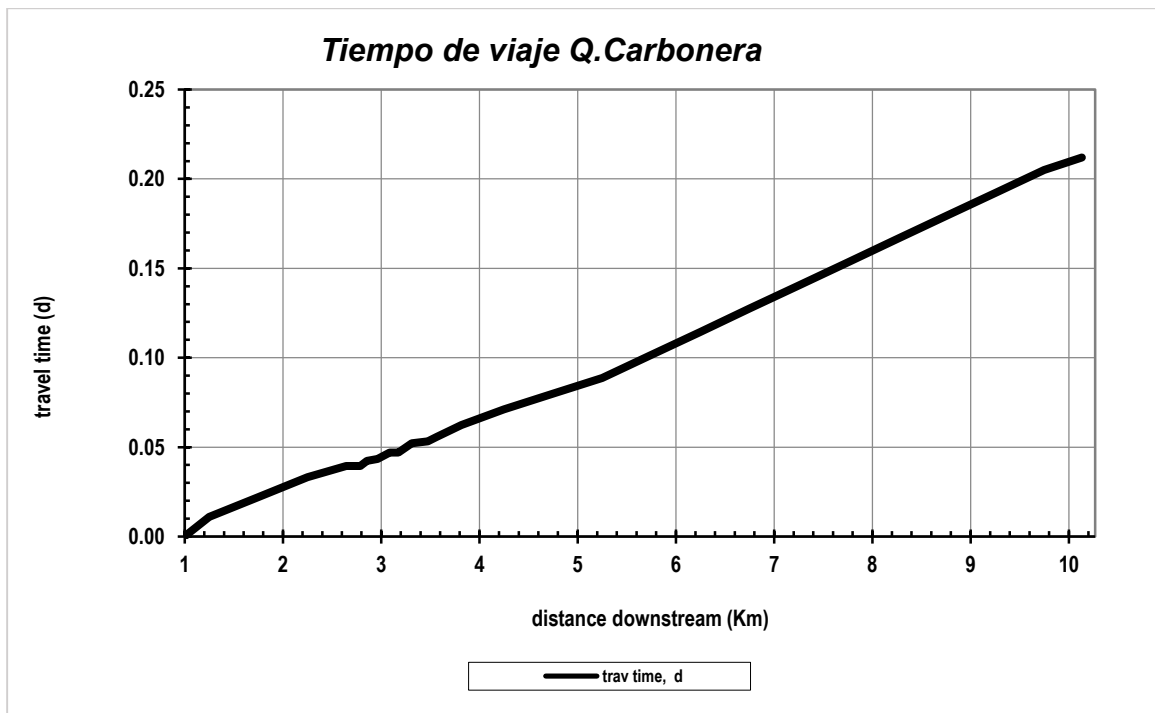


Figura 74. Tiempo de viaje quebrada Carbonera.

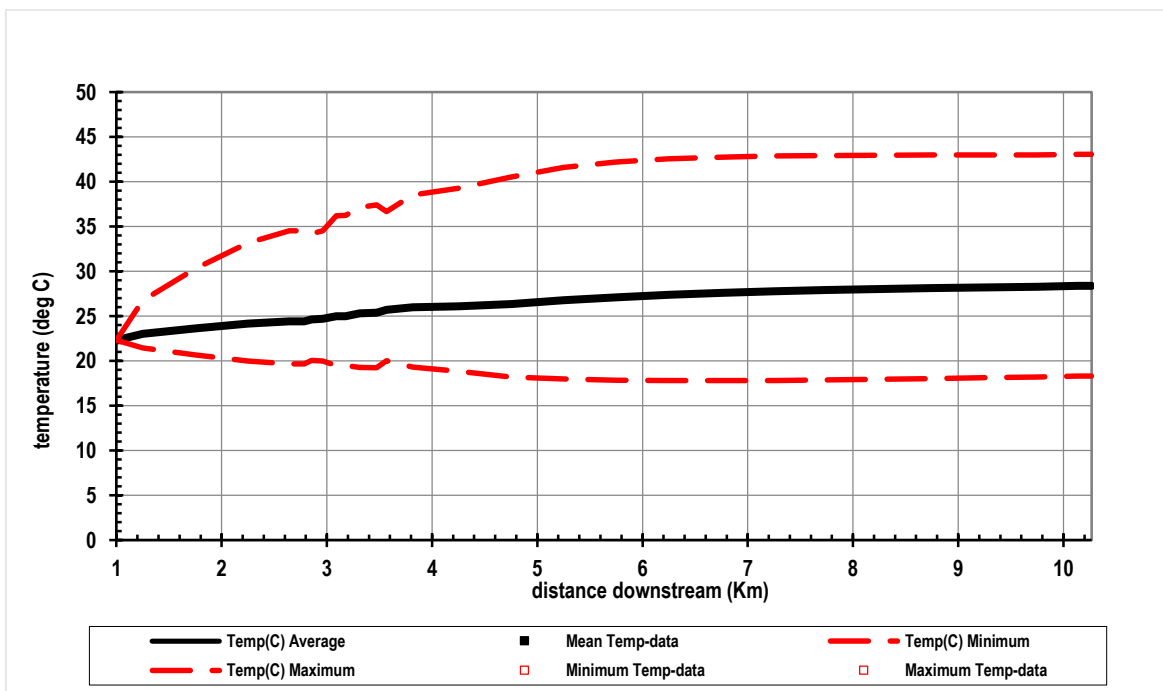


Figura 75. Modelación de temperatura quebrada Carbonera.

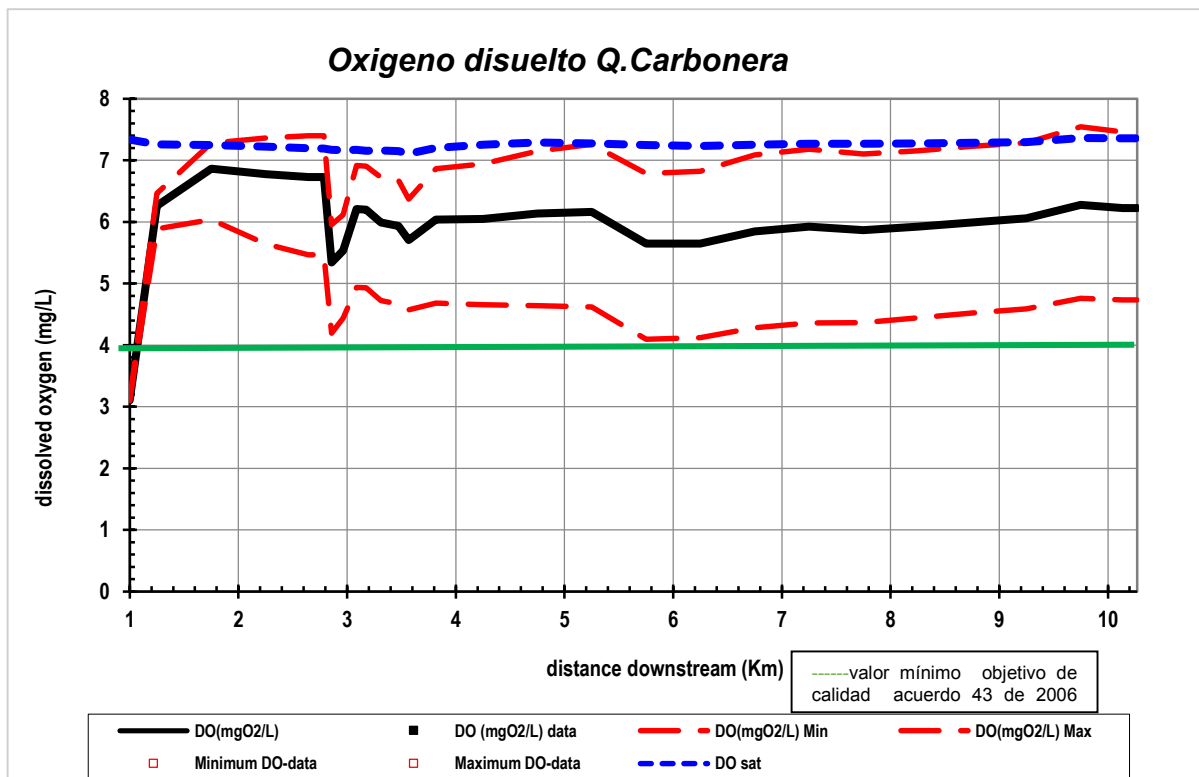


Figura 76. Modelación de oxígeno disuelto quebrada Carbonera.

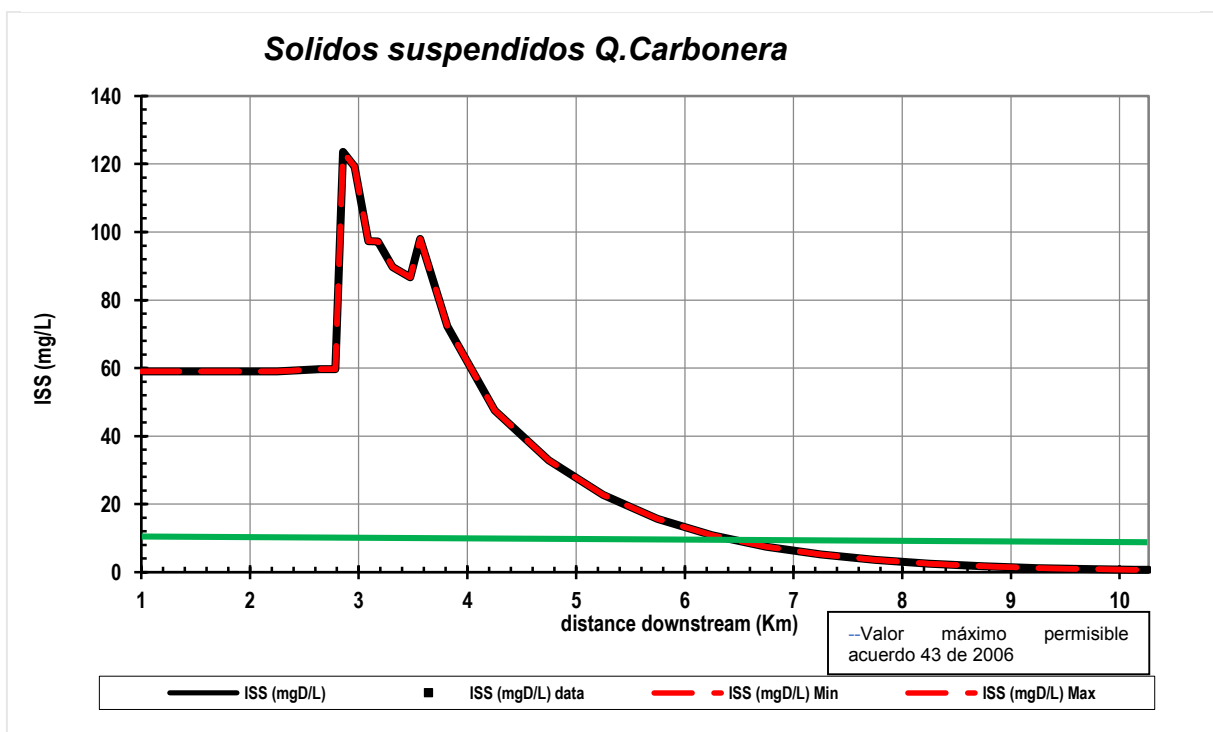


Figura 77. Modelación de solidos suspendidos quebrada Carbonera.

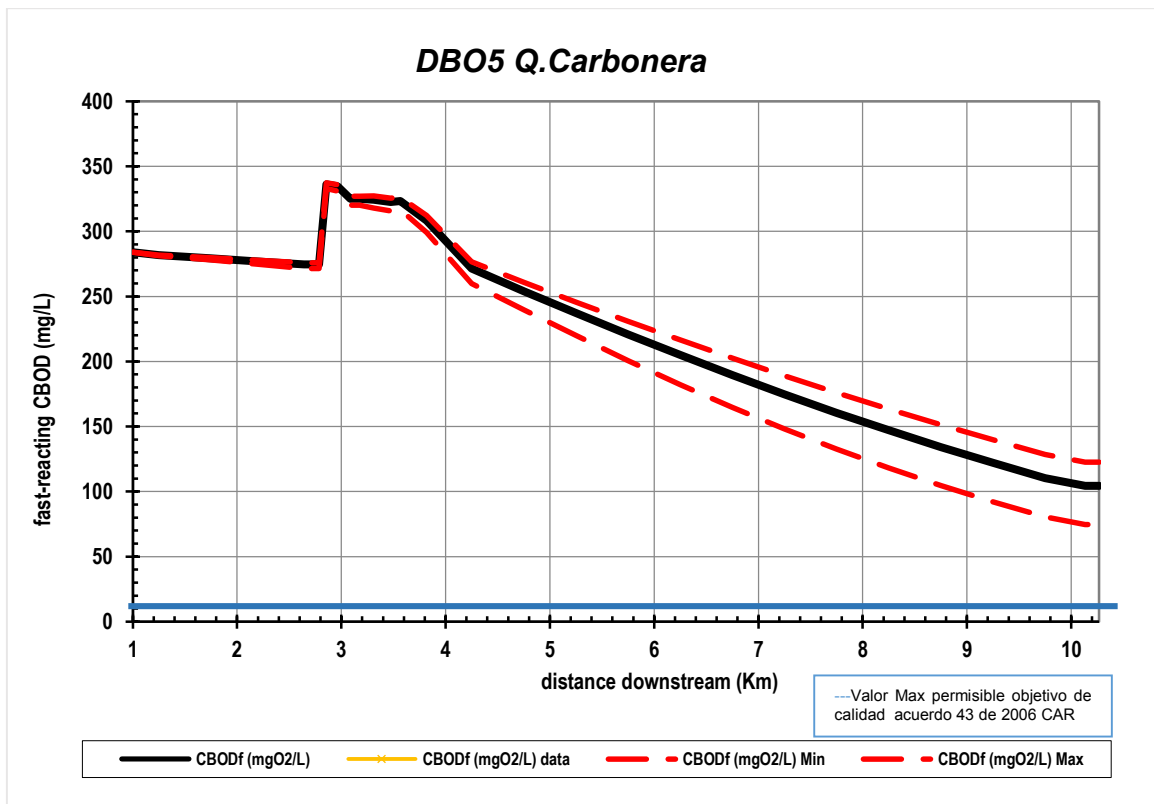


Figura 78. Modelación DBO5 quebrada Carbonera.

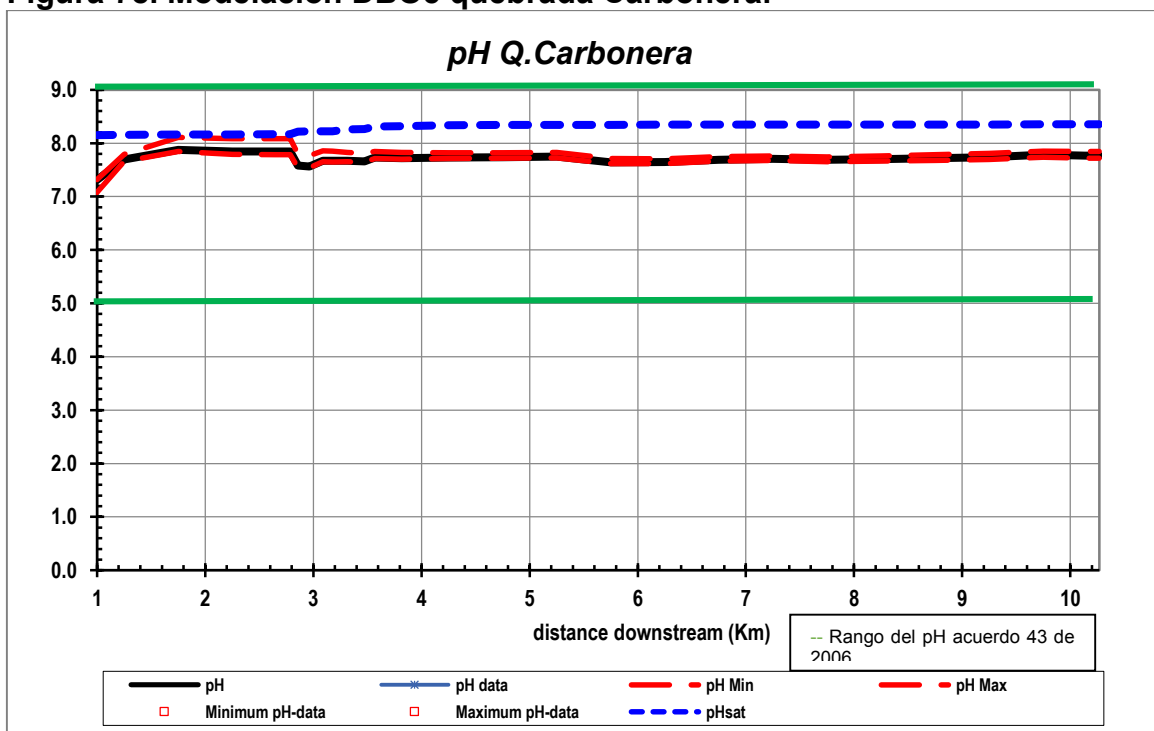


Figura 79. Modelación pH quebrada Carbonera.

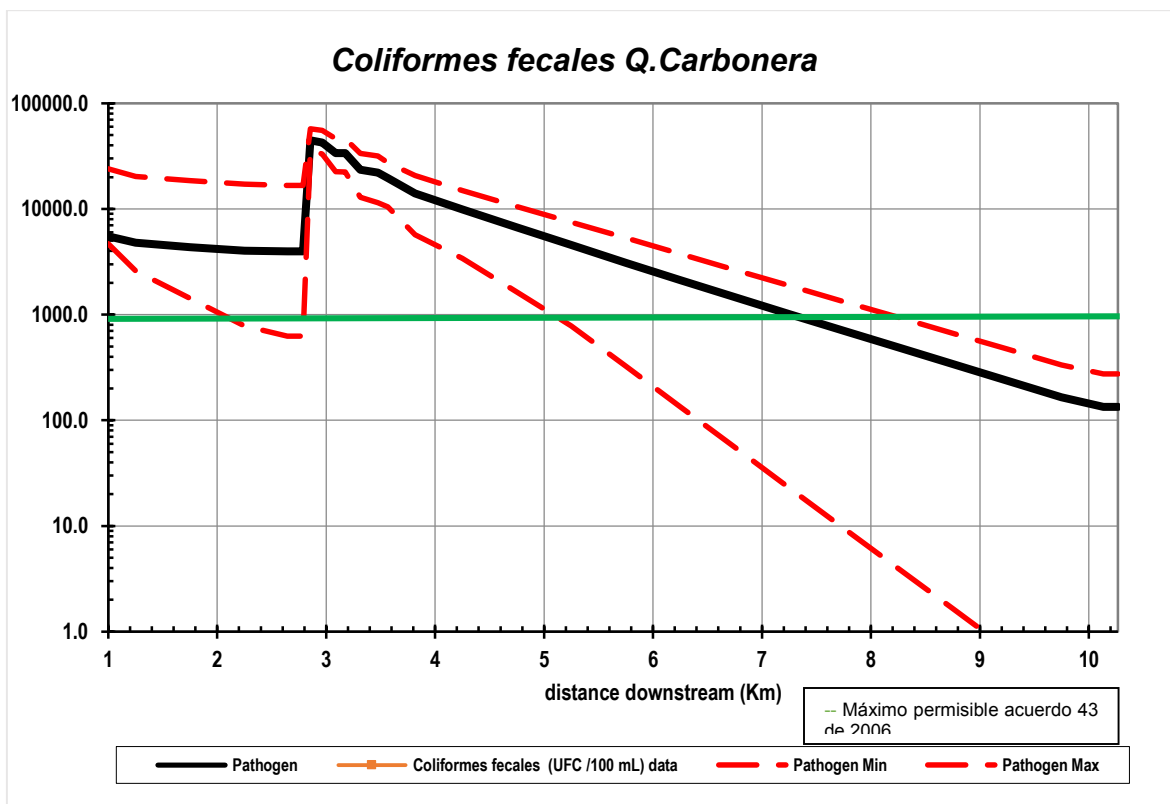


Figura 80. Modelación coliformes fecales quebrada Carbonera.

Como se logra apreciar en la gráfica del oxígeno disuelto, este parámetro se encuentra por encima del valor mínimo aceptable de 4 mg/l (expuesto en los objetivos de calidad del acuerdo 43 de 2006 de CAR), a lo largo de la microcuenca quebrada Carbonera, exceptuando en los primeros metros desde su nacimiento.

Con respecto al mismo acuerdo 43 de 2006 de la CAR, la concentración de los sólidos suspendidos totales durante los primeros 6.5 km de recorrido se encuentra por encima del límite máximo permisible de 10 mg/L, debido a los vertimientos que se realizan en la parte urbana, sin embargo la concentración empieza a reducirse en su recorrido por el área rural hasta su desembocadura cumpliendo con la normatividad.

Por su parte la demanda biológica de oxígeno DBO_5 se encuentra por encima de 7 mg/l límite máximo permisible a lo largo de la quebrada encontrando el pico más alto en el kilómetro tres aproximadamente, a partir de allí la concentración de DBO_5 empieza a reducirse sin embargo no alcanza valores aceptables.

Referente al pH este cumple con el rango permisible a lo largo de la quebrada encontrándose entre 5 y 9 unidades de pH. En lo concerniente a los coliformes fecales se hallan concentraciones por encima del límite máximo permisible de 1.000 NMP/100 ml en los primeros 7 km sin embargo esta disminuye alcanzando valores por debajo de 1000 NMP/100 ml en la desembocadura.

De manera general los resultados de la modelación de calidad del agua de la quebrada Carbonera establece que la mayor concentración de contaminantes se encuentra en la parte alta de la microcuenca donde están localizados la mayoría de los vertimientos de casco urbano del municipio, sin embargo estos contaminantes se diluyen a través del recorrido por el área rural. Sin embargo es necesario realizar un monitoreo continuo a la calidad de la quebrada con el fin de dar robustez al modelo y lograr validarlo y calibrarlo, lo cual no es la finalidad del presente proyecto.

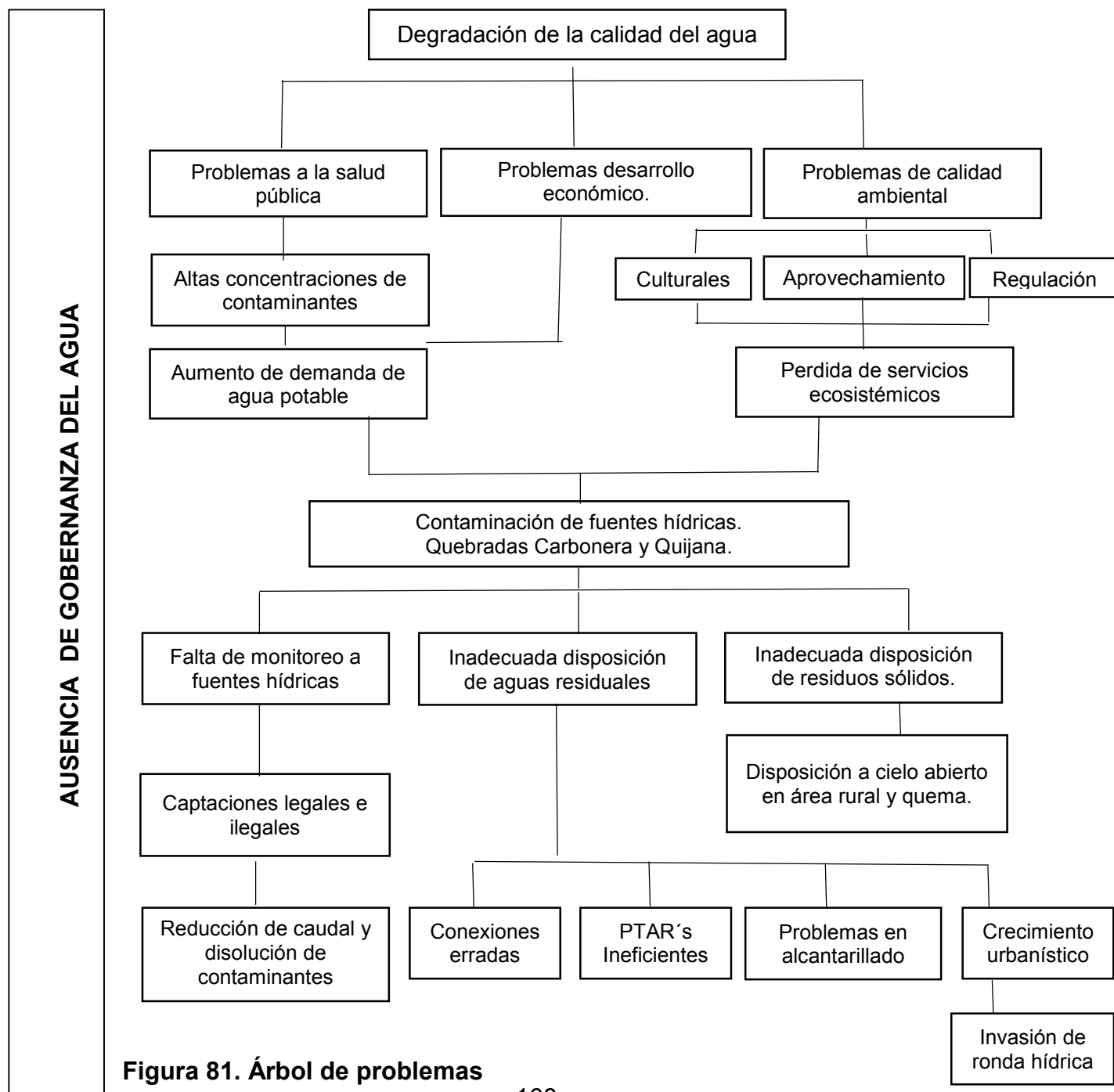
8.1.8 Síntesis del problema de calidad del agua.

A partir del diagnóstico elaborado en la primera fase se determinó que la calidad del agua de la fuente hídrica Quijana varía entre malo y muy malo de acuerdo al ICA, adicionalmente el modelo de calidad del agua muestra malas condiciones e incumplimiento de normatividad del acuerdo 43 del 2006 de la CAR. Por su parte la quebrada carbonera se caracteriza por tener un ICA entre regular y muy malo. Esta situación de contaminación de las fuentes hídricas altera la calidad ambiental, la salud pública y el desarrollo económico de las microcuencas.

Árbol de problemas

A continuación se presenta el árbol de problemas consolidado a partir del diagnóstico previamente realizado, sustentado en el problema de la contaminación de las fuentes hídricas quebrada Carbonera y Quijana. En la parte inferior del árbol se encuentran las causas del problema identificadas, como lo son la falta de monitoreo de las fuentes hídricas, la inadecuada disposición de aguas residuales y

residuos sólidos. En la parte superior de la figura se encuentran los efectos asociados a la degradación de la calidad hídrica, como problemas a la salud pública, problemas de desarrollo económico y de calidad ambiental relacionada con la pérdida de servicios ecosistémicos.



De acuerdo a lo identificado en el árbol de problemas se puede concluir que estas situaciones negativas están relacionadas con la falta de gobernanza del agua de las microcuencas Carbonera y Quijana, a continuación se realiza un breve análisis desde la dimensión política, económica, social y ambiental.

Dimensión política: Está relacionado con el fortalecimiento de las capacidades, las instituciones y ser los portavoces de las comunidades, para promover sus intereses relacionados con el agua. La dimensión política persigue una gestión más equilibrada del agua a través del aumento de la capacidad de atender las necesidades de los grupos sociales con mayor vulnerabilidad. (PNUD, 2006)

Se evidencia que a pesar de que la población de La Mesa, el ente gubernamental y demás actores conocen la problemática, no se realizan mesas ambientales de trabajo que involucre todos los actores en pro de establecer medidas para la recuperación de las microcuencas. A pesar de que en año 2018 se conforma una asociación “Amigos de la Carbonera” esta no se encuentra fortalecida, de igual manera que las veedurías ambientales.

Adicionalmente no se cuenta con ningún instrumento de planificación del recurso hídrico a nivel local como lo es el Plan de manejo ambiental y a pesar de que existe la resolución 2172 del 2015 de la CAR, mediante la cual se estableció la zona de protección de la quebrada Carbonera, esta no se ha hecho efectivo y se sigue construyendo dentro de esta franja establecida.

Se requiere más fortalecimiento institucional tanto de la alcaldía de la Mesa como de la autoridad ambiental.

Dimensión económica: Está estrechamente vinculada con la reducción de la pobreza y el crecimiento económico, pues estos últimos dependen del agua y de otros recursos naturales (PNUD, 2006).

Las fuentes hídricas carbonera y Quijana son fundamentales para el desarrollo económico a nivel local, ya que son fuentes de abastecimiento para las actividades

agropecuarias especialmente para riego de cultivos frutales. Sin embargo, su calidad se ve afectada por una inadecuada disposición de aguas residuales y residuos sólidos, lo que podría generar problemas de desarrollo económico.

Dimensión social: Referida a la distribución desigual del acceso al agua, pues de qué cantidad de agua se disponga y cuál sea su calidad son aspectos vinculados con la salud y las oportunidades de sustento de los seres humanos que varían según la clase socioeconómica y según habite en sector urbano o rural. Esta dimensión tiene como objetivo una distribución más equitativa del recurso hídrico (PNUD, 2006). Sin embargo esta se está viendo afectada por captaciones legales e ilegales que afectan el caudal ambiental y la dilución de agentes contaminantes. Adicionalmente desde el punto de vista de salubridad, la alteración de la calidad del agua ha generado problemas de salud especialmente a aquellos habitantes colindantes de las quebradas.

Dimensión ambiental: Busca que la gestión del agua se vincule tanto con la sostenibilidad del recurso hídrico, como con la integridad del ecosistema (PNUD, 2006). En las microcuencas la contaminación del agua por vertimientos y la invasión de la ronda hídrica se traducen en la pérdida de calidad ambiental y alteración al ecosistema.

Como se logró percibir, en las microcuencas quebrada Carbonera y Quijana se encuentran falencias desde las cuatro dimensiones de la gobernanza. A pesar que desde la alcaldía se han realizado inversiones para la formulación del plan de saneamiento y manejo, de vertimientos (psmv) desde el 2016, a junio de 2019 este no ha sido aprobado por la Corporación autónoma regional CAR. Adicionalmente el plan maestro de alcantarillado en el año 2014 que aun depende de la aprobación por parte del ministerio de vivienda, ciudad, territorio.

8.2 FASE DE DISEÑO DE LA ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS MICROCUENCAS

8.2.1 Identificación de actores.

Los actores identificados en las microcuencas de las quebradas Carbonera y Quijana, se ubican dentro del casco urbano del municipio de La Mesa Cundinamarca, la inspección de San Joaquín y 8 veredas: Hato Norte, la trinidad, la concha, Santa bárbara, San Martín, Calucata, San Esteban y la Trinita. A continuación, se observan de manera general los actores identificados y su clasificación.

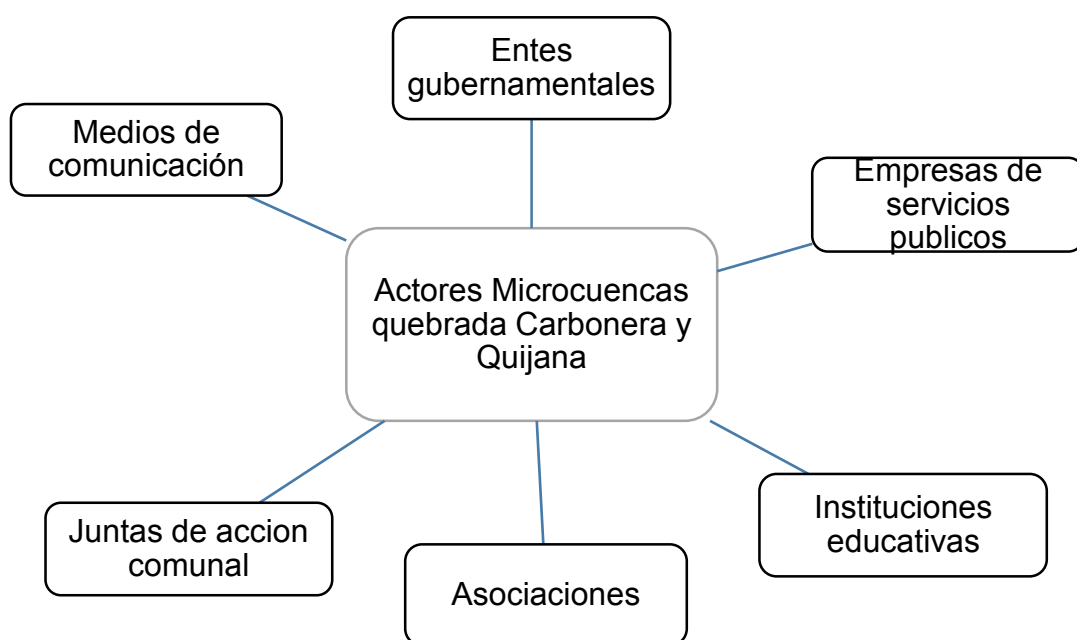


Figura 82. Actores identificados en las microcuencas quebradas Carbonera y Quijana

Entes Gubernamentales

- Alcaldía municipal de La Mesa: Entidad Territorial encargada de planear, dirigir, coordinar y controlar la gestión administrativa, garantizando la ejecución del Plan de Desarrollo y programa de gobierno propuesto que

permita la satisfacción de necesidades y demandas sociales y mejoramiento de la calidad de vida de las personas de este municipio. Actor que influye considerablemente en la movilización de recursos para desarrollo de proyectos que permitan garantizar la calidad de los recursos naturales.

- Corporación autónoma regional CAR: Entidad institucional gubernamental, que ejerce como máxima autoridad ambiental en su jurisdicción, ejecutando políticas, planes, programas y proyectos ambientales, a través de la construcción de tejido social, para contribuir al desarrollo sostenible y armónico de la región. Actor que influye significativamente en el manejo adecuado de los recursos naturales, velando por un equilibrio que permita disfrutara de un ambiente sano.

Empresa de servicios públicos y acueductos

- Empresa de acueducto y alcantarillado aguas del Tequendama: Entidad privada cuyo rol se enfoca en prestar servicio de acueducto y alcantarillado al casco urbano del municipio y algunos sectores veredales, velando por la disposición final y tratamiento de aguas residuales con el fin de evitar impacto ambiental significativo en las fuentes hídricas quebrada Carbonera y Quijana, es importante resaltar que la empresa regional aguas del Tequendama cuenta con 2 plantas de tratamiento de aguas residuales las cuales no se encuentran optimizadas lo cual permite que la remoción de materia orgánica no se realice con eficiencia permitiendo degradación de la calidad de agua. Adicionalmente se encuentran dos acueductos veredales denominados acueducto Acuaconchita y Acuaviva.

Instituciones educativas

Entidades públicas y privadas encargadas de brindar servicio de educación preescolar, básica, media académica, media técnica y educación para adultos, cuenta con la facultad de movilizar recursos sociales benéficos para el medio ambiente, promoviendo conciencia ambiental al cuerpo de estudiantes y a su vez inculcando el uso de buenas prácticas que permitan la sostenibilidad de los recursos naturales y el medio ambiente. Los colegios presentes en el Municipio son los siguientes.

- Colegio Francisco Julián Olaya.
- Colegio Sabio Mutis.
- Colegio Liceo Tequendama.
- Colegio Americano Menno.
- Colegio Divino Niño Jesús.
- Colegio Gonzalo Jiménez de Quesada.

Asociaciones

Asociaciones de pequeños y grandes productores de diferentes productos de la región como café, frutas, ganadería entre otros, organizaciones que cuentan con una relación directa y constante con el uso de recursos naturales para el desarrollo de sus actividades comerciales y productivas. Por otro lado se evidencia una asociación de veedores ambientales enfocados en la recuperación de la quebrada la carbonera, esta asociación tiene una influencia directa ya que se enfoca en realizar actividades que permitan mejorar la calidad de agua por medio de jornadas de limpieza, seguimiento a los diferentes procesos que deben realizar tanto el ente territorial como la autoridad ambiental en pro del manejo adecuado del recurso hídrico.

- Aso Megan (asociación de ganaderos de La Mesa)

- Asomefrut. (asociación frutícola de La Mesa)
- Asmucafet. (asociación de mujeres cafeteras)
- Asopro (asociación Porcicola de La Mesa).
- Comité de cafeteros.
- Asociación amigos de la carbonera. (veeduría ambiental).

Juntas de acción comunal

La junta de acción comunal es una corporación cívica sin ánimo de lucro, compuesta por personas de una zona específica que aúnan esfuerzos y recursos para llegar a la solución de necesidades que presenta la comunidad. Estas corporaciones cuentan con una relación directa de los recursos naturales ya que para el manejo de su actividad agropecuaria disponen del recurso hídrico ya sea para riego u otras actividades, adicionalmente no cuentan con un uso adecuado de residuos sólidos y líquidos lo cual permite afectación a la calidad del agua.

JAC Veredales

- | | |
|-----------------------------|---------------------------|
| • JAC Vereda hatonorte. | • JAC Vereda San Martín. |
| • JAC Vereda La Trinidad. | • JAC Vereda La Trinita. |
| • JAC Vereda La Concha. | • JAC Vereda Calucata. |
| • JAC Vereda Santa Bárbara. | • JAC Vereda San Esteban. |

JAC casco urbano

- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| • Barrio Álvarez Díaz | • Barrio El Cucharal |
| • Barrio Centro | • Barrio El Mirador |
| • Barrio Rincón Santo | • Barrio José Antonio Olaya |

- Barrio La Esperanza
- Barrio La Perla
- Barrio La Perlita
- Barrio Las Ceibas
- Barrio Los Naranjos
- Barrio Marsella
- Barrio Marsella II
- Barrio Pajonales
- Barrio Recreo
- Barrio Santa Bárbara
- Barrio Toledo
- Barrio Villa Nueva
- Barrio Villas del Nuevo Siglo
- Urbanización Hato Norte
- Urbanización Santa María del Hato
- Urbanización La Orquídea
- Villas de La Mesa
- Urbanización Comfenalco
- Barrio La Esmeralda
- Urbanización Quintas de San Pablo

Medios de comunicación

Entidades encargadas de emitir información institucional, establecer estrategias de comunicación hacia la comunidad en general de interés colectivo, comunicación encaminada a informar, recrear y culturizar con el fin de contribuir al desarrollo y calidad de vida de la comunidad. Actor que influye significativamente ya que cuenta con la capacidad de movilizar recursos sociales en cuanto a la difusión de información lo cual permite la apropiación por parte de los habitantes. Dentro del municipio se cuenta con la emisora Cristalina Estéreo y Periódico Ecos del Tequendama.

Directorio de actores

Con base en la información obtenida se construyó el directorio de actores que se encuentra en el Anexo.

Entrevistas

Las entrevistas se realizaron los días 8 y 9 de Julio del 2019 a actores claves de las microcuencas. A continuación, se observa la Tabla 52 con las preguntas realizadas y resumen de las respuestas.

Tabla 52. Resumen de entrevistas

Ítem	Preguntas	Resumen de resultados obtenidos
1	¿Qué relación tiene usted con las microcuencas quebrada Carbonera y Quijana?	Colindantes de las microcuencas, tanto comunidad como entes institucionales.
2	¿Cuál cree usted que es el estado actual de las microcuencas quebrada Carbonera y Quijana con respecto a la calidad de agua?	Contaminada por descarga de aguas residuales domésticas.
3	¿Qué acciones negativas se realizan en las microcuencas con respecto a la calidad de agua?	Presencia de vertimientos de agua residual doméstica, disposición de residuos sólidos, captación de agua, deforestación e invasión de zona de ronda.
4	¿Tiene conocimiento de actividades que se desarrollen a favor de las microcuencas y su calidad de agua?	Brigadas de limpieza, reforestación, muestreos de calidad de agua, diseño de plan de saneamiento y manejo de vertimientos y plan maestro de alcantarillado.
5	¿Tiene conocimiento de las estrategias planteadas por la autoridad ambiental para mejorar la calidad de agua de las microcuencas?	Plan de saneamiento y manejo de vertimientos, Plan maestro de alcantarillado, comparendo ambiental, educación ambiental, atención y seguimiento a requerimientos. Aunque algunas personas no tienen conocimiento.
6	¿Existen espacios de participación ciudadana en los cuales se divulguen las acciones y medidas tomadas para mejorar las condiciones de la calidad del agua de las microcuencas y en los cuales su opinión sea tenida en cuenta?	Charlas, reuniones interadministrativas y rendición de cuentas por parte del ente territorial y empresa de servicios públicos.
7	¿Se desarrollan Jornadas de educación ambiental enfocadas en el manejo adecuado y preservación de los recursos naturales?	Por parte tanto de la autoridad ambiental, ente territorial e instituciones educativas se realizan jornadas de reforestación y limpieza de las fuentes hídricas con el fin de crear conciencia ambiental a la comunidad. Aunque algunos actores no están de acuerdo con estas acciones.
8	¿Los medios de comunicación brindan información del estado actual de las microcuencas?	Aunque el 60% de los entrevistados aseguran que los medios de comunicación no brindan información acerca del estado actual de la calidad de agua de las microcuencas, el 40% restante resalta la labor.
9	¿Qué medidas cree usted que se deben tomar para mejorar las condiciones de las microcuencas especialmente para la calidad de agua?	Implementación del plan de saneamiento y manejo de vertimientos y plan maestro de alcantarillado para eliminar las descargas de aguas residuales a las microcuencas sin tratamiento previo.



Figura 83. Encuentros con la comunidad para la construcción de la estrategia de gestión

8.2.2 Análisis de objetivos

Árbol de objetivos

A partir del árbol de problemas, y las entrevistas realizadas a actores claves, se plantean una serie de objetivo encaminados a la solución del problema Figura 84.

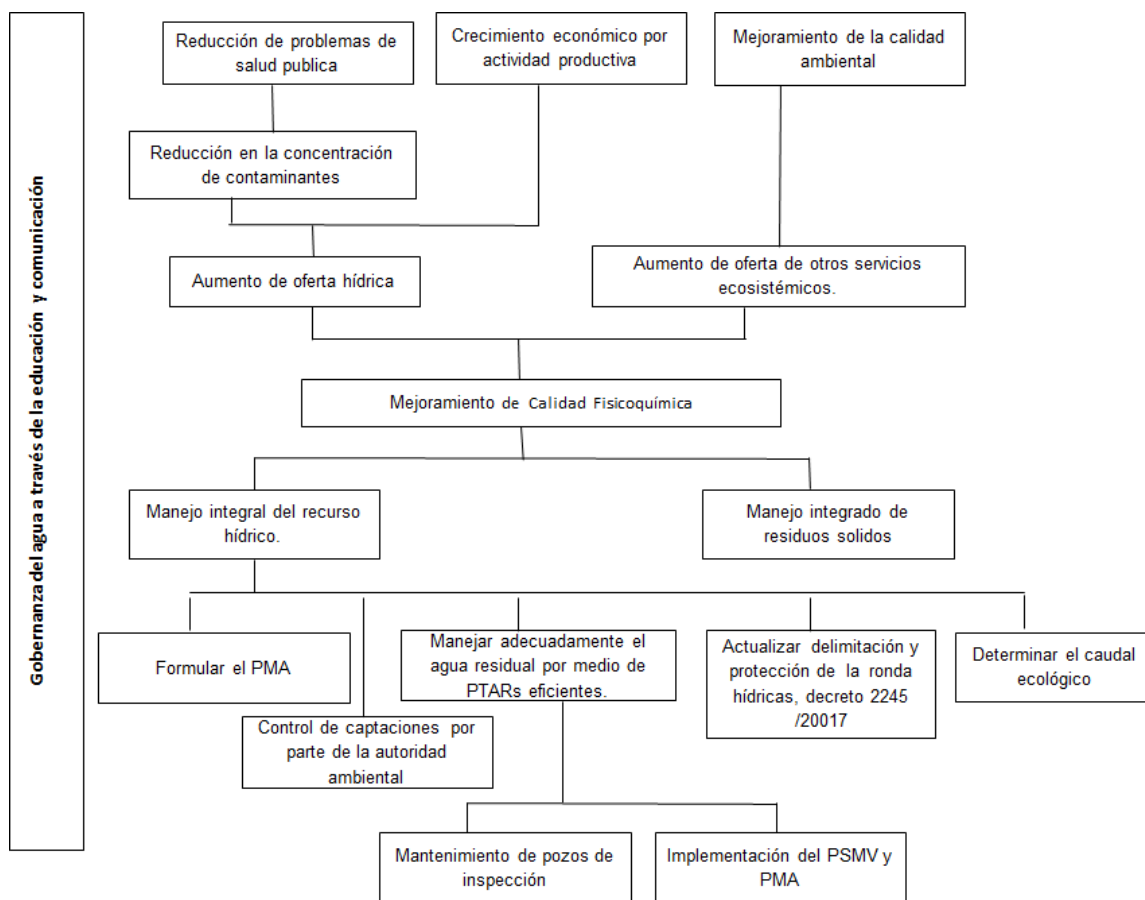


Figura 84. Árbol de objetivos.

8.2.3 Diseño y estructuración de la estrategia.

Con base en los objetivos propuestos se definieron 3 líneas estratégicas: Gobernanza del agua, cultura y educación ambiental y comunicación, estas dos últimas son estrategias transversales al proceso de gobernanza del agua.

8.2.3.1 Componente programático y administrativo.

Teniendo en cuenta lo anterior; a continuación, se describen las líneas estratégicas propuesta, junto con su programa y los respectivos proyectos. En la Tabla 53 a Tabla 59 se encuentran los detalles de los proyectos planteados como resultado del presente proyecto.

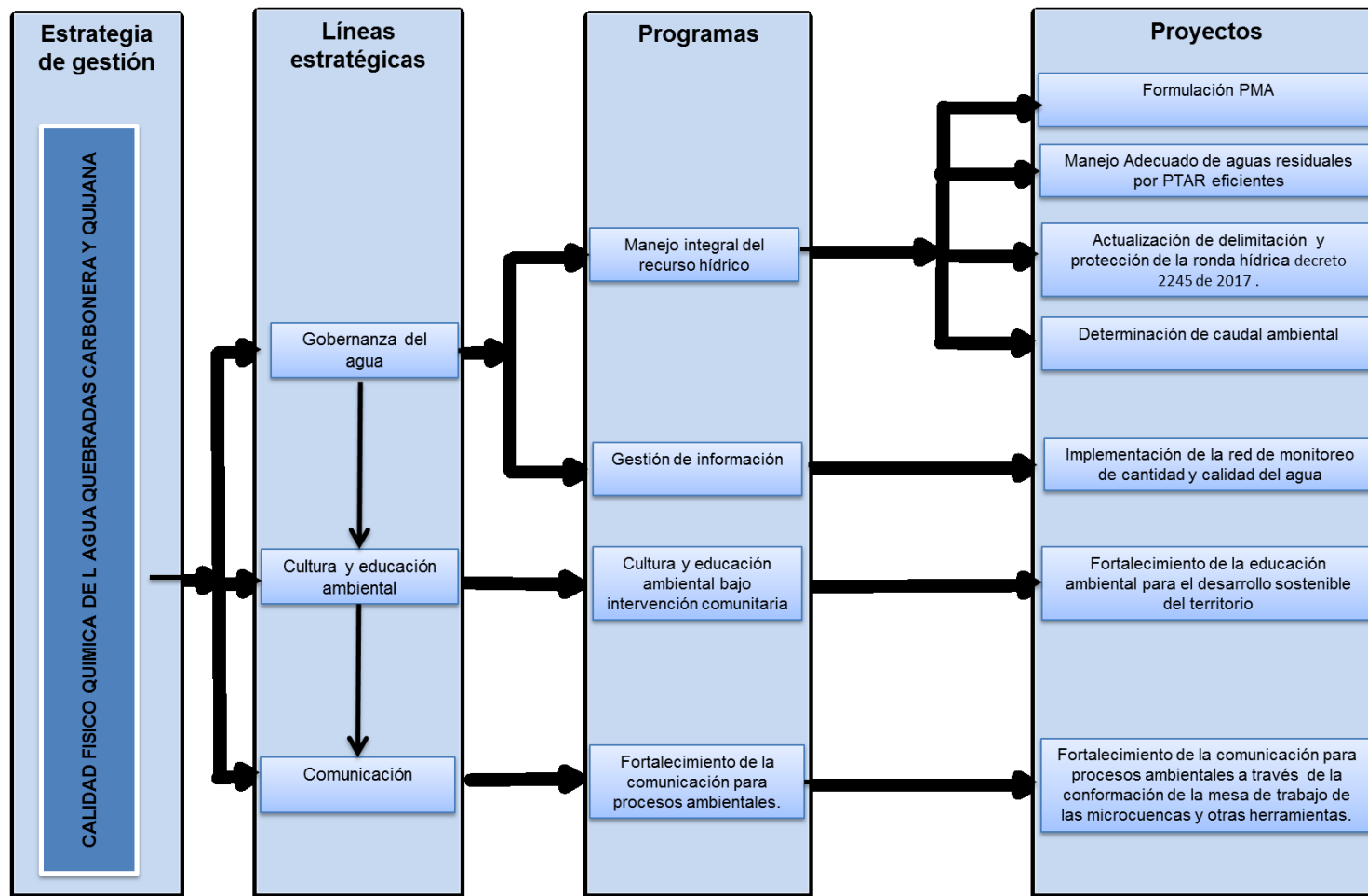


Figura 85. Estructura de la estrategia de gestión de la calidad fisicoquímica del agua quebrada Carbonera y Quijana

Línea estratégica gobernanza del agua

Esta línea estrategia se abarca en dos programas Manejo integral del recurso hídrico esta línea estratégica se interrelaciona con la gestión de la información por medio del monitoreo de las fuentes hídricas se permite una mejor planificación y toma de decisiones sobre el recurso hídrico en las microcuencas.

Programa Manejo integral del recurso hídrico

Se presentan cuatro proyectos relacionados con el manejo integrado del recurso hídrico de las microcuencas:

- Formulación del Plan de Manejo Ambiental de las Microcuencas Quebrada Carbonera y Quijana adoptado por la Corporación autónoma regional CAR.
- Manejo adecuado de aguas residuales a través del funcionamiento eficiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales PTAR carbonera y Quijana y otras acciones.
- Actualización de la delimitación y protección de la ronda hídrica quebrada Carbonera y definición de ronda hídrica quebrada Quijana de acuerdo al decreto 2245 de 2017 y la guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.
- Determinación de caudal ambiental de las quebradas carbonera y Quijana.

Programa gestión de información

Con el fin de proporcionar información de las condiciones de cantidad y calidad hídrica de las microcuencas y que permita la toma de decisiones se formuló el proyecto:

- Implementación de la red de monitoreo de cantidad y calidad del agua.

Tabla 53. Proyecto Formulación e implementación del Plan de Manejo Ambiental de las Microcuencas Quebrada Carbonera y Quijana adoptado por la Corporación autónoma regional CAR.

LINEA ESTRATEGICA GOBERNANZA DEL AGUA		
PROGRAMA		Manejo integral del recurso hídrico.
ID del proyecto (1.1.1)	NOMBRE DEL PROYECTO	Formulación e implementación del Plan de Manejo Ambiental de las Microcuencas Quebrada Carbonera y Quijana adoptado por la Corporación autónoma regional CAR.
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	La sobre explotación del recurso y el incremento de las cargas contaminantes vertidas, reduce la capacidad natural de autodepuración del sistema hídrico superficial que las recibe, lo que hace que pierda la aptitud para usos específicos y afecta la calidad de los beneficios ambientales que presta este recurso; lo cual configura un conflicto ambiental importante en la cuenca.	
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO		
A través del plan de manejo para las microcuencas quebrada Carbonera y Quijana se planifican y administran los recursos naturales renovables de la microcuenca, mediante proyectos y actividades para la preservación, restauración y uso sostenible.		
LOCALIZACIÓN Y POBLACIÓN OBJETIVO	Microcuenca Quebrada Carbonera y Quijana	
OBJETIVOS		
GENERAL	META	INDICADORES
Formular e implementar el Plan de Manejo Ambiental de las microcuencas Quebrada Carbonera y Quijana.	90%	$\sum_n^i i /n$
ESPECIFICO	META	INDICADORES

Desarrollar las fases de aprestamiento, diagnóstico y formulación de las microcuencas quebrada Carbonera y Quijana.	100%	$\frac{\text{Documento del PMA}}{\text{Documento del PMA aprobado por la CAR}} \times 100$															
Implementar las obras y actividades propuestas en el PMA de las microcuencas.	100%	$\frac{\text{No. de indicadores que alcanzaron la meta}}{\text{No total de indicadores del PMA}} \times 100$															
ACTIVIDADES																	
ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	MEDIO DE VERIFICACIÓN															
Desarrollo de las fases de aprestamiento, diagnóstico, formulación del PMA.	Se desarrollaran las fases de acuerdo a la guía metodológica para la formulación de los PMA de microcuencas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018.	Registros de trabajo de campo Actas de visita, actas de socialización, lista de asistencia registro fotográfico, documento final.															
Implementación de las obras y actividades propuestas en el PMA.	Una vez revisados y aprobados los PMA de cada microcuenca, se iniciará con la ejecución de las obras propuestas para contrarrestar los impactos negativos sobre el recurso hídrico, de acuerdo con el cronograma formulado y aprobado por la CAR.	Reportes de evaluación y seguimiento de cada PMA.															
FUENTES DE FINANCIACIÓN	CAR Alcaldía La Mesa																
CRONOGRAMA																	
	Actividad		Duración (años)														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Desarrollo de las fases de aprestamiento, diagnostico, formulación del PMA																

	Implementación de las obras y actividades propuestas en el PMA.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 54. Manejo adecuado de aguas residuales a través del funcionamiento eficiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales PTAR carbonera y Quijana y otras acciones

LINEA ESTRATEGICA GOBERNANZA DEL AGUA		
PROGRAMA		Manejo integral del recurso hídrico.
ID del proyecto (1.1.2)	NOMBRE DEL PROYECTO	Manejo adecuado de aguas residuales a través del funcionamiento eficiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales PTAR carbonera y Quijana y otras acciones.
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	De acuerdo con la caracterización del estado de la calidad del agua en las microcuencas, se evidenció que uno de los principales aspectos que vulneran la calidad del agua del municipio es la deficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas la Quijana ya que está llegando más del caudal de diseño de la planta. Adicionalmente deficiencias en el sistema de alcantarillado del casco urbano ya que realiza vertimientos sobre las quebradas, y algunas conexiones erradas.	
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO		
El recurso hídrico es el eje de la ordenación de las microcuencas, importante para la subsistencia de todo ecosistema, las comunidades y las actividades productivas que desarrollan. Por tal razón, es indispensable asegurar la implementación y funcionamiento eficiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y otras acciones, con el fin de reducir las cargas contaminantes que vulneran la calidad del agua de las microcuencas.		
LOCALIZACIÓN Y POBLACIÓN OBJETIVO	Municipio de La Mesa, la población beneficiada corresponde a los colindantes de las microcuencas y habitantes de las microcuencas aguas abajo de los puntos de vertimiento municipales.	
OBJETIVOS		
GENERAL	META	INDICADORES
Manejar adecuadamente las aguas residuales a través del funcionamiento eficiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales PTAR carbonera y Quijana y otras acciones.	100%	$\sum_n^i i / n$
ESPECIFICO	META	INDICADORES

Gestionar los recursos financieros para la ejecución el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) y plan maestro de alcantarillado (PMA)		100%	$\frac{\textit{Presupuesto aprobado para ejecución}}{\textit{Presupuesto requerido para ejecución}} \times 100$														
Ejecutar los proyectos propuestos en PSMV y PMA		100%	% de avance del PSMV y PMA														
ACTIVIDADES																	
ACTIVIDADES		DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD												MEDIO DE VERIFICACIÓN			
Gestión de los recursos financieros para la ejecución el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) y plan maestro de alcantarillado (PMA).		El plan de saneamiento y manejo de vertimientos se encuentra en proceso de aprobación por la CAR. En este plan se estipula la construcción de colectores para eliminar puntos de vertimiento, separación de la red de alcantarillado con aguas lluvias, Por su parte el Plan maestro del alcantarillado se encuentra en proceso de aprobación por el Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio. En este plan se estipula el desarrollo de obras que garantice la cobertura de red de alcantarillado del casco urbano, eliminación de vertimientos, renovación de red de alcantarillado. Se espera que sean aprobados y a partir de allí gestionar los recursos necesarios.												Aprobación de presupuesto			
Ejecución de los proyectos propuestos en PSMV y PMA		Puesta en marcha de los proyectos planteados.												Presupuesto anual ejecutado en obras estipuladas dentro del PSMV y PMA			
FUENTES DE FINANCIACIÓN		Alcaldía Municipal Gobernación de Cundinamarca Ministerio de vivienda, ciudad y territorio.															
CRONOGRAMA		Actividad						Duración (años)									
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

	Gestión de los recursos financieros para la ejecución el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) y plan maestro de alcantarillado (PMA).																	
	Ejecución de los proyectos propuestos en PSMV y PMA																	
PRESUPUESTO																		
	ACTIVIDAD		CANTIDAD		VALOR ESTIMADO (\$COP)													
	Gestión de los recursos financieros para la ejecución el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) y plan maestro de alcantarillado (PMA).		Global		0													
	Ejecución de los proyectos propuestos en PSMV y PMA		Global		47.000.000.000*													
RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN	ACTOR RESPONSABLE		ROL															
	Alcaldía Municipal		Ejecutor Contratar la consultoría y contratistas de obra necesarios para la ejecución del proyecto.															

*valor aproximado de acuerdo a lo planteado en el PSMV.

Tabla 55. Delimitación y protección de rondas hídricas quebrada Carbonera y Quijana

LINEA ESTRATEGICA GOBERNANZA DEL AGUA		
PROGRAMA	Manejo integral del recurso hídrico.	
ID del proyecto (1.1.3)	NOMBRE DEL PROYECTO	Delimitación y protección de rondas hídricas quebrada Carbonera y Quijana
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	Problema de acotamiento de la ronda hídrica de la quebrada carbonera ya que se encuentra en conflicto con habitantes de la microcuenca. Por su parte la quebrada Quijana con cuenta con ronda hídrica. Como consecuencia se evidencia que las ronda hídricas están siendo objeto de deterioro ambiental y en muchos casos de ocupación antrópica, generado condiciones de vulnerabilidad y riesgo a eventos de inundaciones o avenidas torrenciales debido a la exposición de bienes y servicios en dichas zonas.	
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO		
Es importante la actualización de la delimitación de la ronda hídrica de la quebrada Carbonera de acuerdo al decreto 2245 de 2017 y la guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible del 2018, y de igual forma establecer la ronda de la quebrada Quijana. Ya que estas son áreas de conservación y como tal hacen parte de la estructura ecológica principal del municipio, las cuales deben ser objeto de especial protección ambiental en el ordenamiento territorial de acuerdo con la legislación vigente.		
LOCALIZACIÓN Y POBLACIÓN OBJETIVO	Microcuenca Quebrada Carbonera y Quijana. La población objeto son los actores colindantes de los cuerpos hídricos.	
OBJETIVOS		
GENERAL	META	INDICADORES
Delimitar y proteger las rondas hídricas quebrada Carbonera y Quijana	90%	$\sum_n^i i / n$
ESPECIFICO	META	INDICADORES
Realizar cada una de las fases de acuerdo a la guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en las quebrada Carbonera y Quijana.	100%	% de avance de cada una de las fases.

Recuperar la ronda hídrica de las quebradas.		90%	$\frac{\text{area recuperada de ronda hidrica}}{\text{area total estipulada en el estudio tecnico}} \times 100$															
ACTIVIDADES																		
ACTIVIDADES		DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD							MEDIO DE VERIFICACIÓN									
Realización de cada una de las fases de acuerdo a la guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en las quebrada Carbonera y Quijana.		Para delimitar las zonas de ronda se deberá cumplir con todos los criterios establecidos en la guía, incluyendo la participación ciudadana.							Evidencias trabajo de campo, socializaciones, fotografías, actas, documento de avances.									
Recuperación de la ronda hídrica de las quebradas.		Una vez aprobados los estudios técnicos, se toman las acciones permitientes para la recuperación de la ronda de la quebrada a partir de compra de predios y procesos de reforestación.							Numero de predios adquiridos en ronda hídrica reforestados									
FUENTES DE FINANCIACIÓN		CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR – ALCALDIA MUNICIPAL LA MESA CUNDINAMARCA																
CRONOGRAMA		Actividad		Duración (años)														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Realización de cada una de las fases de acuerdo a la guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en las quebrada Carbonera y Quijana.																
		Recuperación de la ronda hídrica de las quebradas																

PRESUPUESTO			
	ACTIVIDAD	CANTIDAD	VALOR ESTIMADO (\$COP)
	Realización de cada una de las fases de acuerdo a la guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en las quebrada Carbonera y Quijana.	Global	Sin definir
	Recuperar la ronda hídrica de las quebradas.	Global	Sin definir
RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN	ACTOR RESPONSABLE	ROL/DESCRIPCIÓN	
	CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR – ALCALDIA MUNICIPAL LA MESA CUNDINAMARCA	Ejecutor. La Corporación deberá liderar los estudios técnicos requeridos a través de la contratación de una consultoría o personal directo. Asimismo deberá realizar el proceso jurídico para poner en firme el acto administrativo que establezca la nueva zonificación ambiental. Y la alcaldía debe realizar la compra de predios y procesos de reforestación.	

Tabla 56. Determinación de caudal ambiental de las quebradas carbonera y Quijana.

LINEA ESTRATEGICA GOBERNANZA DEL AGUA		
PROGRAMA	Manejo integral del recurso hídrico.	
ID del proyecto (1.1.4)	NOMBRE DEL PROYECTO	Determinación de caudal ambiental de las quebradas carbonera y Quijana.
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	Las fuentes hídricas en periodo de sequía no cuentan con caudal ambiental que garantice la prestación de servicios ecosistémicos.	
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO		
Es importante establecer el caudal ambiental con el fin de conocer el caudal requerido para el funcionamiento del ecosistema y de igual forma conocer el caudal que puede ser concesionado por parte de la autoridad ambiental. Puesto que este es un recurso fundamental para el sector agropecuario.		
LOCALIZACIÓN Y POBLACIÓN OBJETIVO	Microcuenca Quebrada Carbonera y Quijana. La población objeto actores que requieren concesión de agua.	
OBJETIVOS		
GENERAL	META	INDICADORES
Determinar el caudal ambiental de las quebradas carbonera y Quijana	100%	$\sum_n^i i / n$
ESPECIFICO	META	INDICADORES
Realizar los estudios técnicos para conocer el caudal ambiental.	100%	Caudal ambiental establecido.

Realizar la revisión de concesiones otorgadas y de ser necesario modificarlas con el fin de conservar el caudal ambiental.		100%		$\frac{\text{numero de concesiones revisadas}}{\text{Numero total de concesiones otorgadas}} \times 100$													
ACTIVIDADES																	
ACTIVIDADES		DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD						MEDIO DE VERIFICACIÓN									
Realización de los estudios técnicos para conocer el caudal ambiental.		Realizar el procedimiento metodológico establecido para determinar caudal ambiental.						Evidencias trabajo de campo, socializaciones, fotografías, actas, documento de avances.									
Revisión de concesiones otorgadas.		De acuerdo a los resultados obtenidos realizar revisión de concesiones otorgadas en las microcuencas y de ser necesario modificarlas con el fin de conservar el caudal ambiental.						Actas de modificación de concesiones. Registro de revisión									
FUENTES DE FINANCIACIÓN		CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR –															
CRONOGRAMA																	
	Actividad		Duración (años)														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Realización de los estudios técnicos para conocer el caudal ambiental.																
	Revisión de concesiones otorgadas.																
PRESUPUESTO																	

		ACTIVIDAD	CANTIDAD	VALOR ESTIMADO (\$COP)	
		Realización de los estudios técnicos para conocer el caudal ambiental.	Global	Sin definir	
		Revisión de concesiones otorgadas.	Global	Sin definir	
RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN	ACTOR RESPONSABLE		ROL/DESCRIPCIÓN		
	CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR –		Ejecutor. La Corporación deberá liderar los estudios técnicos requeridos a través de la contratación de una consultoría o personal directo.		

Tabla 57. Implementación de la red de monitoreo de cantidad y calidad del agua en las quebradas Carbonera y Quijana

LINEA ESTRATEGICA GOBERNANZA DEL AGUA		
PROGRAMA		Gestión de la información.
ID del proyecto (1.2.1)	NOMBRE DEL PROYECTO	Implementación de la red de monitoreo de cantidad y calidad del agua en las quebradas Carbonera y Quijana
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	No se cuenta con estaciones de monitoreo en las fuentes hídricas carbonera y Quijana, no se miden caudales ni caracterización física química y microbiológica.	
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO		
El monitoreo de la calidad del agua es una herramienta fundamental en el manejo del recurso hídrico. Permite identificar cuando hay alteraciones significativas en las condiciones fisicoquímicas del agua y así establecer el impacto que las actividades humanas ejercen en los cuerpos de agua. Lo cual permite controlar aptitud de uso del recurso.		
LOCALIZACIÓN Y POBLACIÓN OBJETIVO	Microcuencas Quebrada Carbonera y Quijana	
OBJETIVOS		
GENERAL	META	INDICADORES
Implementar la red de monitoreo de cantidad y calidad del agua en las quebradas Carbonera y Quijana	100%	$\sum_n^i i / n$
ESPECIFICO	META	INDICADORES
Identificar y caracterizar los puntos más representativos a monitorear.	100%	Estudios de identificación de puntos

Ejecutar los monitoreos del agua en diferentes periodos climáticos.	90%	$\frac{No.de\ monitoreos\ ejecutados}{No\ de\ monitoreos\ programados} \times 100$														
Verificar y calibrar el modelo de calidad de agua de las quebradas.	90%	Modelo verificado y calibrado														
ACTIVIDADES																
ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD											MEDIO DE VERIFICACIÓN				
Identificación y caracterización de los puntos más representativos a monitorear.	De acuerdo a los puntos de captación y vertimientos identificados, establecer los puntos más representativos para monitorear.											Documento de identificación y diagnóstico de puntos de monitoreo.				
Ejecución de monitoreos de cantidad y calidad del agua en diferentes periodos climáticos.	Los monitoreos del agua deberán ser ejecutados para los dos periodos climáticos que se presentan anualmente (temporada seca y de lluvia). Los monitoreos deberán ejecutarse periódicamente sobre las mismas coordenadas iniciales con el fin de llevar una trazabilidad. 2 monitoreos de calidad anual. En el caso que los parámetros fisicoquímicos den como resultado valores anormales cuando el uso sea consumo humano, se hace necesario incluir adicionalmente análisis microbiológicos pertinentes											2 Reportes anuales de resultados de análisis fisicoquímicos.				
Verificación y calibración del modelo de calidad de agua de las quebradas.	Alimentar el modelo QUAL2K con los valores obtenidos de la caracterización.											Modelo QUAL2K con los reportes.				
FUENTES DE FINANCIACIÓN	Corporaciones Autónomas Regionales Alcaldía municipales															
CRONOGRAMA	Actividad											Duración (años)				
												1	2	3	4	5

	Identificación y caracterización de los puntos más representativos a monitorear.																		
	Ejecución de monitoreos de cantidad y calidad del agua en diferentes periodos climáticos.																		
	Verificación y calibración del modelo de calidad de agua de las quebradas																		
PRESUPUESTO																			
	ACTIVIDAD										CANTIDAD		VALOR ESTIMADO (\$COP)						
	Identificación y caracterización de los puntos más representativos a monitorear.										Global		2.000.000						
	Ejecución de monitoreos de cantidad y calidad del agua en diferentes periodos climáticos.										anual		8.000.000						
	Verificación y calibración del modelo de calidad de agua de las quebradas.										Global		3.000.000						
RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN	ACTOR RESPONSABLE					ROL/DESCRIPCIÓN													
	CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CUNDINAMARCA CAR					Ejecutor Contratar la consultoría y/o profesionales encargados de realizar el diagnóstico y ejecución de monitoreos.													

Línea estratégica cultura y educación ambiental

Esta línea estratégica se desarrolla a través del programa:

Programa Cultura y educación ambiental bajo la intervención comunitaria

Este programa está orientado a un desarrollo sostenible del territorio a través de procesos de educación ambiental que contribuyan a un estilo de vida de la población amigable con el medio ambiente. A partir de allí se formula el proyecto:

- Fortalecimiento de la educación ambiental para el desarrollo sostenible del territorio.

Tabla 58. Fortalecimiento de la educación ambiental para el desarrollo sostenible del territorio.

LINEA ESTRATEGICA CULTURA Y EDUCACIÓN AMBIENTAL		
PROGRAMA		Cultura y educación ambiental bajo intervención comunitaria
ID del proyecto (2.1.1)	NOMBRE DEL PROYECTO	Fortalecimiento de la educación ambiental para el desarrollo sostenible del territorio.
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA		A partir de la caracterización del estado de la calidad del agua se logró evidenciar la existencia de acciones socio-ambientales que afectan directamente la sostenibilidad del recurso hídrico de las microcuencas y su aptitud de uso y por ende la disponibilidad del recurso entre los diferentes usuarios que lo demandan. Este conflicto es causado por los vertimientos generados por actividades domésticas e inadecuado disposición de residuos sólidos.
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO		
La realización de este proyecto orientado a la educación ambiental para el desarrollo sostenible, lograría el empoderamiento de la población sobre su territorio bajo el conocimiento del territorio y el respeto por las reglamentaciones ambientales vigentes, así como la sensibilización de ésta hacia el cuidado y protección de los ecosistemas existentes De esta forma, los beneficios directos y tenientes por la implementación de este proyecto destacan un buen manejo de los residuos sólidos por parte de la población, embellecimiento del paisaje rural, protección y cuidado de las fuentes hídricas, entre otros aspectos, donde incluso la extensión de estas campañas de educación ambiental pueden sensibilizar a los turistas sobre el cuidado de los recursos naturales presentes en las microcuencas.		
LOCALIZACIÓN Y POBLACIÓN OBJETIVO		Corresponderá a los actores ubicados en las microcuencas.
OBJETIVOS		
GENERAL	META	INDICADORES
Fortalecer la educación ambiental para el desarrollo sostenible del territorio.	90%	$\sum_n^i i / n$ Sumatoria promedio de los indicadores específicos.
ESPECIFICO	META	INDICADORES
Favorecer el empoderamiento de la comunidad de su territorio a través de programas de formación de estudiantes y docentes que impulsen la buena práctica en el manejo de los recursos naturales.	>81% Eficiente 51 - 80 % Satisfactorio <50% Ineficiente	$\frac{No.de capacitaciones realizadas}{No.de capacitaciones programadas} \times 100$

Promover la gestión del conocimiento en torno al ordenamiento y manejo de la cuenca con énfasis en protección de los recursos naturales.		>81% Eficiente 51 - 80 % Satisfactorio <50% Ineficiente	$\frac{\text{No. de programas de formación ejecutados}}{\text{No. de programas propuestos}} \times 100$
ACTIVIDADES			
ACTIVIDADES		DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Empoderamiento de la comunidad de su territorio a través de programas de formación de estudiantes y docentes que impulsen la buena práctica en el manejo de los recursos naturales.		Se deberán ejecutar programas de formación de los estudiantes y docentes existentes en el territorio de las microcuencas, buscando su capacitación, entendimiento y sensibilización sobre la protección de los recursos naturales, buenas prácticas de su aprovechamiento, beneficios, causas y consecuencias de la intervención antrópica, impactos y demás temas, que logren sobre estos actores una visión general sobre la gestión ambiental del territorio. Desde las instituciones educativas estructurar un programa donde los estudiantes que deben prestar el servicio social reciban capacitación sobre las microcuencas de su territorio, situación actual y las medidas para el cuidado y preservación de los recursos naturales, con el fin de realizar campañas de socialización y concientización a la comunidad sobre los temas ambientales durante su tiempo de servicio social.	Reportes, oficios y planillas, así como también registros fotográficos y/o documentos técnicos que evidencien la realización de estas campañas.
Promoción de la gestión del conocimiento en torno al ordenamiento y manejo de la cuenca con énfasis en protección de los recursos naturales.		Se deberá desarrollar programas de conocimiento ambiental, respecto a la buena práctica en el manejo de los recursos naturales bajo el respeto por la reglamentación y ordenamiento del territorio, tendientes a: • Formación y desarrollo dirigido a estudiantes y docentes tanto de primaria como secundaria asentados en el territorio de las microcuencas he identificados en el presente proyecto. • Crear un observatorio ambiental de las microcuencas, en las cuales se pueden identificar puntos críticos de contaminación, fauna y flora presente en las microcuencas. Adicionalmente realizar la medición de parámetros básicos de calidad de agua, en los laboratorios de las instituciones educativas. • Formación y desarrollo dirigido a los actores clave existentes en las microcuencas (asociaciones, Juntas de Acción Comunal, acueductos veredales) identificados en el presente proyecto. Debe contarse con un diseño didáctico y pedagógico que logren captar la atención de los actores.	Reportes, oficios y planillas, así como también registros fotográficos y/o documentos técnicos que evidencien la realización de estas campañas.

FUENTES DE FINANCIACIÓN		Corporación Autónoma Regional Cundinamarca CAR Alcaldía Municipal La Mesa															
CRONOGRAMA	Actividad		Duración (años)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
	Empoderamiento de la comunidad de su territorio a través de programas de formación de estudiantes y docentes que impulsen la buena práctica en el manejo de los recursos naturales.																
	Promoción de la gestión del conocimiento en torno al ordenamiento y manejo de la cuenca con énfasis en protección de los recursos naturales.																
PRESUPUESTO	ACTIVIDAD		CANTIDAD		VALOR ESTIMADO (\$COP)												
	Empoderamiento de la comunidad de su territorio a través de programas de formación de estudiantes y docentes que impulsen la buena práctica en el manejo de los recursos naturales.		anual		20.000.000												
	Promoción de la gestión del conocimiento en torno al ordenamiento y manejo de la cuenca con énfasis en protección de los recursos naturales.		anual		20.000.000												
RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN	ACTOR RESPONSABLE		ROL/DESCRIPCIÓN														
	La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Alcaldía Municipal La Mesa Asociación Quebrada Carbonera		Liderar las jornadas de capacitación y espacios de participación propuestos.														

Línea estratégica de Comunicación

Esta línea estratégica se desarrolla a través del programa

Programa de fortalecimiento de la comunicación para procesos ambientales.

Este programa busca el fortalecimiento de la comunicación entre los actores de las microcuencas, que tienen incidencia dentro de los procesos ambientales del territorio, se pretende construir espacios de participación y concertación de actores para la gobernanza del agua y demás aspectos ambientales.

- Fortalecimiento de la comunicación para procesos ambientales a través de la conformación de la mesa de trabajo de las microcuencas y otras herramientas.

Tabla 59. Fortalecimiento de la comunicación para procesos ambientales a través de la conformación de la mesa de trabajo de las microcuencas y otras herramientas.

LINEA ESTRATEGICA COMUNICACIÓN		
PROGRAMA	Fortalecimiento de la comunicación para procesos ambientales	
ID del proyecto 3.1.1	NOMBRE DEL PROYECTO	Fortalecimiento de la comunicación para procesos ambientales a través de la conformación de la mesa de trabajo de las microcuencas y otras herramientas.
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	No existen canales de comunicación fortalecidos dentro de los actores de las microcuencas, que permitan una mejor gestión de los recursos hídricos y demás recursos naturales del territorio.	
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO		
Teniendo en cuenta el Artículo 7°.De las instancias de participación del decreto 1640 del 2012 del Ministerio de Ambiente, explícito de igual forma en el artículo 2.2.3.1.1.7. del decreto único reglamentario del sector ambiental 1076 de 2015, contempla la conformación de mesa de trabajo para las microcuencas como instancias de participación para la planificación ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas, en este caso las microcuencas de estudio. Para la cual es importante su conformación y su participación activa, así como que dichos representantes puedan empoderarse de los conflictos y realidades de su territorio para garantizar un canal de comunicación efectiva de los actores representados.		
LOCALIZACIÓN Y POBLACIÓN OBJETIVO	Actores claves	
OBJETIVOS		
GENERAL	META	INDICADORES
Fortalecer la comunicación para procesos ambientales a través de la conformación de la mesa de trabajo de las microcuencas y otras herramientas.	Lograr la asistencia de todos los representantes a las diferentes actividades en los primeros 4 años de ejecución del POMCA	$\frac{\text{Cantidad de consejeros asistentes}}{\text{Cantidad total de consejeros nombrados}} \times 100$
ESPECIFICO	META	INDICADORES
Conformar la mesa de trabajo de las microcuencas.	Conformación de la mesa de trabajo con un representante de todos los actores claves de las microcuencas.	$\frac{\text{Numero de representantes de actores claves vinculados}}{\text{total de representantes de actores claves}} \times 100$
Realizar el intercambio de experiencias con otras mesas de trabajo, que permita la construcción de un plan de trabajo para los próximos 4 años.	Llevar a cabo 2 encuentros con otras mesas de trabajo.	$\frac{\text{No. de intercambios realizados}}{\text{No. de intercambios propuestos}} \times 100$

Capacitar a los miembros de la mesa de trabajo sobre herramienta para resolución de conflictos y la construcción de proyectos, que permitan la permanencia.	Ejecutar como mínimo 2 capacitaciones por año.	$\frac{\text{No. de capacitaciones realizadas}}{\text{No. de capacitaciones propuestas}} \times 100$
Elaborar un cronograma y plan de trabajo con actividades enfocadas en la gestión integral de las microcuencas.	Elaborar un plan de trabajo en el primer semestre después de conformada la mesa de trabajo para un periodo de 4 años.	plan de trabajo
ACTIVIDADES		
ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Conformar la mesa de trabajo de las microcuencas	De acuerdo a la identificación de actores, realizar la convocatoria con el fin de transmitir el objetivo general de la conformación de la mesa de trabajo e invitarlos a hacer parte de la mesa. Finalmente, mediante acta establecer la mesa.	Acta de conformación mesa de trabajo Registro fotográfico.
Realizar el intercambio de experiencias con otras mesas de trabajo ambiental.	Fomentar espacios de intercambio de experiencias con otras mesas de trabajo ambiental del municipio o región, con el fin de socializar los objetivos de ésta, las experiencias y de esta forma fomentar procesos de empoderamiento en el territorio.	Memorias de los talleres Actas de reuniones. Registro fotográfico.
Capacitar a los miembros de la mesa de trabajo sobre herramienta para resolución de conflictos y la construcción de proyectos, que permitan la permanencia.	Este módulo de capacitación estará orientado a brindar herramientas para identificar, manejar y resolver conflictos que surjan en el marco del uso y/o aprovechamiento de los recursos renovables de las microcuencas, en especial del recurso hídrico.	Memorias de las reuniones Actas de reuniones con registro de asistencia Presentaciones talleres Registro fotográfico
Elaborar un cronograma y plan de trabajo con actividades enfocadas en la gestión integral de las microcuencas.	La mesa de trabajo elaborara un plan de trabajo con las actividades enfocadas en la gestión integral de las microcuencas. Adicionalmente incluir actividades, procesos y/o estrategias para fortalecer los canales de comunicación entre sus miembros y el cumplimiento de su reglamento interno, que permita ejecutar el plan de trabajo para el periodo de funcionamiento.	Documento del cronograma y Plan de trabajo Actas de reuniones con registro de asistencia
FUENTES DE FINANCIACIÓN	Alcaldía Municipal de La Mesa. CAR	

CRONOGRAMA	Actividad	Duración (año)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	Conformar la mesa de trabajo de las microcuencas																
	Realizar el intercambio de experiencias con otras mesas de trabajo ambiental.																
	Capacitar a los miembros de la mesa de trabajo sobre herramienta para resolución de conflictos y la construcción de proyectos, que permitan la permanencia.																
	Elaborar un cronograma y plan de trabajo con actividades enfocadas en la gestión integral de las microcuencas.																
PRESUPUESTO																	
	ACTIVIDAD		CANTIDAD		VALOR ESTIMADO (\$COP)												
	Conformar la mesa de trabajo de las microcuencas		Global		1.000.000												
	Realizar el intercambio de experiencias con otras mesas de trabajo ambiental.		Global		1.000.000												
	Capacitar a los miembros de la mesa de trabajo sobre herramienta para resolución de conflictos y la construcción de proyectos, que permitan la permanencia.		Global		1.000.000												
	Elaborar un cronograma y plan de trabajo con actividades enfocadas en la gestión integral de las microcuencas.		Global		1.000.000												
RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN	ACTOR RESPONSABLE		ROL														
	Alcaldía Municipal de La Mesa. CAR Mesa de trabajo		Será el responsable de la gestión y la ejecución del plan de trabajo, así como de ser el canal de comunicación.														

8.2.3.2 Evaluación y seguimiento.

El seguimiento se realizará por medio de indicadores que facilitarán la planeación y ajuste además de un mejoramiento continuo en caso de ser necesario. Dichos indicadores se presentan por cada proyecto formulado. A continuación, se relaciona la matriz de seguimiento.

Tabla 60. Indicadores de evaluación y seguimiento de la línea estratégica gobernanza del agua

PROYECTO	META	INDICADOR	VERIFICACIÓN POR PRODUCTOS
Formulación e implementación del Plan de Manejo Ambiental de las Microcuencas Quebrada Carbonera y Quijana.	Desarrollar las fases de aprestamiento, diagnóstico y formulación para cada una de las microcuencas quebrada Carbonera y Quijana de acuerdo a la guía técnica emitida por el ideam y adoptado por la Corporación autónoma regional CAR.	$\frac{\text{Documento del PMA}}{\text{Documento del PMA aprobado por la CAR}} \times 100$	Registros de trabajo de campo Actas de visita, actas de socialización, lista de asistencia registro fotográfico, documento final.
	Implementar en un 100% las obras y actividades propuestas en el PMA de las microcuencas.	$\frac{\text{No. de indicadores que alcanzaron la meta}}{\text{No total de indicadores del PMA}} \times 100$	Reporte de los indicadores de cada proyecto planteado en el PMA.
Manejo adecuado de aguas residuales a través del funcionamiento eficiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales PTAR carbonera y Quijana y otras acciones.	Gestionar el 100% de los recursos financieros para la ejecución el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) y plan maestro de alcantarillado (PMA)	$\frac{\text{Presupuesto aprobado para ejecución}}{\text{Presupuesto requerido para ejecución}} \times 100$	Aprobación de presupuesto
	Ejecutar en un 100% los proyectos propuestos en PSMV y PMA	% de avance del PSMV y PMA	Presupuesto anual ejecutado en obras estipuladas dentro del PSMV y PMA
Delimitación y protección de rondas hídricas quebrada Carbonera y Quijana	Realizar cada una de las fases de acuerdo a la guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en las quebrada Carbonera y Quijana.	% de avance de cada una de las fases.	Evidencias trabajo de campo, socializaciones, fotografías, actas, documento de avances.
	Recuperar el 90% de la ronda hídrica de las quebradas.	$\frac{\text{area recuperada de ronda hidrica}}{\text{area total estipulada en el estudio tecnico}} \times 100$	Numero de predios adquiridos en ronda hídrica reforestados
Determinación de caudal ambiental de las quebradas carbonera y Quijana.	Realizar el 100% de los estudios técnicos para conocer el caudal ambiental.	Caudal ambiental establecido.	Evidencias trabajo de campo, socializaciones, fotografías, actas, documento de avances.
	Realizar la revisión del 100% de las concesiones otorgadas y de ser necesario modificarlas con el fin de conservar el caudal ambiental.	$\frac{\text{numero de concesiones revisadas}}{\text{Numero total de concesiones otorgadas}} \times 100$	Actas de modificación de concesiones. Registro de revisión
Implementación de la red de monitoreo de cantidad y calidad del agua en las quebradas Carbonera y Quijana	Identificar y caracterizar el 100% de los puntos más representativos a monitorear.	Número de puntos identificados y caracterizados	Documento de plan de monitoreo
	Ejecutar el 90% de los monitoreos programados del agua en diferentes periodos climáticos.	$\frac{\text{No. de monitoreos ejecutados}}{\text{No de monitoreos programados}} \times 100$	2 Reportes anuales de resultados de análisis fisicoquímicos.
	Verificar y calibrar el modelo de calidad de agua de las quebradas.	Modelo verificado y calibrado	Modelo QUAL2K con los reportes.

Tabla 61. Indicadores de evaluación y seguimiento de la línea estratégica Cultura y educación ambiental

PROYECTO	META	INDICADOR	VERIFICACIÓN POR PRODUCTOS
Fortalecimiento de la educación ambiental para el desarrollo sostenible del territorio.	Favorecer eficientemente el empoderamiento de la comunidad de su territorio a través de programas de formación de estudiantes y docentes que impulsen la buena práctica en el manejo de los recursos naturales.	$\frac{\text{No. de capacitaciones realizadas}}{\text{No. de capacitaciones programadas}} \times 100$	Reportes, oficios y planillas, así como también registros fotográficos y/o documentos técnicos que evidencien la realización de estos espacios.
	Promover eficientemente la gestión del conocimiento en torno al ordenamiento y manejo de la cuenca con énfasis en protección de los recursos naturales.	$\frac{\text{No. de programas de formación ejecutados}}{\text{No. de programas propuestos}} \times 100$	Reportes, oficios y planillas, así como también registros fotográficos y/o documentos técnicos que evidencien la realización de estos espacios.

PROYECTO	META	INDICADOR	VERIFICACIÓN POR PRODUCTOS
Fortalecimiento de la comunicación para procesos ambientales a través de la conformación de la mesa de trabajo de las microcuencas y otras herramientas.	Conformar la mesa de trabajo de las microcuencas con un representante de todos los actores claves de las microcuencas	$\frac{\text{Numero de representantes de actores claves vinculados}}{\text{total de representantes de actores claves}} \times 100$	Acta de conformación mesa de trabajo Registro fotográfico.
	Realizar 2 intercambios de experiencias con otras mesas de trabajo ambiental, que permita la construcción de un plan de trabajo para los próximos 4 años.	$\frac{\text{No. de intercambios realizados}}{\text{No. de intercambios propuestos}} \times 100$	Memorias de los talleres Actas de reuniones. Registro fotográfico.
	Realizar 2 espacios de capacitación a los miembros de la mesa de trabajo sobre herramienta para resolución de conflictos y la construcción de proyectos, que permitan la permanencia de la mesa.	$\frac{\text{No. de capacitaciones realizadas}}{\text{No. de capacitaciones propuestas}} \times 100$	Memorias de las reuniones Actas de reuniones con registro de asistencia Presentaciones talleres Registro fotográfico
	Elaborar un cronograma y plan de trabajo con actividades enfocadas en la gestión integral de las microcuencas.	plan de trabajo	Documento del cronograma y Plan de trabajo Actas de reuniones con registro de asistencia

9. DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos se identifica que la estrategia de gestión para mejorar la calidad fisicoquímica del agua de las microcuencas quebrada Carbonera y Quijana en el municipio de La Mesa, Cundinamarca se enfoca en la gobernanza del agua fortalecida mediante procesos de cultura, educación ambiental y comunicación.

Esta estrategia se plantea después de una fase de diagnóstico en la cual se evidencia que las microcuencas no cuentan con un estudio técnico detallado de caracterización del territorio y situación ambiental, sin embargo este proyecto realiza un aporte referente a la caracterización de calidad de agua y las situaciones que generan la contaminación de las quebradas, en las que se identifica claramente problemas de vertimientos de aguas residuales domesticas en los cuerpos hídricos, y una falta de control sobre las captaciones ilegales que reducen la capacidad de dilución de los contaminantes, lo que lleva al no cumplimiento de la normatividad ambiental colombiana, específicamente el decreto 1594 de 1984, usos del agua y residuos líquidos, puesto que en el caso de la quebrada Quijana debe tener restricciones de uso para consumo humano, uso recreativo contacto primario y secundario a lo largo de su cauce, sin embargo el uso agrícola y pecuario es permitido después de la muestra dos en la cual hay recuperación de la calidad del agua. Por su parte la quebrada Carbonera debe tener restricciones de uso para consumo humano, agrícola, recreativo contacto primario y preservación de fauna y flora, ya que no cumple con las concentraciones límites de los parámetros medidos en este estudio.

Asimismo, no se cumple con los objetivos de calidad propuestos en el acuerdo 43 del 2015 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR para afluentes del río Apulo desde la desembocadura del río Curí hasta su desembocadura en el río Bogotá, puesto que supera en algunos puntos límites de

concentraciones de coliformes fecales, sólidos suspendidos, DBO5 y bajas concentraciones de oxígeno disuelto.

Por otra parte el índice de Calidad del agua y los índices de contaminación calculados comprueban una mala calidad del agua y contaminación por materia orgánica proveniente de los vertimientos de las aguas residuales domésticas en el casco urbano de La Mesa localizado en la parte alta de las microcuencas y de descargas puntuales y difusas de los condominios y viviendas unifamiliares del área rural.

Dentro del modelo de calidad de agua planteado para el control de vertimientos y conocimiento de las condiciones físicas químicas y microbiológicas del agua a lo largo de las quebradas, se muestran algunas limitaciones puesto que el modelo no se encuentra validado ni calibrado por falta de información. A pesar que se tuvo en cuenta la caracterización de vertimientos del año 2016 está no es suficiente ya que estas características físicas químicas y microbiológicas solo correspondían a tan solo ocho de los veintisiete vertimientos identificados a lo largo de la quebrada Carbonera. Concerniente al modelo de calidad de agua de la quebrada Quijana también se tienen limitaciones puesto que solo se incluyó una caracterización de los dos vertimientos identificados.

Con respecto a la gestión integral del recurso hídrico de estas dos microcuencas se puede inferir que está ha sido limitada. A pesar de que se encuentran dentro de la cuenca del río Bogotá no se planteó dentro de la formulación del POMCA ningún proyecto enfocado hacia la recuperación de calidad de agua de estas quebradas, muy posiblemente por su tamaño y representatividad. Y a nivel local tampoco se evidencian acciones claras, debido a que no se cuenta con un instrumento de planificación como el Plan de Manejo Ambiental que permita la recuperación, conservación y un uso sostenible del agua para las diferentes actividades

productivas como la agropecuaria, que es una de las principales actividades económicas del municipio. Desde la CAR se han adelantado algunas medidas como el establecimiento de la ronda hídrica de la quebrada Carbonera, pero a la fecha no se ha logrado la recuperación de esta franja tan importante para el recurso hídrico, puesto que a la actualidad existen conflictos con los propietarios de los predios colindantes de las quebradas, lo cual da certeza de la poca gobernanza del agua en el territorio.

A raíz de esta situación el proyecto planteado muestra una estrategia que podría contribuir a mejorar la calidad de agua de la quebrada y de manera implícita la calidad ambiental del ecosistema acuático, reducción de problemas de salud pública, y porque no, un crecimiento económico del municipio.

Esta estrategia centrada en la gobernanza del agua tiene como base los programas de manejo integral del recurso hídrico y la gestión de la información, fortalecidos y articulados con el programa de cultura y educación ambiental bajo una intervención comunitaria y el programa de fortalecimiento de la comunicación para procesos ambientales, en los cuales se busca la implementación de buenas prácticas a través la participación de los diferentes actores en donde se promuevan las soluciones a los problemas ambientales identificados y que se ajustan a las condiciones sociales, culturales y económicas de las microcuencas, donde se promuevan los valores o la recuperación de prácticas ancestrales o tradicionales que sean sostenibles en el tiempo.

Es importante resaltar que la gestión integral de recurso hídrico no solamente involucra proyectos como la “Formulación del Plan de Manejo Ambiental”, “Manejo adecuado de aguas residuales a través del funcionamiento eficiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”, “Actualización de la delimitación y protección de la ronda hídrica”, “Determinación de caudal ambiental”, o

“Implementación de la red de monitoreo de cantidad y calidad del agua” si no también a través de proyectos de cultura y educación ambiental que lograrían el empoderamiento de la población sobre su territorio bajo el conocimiento de este y el respeto por las reglamentaciones ambientales vigentes, así como la sensibilización de la comunidad hacia el cuidado y protección de los ecosistemas existentes. Y estos proyectos a la vez atados al fortalecimiento de la comunicación a través de mesas de trabajo de las microcuencas.

Por otro lado se hace difícil comparar la estrategia planteada con otras estrategias a nivel nacional, puesto que no se encuentran documentados los procesos de gobernanza del agua y su éxito, a pesar del esfuerzo y los avances que ha tenido el Ideam y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con el “Observatorio Colombiano de Gobernanza del Agua” creado como un espacio que permitiera a los diferentes actores de la cuenca, generar, obtener e intercambiar información, dando a conocer sus experiencias relacionadas con la gobernanza del agua. (Ideam, s.f.). Sin embargo a nivel regional se encuentran algunos procesos como la “Propuesta de empoderamiento comunitario en torno a la protección del agua. Caso de estudio de San Juan de Rioseco, Cundinamarca” en el que a través de un diagnóstico, sensibilización y construcción participativa de agendas interinstitucionales ambientales se logró la organización entorno a la gestión integral del recurso hídrico. Adicionalmente se identificó el “Proceso socio ambiental de autogestión en torno a la recuperación de la microcuenca de la quebrada La Aguilita. Municipio de Quipile (Cundinamarca)” que de igual forma busco el fortalecimiento del tejido social histórico y actual involucrado con el uso y manejo adecuado de la microcuenca. Estos ejemplos sirven como referencia que los procesos de gobernanza del agua deben ser participativos.

Finalmente se espera que la estrategia tenga una buena acogida por parte del gobierno local, la autoridad ambiental CAR y la comunidad en general y con su

implementación se generen impactos positivos que se puedan replicar en las demás microcuencas del municipio de La Mesa, siendo relevante y pertinente por involucrar en la gestión integral del recurso hídrico la participación a través de procesos de educación, cultura ambiental y comunicación.

10. CONCLUSIONES

- El proyecto presenta dos fases importantes, una dedicada a la fase de diagnóstico con respecto a la calidad del agua de las quebradas Carbonera y Quijana en el municipio de La Mesa, el cual describe los procesos antrópicos que alteran las condiciones naturales del recurso hídrico en las microcuencas, como lo son las vertimientos de aguas residuales domesticas provenientes de descargas directas de viviendas unifamiliares, condominios y del sistema de alcantarillado del casco urbano que presenta deficiencias. Identificando un total de 27 puntos de descargas en la quebrada Carbonera y 2 en la quebrada Quijana.
- Otro aspecto al cual se atribuye la contaminación de la quebrada Quijana, corresponde al ineficiente proceso de remoción de contaminantes que se realiza en la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) Quijana, la cual recibe el 60% del total de las aguas residuales del área urbana. Esta planta se encuentra obsoleta puesto que recepciona un caudal mayor para la cual está diseñada. Adicionalmente se evidencia a lo largo de la quebrada captaciones ilegales de agua, que reducen el caudal de dilución.
- A pesar de que el municipio cuenta con la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Carbonera, que tiene la capacidad de tratar el caudal, las aguas residuales domesticas del municipio no se encuentran conectadas a esta.
- En la microcuenca quebrada Carbonera se encuentran concesiones de agua con un caudal total de 3.5 l/s que afecta la capacidad de dilución de contaminantes. Adicionalmente se encontraron 14 conexiones erradas de viviendas en la inspección de san Joaquín, poco antes de la desembocadura de la quebrada en el rio Apulo.
- Los vertimientos realizados por las PTAR Carbonera y Quijana no cuentan con permiso emitido por la autoridad ambiental CAR sin embargo se encuentran en

proceso de trámite. Del mismo modo dos de los condominios localizados en el área rural de la microcuenca quebrada Carbonera no cuentan con permiso de vertimientos.

- De acuerdo a la caracterización fisicoquímica y microbiológica realizada en el mes de febrero del 2019 y su confrontación con el decreto 1594 de 1984, se concluye que la quebrada Quijana debe tener restricciones de uso para consumo humano, a lo largo de su cauce. El uso agrícola y pecuario es permitido después de la muestra 2 sin embargo el uso recreativo contacto primario y secundario debe ser restringido. Por superar límites permisibles con respecto a coliformes, oxígeno disuelto y nitratos. Con respecto a la quebrada Carbonera debe tener restricciones de uso para consumo humano, agrícola, recreativo contacto primario y preservación de fauna y flora, ya que no cumple con las concentraciones límites de los parámetros como coliformes fecales, nitratos y oxígeno disuelto.
- Referente al acuerdo 43 de 2006 de la CAR y la caracterización de agua realizada en el mes de febrero del 2019 de la quebrada Quijana, se manifiestan concentraciones que superan el límite admisible de coliformes fecales para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto, adicionalmente la concentración de oxígeno disuelto es menor al mínimo requerido en la parte alta de la microcuenca. Por su parte la muestra 2 tomada en la parte media, no cumple con la concentración máximo de sólidos suspendidos y la DBO₅. Y la muestra 3 correspondiente a la parte baja, no cumple con los límites de DBO₅ y nitratos.

Teniendo en cuenta este mismo acuerdo, en la quebrada Carbonera se concluye que en la estación 1, no cumple con la concentración mínima de oxígeno disuelto, y las concentraciones de coliformes fecales, sólidos suspendidos y DBO₅ superan el límite máximo permisible. En la estación 2 no cumple con los parámetros de DBO₅ y nitratos y finalmente la muestra 3 no cumple con la concentración mínima de sólidos suspendidos y nitratos.

- La caracterización del agua permitió el cálculo del índice de calidad del agua ICACOSU concluyendo que para la quebrada Quijana el estado es muy malo desde la parte alta de la microcuenca y malo en la parte media y baja.
Para la quebrada Carbonera se concluye que tiene un ICACOSU muy malo pocos metros abajo de su nacimiento, recuperándose en la microcuenca media con un ICACOSU regular, sin embargo volviendo a condición de malo en la parte baja previo a desembocadura al río Apulo como posible resultados de los 14 vertimientos realizando en este punto. Haciendo referencia a los indicadores de contaminación como el ICOMO se refleja un alto grado de contaminación por materia orgánica en la parte alta de la microcuenca Quijana, pasando por baja en microcuenca media e ICOMO medio en la desembocadura. La quebrada Carbonera un ICOMO muy alto en la microcuenca alta y media en parte media y baja.
Adicionalmente se evidencia contaminación por trofia con estados de eutrofia e hipereutrofia, es decir que los cuerpos de agua tienden a tener concentraciones altas de nutrientes y bajas concentraciones de oxígeno.
- En relación a la fase de diseño de la estrategia de gestión de la calidad físico química del agua, se concluye la importancia de identificar los actores claves de las microcuencas Carbonera y Quijana y hacerlos partícipes de una gestión integral del recurso hídrico de manera coordinada a través de la línea estratégica de gobernanza del agua y fortalecida a través de la educación ambiental y la comunicación.
- Los proyectos propuestos en la línea estratégica de gobernanza del agua están orientados a la autoridad ambiental CAR y la alcaldía municipal, como responsables de la ejecución, dichos proyectos incluye la formulación e implementación del PMA de las microcuencas, manejo adecuado de aguas residuales, determinación y actualización de rondas hídricas de acuerdo a la última guía emitida por el Ministerio de Ambiente, determinación de caudales ambientales y monitoreo continuo tanto de cantidad como calidad del recurso

hídrico y apoyo de los proyectos propuestos en la línea estratégica de cultura y educación ambiental que pretende el empoderamiento de la comunidad sobre su territorio y en el que se realicen programas de formación de estudiantes y docentes que impulsen la buena práctica en el manejo de los recursos naturales. Adicionalmente la línea estratégica de comunicación que permita la conformación de una mesa de trabajo y de esta manera fortalecer la comunicación para procesos ambientales.

- La recuperación de la calidad del agua de la quebrada depende de la voluntad política del gobierno local, con el apoyo de la autoridad ambiental CAR y la comunidad en general.

11 RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos se plantean las siguientes recomendaciones:

- Con respecto a la calidad de agua se recomienda a las autoridades ambientales realizar un control más riguroso sobre los vertimientos y captaciones legales e ilegales realizados en las fuentes hídricas Carbonera y Quijana.
- Por parte del ente gubernamental local realizar la conexión del sistema de alcantarillado a la Planta de tratamiento de agua residual La Carbonera, ya que esta tiene la capacidad de tratar el agua residual del casco urbano de La Mesa.
- Se recomienda de igual forma a la empresa de Acueducto y Alcantarillado, realizar un mantenimiento periódico al sistema de alcantarillado y pozos de inspección, con el fin de evitar fugas de aguas residuales a las fuentes hídricas, puesto que en algunos tramos del casco urbano el sistema de alcantarillado es paralelo al cauce especialmente de la quebrada Carbonera.
- Gestionar recursos financieros para llevar a cabo un adecuado monitoreo de la oferta y la calidad físico química y microbiológica del agua en las quebradas Carbonera y Quijana con el fin de conocer su estado actual de manera detallada y poder alimentar el modelo de calidad propuesto y de manera organizada ir consolidando la base de datos que permita la fortalecer un sistema de información hídrica.
- Realizar la búsqueda de recursos financieros a través de cooperación internacional para la ejecución de los proyectos planteados, y de esta manera no limitarse a los recursos y voluntad de los entes gubernamentales.

12 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico- PORH*. Bogotá.
- Roldán, G. (2016). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y latinoamerica*. Grupo de Investigación de Limnología y Recursos Hídricos, Universidad Católica de Oriente., Rionegro, Colombia.
- Alcaldia de La Mesa, Cundinamarca. (28 de 03 de 2018). *Alcaldia de La Mesa, Cundinamarca*. Obtenido de http://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml#%3E
- Alcaldia de La Mesa, Cundinamarca. (2000). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial - PBOT 2000 - La Mesa*. La Mesa. Recuperado el 5 de abril de 2018
- Alcaldia Municipal La Mesa. (2017). *ESTADO ACTUAL DEL PLAN DE SANEAMIENTO Y MANEJO DE VERTIMIENTOS MUNICIPIO DE LA MESA CUNDINAMARCA*. La Mesa, Cundinamarca.
- Alcaldia municipal La Mesa, Cundinamarca. (2017). *CARACTERIZACION FUENTES HIDRICAS DEL MUNICIPIO DE LA MESA*. La Mesa, Cundinamarca.
- Arroyave Gómez, D. M., Moreno Tovar, A. A., Toro Botero, F. M., Gallego Suárez, D., & Carvajal Serna, L. F. (2012). Estudio de modelamiento de la calidad del agua del río Sinú, Colombia. *Revistas Ingenierías Universidad de Medellin*.
- Beltran, F. J. (2002). *Contrato de apoyo a los procesos de generación de la línea base, diagnostico de indicadores de calidad de agua. Contrato 106/2002 informe final*.
- Camacho, A., & Diaz Granados, M. (2003). *Metodología para la obtención de un modelo predictivo de transporte de solutos y de calidad del agua en ríos-caso río Bogotá. Seminario Internacional La Hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. Universidad del Valle, Instituto Cinara.
- Camacho, L. A. (2018). Introducción de Modelos de Calidad de Agua y Generalidades. *Curso Modelación de Calidad de agua determinantes convencionales* (pág. Diapositiva 20). Bogotá: Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes.
- CAR. (2014). *Diagnostico Técnico, administrativo y financiero Ptar's*.
- CAR. (2016). *Documentación e iniciativa socioambiental de la Jurisdicción CAR. Proceso socioambiental de autogestión en torno a la recuperación de la microcuenca de la quebrada La Aguilita Municipio de Quipile (Cundinamarca)*. Bogotá: Tomo 1.
- CAR. (2018). *Concesiones de agua*. La Mesa, Cundinamarca.

- CEPAL. (Julio de 2005). *CEPAL*. (P. d. Unidas, Ed.) Recuperado el 08 de 05 de 2018, de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5607/S057518_es.pdf
- Consorcio Aguas de Cundinamarca. (2014). *Estudios y Diseños Plan Maestro de Alcantarillado del Municipio La Mesa, 2014*. La Mesa.
- Contraloría de Cundinamarca. (2016). *Consolidado-Tequendama*. Obtenido de www.contraloriadecundinamarca.gov.co/.../consolidado-tequendama.xls
- Cormacarena. (2015). *Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico Río Tillavá*. Villavicencio, Meta.
- Corporación Autónoma Regional Cundinamarca, CAR. (s.f.). Recuperado el 28 de 03 de 2018, de Corporación Autónoma Regional Cundinamarca, CAR.: <<https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=38106>>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. (2015). *ESTADO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO BOGOTÁ, EN TÉRMINOS DE CALIDAD Y CANTIDAD; Y ESCENARIOS DE METAS DE ACUERDO AL ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES QUE MÁS SE AJUSTEN AL CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO DE CALIDAD*. Bogotá.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2017). *Propuesta de empoderamiento comunitario en torno a la protección del agua*. Bogotá.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2005). DANE. *Boletín Censo General 2005, Perfil La Mesa, Cundinamarca*. Recuperado el 21 de Mayo de 2018, de https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/25386T7T000.PDF
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas. (2014). *Decenio internacional para la acción "El agua fuente de vida" 2005-2015. Calidad del agua*. ONU-DAES. Obtenido de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Díaz, B. E. (2004). tesis "Modelación de la Calidad del Agua en el Interceptor río Bogotá en los Tramos Fucha-Tunjuelo- Canoas". Universidad de los Andes. Maestría en ingeniería civil.
- EAAB – Universidad Nacional de Colombia. (2010). *MODELACIÓN DINÁMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA*. Bogotá.
- EcoAvant. (2016). La importancia de la calidad del agua. Recuperado el 29 de 01 de 2019, de <http://www.ecoavant.com/es/notices/2016/04/la-importancia-de-la-calidad-del-agua-2565.php>
- Environmental Protection Agency EPA. (s.f.). *Modeling Framework for Simulating, River, Stream, and Lake Water Quality*. Recuperado el 01 de 2019, de [qual2k: http://www.qual2k.com/](http://www.qual2k.com/)
- Fondo de adaptación, Ministerio de Hacienda- CAR. (2017). *Cartografía del Ajuste del Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca del Río Bogotá*. Bogotá: Elaborado por Consorcio Huitaca.

- Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda. (2017). *AJUSTE DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ VOLUMEN III-CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA*. Bogotá. Recuperado el 06 de 11 de 2018, de <https://www.car.gov.co/vercontenido/94>
- Fondo de Adaptación, Ministerio de Hacienda-CAR. (Noviembre de 2017). *AJUSTE DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ. Volumen I – Caracterización Física Parte 1*. Bogotá. Recuperado el 21 de Mayo de 2018
- Giraldo, L., Palacio, C. A., Molina, R., & Agudelo, R. A. (2014). Water quality modeling of the Medellín river in the Aburrá Valley. *Revista DYNA Universidad Nacional de Colombia sede Medellín*.
- Google Earth. (2018). *Google Earth*.
- Henao Sarmiento, J. E. (1988). *Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Bogotá: Departamento de Publicación Universidad Santo Tomás.
- IDEAM. (2007). *Informe final contrato 111 2007, Capítulo 3 Evaluación del índice de calidad de agua utilizado por ideam fortalezas, debilidades y mejoras*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020735/Informe%20Final/INFORME%20FINAL%20IDEAM.pdf>
- IDEAM. (2018). *Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua 2018*. Bogotá D.C, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2019). *Estudio Nacional del agua ENA 2018*. Bogotá.
- Ideam. (s.f.). *Observatorio Colombiano de Gobernanza del agua*. Recuperado el 28 de 06 de 2019, de <http://www.ideam.gov.co/web/ocga/dimensiones-de-la-gobernanza-del-agua>
- Ideam. (s.f.). *Observatorio Colombiano de Gobernanza del Agua*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/ocga/inicio>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales IDEAM. (2013). *Hoja metodológica del indicador índice de calidad del agua. (versión 1.0). Sistema de indicadores ambientales de Colombia- Indicadores de calidad de Agua Superficial*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/646961/3.02+HM+Indice+calidad+agua.pdf/c5a50442-79de-4cab-881a-824fe057fbc1>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua*. Bogotá, D. C.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM . (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá, D. C.
- Isch, E. (2011). *Foro de los recursos hídricos- Contaminación de las aguas y políticas para enfrentarla*. Quito: Camaren.
- Lasanta Martinez , T., & Garcia Ruiz, J. (1998). *La Gestión de los usos del suelo como estrategia para mejorar la producción y la calidad del agua. Resultados experimentales en el pirineo central de español*. Cuadernos I. Geográfica.

- Maldonado, A., & Zuemmy, C. (s.f.). *Clasificación del río Sonora tramo Mazocahui-presa*. Recuperado el 13 de 09 de 2018, de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/5404/Capitulo5.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2014). *Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de cuencas Hidrográficas POMCAS. Anexo A. Diagnóstico*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015 Nivel Nacional*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA FORMULACIÓN DE LOS PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE MICROCUENCAS – PMAM*. Bogotá D.C: Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *GUÍA NACIONAL DE MODELACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO PARA AGUAS SUPERFICIALES CONTINENTALES*. Bogotá.
- Orarbo. (2018). *Información Ambiental para la Gestión Integral de la Cuenca Hídrica del Río Bogotá*. Obtenido de <https://www.orarbo.gov.co/es/buenas-practicas-de-gobernanza/red-de-reservas-de-la-sociedad-civil-de-la-laguna-de-pedro-palo/matriz-dofa-de-buenas-practicas>
- Organización Meteorológica Mundial, OMM. (2011). *Guía de Practicas Hidrológicas Volumen I Hidrología – De la medición a la información hidrológica OMM-N° 168*. Obtenido de http://hydrologie.org/BIB/OMM/WMOSPA_v6_1.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). Capítulo I. Selección de los lugares de Monitoreo. En O. M. Salud, *Proyecto PNUMA/UNESCO/OMM sobre el Monitoreo de la Calidad del Agua*.
- Orjuela, L. (2013). *Hoja metodológica del indicador Índice de alteración potencial de la calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia*. Bogotá.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.
- P&P Gestión integral Compañía. (2016). *Análisis Físicoquímico y microbiológico de las aguas residuales y aguas superficiales del casco urbano del municipio de La Mesa- Cundinamarca*. Bogotá: Instituto de Higiene Ambiental S.A.S.
- P&P Gestión Integral Ltda. (2016). *Revisión, Formulación, Ajuste y/o Actualización de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) de las Áreas Urbanas y Centros Poblados en Municipios del Departamento de Cundinamarca. Casco Urbano-Municipio de La Mesa. Contrato PDA-C-074,2016*. Bogotá.
- PNUD. (2006). *Los retos de la gobernabilidad. En UNESCO, El agua, una responsabilidad compartida. 2do. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Resumen Ejecutivo*.
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). *CUATRO ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN PARA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS CONTINENTALES. FORMULACIONES Y APLICACIÓN. CT&F - Ciencia,*

Tecnología y Futuro. Obtenido de
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008

- Ramirez, Restrepo, & Cardeñosa. (1999). Indices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, vol.1 no.5.
- Ruiz Toro, J. A., Velez Macias, F., Caicedo Quintero, O., & Aguirre Ramirez, N. J. (2016). Modelación espacial de la calidad del agua en el río Tapartó. *Revista MUTIS*, Vol. 6(1) pp 16-2 Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Grupo Geolimna.
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del Agua, Evaluación y Diagnóstico*. Medellín: Ediciones de la U. Universidad de Medellín.
- Simplexcel*. (17 de abril de 2013). Recuperado el 18 de 02 de 2019, de <http://simplexcel.blogspot.com/2013/04/distribucion-de-frecuencias-mediante-la.html>
- Unión Europea. (2007). *Protección y gestión del agua*. Directiva marco sobre el agua.
- Universidad de Pamplona. (2005). *Capítulo III. Indices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial*. Obtenido de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/05082010/libros.jsp
- Universidad de Pamplona. (2005). *Software ICATest. Version 1.0*. Obtenido de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/05082010/libros.jsp

ANEXOS

- Anexo. 1 Cartografía microcuencas quebrada Carbonera y Quijana.
- Anexo. 2 Información de captaciones y vertimientos emitida por la CAR.
- Anexo. 3 Reporte de resultados de la caracterización del agua realizada en febrero 2019 por laboratorio Biopolab.
- Anexo. 4 Cálculos de índice de calidad del agua ICACOSU
- Anexo. 5 Reportes de resultados software ICAtest
- Anexo. 6 Reporte de resultados de la caracterización del agua realizada en el año 2016.
- Anexo. 7 Modelo qual2k corrido
- Anexo. 8 Aforos quebrada Carbonera y Quijana
- Anexo. 9 Soporte de entrevistas realizadas
- Anexo. 10. Directorio de actores