

Fase III (PROSPECTIVA)

Capítulo I

PARTE C

PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO RIO CHIRIAIMO

JULIO SUAREZ LUNA

Director

Corporación Autónoma Regional del Cesar
“CORPOCESAR”

CONSTRUAMBIENTE S.A.S

DEPARTAMENTO DEL CESAR

TABLA DE CONTENIDO

3.1 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA.....	7
3.1.1 Proyección de la demanda hídrica por sectores.....	9
3.2 MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO	13
3.2.1 Geometría de los planos.....	15
3.2.2 Calibración del modelo.	16
3.2.3 Información de la calidad del agua.	24
3.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES DE LOS CUERPOS DE AGUA OBJETO DE ORDENAMIENTO	39
3.4 DEFINICIÓN O AJUSTE DE METAS QUINQUENALES DE REDUCCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES.....	41
3.4.1 EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE CALIDAD EXISTENTES EN EL MARCO DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO CHIRIAIMO.....	41
3.4.2 Objetivo de Calidad DBO.....	42
3.4.3 Objetivo de Calidad SST	43
3.5 ARTICULACIÓN CON EL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS – POMCA.....	44
3.6 PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO AL RECURSO HÍDRICO	

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1. Criterios empleados para la proyección de la demanda.....	8
Tabla N° 2. Demanda hídrica de agua para el Río Chiriamo	8
Tabla N° 3. Determinación del nivel de complejidad del municipio.....	9
Tabla N° 4. Métodos de proyección de población según nivel de complejidad.	9
Tabla N° 5. Proyección de población municipio de La Paz	10
Tabla N° 6. Proyección de población municipio de San Diego.....	10
Tabla N° 7. Proyección de población Centro Poblado San José de Oriente	11
Tabla N° 8. Se presenta valores obtenidos para cada uno de los escenarios propuestos.....	12
Tabla N° 9. Criterios para la proyección de la demanda de agua sector Pecuario – Bovinos.....	12
Tabla N° 10. Tasas de crecimiento mínima, máxima y promedio.....	13
Tabla N° 11. Vertimientos identificados a lo largo del río Chiriamo.	14
Tabla N° 12. Esquema de segmentación – Tramo simulación.	15
Tabla N° 13. Esquema Segmentación – Tramo Simulación.....	15
Tabla N° 14. Algoritmo genético de auto-calibración.....	16
Tabla N° 15. Auto-calibración del modelo.	17
Tabla N° 16. Resumen de aptitudes "Fitness" del río Chiriamo.....	17
Tabla N° 17. Calibración hidráulica.	18
Tabla N° 18. Calibración de los parámetros de calidad de agua.	19
Tabla N° 19. Parámetros analizados para fuentes naturales e información de vertimientos tomada de bases de datos corporativas.....	24
Tabla N° 20. Valores DBO Lenta para época actual - Línea base.....	25
Tabla N° 21. Valores típicos utilizados para la modelación de las cargas máximas.	26
Tabla N° 22. Valores típicos utilizados para la modelación de las cargas máximas.	37
Tabla N° 23. Usos potenciales de acuerdo a los objetivos de calidad.....	39
Tabla N° 24. Cargas contaminantes río Chiriamo DBO	41
Tabla N° 25. Cargas contaminantes río Chiriamo SST	42

Tabla N° 26. Proyección de cargas contaminante con base en el acuerdo 002 de marzo de 2019.....	42
Tabla N° 27. Objetivos de calidad – Corto plazo 0 -2 años	42
Tabla N° 28. Objetivos de calidad – Mediano plazo 2 – 5 años	43
Tabla N° 29. Objetivos de calidad – Largo plazo 5 – 10 años	43
Tabla N° 30. Objetivos de calidad – Corto plazo 0 -2 años	43
Tabla N° 31. Objetivos de calidad – Mediano plazo 2 – 5 años	43
Tabla N° 32. Objetivos de calidad – Largo plazo 5 – 10 años	44

LISTA DE GRAFICAS

Grafica N° 1. Calibración hidráulica.....	18
Grafica N° 2. Resultado de la calibración de los parámetros fisicoquímicos.	23
Grafica N° 3. Comportamiento de la DBO lenta para los 4 escenarios de modelación.	27
Grafica N° 4. Concentración de la DBO lenta con respecto al tiempo.....	28
Grafica N° 5. Comportamiento de la DBO rápida para los 4 escenarios de modelación.	29
Grafica N° 6. Concentración de la DBO rápida con respecto al tiempo.....	30
Grafica N° 7. Comportamiento de sólidos suspendidos para los 4 escenarios de modelación.	30
Grafica N° 8. Comportamiento del nitrógeno para los 4 escenarios de modelación.	31
Grafica N° 9. Concentración del nitrógeno con respecto al tiempo	33
Grafica N° 10. Comportamiento del fósforo para los 4 escenarios de modelación.	34
Grafica N° 11. Concentración del fósforo con respecto al tiempo	35
Grafica N° 12. Comportamiento de patógenos para los 4 escenarios de modelación.	35
Grafica N° 13. Concentración de coliformes (patógenos) con respecto al tiempo..	36
Grafica N° 14. Comportamiento de Sólidos Suspendidos y DBO para carga máxima.	38



FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

LISTADO DE MAPAS

Mapa N° 1. Mapa de Usos Potenciales del río Chiriamo.	40
--	----

3.1 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA

La proyección de la demanda hídrica fue estimada bajo los escenarios de análisis propuestos por el IDEAM (IDEAM, 2014). Estos corresponden a un escenario Optimista, Pesimista y Real.

El escenario optimista supone situaciones en la cuales se logran ahorros en los consumos de agua, bien sea por la implementación de acciones de producción más limpia o porque no se tengan crecimientos de los sectores demandantes de agua.

El escenario pesimista, por el contrario, involucra incrementos sustanciales en la demanda de agua como consecuencia de ineficiencias de los sistemas de aprovechamiento y distribución del agua, así como por un aumento en las tasas de crecimiento de los sectores demandantes.

El escenario real fue estimado teniendo en cuenta las demandas hídricas actuales, con solo variación de las tasas de crecimiento de la población.

Adicionalmente, estos análisis fueron realizados teniendo en cuenta tres periodos de tiempo, correspondientes al corto (0-2 años), mediano (2-5 años) y largo plazo (5-10 años), contados a partir del año 2019. En la Tabla N° 1 se presenta los criterios generales empleados para la proyección de la demanda; no obstante, para cada temática específica se expondrá de manera detallada todos los aspectos que fueron tenidos en cuenta para la realización de cada uno de los cálculos.

Dado que no fue posible correlacionar la demanda de agua con valores de producción, se asumió que la tasa de variación de algunos sectores se comportó de una manera similar a la tasa de variación de la demanda hídrica; es decir, si para un periodo determinado se presenta un incremento en la tasa de crecimiento de un sector, es de esperarse que la demanda de agua también se incremente. Por el contrario, cuando se dan tasas de decrecimiento (reflejadas en una menor producción) se asume una disminución en la demanda de agua.

Finalmente, es importante resaltar que si bien en términos económicos un decrecimiento del sector puede considerarse un escenario pesimista, al momento de evaluar la demanda de agua este aspecto se consideró como optimista, porque supone una menor presión en cuanto al uso y demanda del recurso hídrico; de ahí que los escenarios optimistas fueran formulados con las menores tasas de crecimiento de los sectores y teniendo en cuenta reducciones en los consumos de agua por la implementación de medidas de uso eficiente.

Tabla N° 1. Criterios empleados para la proyección de la demanda

Tipo de Demanda	Escenario		
	Optimista	Pesimista	Real
Demanda del sector doméstico	Módulo de consumo de agua del RAS más bajo (90L/persona-día). Tener en cuenta la proyección de la población para 2019, 2022 y 2027.	Módulo de consumo de agua más alto sugerido por el RAS (150L/persona-día). Tener en cuenta la proyección de la población para 2019, 2022 y 2027.	Módulo de consumo de Agua empleada para estimación de la demanda. Tener en cuenta la proyección de la población para 2019, 2022 y 2027.
Demanda del sector pecuario	Reducción en módulos de consumo de agua del 20%. Tener en cuenta la proyección de la población para 2019, 2022 y 2027.	Incremento del módulo de consumo de agua por desperdicios del 20%. Tener en cuenta la proyección de la población para 2019, 2022 y 2027.	Igual a los actuales (afectado solo por el crecimiento de la población).
Demanda del sector agrícola	Teniendo en cuenta riego por goteo, con una eficiencia de riego del 90%.	Con sistema de riego actual pero con problemas de mantenimiento que disminuyen la eficiencia de riego, obteniendo eficiencias del 52%.	Igual a los actuales (afectar por las proyecciones de incremento de los cultivos).

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

La demanda hídrica de agua para el río Chiriao fue de 57.395.520 m³/año, de los cuales el 76% correspondió a la demanda del sector de Agrícola, seguido en menor proporción del sector Doméstico como se observa en la Tabla N° 2

Tabla N° 2. Demanda hídrica de agua para el Río Chiriao

TRAMO	DEMANDA HIDRICA(M3/AÑO) PROM TRAMO
TRAMO 1	9303120
TRAMO 2	11826000
TRAMO 3	15137280
TRAMO 4	20183040
TRAMO 5	946080
TOTAL	57395520

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

3.1.1 Proyección de la demanda hídrica por sectores

➤ Sector Doméstico

Para estimar la demanda hídrica se comenzó por cuantificar la población asentada dentro de la cuenca, a partir de proyecciones de población que permitieron calcular los habitantes para los años 2019, 2022 y 2027, así como las densidades poblacionales para las áreas urbanas y rurales.

Las proyecciones de población empleadas correspondieron a las sugeridas por el Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000), según el nivel de complejidad del municipio (Tabla N° 3 y Tabla N° 4)

Tabla N° 3. Determinación del nivel de complejidad del municipio.

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los
Bajo	<2500	Baja
Medio	2501-12500	Baja
Medio-Alto	12501-60000	Media
Alto	>60000	Alta

Fuente: RAS 2000

Tabla N° 4. Métodos de proyección de población según nivel de complejidad.

Método por emplear	Nivel de complejidad del sistema			
	Bajo	Medio	Medio-Alto	Alto
Aritmético, Geométrico y exponencial	x	x		
Aritmético, Geométrico, exponencial, otros			x	x
Por componentes (demográfico)			x	x
Detallar por zonas y detallar densidades			x	x

Fuente: RAS 2000

Tabla N° 5. Proyección de población municipio de La Paz

AÑO	METODOS DE PROYECCION		PROMEDIO
	GEOMETRICO	EXPONENCIAL	
2019	15271	15271	15271
2020	15511	15511	15511
2021	15755	15754	15754
2022	16003	16001	16002
2023	16254	16252	16253
2024	16510	16507	16508
2025	16769	16766	16768
2026	17033	17029	17031
2027	17301	17297	17299

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Tabla N° 6. Proyección de población municipio de San Diego

AÑO	METODOS DE PROYECCION		PROMEDIO
	GEOMETRICO	EXPONENCIAL	
2019	7394	7394	7394
2020	7510	7510	7510
2021	7628	7628	7628
2022	7748	7748	7748
2023	7870	7869	7870
2024	7994	7993	7993
2025	8119	8118	8119
2026	8247	8245	8246
2027	8377	8375	8376

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Tabla N° 7. Proyección de población Centro Poblado San José de Oriente

AÑO	METODOS DE PROYECCION		PROMEDIO
	GEOMETRICO	EXPONENCIAL	
2019	1478	1478	1478
2020	1501	1501	1501
2021	1525	1525	1525
2022	1549	1549	1549
2023	1573	1573	1573
2024	1598	1598	1598
2025	1623	1623	1623
2026	1649	1648	1648
2027	1674	1674	1674

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

La proyección de la demanda hídrica para el sector doméstico se realizó para cada año en forma similar a como se procedió para la estimación de la demanda para el año 2019, variando la población según las proyecciones anteriormente presentadas y teniendo en cuenta los módulos de consumo para los escenarios optimista, pesimista y real.

De esta manera, para el escenario optimista se emplearon las dotaciones netas mínimas sugeridas por el RAS (90L/persona-día), mientras que para el pesimista se empleó la más alta (150L/persona-día). Para el escenario real se tuvieron en cuenta las mismas dotaciones que fueron calculadas en la estimación de la demanda hídrica actual.

En la Tabla N° 8 se presenta los valores obtenidos para cada uno de los escenarios propuestos.

Vale la pena mencionar que la demanda para el escenario real dio más baja que para el escenario optimista porque las dotaciones netas estimadas para la demanda hídrica actual fueron más bajas que la mínima sugerida por el RAS empleada para las proyecciones.

Tabla N° 8. Se presenta valores obtenidos para cada uno de los escenarios propuestos.

Sector	Demanda Agua actual (2019)	Demanda de Agua (m3/año)								
		Optimista			Pesimista			Real		
		2019	2022	2027	2019	2022	2027	2019	2022	2027
Doméstico	16.644.701	12.644.701	11.356.425	10.325.256	20.523.256	22.566.233	25.233.556	16.546.230	15.896.235	14.789.255

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

➤ Sector Pecuario

La proyección de demanda del sector pecuario, para los tres escenarios considerados, se estimó con base a la tasa de crecimiento del sector, el cual se encuentra en aumento pero sigue manteniendo la densidad de animal por hectárea.

Para el escenario optimista se definió un ahorro del 20% en el consumo de agua, teniendo en cuenta la adopción de prácticas de producción más limpia. En el escenario pesimista, por el contrario, se estableció un desperdicio en el consumo hídrico del 20%, como consecuencia de la falta de mantenimiento y despilfarro del recurso hídrico. Para el escenario real se mantuvieron los mismos módulos de consumos de agua empleados para la estimación de la demanda.

Tabla N° 9. Criterios para la proyección de la demanda de agua sector Pecuario – Bovinos.

	Escenario								
	Optimista			Pesimista			Real		
Demanda	Corto Plazo (2019)	Mediano Plazo (2022)	Largo Plazo (2027)	Corto Plazo (2019)	Mediano Plazo (2022)	Largo Plazo (2027)	Corto Plazo (2019)	Mediano Plazo (2022)	Largo Plazo (2027)
Pecuario	Disminución en los módulos de consumo de agua en un 20% como consecuencia de la			Aumento en los módulos de consumo de agua en un 20% como consecuencia de			Módulos de consumo de agua actuales.		

	implementación de medidas de uso eficiente del agua	problemas en las redes de suministro y despilfarro del agua	
Bovinos	Tasa de decrecimiento del 2,58%	Tasa de crecimiento máxima 3,05%	Tasa crecimiento promedio 0,24%

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

➤ Sector Agrícola

El sector agrícola está conformado por coberturas de pastos y mosaicos de cultivos. El único cultivo que se encontró discretizado fue el del café.

Para la estimación de las proyecciones de demanda hídrica se tuvieron en cuenta las estadísticas de áreas cultivadas preparadas por la Federación Nacional de Cafeteros para el departamento del Cesar (2014), de donde se extrajeron datos de áreas con cultivos permanentes y transitorios, a las cuales les fueron estimadas las tasas de crecimiento mínima, máxima y promedio (Tabla N° 10)

Tabla N° 10. Tasas de crecimiento mínima, máxima y promedio

Cobertura	Tasa		
	Promedio	Mínima	Máxima
Pastos	0,	0,0	0,0
Café	0,	-0,008	0,0
Otros cultivos	0,	-0,006	0,0
Bosque natural fragmentado con pastos y cultivos	- 0,0	-0,009	-0,009
	0,	-0,005	0,0

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

3.2 MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

El Modelo de Calidad e Agua fue ejecutado para cuatro escenarios: Línea base, Corto, Mediano y Largo Plazo y se establecieron los parámetros que simularan la calidad del agua: los niveles de DBO (Lenta y Rápida), Coliformes (patógenos), Nitrógeno, Fósforo y Sólidos Suspendidos. Adicionalmente, para su calibración se tuvieron en cuenta parámetros como Temperatura, Conductividad, Oxígeno Disuelto, pH y Alcalinidad, cuyos valores criterio fueron obtenidos durante el levantamiento de la Línea Base. Es importante aclarar que del mismo modo se consideraron aportes provenientes de veintidós (22) vertimientos presentes a lo largo del río, sin embargo, no se contó con caracterizaciones de los mismos debido

a que en su mayoría se constituyen como vertimientos ilegales. A continuación, se enlistan los vertimientos identificados:

Tabla N° 11. Vertimientos identificados a lo largo del río Chiriaimo.

Tramo	Vertimiento	Nombre del Vertimiento	Coordenadas Magna Sirgas (Origen Bogotá)	
			Este	Norte
E1 – E2	VT1	Vertimiento de químicos	1126690,733	1629878,31
	VT2	Vertimiento de aguas residuales	1122721,464	1635363,365
	VT3	Vertimiento o contaminación en el nacedero por ganadería y caña brava	1117185,616	1635573,42
	VT4	Vertiente de salida de desarenador,	1114760,748	1636149,129
	VT5	Vertimiento tubo séptico	1114641,638	1636283,951
	VT6	Vertimiento de tubería	1113648,574	1636181,694
E2 – E3	VT7	Daño en tubo de 4"	1113573,794	1636234,368
	VT8	Vertimiento descarga directa	1113514,485	1636424,408
	VT9	Vertimiento de aguas proveniente del sector agrícola	1113424,083	1636424,408
	VT10	Vertimiento aguas residuales domesticas	1113290,164	1636436,265
	VT11	Vertimiento de aguas residuales domesticas	1113220,192	1636432,965
	VT12	Desagüe de canal de finca	1113208,061	1636420,634
	VT13	Vertimiento de agua domiciliarias	1113125,739	1636472,608
	VT14	Vertimiento de aguas de alcantarillado domiciliario	1113131,775	1636487,993
	VT15	Vertimiento de agua domiciliarias	1113125,709	1636481,827
	VT16	Vertimiento de aguas domiciliarias	1113119,604	1636487,954
	VT17	Vertimiento de aguas domiciliarias	1113119,594	1636491,027
	VT18	Vertimiento de aguas tratadas PTAR	1113070,861	1636506,234
	VT19	Vertimiento de aguas tratadas PTAR	1112878,844	1636607,022
	VT20	Vertimiento de laguna de oxidación	1111993,672	1636527,347
	VT21	Punto de vertimiento de laguna de oxidación	1111589,899	1636243,339
E4 – E5	VT22	Acumulación de basuras con residuos sólidos y líquidos en talud al costado derecho	1100754,000	1635096,000

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Los vertimientos asociados en la Tabla N° 11 se presentan a manera de insumo para determinar el efecto de cada uno de ellos en el tramo donde tienen lugar, sin

embargo, debido a la carencia de información referente a las concentraciones de los mismos se llevó a cabo la revisión de literatura con el fin de llegar a conclusiones específicas en el modelo con respecto a las fuentes difusas y puntuales, lo cual fue aplicable para todos los escenarios de modelación. Es importante resaltar que para los tramos E3-E4 y E5-E6, no se evidenciaron vertimientos durante el recorrido de identificación realizado.

3.2.1 Geometría de los planos

Como se explicó anteriormente, la geometría de los tramos se determinó a partir del Modelo de Elevación Digital de Terreno - DEM, en donde posteriormente, se realizó el levantamiento de secciones transversales sobre el eje principal de la corriente de interés para los puntos de monitoreo de calidad del agua donde se tiene aforo y además se ajustaron las características hidráulicas del cauce. Por otro lado, para la definición de las secciones transversales y con el fin de determinar la geometría de las mismas, se empleó el software *Hec-GeoRAS*, para determinar la profundidad, ancho, y área transversal por tramo u/o segmento. Así mismo, se definieron segmentos transversales constantes con separaciones entre sí y teniendo en cuenta la localización espacial de la cuenca, se definió un único tramo de simulación de calidad de aguas en el río Chiriaimo.

Tabla N° 12. Esquema de segmentación – Tramo simulación.

	E-1			E-2			E-3			E-4			E-5			E-6						
Segmento	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Presentado gráficamente el esquema de segmentación, en la siguiente tabla se puede apreciar la distribución de las longitudes por cada segmento y su respectiva longitud acumulada:

Tabla N° 13. Esquema Segmentación – Tramo Simulación.

SEGMENTO	CALIDAD	LONG. SEGMENTO (Km)	LONG. ACUMULADA (Km)
0	E1	Headwater	28,11
1		3,275	24,84
2		2,234	22,60
3		2,298	20,30
4	E2	3,348	16,95
5		0,796	16,16
6		1,171	14,99
7		1,028	13,96
8	E3	2,992	10,97
9		3,013	7,95
10		2,890	5,06
11		3,270	1,79

SEGMENTO	CALIDAD	LONG. SEGMENTO (Km)	LONG. ACUMULADA (Km)
12	E4	0,331	1,46
13		0,447	1,02
14		0,440	0,58
15		0,339	0,24
16	E5	0,029	0,21
17		0,045	0,16
18		0,039	0,12
19		0,045	0,08
20		0,037	0,04
21	E6	0,041	0,00

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

3.2.2 Calibración del modelo.

Para la calibración del modelo *QUAL2Kw*, se utilizó el algoritmo genético PIKAIA (Pelletier et al, 2006), cuya función objetivo ($f(x)$) se define mediante la siguiente expresión. El ajuste óptimo de las variables evaluadas, fue determinado a partir del recíproco de la raíz del error medio (RMSE).

$$f(x) = \left[\sum_{i=1}^q w_i \right] \left[\sum_{i=1}^q \frac{1}{w_i} \left[\frac{\frac{\sum_{j=1}^m O_{ij}}{m}}{\left[\frac{\sum_{j=1}^m (P_{ij} - O_{ij})^2}{m} \right]^{\frac{1}{2}}} \right] \right]$$

Donde O_{ij} = valor observado, P_{ij} = valor modelado, m = número de pares modelados y observados, w_i = factor de peso y q = número de variables de estado simuladas. *QUAL2KW* en su versión 5, permite realizar la auto-calibración de las variables a modelar a partir del *WorkSheet "Rates"*, en ella se debe definir el algoritmo de auto-calibración a partir de la definición de datos típicos para cada tipo de agua superficial "lentic/a lotica". Para la calibración del modelo, se utilizaron datos típicos proporcionados por la Guía de Implementación del *Qual2kw*, los cuales se presentan a continuación:

Tabla N° 14. Algoritmo genético de auto-calibración.

<i>Auto-calibration genetic algorithm control:</i>		
Random number seed	123456	seed
Model runs in a population (<=512)	40	np
Generations in the evolution	10	ngen
Digits to encode genotype (<=6)	5	nd
Crossover mode (1, 2, 3, 4, 5, 6, or 7)	3	icross
Crossover probability (0-1):	0,85	pcross
Mutation mode (1, 2, 3, 4, 5, or 6)	2	imut
Initial mutation rate (0-1):	0,005	pmut
Minimum mutation rate (0-1):	0,0005	pmutmn

Auto-calibration genetic algorithm control:		
Maximum mutation rate (0-1):	0,25	pmutmx
Relative fitness differential (0-1):	1	fdif
Reproduction plan (1, 2, or 3):	1	irep
Elitism (0 or 1):	1	ielite
Restart from previous evolution (0 or 1):	0	irestart

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

La cantidad de iteraciones para la determinación del mejor algoritmo genético se obtuvo dependiendo del número de cortes transversales (segmentos), un alto número de segmentos puede considerar un mayor número de iteraciones. En el presente caso se implementó un total de cuarenta (40) iteraciones.

La calibración del modelo se ejecuta dependiendo de los datos de entrada de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, hidráulicos y de las condiciones establecidas en el algoritmo genético de auto-calibración. Los datos de entrada de la auto-calibración se ingresan en la *Worksheet "Rates"*, cuyo postprocesamiento se ejecuta en el botón *"Run Auto-cal"*. El producto del proceso antes mencionado, es el valor del *"Fitness"* que representa la aptitud y precisión del modelo, donde valores cercanos a uno (1) describen mayor precisión en la representatividad de los datos de salida obtenidos. Cabe agregar que *"Fitness"* es una hoja de cálculo elaborada y utilizada como control de ajuste, es decir, es considerada como un factor de calibración.

Tabla N° 15. Auto-calibración del modelo.

Fitness:
0,65

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Seguidamente se muestra el resumen de los datos de aptitud del cuerpo de agua objeto de modelación del presente estudio:

Tabla N° 16. Resumen de aptitudes "Fitness" del río Chiriaimo.

FUENTE	AH	ZH	SZH	MICROCUENCA	FITNESS
Río Chiriaimo	Magdalena-Cauca	Cesar	Medio Cesar	Rio Chiriaimo	0,65

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

La calibración se ejecutó bajo las condiciones hidráulicas, fisicoquímicas y microbiológicas más críticas considerando los caudales más bajos que fueron determinados en la fase de campo.

3.2.2.1 Calibración hidráulica.

En la Tabla N° 17 Se presentan los resultados de la calibración hidráulica de los tramos de simulación definidos. La calibración fue realizada mediante la implementación del algoritmo genético PIKAIA (Pelletier et al, 2006) cuyo código está incluido en el QUAL2Kw.

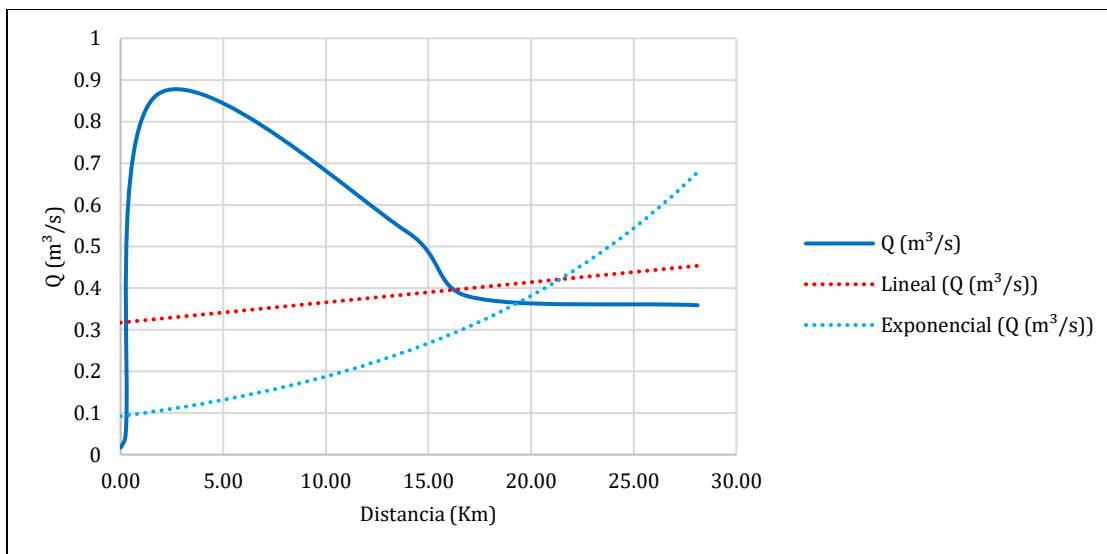
Tabla N° 17. Calibración hidráulica.

ID	LONGITUD (Km)	Q (m³/s) – ép. seca	Q (m³/s) – ép. lluviosa	Q (m³/s) – Promedio
Puente el Tambo	28,11	0,359	0,23	0,295
Cancha la Tricolor	16,95	0,38	0,368	0,374
Puente la Vega	10,97	0,535	0,416	0,476
Finca la Parrilla	1,46	0,865	0,409	0,637
La Estancia	0,21	0,044	0,023	0,034
Inicio de muro de Contención	0,00	0,017	0,033	0,025

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la Grafica N° 1 se muestran las curvas de caudales simulados y de campo asociados a la campaña de monitoreo realizada en el río Chiriaoimo, las líneas punteadas roja y azul representan la tendencia lineal y exponencial respectivamente:

Grafica N° 1. Calibración hidráulica



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

3.2.2.2 Calibración de los parámetros de calidad de agua.

Las constantes cinéticas de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos considerados en la calibración del modelo de calidad *QUAL2Kw*, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla N° 18. Calibración de los parámetros de calidad de agua.

Parameter	Value	Units	Symb ol	Auto-calibration inputs		
				Auto- cal	Min value	Max value
<i>Stoichiometry:</i>						
Carbon	40	gC	gC	No	30	50
Nitrogen	7,2	gN	gN	No	3	9
Phosphorus	1	gP	gP	No	0,4	2
Dry weight	100	gD	gD	No	100	100
Chlorophyll	1	gA	gA	No	0,4	2
<i>Inorganic suspended solids:</i>						
Settling velocity	1,1975	m/d	v_i	Yes	0	2
<i>Oxygen:</i>						
Reaeration model	Internal			f (u h)		
Temp correction	1,024		q_a			
Reaeration wind effect	None					
O2 for carbon oxidation	2,69	gO ₂ /gC	r_{oc}			
O2 for NH ₄ nitrification	4,57	gO ₂ /gN	r_{on}			
Oxygen inhib model CBOD oxidation	Exponential					

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Parameter	Value	Units	Symb ol	Auto-calibration inputs		
				Auto- cal	Min value	Max value
<i>Stoichiometry:</i>						
Oxygen inhib parameter CBOD oxidation	0,60	L/mgO2	K_{soct}	No	0,60	0,60
Oxygen inhib model nitrification	Exponential					
Oxygen inhib parameter nitrification	0,60	L/mgO2	K_{sona}	No	0,60	0,60
Oxygen enhance model denitrification	Exponential					
Oxygen enhance parameter denitrification	0,60	L/mgO2	K_{sodn}	No	0,60	0,60
Oxygen inhib model phyto resp	Exponential					
Oxygen inhib parameter phyto resp	0,60	L/mgO2	K_{sop}	No	0,60	0,60
Oxygen enhance model bot alg resp	Exponential					
Oxygen enhance parameter bot alg resp	0,60	L/mgO2	K_{sob}	No	0,60	0,60
<i>Slow CBOD:</i>						
Hydrolysis rate	2,11385	/d	k_{hc}	Yes	0	5
Temp correction	1,047		q_{hc}	No	1	1,07
Oxidation rate	0,40943	/d	k_{dcs}	Yes	0	0,5
Temp correction	1,047		q_{dcs}	No	1	1,07
<i>Fast CBOD:</i>						
Oxidation rate	3,17295	/d	k_{dc}	Yes	0	5
Temp correction	1,047		q_{dc}	No	1	1,07
<i>Organic N:</i>						
Hydrolysis	4,2493	/d	k_{hn}	Yes	0	5
Temp correction	1,07		q_{hn}	No	1	1,07
Settling velocity	0,0343	m/d	v_{on}	Yes	0	2
<i>Ammonium: Nitrification</i>	3,5332	/d	k_{na}	Yes	0	10
Temp correction	1,07		q_{na}	No	1	1,07
<i>Nitrate:</i>						
Denitrification	0,8358	/d	k_{dn}	Yes	0	2
Temp correction	1,07		q_{dn}	No	1	1,07
Sed denitrification transfer coeff	0,00555	m/d	v_{di}	Yes	0	1
Temp correction	1,07		q_{di}	No	1	1,07
<i>Organic P:</i>						
Hydrolysis	0,88525	/d	k_{hp}	Yes	0	5
Temp correction	1,07		q_{hp}	No	1	1,07
Settling velocity	0,40228	m/d	v_{op}	Yes	0	2
<i>Inorganic P:</i>						
Settling velocity	0,11284	m/d	v_{ip}	Yes	0	2
Sed P oxygen attenuation half sat constant	0,31894	mgO ₂ /L	k_{spi}	Yes	0	2
<i>Phytoplankton:</i>						
Max Growth rate	2,5	/d	k_{gp}	No	1,5	3
Temp correction	1,07		q_{gp}	No	1	1,07

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

Parameter	Value	Units	Symbol	Auto-calibration inputs		
				Auto-cal	Min value	Max value
Stoichiometry:						
Respiration rate	0,1	/d	k_{rp}	No	0	1
Temp correction	1,07		q_{rp}	No	1	1,07
Death rate	0	/d	k_{dp}	No	0	1
Temp correction	1		q_{dp}	No	1	1,07
Nitrogen half sat constant	15	ugN/L	k_{sPp}	No	0	150
Phosphorus half sat constant	2	ugP/L	k_{sNp}	No	0	50
Inorganic carbon half sat constant	1,30E-05	moles/L	k_{sCp}	No	1,30E-06	1,30E-04
Phytoplankton use HCO3- as substrate	Yes					
Light model	Half saturation					
Light constant	57,6	langleys/d	K_{Lp}	No	28,8	115,2
Ammonia preference	25	ugN/L	k_{hnxp}	No	25	25
Settling velocity	0,15	m/d	v_a	No	0	5
Bottom Plants:						
Growth model	Zero-order					
Max Growth rate	38,905	gD/m ² /d or /d	C_{gb}	Yes	0	100
Temp correction	1,07		q_{gb}	No	1	1,07
First-order model carrying capacity	100	gD/m ²	$a_{b,max}$	No	50	200
Basal respiration rate	0,48434	/d	k_{r1b}	No	0	0,3
Photo-respiration rate parameter	0	unitless	k_{r2b}	No	0	0,6
Temp correction	1,07		q_{rb}	No	1	1,07
Excretion rate	0,157725	/d	k_{eb}	Yes	0	0,5
Temp correction	1,07		q_{db}	No	1	1,07
Death rate	0,13997	/d	k_{db}	Yes	0	0,5
Temp correction	1,07		q_{db}	No	1	1,07
External nitrogen half sat constant	174,603	ugN/L	k_{sPb}	Yes	0	300
External phosphorus half sat constant	2,604	ugP/L	k_{sNb}	Yes	0	100
Inorganic carbon half sat constant	3,01E-05	moles/L	k_{sCb}	Yes	1,30E-06	1,30E-04
Bottom algae use HCO3- as substrate	Yes					
Light model	Half saturation					
Light constant	4,70953	langleys/d	K_{Lb}	Yes	1	100
Ammonia preference	99,39016	ugN/L	k_{hnxb}	Yes	1	100
Subsistence quota for nitrogen	2,19531456	mgN/gD	q_{0N}	Yes	0,072	72
Subsistence quota for phosphorus	8,6552461	mgP/gD	q_{0P}	Yes	0,01	10
Maximum uptake rate for nitrogen	1297,554	mgN/gD/d	r_{mN}	Yes	350	1500
Maximum uptake rate for phosphorus	143,5775	mgP/gD/d	r_{mP}	Yes	50	200

FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

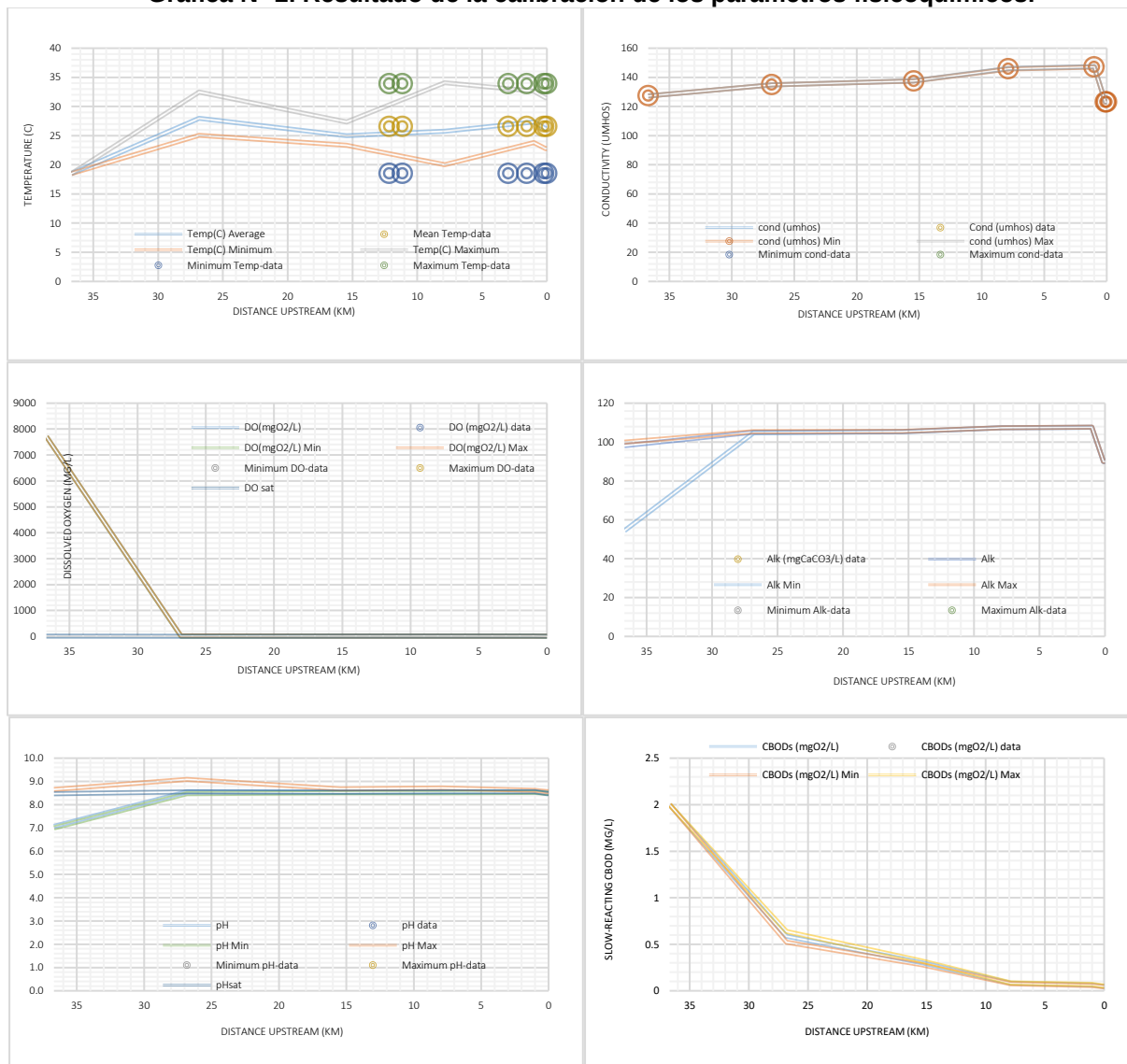
Parameter	Value	Units	Symb ol	Auto-calibration inputs		
				Auto- cal	Min value	Max value
<i>Stoichiometry:</i>						
Internal nitrogen half sat ratio	2,5931465		$K_{qN, ratio}$	Yes	1,05	5
Internal phosphorus half sat ratio	4,2565705		$K_{qP, ratio}$	Yes	1,05	5
Nitrogen uptake water column fraction	1		$N_{UpWCfrac}$	No	0	1
Phosphorus uptake water column fraction	1		$P_{UpWCfrac}$	No	0	1
<i>Detritus (POM):</i>						
Dissolution rate	3,49455	/d	k_{dt}	Yes	0	5
Temp correction	1,07		q_{dt}	No	1,07	1,07
Settling velocity	0,08895	m/d	v_{dt}	Yes	0	5
<i>Pathogens:</i>						
Decay rate	0,8	/d	k_{dx}	No	0,8	0,8
Temp correction	1,07		q_{dx}	No	1,07	1,07
Settling velocity	1	m/d	v_x	No	1	1
alpha constant for light mortality	1	/d per ly/hr	$apath$	No	1	1
<i>pH:</i>						
Partial pressure of carbon dioxide	347	ppm	p_{CO2}			

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

La calibración de calidad de agua se realizó bajo las condiciones más críticas de caudal (caudal más bajo) y de las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas. El número de iteraciones para las calibraciones fue ajustado de tal forma que sea la adecuada para el largo total del cauce del cuerpo de agua superficial.

En la Grafica N° 2 se presentan los resultados de la calibración fisicoquímica para condiciones críticas del río Chiriamo, haciendo especial énfasis en parámetros tales como la temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y alcalinidad.

Grafica N° 2. Resultado de la calibración de los parámetros fisicoquímicos.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Los resultados de la calibración de la calidad del agua, presentan un comportamiento fisicoquímico y microbiológico normal para este tipo de cuerpo de agua superficial. Los valores de la temperatura resultantes de la calibración permanecieron entre 20°C y 30°C, los cuales se encuentran dentro de un rango normalizado para ríos con naturaleza similar al del presente estudio.

Los valores de la conductividad obtenidos a lo largo del río permanecen en valores que van entre 120 umhos y 160 umhos, lo que puede significar que no presenta contaminación por parte de minerales ya que se encuentran por debajo de los 270 umhos (criterio máximo de contaminación para calidad de agua), cabe resaltar que existen incrementos de la conductividad entre el kilómetro 10 y 5, que posteriormente decaen y presentan su valor mínimo en el kilómetro 0 (aguas abajo).

Tanto la alcalinidad como el pH se encuentran fuertemente vinculados con la conductividad; normalmente valores elevados de conductividad representan aguas alcalinas, sin embargo, para el presente caso en ambos escenarios se presenta normalidad en su comportamiento. Los valores del pH permanecen en rangos admitidos según criterios nacionales para los diferentes usos del agua.

Por su parte, los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), a pesar de encontrarse muy por debajo de los límites máximos permisibles a nivel nacional, disminuyen de forma rápida entre el kilómetro 30 y 35, mientras que entre los kilómetros 35 y 8 disminuyen las concentraciones de manera desacelerada y se mantienen constantes entre el kilómetro 8 y 0.

Teniendo en cuenta que el oxígeno disuelto, es un parámetro que se encuentra correlacionado con la temperatura del agua debido a los procesos de evaporación de la misma (ciclo del agua del recurso hídrico), los valores de oxígeno disuelto decaen considerablemente a lo largo del río, lo cual podría deberse a los leves aumentos de temperatura que se presentan a partir del kilómetro 20 del río.

Para la determinación de las variables que requiere el modelo, se utilizaron los parámetros medidos en campo, las variables analizadas en el laboratorio y las mediciones de datos indirectos para el cuerpo de agua. En Tabla N° 19 se presenta la relación de los parámetros analizados.

3.2.3 Información de la calidad del agua.

Para la determinación de las variables que requiere el modelo, se utilizaron los parámetros medidos en campo, las variables analizadas en el laboratorio y las mediciones de datos indirectos para el cuerpo de agua. En la Tabla N° 19; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la relación de los parámetros analizados:

Tabla N° 19. Parámetros analizados para fuentes naturales e información de vertimientos tomada de bases de datos corporativas.

Parámetro	Fuentes Naturales		Vertimientos	
	¿Requerido para modelación?	¿Se realizó este análisis?	¿Requerido para modelación?	¿Se realizó este análisis?
PH	Si	Si	No	Para ningún escenario
Conductividad eléctrica	Si	Si	No	Para ningún escenario

Parámetro	Fuentes Naturales		Vertimientos	
	¿Requerido para modelación?	¿Se realizó este análisis?	¿Requerido para modelación?	¿Se realizó este análisis?
Oxígeno disuelto	Si	Si	No	Para ningún escenario
Temperatura del agua	Si	Si	No	Para ningún escenario
Alcalinidad	Si	Si	No	Para ningún escenario
BDO5 Total	Si	Si	No	Para ningún escenario
BBO5 Filtrada	Si	No	No	Para ningún escenario
DQO Total	Si	Si	No	Para ningún escenario
DBO última	Si	Calculada	No	Para ningún escenario
Sólidos suspendidos totales	Si	Si	No	Para ningún escenario
Sólidos suspendidos volátiles	Si	No	No	Para ningún escenario
Nitrógeno total	Si	No	No	Para ningún escenario

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Como puede apreciarse en la tabla anterior, ningún vertimiento cuenta con caracterización, por lo cual se consideraron fuentes difusas y puntuales de vertimientos para el presente modelo utilizando datos indicativos.

QUAL2Kw simula la demanda bioquímica de oxígeno en términos de DBO última (DBOu), por lo cual fue necesario convertir la DBO5 filtrada inhibida en nitrógeno reportada por el laboratorio. Para realizar la conversión de DBO5 a DBOu (ambas de tipo carbonáceo) se utilizó la siguiente expresión:

$$DBOu_{inhibidaNfiltrada} = \frac{DBO5_{InhibidaNfiltrada}}{1 - e^{-5k}}$$

Donde k (1/d) es la tasa de degradación de la materia orgánica, la cual oscila entre 0.05 – 0.3 1/d según la composición química de las aguas residuales vertidas en la corriente (Chapra, 1997).

Los valores de DBO Lenta calculados para cada punto de monitoreo de calidad de agua relacionado con el río Chiriaimo, se presentan a continuación:

Tabla N° 20. Valores DBO Lenta para época actual - Línea base

ESTACIÓN	DBO5 (mg/L O2)	DQO (mg/L)	k	DBu	DBL
E-1	2,00	20	0,22	3,00	17,00
E-2	2,00	20	0,22	3,00	17,00
E-3	2,00	20	0,22	3,00	17,00
E-4	2,00	20	0,22	3,00	17,00
E-5	2,00	20	0,22	3,00	17,00
E-6	2,00	20	0,22	3,00	17,00

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Es importante aclarar que el valor de la constante K fue asumido mediante revisión de literatura, bajo el rango normal para ríos con características similares a las del presente estudio.

3.2.3.1 Definición de escenarios de la modelación.

Dentro de las definiciones de que se encuentran establecidas en la Guía Técnica para la Formulación de PORH, en su versión 2014, se clasifican los escenarios para la modelación así:

Tabla N° 21. Valores típicos utilizados para la modelación de las cargas máximas.

Escenario	Cuerpo de agua receptor (principal)		Tributarios		Cargas puntuales o difusas (Vertimientos)	
	Caudal	Calidad del agua cabecera	Caudal	Calidad del Agua	Caudal	Calidad del Agua
Línea Base	Caudales característicos de Condiciones Mínimas	Condiciones medidas para el escenario base con caudal bajo	Caudales característicos de Condiciones Mínimas	Condiciones medidas para el escenario base con caudal bajo	Condiciones actuales	
Carga Máxima Permissible				Condiciones de escenario(s) crítico(s) definidos	Proceso iterativo de verificación para determinar las cargas máximas permisibles para cada vertimiento puntual	
Corto Plazo				Escenario base (caudal bajo) o con medidas o acciones planificadas	Máximo proyectado al corto plazo	Concentraciones máximas proyectadas al corto plazo
Mediano Plazo				Con medidas o acciones planificadas a los escenarios	Máximo proyectado al mediano plazo	Concentraciones máximas proyectadas al mediano plazo
Largo Plazo					Máximo proyectado al largo plazo	Concentraciones máximas proyectadas al largo plazo

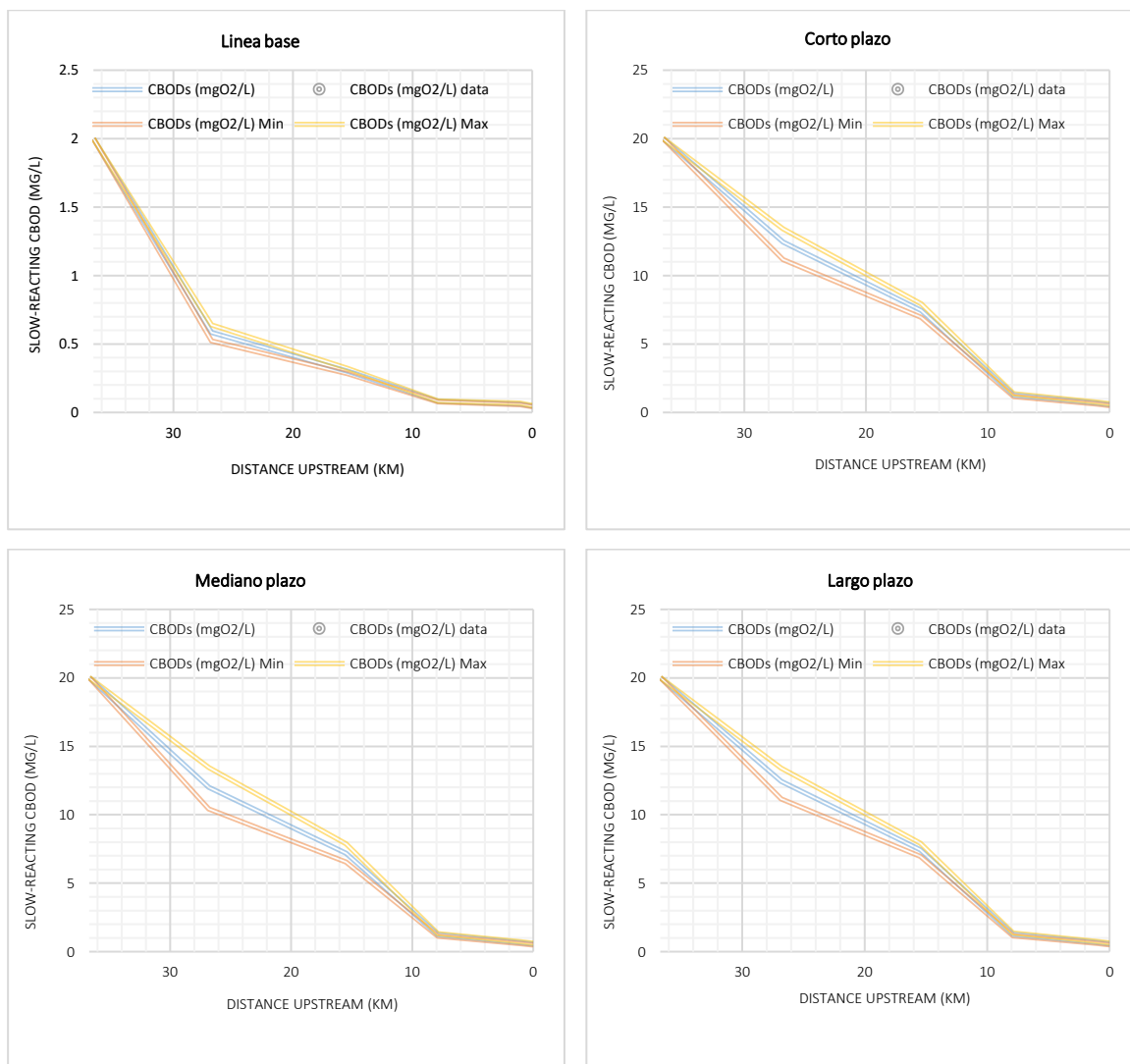
Fuente: (Minambiente, 2014).

Dadas las dificultades mencionadas con relación a la baja disponibilidad de información y lo que esto implica, cada escenario fue simulado bajo una única condición. Al no tener información representativa de los vertimientos, se utilizaron valores típicos provenientes de la normatividad debido a la necesidad de evaluar las variaciones en la calidad de estas fuentes que a su vez modifican la calidad del cuerpo de agua receptor.

3.2.3.2 Resultados de la modelación por escenarios.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los diferentes parámetros considerados en el modelo simulado para el río Chiriaimo para escenarios de línea base, corto plazo, mediano plazo y largo plazo.

Grafica N° 3. Comportamiento de la DBO lenta para los 4 escenarios de modelación.



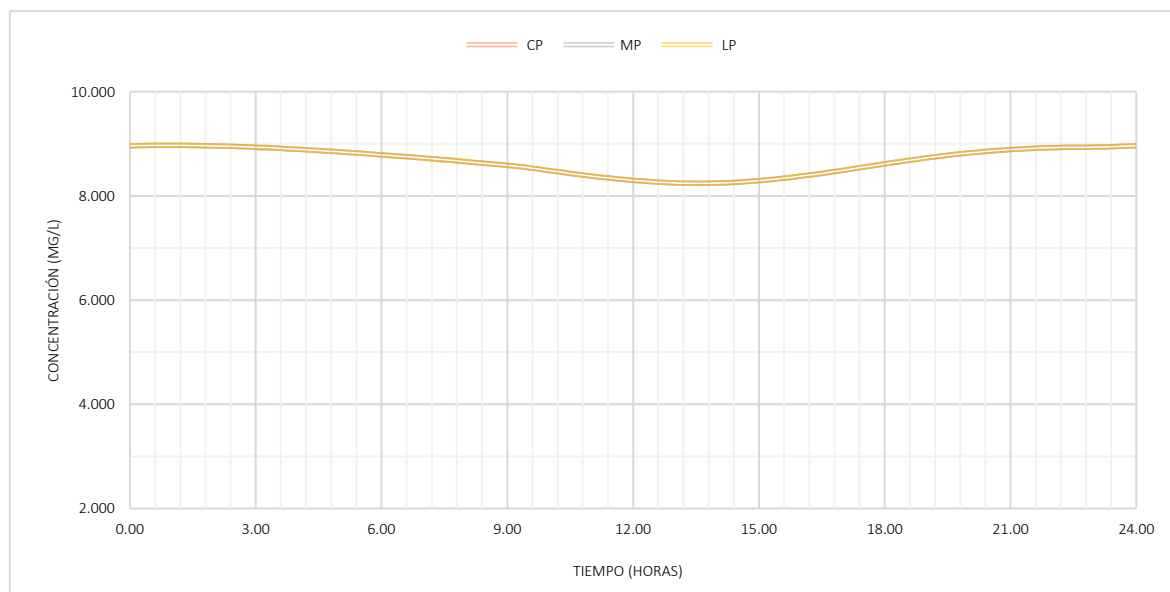
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior gráfica se observa el comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno -DBO lenta a lo largo de los tramos de monitoreo que se consideraron en la modelación del río Chiriaimo, donde contemplaron cuatro (4) escenarios de modelación para línea base, corto plazo, mediano plazo y largo plazo (una categoría menos en los objetivos de calidad del agua).

La tendencia de la DBO lenta para los cuatro (4) escenarios es de carácter descendente, lo cual se puede notar a partir del flujo aguas arriba. La actividad antrópica y los valores DBO son directamente proporcionales, es decir, que existe la posibilidad de que el río no haya sido intervenido en gran magnitud por el hombre, en especial en temas de vertimientos de aguas residuales.

Los resultados obtenidos para los 4 escenarios indican que, si la tendencia cambia y comienzan a aumentar los valores de DBO lenta, se debe a que se realizan actividades anexas que no se contemplaron en los objetivos de calidad a modelar actualmente.

Grafica N° 4. Concentración de la DBO lenta con respecto al tiempo

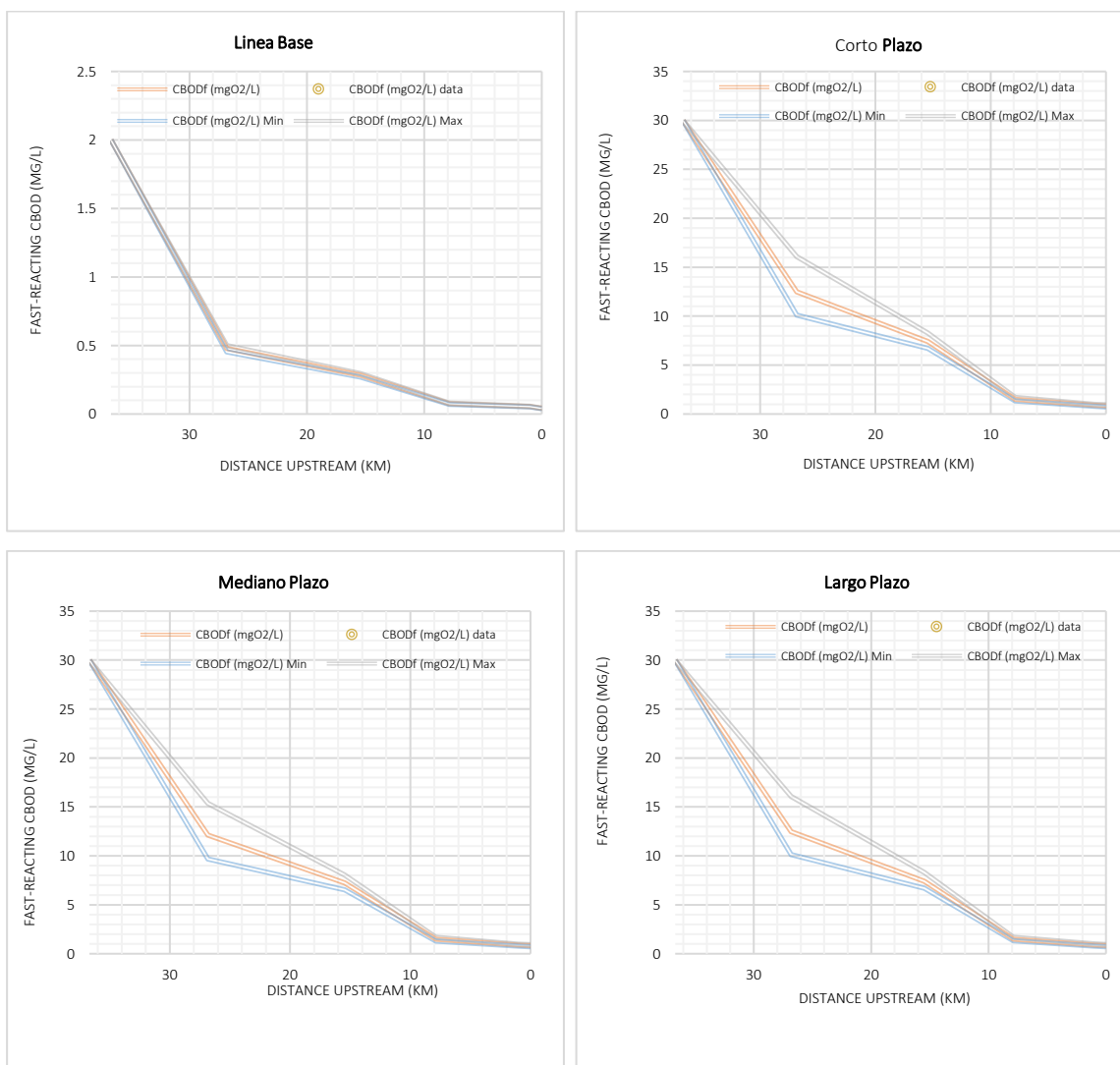


Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior gráfica se observa el comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno -DBO Lenta con respecto al tiempo a lo largo de los tramos de monitoreo que se consideraron en la modelación del río Chiriamo, se contemplaron 3 escenarios de modelación para corto plazo, mediano plazo y largo plazo (una categoría menos en los objetivos de calidad del agua).

La tendencia de la DBO lenta para los tres (3) escenarios de modelación se mantiene, no hubo gran variación de valores de dicho parámetro con respecto a las 24 horas que se tuvieron en cuenta en el modelo. Los resultados obtenidos indican que las pequeñas variaciones que se generan en la DBO Lenta están relacionadas con la temperatura, a las 12:00 horas disminuyó, mientras que al atardecer a partir de las 18:00 horas comenzó a tener un aumento leve.

Grafica N° 5. Comportamiento de la DBO rápida para los 4 escenarios de modelación.



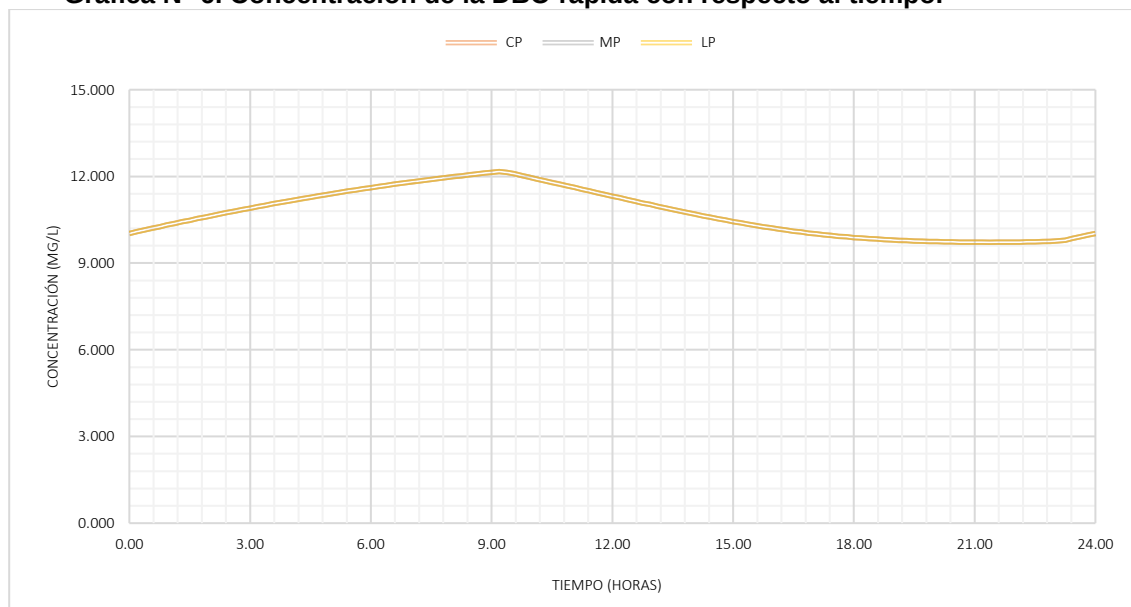
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior gráfica se observa el comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno -DBO rápida a través de todos de los tramos de monitoreo que se consideraron en la modelación del río Chiriaimo, se contemplaron 4 escenarios de modelación para línea base, corto plazo, mediano plazo y largo plazo (una categoría menos en los objetivos de calidad del agua).

La tendencia de la DBO rápida para los 4 escenarios es de carácter descendente, lo cual se puede notar a partir del a partir del flujo aguas arriba (kilómetro 30). En la época actual, disminuye más apresuradamente y por ende llega más rápido a aguas

abajo del rio. Además, en el escenario a largo plazo se asimila dicho parámetro de manera más lenta.

Grafica N° 6. Concentración de la DBO rápida con respecto al tiempo.

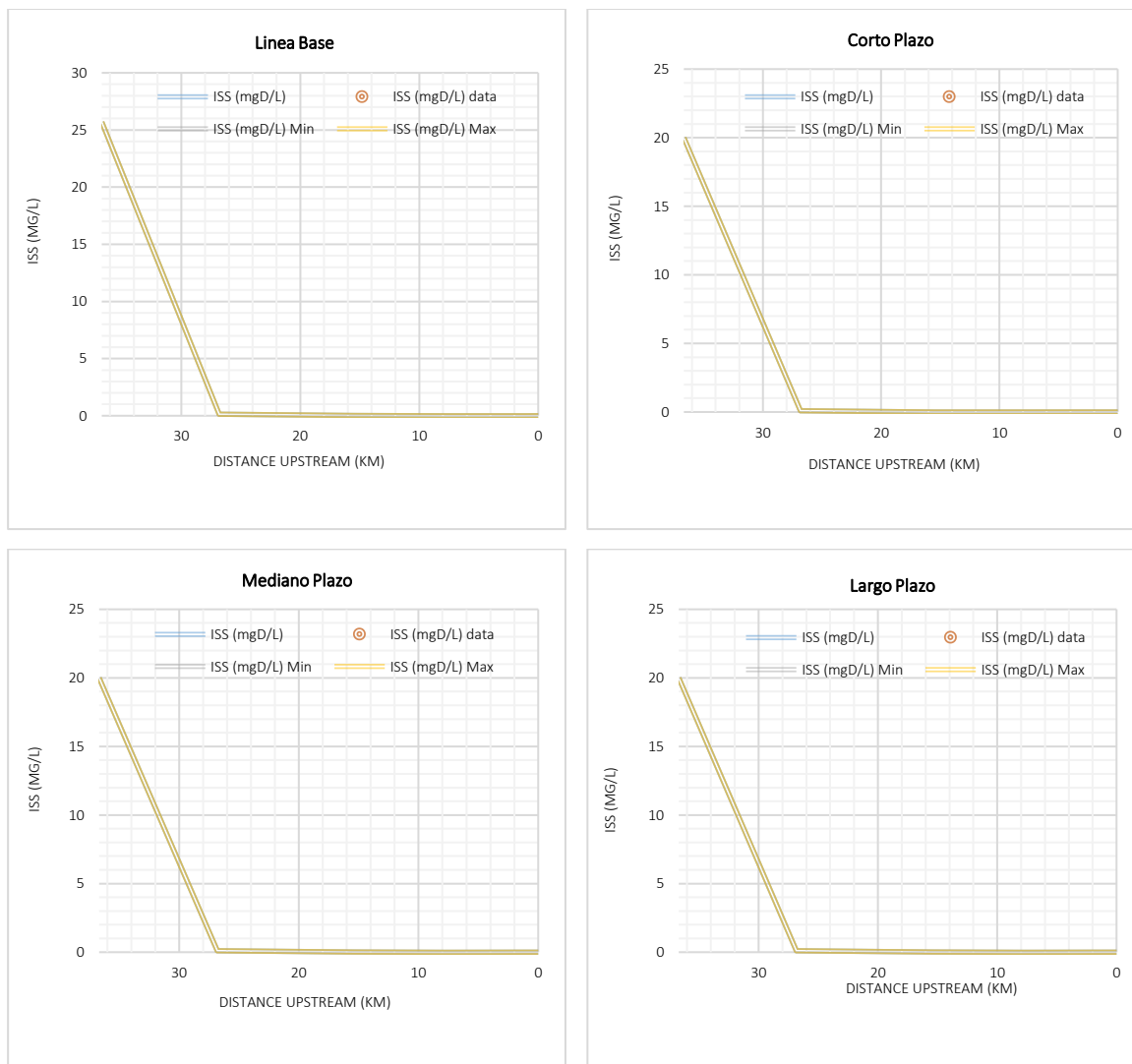


Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior grafica se muestran los valores de la Demanda Biológica de Oxígeno -DBO rápida con respecto al tiempo, tomando como referencia tres escenarios de modelación a corto, medio y largo plazo.

De acuerdo a lo resultados obtenidos se puede concluir que la temperatura tiene incidencia directa con respecto a los valores de concentración de DBO rápida, a las 9:00 horas se presentó el pico máximo de concentración de los valores obtenidos en la modelación a lo largo del tramo del río Chiriaimo, una causa de esto puede deberse a que los procesos de degradación de materia orgánica se generan con mayor rapidez a medida que aumenta la temperatura. Luego de este pico los valores comenzaron a disminuir hasta llegar a sus condiciones iniciales.

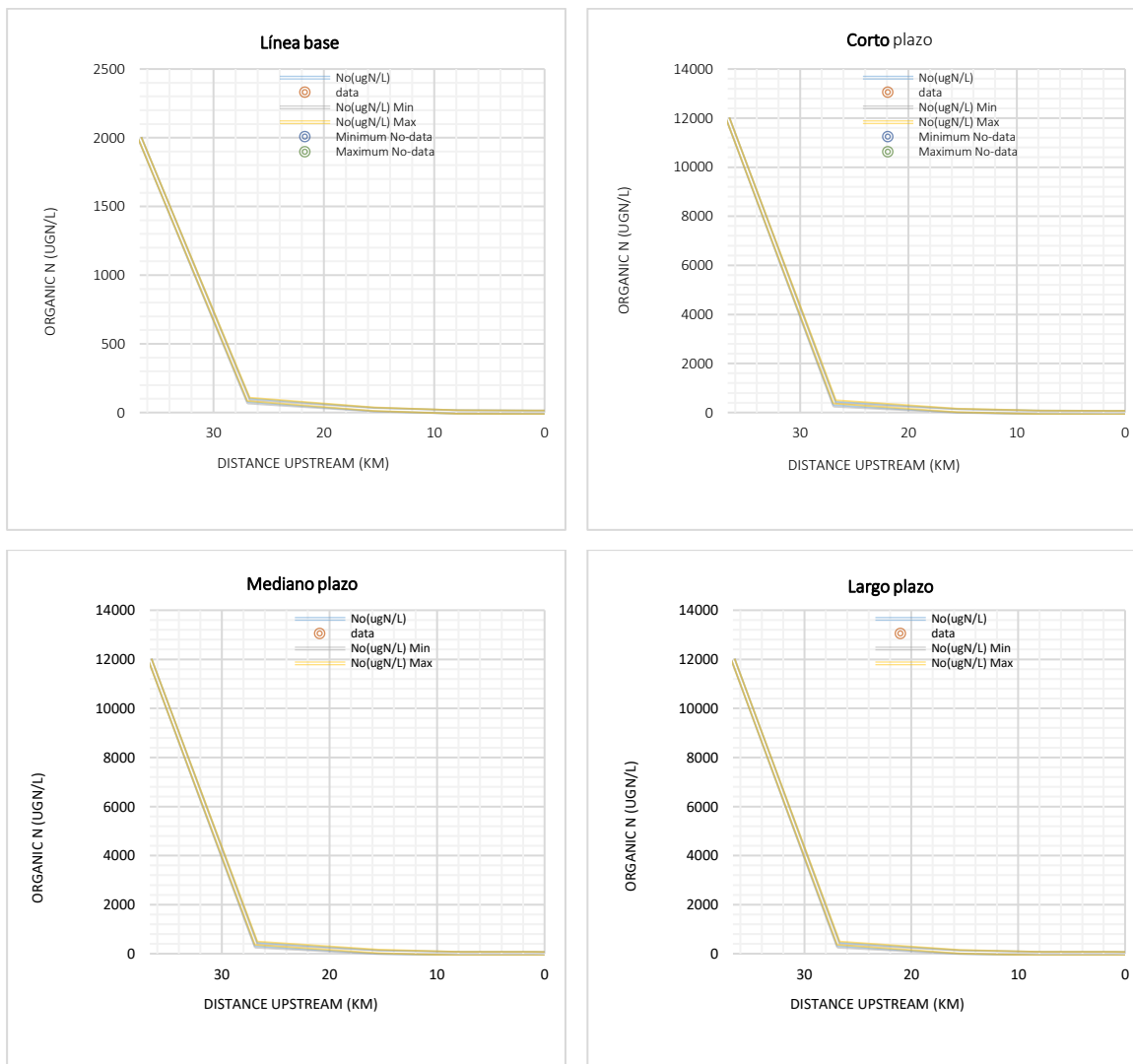
Grafica N° 7. Comportamiento de sólidos suspendidos para los 4 escenarios de modelación.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior gráfica se presentan los valores para los sólidos suspendidos teniendo en cuenta cuatro (4) escenarios de modelación para línea base, corto plazo, mediano plazo y largo plazo. Con los resultados obtenidos, se observa que la concentración para los sólidos suspendidos tiende a disminuir en los cuatro (4) escenarios. Se hace énfasis a largo plazo, debido a que se presenta una ligera variación en la concentración entre los kilómetros 30 y 28, es de decir, por encima del tramo medio del río. Los resultados obtenidos en los monitoreos para periodo seco y lluvioso no mostraron mayor variación, por este motivo se mantuvieron las concentraciones similares para el corto y mediano y largo plazo, por esto motivo no resulta gráficamente representativo la comparación de los sólidos suspendidos versus el tiempo en horas.

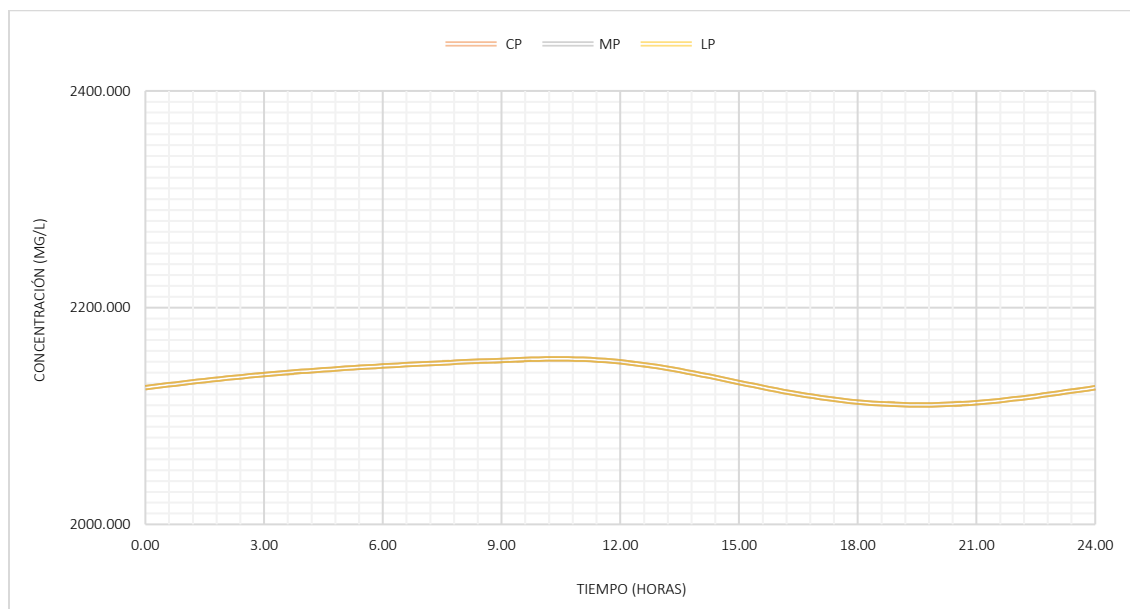
Grafica N° 8. Comportamiento del nitrógeno para los 4 escenarios de modelación.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior gráfica se muestran los valores del Nitrógeno teniendo en cuenta cuatro (4) escenarios de modelación para línea base, corto plazo, mediano plazo y largo plazo. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede observar que el resultado en los cuatro casos fue el mismo, ya que la tendencia de las concentraciones de nitrógeno es a la disminución. A partir del kilómetro 28 aproximadamente en el tramo medio del río, las concentraciones de nitrógeno son muy cercanas a cero, por lo que se puede inferir que la actividad antrópica se genera aguas arriba de este.

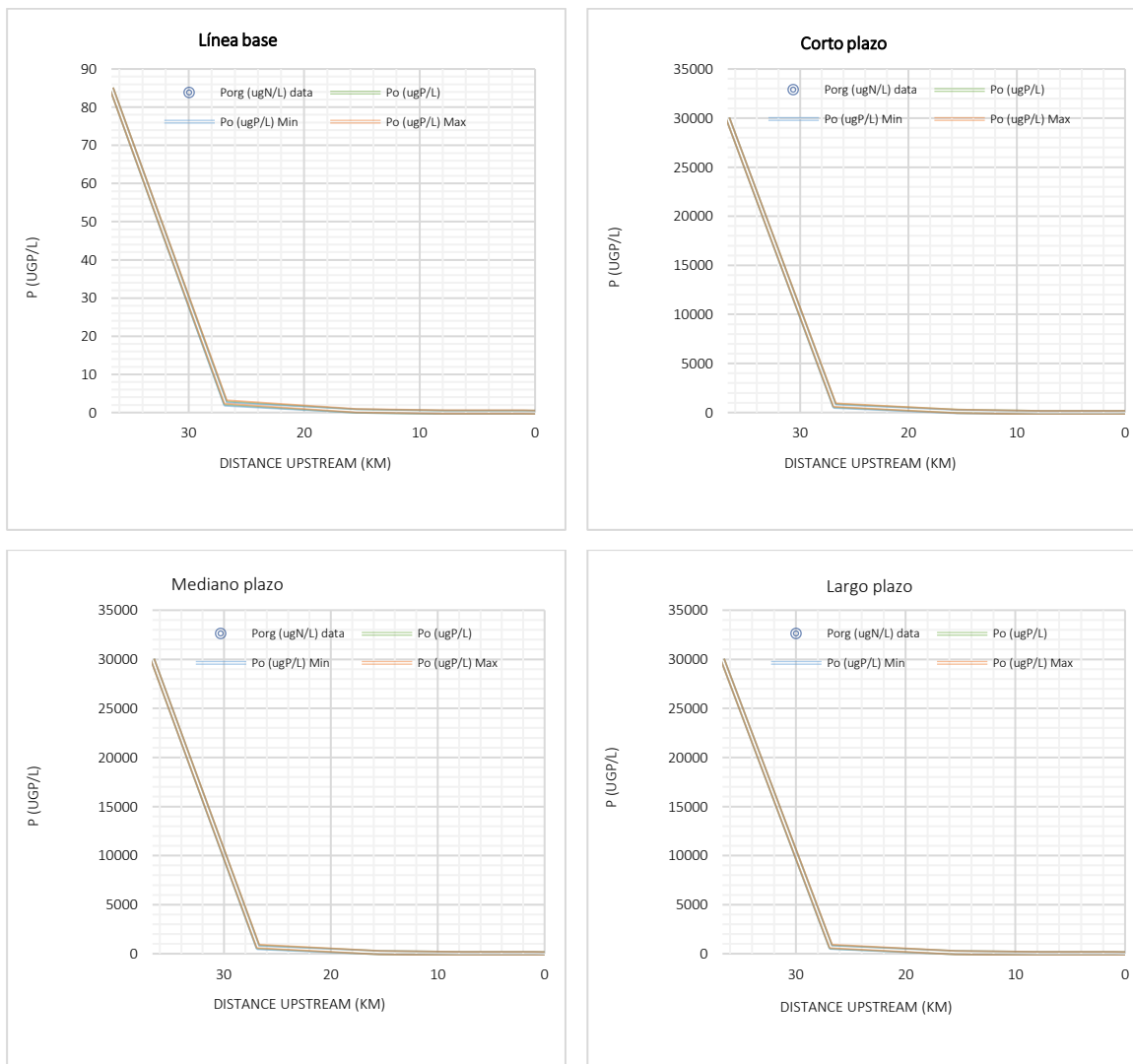
Grafica N° 9. Concentración del nitrógeno con respecto al tiempo



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la gráfica anterior se observan los valores del nitrógeno con respecto al tiempo, contemplando tres (3) escenarios de modelación a corto, mediano y largo plazo. De los resultados obtenidos se distingue que la concentración del nitrógeno se mantiene en un rango de 2000 - 2200 mg/l y existen variaciones mínimas en periodos de tiempo donde se presentan altas temperaturas. A las 12:00 horas la concentración del nitrógeno aumentó, lo que pudo deberse a cualquier evento externo presentado en el río como una descarga durante ese lapso de tiempo.

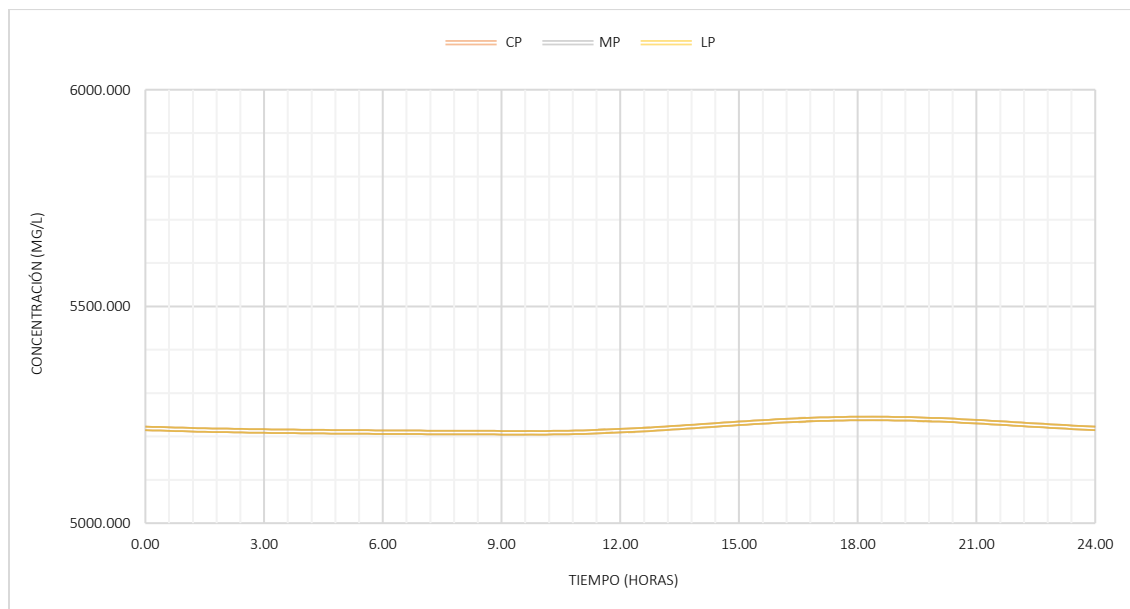
Grafica N° 10. Comportamiento del fósforo para los 4 escenarios de modelación.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la anterior gráfica se muestran los valores del fósforo teniendo en cuenta los cuatro escenarios de modelación para línea base, corto plazo, mediano plazo y largo plazo. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede observar que el resultado en los cuatro (4) casos fue el mismo, la tendencia de las concentraciones de fósforo es a la disminución. A partir del kilómetro 28 aproximadamente en el tramo medio del río, las concentraciones de fósforo son muy cercanas a cero, por lo que se puede inferir que la actividad antrópica se genera aguas arriba de este.

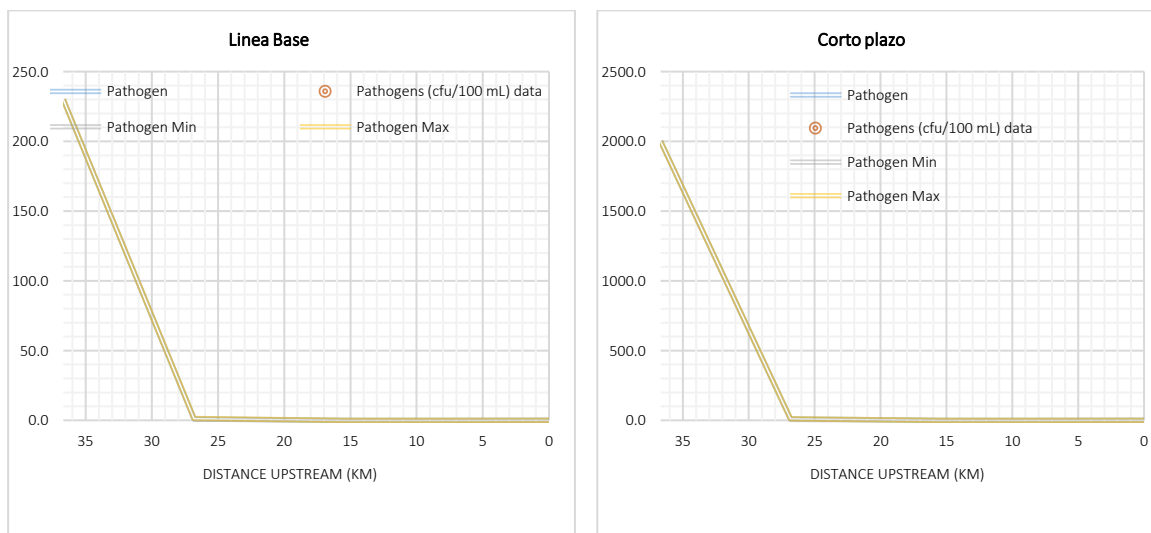
Grafica N° 11. Concentración del fósforo con respecto al tiempo



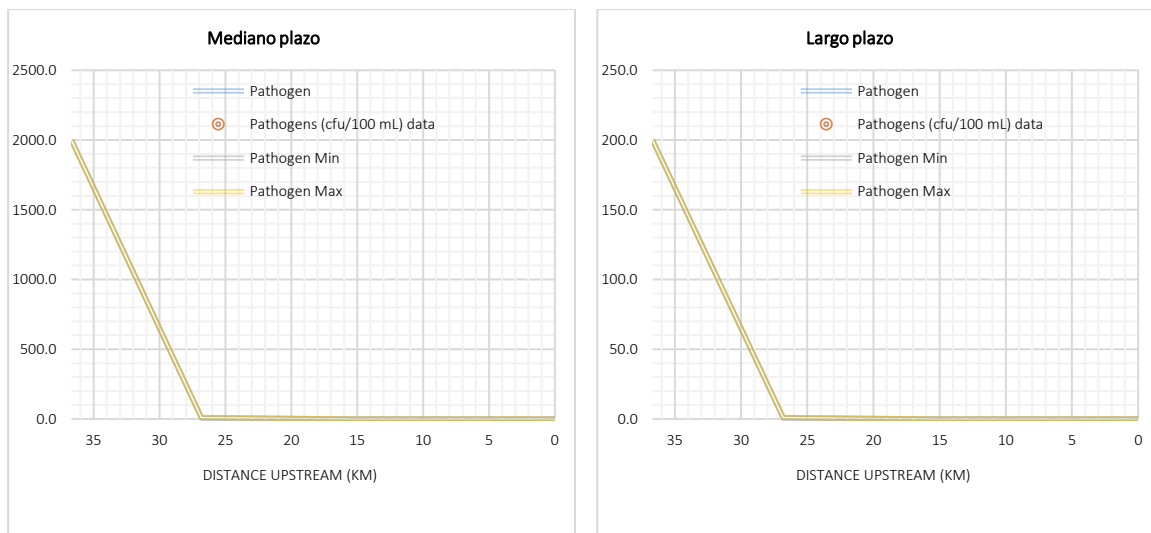
Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la gráfica anterior se observan los valores del fósforo con respecto al tiempo, contemplando tres (3) escenarios de modelación a corto, mediano y largo plazo. De los resultados obtenidos se observa que la concentración del fósforo se mantiene en un rango de 5000- 5500 mg/l y existen variaciones insignificantes.

Grafica N° 12. Comportamiento de patógenos para los 4 escenarios de modelación.



FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO DEL RIO CHIRIAIMO EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, DEPARTAMENTO DEL CESAR

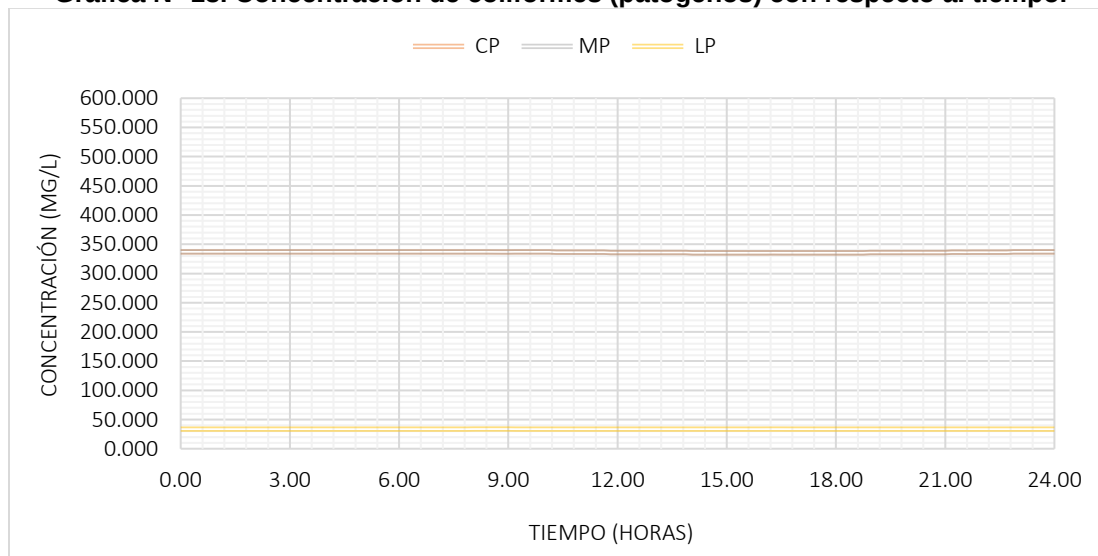


Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la gráfica anterior se observan los valores de coliformes (patógenos) teniendo en cuenta cuatro escenarios de modelación que son: línea base, corto plazo, mediano plazo, largo plazo, para todos los tramos del río Chiriaimo. De acuerdo a los resultados obtenidos, las concentraciones de los coliformes (patógenos) muestran una tendencia decreciente y son muy cercanos a cero a partir del kilómetro 28 aproximadamente en el tramo medio del río.

Es posible que estos hayan disminuido debido a la capacidad de autorregulación del río o los vertimientos de aguas residuales domésticas no fueron excesivos porque la cantidad de coliformes es directamente proporcional a estos.

Grafica N° 13. Concentración de coliformes (patógenos) con respecto al tiempo.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

La gráfica anterior representa las concentraciones de coliformes con respecto al tiempo teniendo en cuenta tres escenarios de modelación a corto, mediano y largo plazo. Los resultados obtenidos no mostraron mayor variación, por este motivo se mantuvieron las concentraciones iguales para el corto y mediano plazo, a excepción del largo plazo, debido a que los objetivos de calidad disminuyeron una categoría, por tanto, los límites con respecto a la concentración también lo hicieron. Para corto y mediano plazo la concentración se mantuvo en un rango de 300-350 mg/L y para largo plazo la concentración se mantuvo en un rango de 0-50 mg/L.

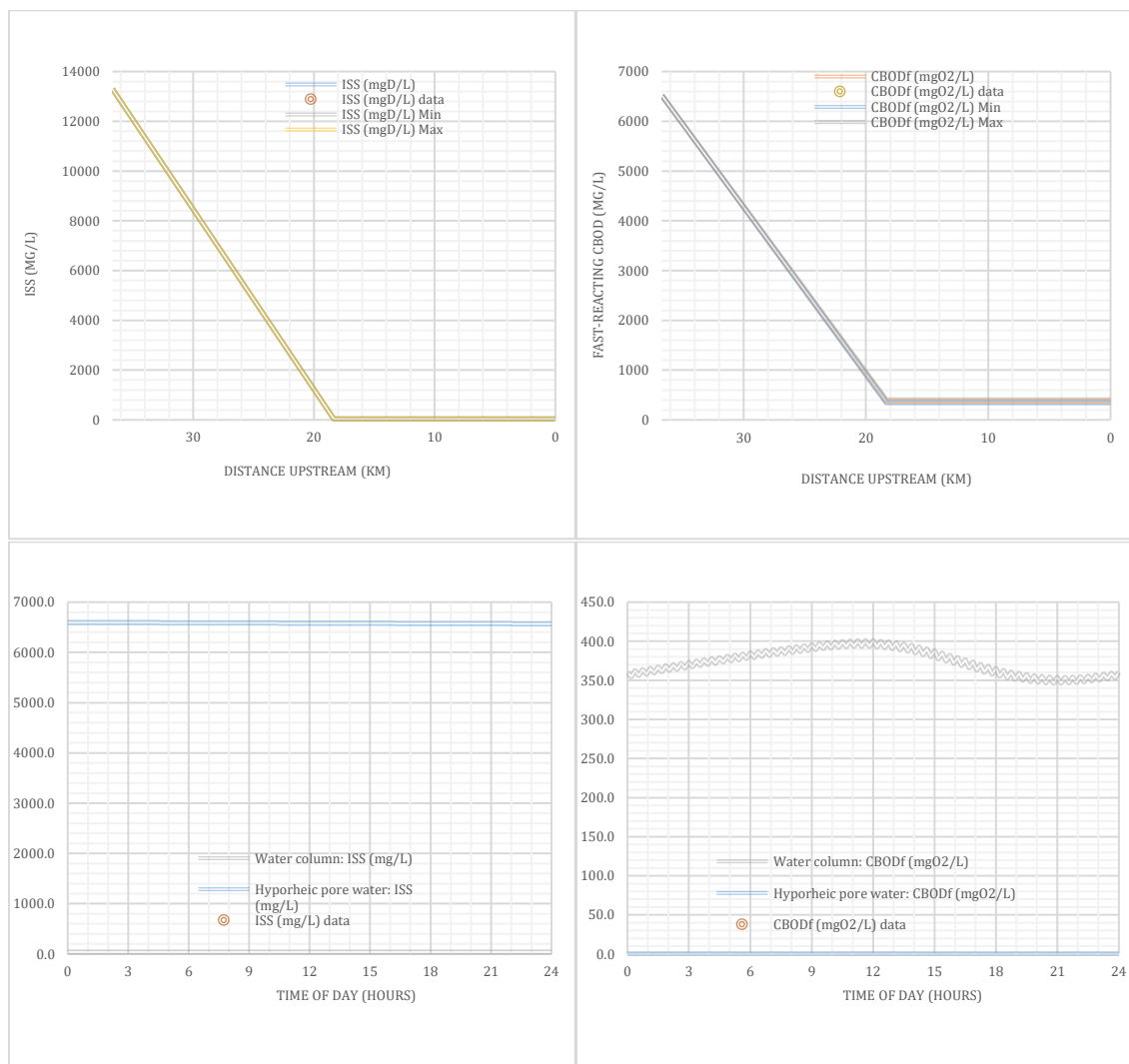
En las siguientes gráficas, se presenta la modelación de los contaminantes para carga máxima de los parámetros sólidos suspendidos y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) realizando la variación de los caudales y concentraciones de los parámetros bases (pH, temperatura, alcalinidad, conductividad). Los valores de carga máxima, fueron extraídos del Acuerdo No. 002 de 2019 de la Corporación Autónoma Regional del Cesar - CORPOCESAR, exactamente las cargas correspondientes al Tramo 81. San Diego – Subtramo del Río Chiriaoimo. Dichas cargas fueron balanceadas de tal forma que se obtuvieron las concentraciones en las unidades requeridas para los datos de entrada del modelo. Con el fin de obtener concentraciones máximas debido a que se están manejando cargas máximas, se realizaron pruebas a diferentes caudales, con el fin de obtener datos cercanos a la realidad, lógicamente los valores de carga máxima pueden ser mucho más elevados que cualquier representación gráfica de los cuatro escenarios. A continuación, se pueden observar los valores típicos utilizados para la modelación de las cargas máximas:

Tabla N° 22. Valores típicos utilizados para la modelación de las cargas máximas.

Parámetro	Carga (Kg/Año)	Concentración (mg/L)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	9.576,83	6.520,00
Sólidos Suspendidos Totales	19.535,37	13.300,00

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Grafica N° 14. Comportamiento de Sólidos Suspendedos y DBO para carga máxima.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

De la gráfica anterior, se puede concluir, que a pesar de presentarse valores elevados de la sólidos suspendidos a lo largo del río Chiriamo, el comportamiento de las concentraciones es muy similar a las obtenidas en los cuatro (4) escenarios de modelación antes descritos, en donde normalmente los valores del parámetro a su punto más bajo entre los kilómetros 25 y 18, lo cual significa que disminuye la disposición de sólidos en el tramo correspondiente a dicha distancia; el promedio de las concentraciones de los sólidos suspendidos a través del tiempo decrece ligeramente, aunque no es una variación significativa.

Los valores de las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno a lo largo del río Chiriaimo para las variaciones en las cargas máximas disminuyen notablemente al igual que en el resto de los escenarios expuestos con anterioridad, lo cual puede deberse principalmente a la baja contaminación por el vertido de materia orgánica en el recurso hídrico; cabe resaltar que la demanda bioquímica de oxígeno en función del tiempo presenta variaciones leves llegando a aumentos aproximados de 50 mg/L pero siempre manteniéndose en un rango entre 350 mg/L y 400 mg/L.

3.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES DE LOS CUERPOS DE AGUA OBJETO DE ORDENAMIENTO

La identificación de los usos potenciales de los cuerpos de agua fue establecida considerando el orden de prioridad definido en el Decreto 1076 de 2015 y la distribución de los usos actuales del recurso hídrico en la cuenca, así como también la información disponible en el Plan de Ordenamiento Territorial y el Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la Subcuenca Hidrográfica del río Chiriaimo.

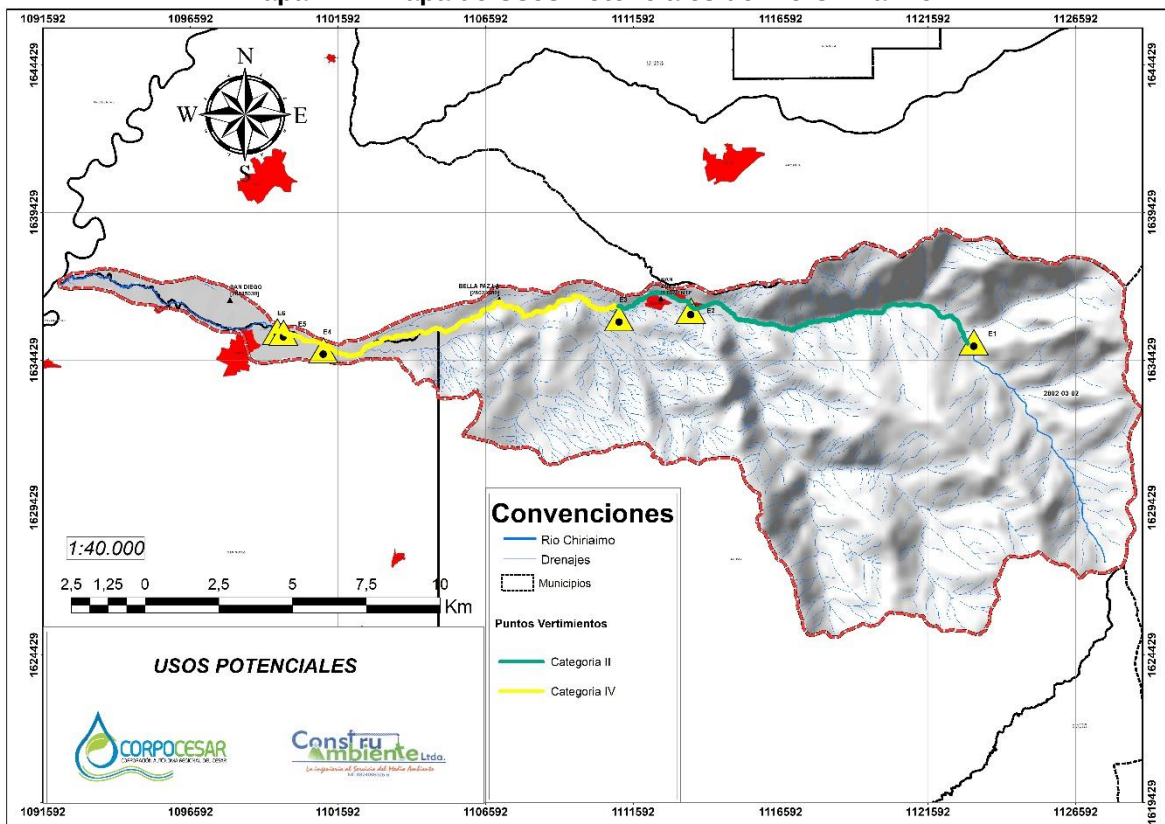
Tabla N° 23. Usos potenciales de acuerdo a los objetivos de calidad.

USO POTENCIAL			
TRAMO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	USO
E1 – E2	Puente el Tambo – Cancha la Tricolor	Doméstico, pecuario, agrícola y recreativo	II
E2 – E3	Cancha la Tricolor – Puente la Vega	Doméstico, pecuario, agrícola y recreativo	II
E3 – E4	Puente la Vega – Finca la Parrilla	Doméstico, pecuario y agrícola	IV
E4 – E5	Finca la Parrilla – La Estancia	Doméstico, pecuario y agrícola	IV
E5 – E6	La Estancia – Inicio de muro de Contención	Doméstico, pecuario y agrícola	IV

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Es importante tener en cuenta que los Usos Potenciales varían dependiendo de la ubicación del tramo, lo que se debe a que aguas arriba la contaminación es menor en comparación con los tramos que se ubican aguas abajo ya que el cuerpo de agua experimenta mayores intervenciones de carácter antrópico. Lo anterior se refleja en que para los tramos E1-E2 y E2-E3, la categoría es menos restrictiva (categoría II) al encontrarse ubicadas aguas arriba y menos expuestas a alteraciones humanas. En la siguiente figura se encuentran representados geoespacialmente los diferentes usos potenciales definidos para el río Chiriaimo de acuerdo a los objetivos de calidad:

Mapa N° 1. Mapa de Usos Potenciales del río Chiriaimo.



Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

3.4 DEFINICIÓN O AJUSTE DE METAS QUINQUENALES DE REDUCCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES.

3.4.1 EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE CALIDAD EXISTENTES EN EL MARCO DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO CHIRIAIMO.

La carga contaminante presente en el río Chiriaimo se presenta en las siguientes tablas para las dos campañas de monitoreo en las diferentes estaciones:

La DBO se mantuvo dentro de los niveles permisibles para corrientes de baja contaminación por materia orgánica, en la siguiente tabla se presenta la proyección de la carga contaminante de cada estación monitoreada:

Tabla N° 24. Cargas contaminantes río Chiriaimo DBO

ESTACION	CAMPAÑA DE MONITOREO No 1		CAMPAÑA DE MONITOREO No 2	
	DBO (mg/L)	Carga contaminante DBO (Kg/año)	DBO (mg/L)	Carga contaminante DBO (Kg/año)
E-1	2	22.705.92	2	14.506.56
E-2	2	23.967.36	2	23.336.64
E-3	2	34.058.88	2	26.490.24
E-4	2	54.872.64	2	25.859.52
E-5	2	2.522.88	2	12.61.44
E-6	2	1.261.44	2	1.892.16

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En la determinación de sólidos suspendidos totales (SST) es de gran valor en el análisis de aguas contaminadas y es uno de los principales parámetros para evaluar en las aguas residuales domésticas (Sawyer & McCarty, 2001), a continuación se presentan las tablas de los puntos de monitoreo ubicados en la corriente hídrica del río Chiriaimo, los cuales sobrepasan los niveles exigidos por la autoridad ambiental en cuanto al Objetivo de Calidad para concentraciones máximas en las corrientes receptoras de vertimientos de centros poblados, la diferencia entre los resultados para la segunda jornada de monitoreo y la primera pudo deberse posiblemente a las lluvias presentadas días antes de realizar la jornada de medición.

Tabla N° 25. Cargas contaminantes rio Chiriaoimo SST

ESTACION	CAMPAÑA DE MONITOREO No 1		CAMPAÑA DE MONITOREO No 2	
	SST (mg/L)	Carga contaminante SST (Kg/año)	SST (mg/L)	Carga contaminante SST (Kg/año)
E-1	25.7	29.1771.07	10.2	73.983.46
E-2	27.4	32.8352.83	7.5	87.512.40
E-3	21	35.7618.24	7.9	104.636.45
E-4	14	38.4108.48	6.59	85.207.12
E-5	5	6.307.20	5	3.153.60
E-6	10	6.307.20	5	4.730.40

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Tabla N° 26. Proyección de cargas contaminante con base en el acuerdo 002 de marzo de 2019.

CRONOGRAMA DE CARGAS CONTAMINANTES 2019-2023												
TRAMO Y/O FUENTE HIDRICA SUPERFICIA	VERTIME NTO	USUARIO APORTANTE DE CARGAS PUNTUALES (DOMESTICA/ NO DOMESTICA)	AÑO 1 – 2019		AÑO 2 – 2020		AÑO 3 – 2021		AÑO 4 – 2022		AÑO 5 – 2023	
			DBO	SST	DBO	SST	DBO	SST	DBO	SST	DBO	SST
			META KG/AÑO	META KG/AÑO	META KG/AÑO	META KG/AÑO	META KG/AÑO	META KG/AÑO	META KG/AÑO	META KG/AÑO	META KG/AÑO	META KG/AÑO
TOTAL TRAMO												
TRAMO No.81 SANDIEGO- SUBTRAMO - RIOCHIRIAIM O	CORREGI MIENTO DE SAN JOSE DE ORIENTE	MUNICIPIO DE LA PAZ	9.576,83	19.535, 37	9.325,4 4	19.022, 57	9.080,6 5	18.523, 23	8.842,2 8	18.036, 99	8.610,1 7	17.563, 52
	PTAP LA PAZ	EMPAZ E.S.P	1.309,18	10.873, 22	1.274,8 1	10.587, 80	1.241,3 5	10.309, 87	1.208,7 6	10.039, 24	1.177,0 3	9.775,7 1
	PTAP SAN DIEGO	EMPOSANDI EGO E.S.P	1.309,18	10.873, 22	1.274,8 1	10.587, 80	1.241,3 5	10.309, 87	1.208,7 6	10.039, 24	1.177,0 3	9.775,7 1

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

3.4.2 Objetivo de Calidad DBO

Tabla N° 27. Objetivos de calidad – Corto plazo 0 -2 años

TRAMO	DBO5 mg/L
E-1 – E2	20
E-2 – E3	>30
E-3 – E4	30
E-4 – E5	30
E-5 – E6	30

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Tabla N° 28. Objetivos de calidad – Mediano plazo 2 – 5 años

TRAMO	DBO5 mg/L
E-1 – E2	20
E-2 – E3	>30
E-3 – E4	30
E-4 – E5	30
E-5 – E6	30

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Tabla N° 29. Objetivos de calidad – Largo plazo 5 – 10 años

TRAMO	DBO5 mg/L
E-1 – E2	20
E-2 – E3	30
E-3 – E4	30
E-4 – E5	30
E-5 – E6	30

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

3.4.3 Objetivo de Calidad SST

Tabla N° 30. Objetivos de calidad – Corto plazo 0 -2 años

TRAMO	Solidos Suspendidos Totales mg/L
E-1 – E2	20
E-2 – E3	>30
E-3 – E4	30
E-4 – E5	30
E-5 – E6	30

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Tabla N° 31. Objetivos de calidad – Mediano plazo 2 – 5 años

TRAMO	Solidos Suspendidos Totales mg/L
E-1 – E2	20
E-2 – E3	>30
E-3 – E4	30
E-4 – E5	30

E-5 – E6	30
-----------------	----

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

Tabla N° 32. Objetivos de calidad – Largo plazo 5 – 10 años

TRAMO	Solidos Suspendidos Totales mg/L
E-1 – E2	20
E-2 – E3	30
E-3 – E4	30
E-4 – E5	30
E-5 – E6	30

Fuente: Construambiente & Corpocesar, 2019.

En conclusión al análisis de las cargas contaminantes presentes en la corriente hídrica río Chiriamo, se pudo establecer a través de la modelación de calidad del agua, que las proyecciones del acuerdo 002 de Corpocesar se ajusta a la capacidad de asimilación de los contaminantes DBO y SST, sin embargo debe monitorearse durante todo el periodo para garantizar que lo planteado en los diferentes escenarios se cumpla.

3.5 ARTICULACIÓN CON EL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS – POMCA

Actualmente no se tiene POMCA aprobado para la microcuenca del Río Chiriamo; no obstante se propone que el Plan Operativo de la microcuenca Hidrográfica del Río Chiriamo se adapte a las diferentes actividades de manejo, con las cuales se pretende llegar a la creación del escenario prospectivo, el cual permitirá el desarrollo de actividades productivas acordes tanto con las necesidades de la población allí asentada, como con el sostenimiento de los recursos naturales presentes en la microcuenca. Pretende así mismo, abordar una serie de acciones de intervención ambiental y social que se definen y prescriben, pretende involucrar todas las componentes o subsistemas de la microcuenca: físico, biótico y socioeconómico, cuya finalidad única es orientarlo hacia la conservación de los recursos naturales renovables manteniendo y mejorando las condiciones de vida de las comunidades asentadas en la microcuenca.

3.6 PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO AL RECURSO HÍDRICO

En este capítulo, se describe las consideraciones que dan lugar al programa de seguimiento y monitoreo del recurso hídrico en la micromicrocuenca del río Chiriaimo. Se presentan los factores que deben tenerse en cuenta en la red de monitoreo para las futuras jornadas de medición de calidad del agua, de tal forma que la recopilación de información sea significativa no solo para el seguimiento de los objetivos de calidad de agua definidos en las fuentes priorizadas de la microcuenca, sino también para el continuo mejoramiento de la herramienta de simulación de calidad del agua empleada en el marco de este estudio.

3.6.1.1 Seguimiento Espacial De La Calidad Del Agua (Red De Monitoreo)

En el programa de seguimiento y monitoreo de calidad del agua, se seleccionaron sitios que representan de forma adecuada el cambio de calidad del agua a lo largo del cuerpo hídrico principal y los tramos de los afluentes priorizados. Se consideran puntos que permitan identificar el efecto del aporte de cargas contaminantes de los tributarios y vertimientos puntuales. Además, se tiene en cuenta, criterios como:

- Localización y acceso a los sitios de monitoreo.
- Cambios importantes en la geomorfología y dinámica de los cuerpos de agua (cambios de pendiente, tipo de geometría hidráulica).
- Vertimientos significativos de ARD y ARI.
- Tributarios principales al cuerpo de agua principal.
- Red de monitoreo de calidad del agua existente.

En la microcuenca del río Chiriaimo se definieron dos redes de monitoreo: la primera, tiene con el objetivo principal, hacer un seguimiento a los objetivos de calidad (ODC) establecidos en los tramos priorizados y la segunda red, tiene como objetivo principal, realizar un monitoreo completo, no solo a los puntos de seguimiento de los ODC sino también, la recopilación de información de calidad del agua en las principales fuentes abastecedoras de la microcuenca e información necesaria para continuar con la implementación del modelo de calidad del agua Qual2kw. Igualmente, se define una red de monitoreo y seguimiento a los principales vertimientos realizados en la microcuenca del río Chiriaimo.

3.6.1.2 Red De Monitoreo Y Seguimiento De Los Objetivos De Calidad (Odc)

Para realizar el seguimiento de los ODC, se definió un total de 6 sitios de monitoreo, adicionando los 3 vertimientos representativos sobre la corriente hídrica (centros poblados san José de oriente y Betania, matadero san José de oriente)

3.6.1.3 Red De Monitoreo Del Plan De Ordenamiento Del Recurso Hídrico.

Para realizar un monitoreo completo de la calidad del agua en la microcuenca del río Chiriaimo, no solo en los sitios de seguimiento de los ODC, sino también, recopilando la información de las principales fuentes abastecedoras de la microcuenca e información para continuar la implementación del modelo numérico de calidad del agua Qual2kw, en este sentido se incluire los tributarios principales.

3.6.1.4 Red De Monitoreo Y Seguimiento A Los Vertimientos Líquidos Puntuales

Para el seguimiento de la calidad del agua en la microcuenca del río Chiriaimo, no solo se debe realizar un seguimiento al agua superficial, sino también, a los principales vertimientos líquidos puntuales que se producen de aguas residuales domésticas y no domésticas en la microcuenca. Para lo cual se recomienda realizar monitoreo y seguimiento a los principales usuarios generadores de cargas contaminantes (kg/día) de sólidos suspendidos totales (SST) y de DBO5.

3.6.1.5 Seguimiento Temporal De La Calidad Del Agua (Frecuencia De Monitoreo)

Para realizar el adecuado seguimiento temporal de la calidad del agua, se proponen dos escenarios o frecuencias diferentes, de acuerdo a las dos redes de monitoreo propuestas. El primer escenario corresponde a una frecuencia mínima para hacer seguimiento a los objetivos de calidad en los tramos priorizados y el segundo corresponde a una frecuencia óptima para el seguimiento de la red de monitoreo del plan de ordenamiento del recurso hídrico.

3.6.1.6 Frecuencia Para La Red De Monitoreo Y Seguimiento De Los Objetivos De Calidad (Odc).

Para llevar a cabo un adecuado seguimiento de los objetivos de calidad en la microcuenca del río Chiriaimo, se recomienda realizar como mínimo dos (2) monitoreos al año (frecuencia semestral), teniendo en cuenta la variabilidad hidroclimática de la microcuenca. Para esto, se recomienda realizar un muestreo en la época de caudales mínimos y el segundo en la época de caudales máximos.

3.6.1.7 Frecuencia Para La Red De Monitoreo Del Plan De Ordenamiento Del Recurso Hídrico.

Para llevar a cabo la adecuada caracterización temporal de la calidad del agua en la microcuenca del río Chiriaimo, se recomienda realizar dos (2) muestreos al año con una frecuencia trimestral, teniendo en cuenta la variabilidad hidroclimática de la

microcuenca. Para esto, se recomienda realizar un muestreo en la época de caudales máximos, un segundo muestreo en la época de caudales mínimos

3.6.1.8 frecuencia para la red de monitoreo y seguimiento a los vertimientos líquidos puntuales

Para conocer la carga contaminante producida por los usuarios principales generadores de vertimientos de aguas residuales domésticas y no domésticas, se recomienda realizar al menos dos (2) monitoreos al año (frecuencia semestral), en el mismo período en el que se realice el monitoreo y seguimiento de los objetivos de calidad (ODC).

3.6.1.9 Variables A Medir

La red definida debe garantizar que el seguimiento del recurso hídrico pueda hacerse en relación con la variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua, de acuerdo con el mínimo número de variables fisicoquímicas y microbiológicas establecidas en el Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015 en sus Artículos 2.2.9.7.6.2 y 2.2.3.3.1.7 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MinAmbiente 2015) y recomendadas en la Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MinAmbiente 2014).

El grupo de variables seleccionado también tiene en cuenta aquellas variables significativas de acuerdo con los análisis llevados a cabo para la estimación del índice de calidad del agua ICA (IDEAM 2011).

3.6.1.10 . Metodología De Muestreo

Para el muestreo de aguas superficiales y aguas residuales se tendrán en cuenta los lineamientos del Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico -RAS2000-, específicamente aquellos contenidos en el numeral E.2.3 (Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial 2000). Asimismo, se considera la Guía para monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas (IDEAM 2002).

3.6.1.11 .Toma De Muestras

La medición de parámetros en campo (pH, OD, Conductividad, Turbidez y Temperatura del agua) se realiza generalmente mediante equipos portátiles, tales como sondas multiparamétricas, pHmetros y conductímetros. Para la captura de los datos de campo es necesario seguir las indicaciones de revisión y calibración de los equipos y diligenciar completamente la información requerida en el formato de captura de datos de campo, el cual varía según el tipo de agua a muestrear. Ejemplos de formatos de captura de datos pueden ser consultados en la Guía para monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas (IDEAM 2002).

Todos los parámetros tomados en campo deberán quedar consignados en el formato de captura de datos de campo inmediatamente se realicen las correspondientes mediciones. Los parámetros insitu deberán ser tomados de las

muestras puntuales dado que la representatividad de éstos, se pierde si se toman de muestras compuestas o integradas.

En aguas superficiales el equipo (sondas multiparamétricas, pHmetros y conductímetros) se sumerge directamente en la mitad de la sección transversal, a una profundidad entre 20 y 30 cm de la superficie, en una zona de poca turbulencia y se procede a la lectura. Si esto no es posible, ya sea por la turbulencia o por la longitud del cable, se purga el muestreador, se toma una muestra, que se transfiere a un balde plástico evitando la agitación e inmediatamente se procede a la medición. Ya sea que se trate de un muestreo puntual, compuesto o integrado, se debe disponer de un recipiente de volumen suficiente que cuente con una válvula o llave inferior para fraccionar su contenido en muestras puntuales homogéneas (lo que se logra por agitación constante). Se recomienda organizar el total de botellas a llenar por tipo de analito. Las botellas deben estar marcadas con un rótulo en el que se indica código de campo (preestablecido de acuerdo con el formato de captura de datos), sitio de muestreo, el método analítico a que va destinada cada muestra, el tipo de muestreo (puntual, compuesto o integrado), la preservación necesaria y la identificación en caso de que se trate de muestra de control, blanco, testigo o muestra adicionada.

Tan pronto se ejecuta el muestreo y la integración, se purgan dos o tres veces todas las botellas con la muestra; desechando tales enjuagues y se procede a llenar las botellas, homogenizando el contenido del balde por agitación constante con una varilla de plástico (no agitar con la mano ni con cualquier objeto extraño ni por rotación del balde), evitando la inclusión de material u objetos flotantes y/o sumergidos y dejando un espacio libre de aproximadamente dos centímetros en el cuello de la botella. La muestra siempre se extrae del balde a través de la llave, nunca se deben sumergir las botellas en el mismo.

Las botellas para las muestras adicionadas, una vez purgadas, se llenan de la siguiente manera: se vierte en la botella el contenido del correspondiente frasco rotulado como “adicionado”, se enjuaga el frasco con tres porciones de la muestra transfiriendo los enjuagues a la botella y se llena la botella con muestra dejando un espacio libre de aproximadamente dos centímetros; cuando sea necesario, se adiciona el reactivo de preservación, se agita para homogenizar y se tapan las botellas. Desde el momento de la toma de muestras y hasta su llegada al laboratorio, éstas se deben conservar en refrigeración a 4°C, evitando la congelación.