



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS FOGÓTICO Y AMARILLO EN EL MUNICIPIO DE SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS, CHIAPAS

REPORTE FINAL DE RESIDENCIA PROFESIONAL QUE PRESENTA:

Andrea Escobar Vázquez

Como requisito para acreditar la Residencia Profesional de la Licenciatura en:

INGENIERIA QUÍMICA

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

01 de Febrero del 2024



Agradecimientos

A mis padres, José Luis y Sonia, por el apoyo incondicional, comprensión y amor que me brindaron.

A José Luis Belli Alonso por ayudarme y motivarme a mejorar.

A los Ingenieros Francisco de los Santos Torres, Cristina de los Santos Ventura y René Cuesta Díaz por su dedicación, paciencia y asesoría permanente.

Agradezco a la Comisión Nacional del Agua por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo.

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad **realizar la evaluación de la calidad del agua de los ríos Amarillo y Fogótico en el municipio de San Cristóbal de las Casas, Chiapas** atendiendo a la recomendación 72/2020 emitida el día 4 de diciembre de 2020 por la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH).

La evaluación de la calidad del agua se realiza a través de la recolección de muestras de los cuerpos de agua en las 4 estaciones de monitoreo ubicadas estratégicamente a lo largo de los ríos antes mencionados, en el período comprendido del 2012 al 2022, para su análisis en el laboratorio.

Los resultados obtenidos se evalúan estadísticamente (promedio, media geométrica, mediana, mínimo máximo y desviación estándar) y se comparan con los valores de los indicadores de calidad de agua emitidos por la CONAGUA y con la norma internacional SECTION 23, 24 AND 96 THE WATER POLLUTION CONTROL de Estados Unidos.

Para el caso de los ríos Amarillo y Fogótico, la evaluación se realiza con los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos suspendidos totales (SST), Sólidos disueltos totales (SDT), Coliformes fecales (CF), *Escherichia coli* (E_COLI), Nitratos, nitritos, porcentaje de oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad y toxicidad aguda

De acuerdo al análisis estadístico la calidad del agua registrada en las estaciones del río Amarillo y del río Fogótico previo a su entrada a la ciudad de San Cristóbal de las Casas reportan niveles de excelente a aceptables en casi todos los parámetros, a excepción de los bacteriológicos. La estación ubicada cerca a la confluencia de ambos ríos registra contaminación para *E.coli* y coliformes fecales, DQO y toxicidad alta. Finalmente, la estación aguas debajo de ambos ríos, previo a su entrada en el “Tunel” reporta niveles de contaminación para *E.coli*, DBO_5 , DQO y coliformes fecales, así como niveles de Toxicidad Alta.

Contenido

Agradecimientos.....	2
Resumen	3
I. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	9
1.1. Introducción.....	9
1.2. Descripción de la empresa.....	10
1.3. Problemas a resolver	10
1.4. Objetivos.....	11
1.4.1 Objetivo general	11
1.4.2 Objetivos Específicos	11
1.5. Justificación	12
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Descripción de la zona.....	13
2.1.1 Marco físico	13
2.1.2. Población	20
2.1.3. Indicadores sociales.....	20
2.1.4. Cobertura de Servicios Básicos	21
2.1.5. Pobreza y Marginalidad.....	21
2.1.6. Producto interno bruto.....	22
2.1.7. Turismo.....	22
2.2 Marco conceptual	22
2.2.1 Descargas de aguas residuales hacia los ríos Fógótico y Amarillo.....	22
2.2.2 Normatividad	23
2.2.3 Descripción de los parámetros de calidad del agua	24
2.2.4. Método Estadístico	25
III. DESARROLLO	27
3.1. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.	27
IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	31
4.1 Río Amarillo	31
4.1.1. Estación de monitoreo Sumidero (OCFSU2966).....	31
4.1.2. Estación de monitoreo Río Amarillo (OCFSU2972).	39
4.2 Río Fogótico.....	44
4.2.1. Estación de monitoreo Río Fogótico (OCFSU2967).	44

4.2.2. Estación de monitoreo: Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo (OCFSU2971).....	51
V. CONCLUSIONES.....	57
5.1 Conclusiones	57
5.2 Recomendaciones	57
5.3 Experiencia profesional adquirida	58
VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS.	60
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	61
VIII. ANEXOS	63
Anexo 1. Normas de calidad de agua.	63
Anexo 2. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos del período 2012-2022 en la estación Sumidero (OCFSU2966).	64
Anexo 3. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos del período 2012-2022 en la estación Río Amarillo (OCFSU2972).	66
Anexo 4. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos del período 2012-2022 en la estación Río Fogótico (OCFSU2967).	68
Anexo 5. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos del período 2012-2022 en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo (OCFSU2971).	70

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Cuenca Valle de Jovel. Google Earth.	13
Ilustración 2. Estaciones de monitoreo del Río Fogótico en San Cristóbal de las Casas. Google Earth.	14
Ilustración 3. Estaciones de monitoreo del Río Amarillo en San Cristóbal de las Casas. Google Earth.	15
Ilustración 4. Geología general del acuífero (CONAGUA, 2023).....	16
Ilustración 5. Temperatura máxima y mínima en San Cristóbal de Las Casas (Weather Spark, 2023)	17
Ilustración 6. Precipitación en San Cristóbal de Las Casas. (Weather Spark, 2023).....	18
Ilustración 7. Promedio mensual de lluvia en San Cristóbal de Las Casas. (Weather Spark, 2023)	19
Ilustración 8. Velocidad del viento en San Cristóbal de las Casas (Weather Spark, 2023)	19
Ilustración 9. Puntos de descarga en los ríos Fogótico y Amarillo.	23
Ilustración 10. Tubos DQO de bajo intervalo (hasta 150 mg/L) elaborados de acuerdo a la Norma NMX-AA-030/2-SCFI-2011	27
Ilustración 11. Digestión de tubos DQO en el termoreactor.	28

Ilustración 12. Espectrofotómetro empleado para las lecturas de absorbancia.....	28
Ilustración 13. Preparación de la disolución de Dicromato de potasio a 0.015 Mol/L	29
Ilustración 14. Elaboración de tubos DQO de acuerdo a la Norma NMX-AA-030/2-SCFI-2011 ...	29
Ilustración 15. Conteo de celdas positivas para la identificación de la bacteria Escherichia Coli en una muestra.	29
Ilustración 16. Conteo de celda positivas para la identificación de Coliformes Totales en una muestra.	29

Índice de tablas

Tabla 1. Información detallada de los sitios de monitoreo del Río Fogótico.	14
Tabla 2. Información detallada de los sitios de monitoreo del Río Amarillo.	15
Tabla 3. Variación del Censo poblacional de San Cristóbal de las Casas, Chiapas (2000-2020). (INEGI, 2020).....	20
Tabla 4. Dispersión demográfica en San Cristóbal de las Casas, Chiapas. (Inegi, 2020)	20
Tabla 5. Población en pobreza y pobreza extrema en San Cristóbal de las Casas, Chiapas. (Coneval, 2010-2020)	21
Tabla 6. Resultados estadísticos de la estación Sumidero.	31
Tabla 7. Resultados estadísticos de la estación Río Amarillo.	39
Tabla 8. Resultados estadísticos de la estación Río Fogótico.....	44
Tabla 9. Resultados estadísticos de la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	51
Tabla 10. Escala de clasificación de la calidad de agua superficial, cuerpos de agua lóticos (ríos, arroyos y corrientes). (CONAGUA, 2022)	63
Tabla 11. Clasificación de parámetros de calidad de acuerdo a normas internacionales (SECTION 23, 24 AND 96 THE WATER POLLUTION CONTROL).....	63
Tabla 12. Calificación de sitios superficiales con el semáforo de calidad del agua (CONAGUA, 2022).	63
Tabla 13. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante lluvias en la estación Sumidero.....	64
Tabla 14. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante estiaje en la estación Sumidero.....	64
Tabla 15. Promedio anual de cada parámetro en la estación Sumidero.	65
Tabla 16. Datos de campo obtenidos durante estiaje y lluvia en la estación Sumidero.	65
Tabla 17. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante lluvias en la estación Río Amarillo.	66

Tabla 18. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante estiaje en la estación Río Amarillo.	66
Tabla 19. Promedio anual de cada parámetro en la estación Río Amarillo.....	67
Tabla 20. Datos de campo obtenidos durante estiaje y lluvia en la estación Río Amarillo.	67
Tabla 21. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante lluvias en la estación Río Fogótico.....	68
Tabla 22. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante estiaje en la estación Río Fogótico.....	68
Tabla 23. Promedio anual de cada parámetro en la estación Río Fogótico.	69
Tabla 24. Datos de campo obtenidos durante estiaje y lluvia en la estación Río Fogótico.	69
Tabla 25. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante lluvias en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	70
Tabla 26. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante estiaje en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	70
Tabla 27. Promedio anual de cada parámetro en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	71
Tabla 28. Datos de campo obtenidos durante estiaje y lluvia en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	71

Índice de gráficas

Gráfica 1. Variación de Coli_Fec durante lluvias en la estación Sumidero.	33
Gráfica 2. Variación de E_Coli durante lluvias en la estación Sumidero.	34
Gráfica 3. Variación de E_Coli durante estiaje en la estación Sumidero.	34
Gráfica 4. Variación de E_Coli durante estiaje en la estación Sumidero.	35
Gráfica 5. Variación de DQO durante lluvia en la estación Sumidero.	35
Gráfica 6. Variación de DBO durante lluvia en la estación Sumidero.....	36
Gráfica 7. Variación de OD% durante lluvia en la estación Sumidero.	36
Gráfica 10. Variación de DBO durante estiaje en la estación Sumidero.....	37
Gráfica 9Variación de DQO durante estiaje en la estación Sumidero.	37
Gráfica 8. Variación de OD% durante estiaje en la estación Sumidero.	37
Gráfica 11. Variación de SST durante lluvias en la estación Sumidero.....	38
Gráfica 13. Variación de E_coli durante lluvia en la estación Río Amarillo.	41
Gráfica 12. Variación de Coli_Fec durante lluvia en la estación Río Amarillo.	41
Gráfica 15. Variación de E_coli durante estiaje en la estación Río Amarillo.	42
Gráfica 14. Variación de Coli_fec durante estiaje en la estación Río Amarillo.	42

Gráfica 17. Variación de DQO durante estiaje en la estación Río Amarillo.	43
Gráfica 16. Variación de DQO durante lluvia en la estación Río Amarillo.	43
Gráfica 19. Variación de E_coli durante lluvias en la estación Río Fogótico.	46
Gráfica 18. Variación de Coli_fec durante lluvia en la estación Río Fogótico.	46
Gráfica 21. Variación de E_coli durante estiaje en la estación Río Fogótico.	47
Gráfica 20. Variación de Coli_fec durante estiaje en la estación Río Fogótico.	47
Gráfica 23. Variación de la DQO durante lluvia en la estación Río Fogótico.	48
Gráfica 22. Variación de la DBO durante lluvia en la estación Río Fogótico.	48
Gráfica 24. Variación de OD_% durante lluvia en la estación Río Fogótico.	48
Gráfica 25. Variación de DBO durante estiaje en la estación Río Fogótico.	49
Gráfica 26. Variación de DQO durante estiaje en la estación Río Fogótico.	49
Gráfica 27. Variación de OD_% durante estiaje en la estación Río Fogótico.	49
Gráfica 28. Variación de SST durante lluvia en la estación Río Fogótico.	50
Gráfica 29. Variación de Coli_fec durante lluvia en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	53
Gráfica 30. Variación de E_coli durante lluvia en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	53
<i>Gráfica 31. Variación de Coli_fec durante estiaje en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.</i>	<i>53</i>
Gráfica 32. Variación de E_coli durante estiaje en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	54
<i>Gráfica 33. Variación de DBO durante lluvia en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.</i>	<i>54</i>
Gráfica 34. Variación de DQO durante lluvia en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	55
Gráfica 35. Variación de OD_% durante lluvia en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	55
Gráfica 36. Variación de DBO durante estiaje en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	55
Gráfica 37. Variación de DQO durante estiaje en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	56
Gráfica 38. Variación de OD_% durante estiaje en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	56

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. Introducción

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) lleva a cabo, a través de la Red Nacional de Medición de Calidad del Agua, el monitoreo de los principales cuerpos de agua del país, loticos (ríos, arroyos y manantiales), lenticos (lagos, lagunas, embalses, humedales, etc), costeros (lagunas y esteros costeros) y subterráneos (acuíferos) donde se determinan parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, de acuerdo con el tipo de cuerpo de agua.

En la Cuenca de los ríos Fogótico y Amarillo ubicados en la ciudad de San Cristóbal de las Casas, Chiapas del año 2012 al 2022 operan 4 sitios de monitoreo de calidad del agua: Río Fogótico a la entrada de la ciudad, Río Fogótico a la salida antes de la confluencia con el río Amarillo, Río Amarillo a la entrada de la ciudad y río Amarillo a la salida de la ciudad.

El acelerado crecimiento poblacional y la rápida urbanización en San Cristóbal de las Casas, han generado la degradación de la calidad del agua de los ríos Fógotico y Amarillo, esta problemática deriva de la falta de infraestructura de saneamiento y del arrastre de residuos sólidos urbanos y de manejo especial dispuestos en sitios no controlados, aunado a las descargas difusas de aguas residuales de pequeñas localidades rurales y de desechos de las actividades agropecuarias y de sedimentos producto de los cambios de uso de suelo.

En consecuencia, con base a la información obtenida de la Red de Monitoreo Estatal, el presente estudio tiene como finalidad Evaluar Estadísticamente los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y toxicológicos, obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo mencionados en el período comprendido del 2012 al 2022, con el objeto de conocer los cambios que sufre la calidad de agua de los ríos Fogótico y Amarillo y con ello, clasificarlo de acuerdo con los usos al que se destinen y comparar los resultados obtenidos con indicadores, normas y/o criterios nacionales e internacionales y establecer condiciones particulares a las descargas de aguas residuales. Así mismo, la información obtenida servirá como base para emprender las medidas correctivas necesarias para la recuperación y mejoramiento de dichos ríos.

1.2. Descripción de la empresa

Mediante decreto, el 16 de enero de 1989 se crea la Comisión Nacional del Agua, con el objetivo de fijar políticas hidráulicas, criterios, bases de coordinación y acciones necesarias para Administrar y regular, en los términos de la ley, las aguas nacionales, la infraestructura hidráulica y los recursos que se le destinen, así como estudiar, programar y proyectar las obras de drenaje, control de ríos y aprovechamiento, proponer y ejecutar, en su caso, medidas de tipo financiero que permitan el desarrollo de la infraestructura y de los servicios hidráulicos del país.

La Comisión Nacional del Agua fue creada con tres objetivos básicos:

- 1) Desarrollar la infraestructura hidráulica.
- 2) Aducir el uso eficiente del agua especialmente en aquellas regiones de escasez severa o en aquellos sectores de ésta.
- 3) Restaurar y mejorar la calidad del agua, particularmente en aquellas cuencas y acuíferos más afectados por la contaminación.

En el estado de Chiapas se crea el Consejo de la Cuenca de la Frontera Sur, Ríos Grijalva y Usumacinta, el cual cobra jurisdicción sobre la Cuenca de San Cristóbal de las Casas, Chiapas a través del Comité de Cuenca de Valle del Jovel, su finalidad es planear, diseñar y construir las obras requeridas para el desarrollo integral de dicha cuenca.

1.3. Problemas a resolver

La Comisión Nacional de los Derechos Humanos emitió la recomendación 72/2020 el día 4 de diciembre de 2020 sobre las violaciones a los derechos humanos a un medio ambiente sano y al saneamiento del agua, en relación con la contaminación de los Ríos Amarillo y Fogótico, por las descargas de aguas residuales municipales no controladas, así como la inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos en agravio de los habitantes de San Cristóbal de las casas, Chiapas.

Para coadyuvar la problemática planteada el presente informe Evaluación de la calidad del agua de los ríos Fogótico y Amarillo en el municipio de San Cristóbal de las Casas, Chiapas busca analizar qué parámetros han generado un impacto negativo en los ríos mencionados durante el período 2012-2022 así como brindar las medidas que procedan en materia de prevención de contaminación y conservación de los ríos Amarillo y Fogótico, a fin de evitar, en la medida de lo posible, se sigan descargando aguas residuales sin previo tratamiento y se continúe con las malas prácticas de gestión de los residuos sólidos urbanos y de manejo en especial, en contravención a la normatividad aplicable.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar la evaluación de la calidad del agua en los 4 puntos de monitoreo ubicados en los ríos Amarillo y Fogótico, y compararlos con las normas y criterios nacionales e internacionales de calidad del agua.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Integrar información disponible en materia de calidad del agua en los ríos Amarillo y Fogótico.
- Identificar fuentes de contaminación potenciales que puedan afectar la calidad del agua.
- Realizar análisis químicos y microbiológicos de calidad del agua.
- Organizar la información calcular indicadores estadísticos (media, mediana, medias geométricas, desviación estándar, etc.)
- Realizar la comparación de resultados de calidad del agua con indicadores, normas y/o criterios nacionales e internacionales de calidad el agua.
- Emitir informe de la evaluación de la calidad del agua de los ríos Fogótico y Amarillo.

1.5. Justificación

En el año de 1898, la Federación tomó el manejo local del agua, asumiendo su gestión, en el año 1902, en pro del desarrollo urbano del Valle se construyó hacia el caudal del Río Amarillo, una pequeña red de drenaje que llevó las aguas negras a dicho afluente, lo cual, es interpretado por los ancianos de la Ciudad como el inicio de la contaminación en el Acuífero. San Cristóbal de la Casas ha sufrido un incremento demográfico desde su fundación, para 1682 la población era de 3755 habitantes, para mediados del siglo XIX, se estimó que la población sería de 79520, sin embargo, el Movimiento Zapatista de 1994, abandonó una gran cantidad de población desplazada a la Ciudad, asentándose a orilla de la Cuenca del Valle, lo que trajo consigo que en la implementación de acciones para dotar de servicios básicos, como lo es acceso al agua potable y drenaje, fueran escasas.

En 1973 se realizó la obra hidráulica del Túnel de avenamiento, con la intención de liberar las aguas de lluvia que generaban inundaciones en la ciudad, pero trajo como consecuencia liberar alrededor de 600 hectáreas cubiertas por agua, las cuales inmediatamente empezaron ocuparse con viviendas, por lo que el crecimiento urbano de la ciudad se extendió sobre terrenos de humedales, generando un aumento de asentamientos irregulares, que al no tener infraestructura sanitaria adecuada comenzaron a descargar sus aguas negras en los Afluentes del acuífero, contaminándolos y afectándolos en gran medida; desde la apertura del túnel, el área urbana ha crecido de manera desbordante, puesto que se han invadido cerros, humedales y zonas de los periféricos de la Ciudad, la Cuenca del Valle del Jovel.

En consecuencia, a fin de restablecer y propiciar las condiciones adecuadas para el goce y ejercicio de los derechos humanos a un medio ambiente sano y al saneamiento del agua, el Organismo Nacional de los Derechos Humanos sugiere una serie de recomendaciones denominadas “Recomendación 072/2020”, en donde solicitan que se realicen los estudios técnicos necesarios, incluyendo un análisis exhaustivo y actualizado de la calidad del agua de los ríos Amarillo y Fogótico.

Es por eso que el presente informe consiste en un análisis específico de la calidad del agua de la cuenca del río Fogótico y Amarillo durante el periodo 2012-2023, en donde se consideran todos los sitios de medición ubicados en la misma y donde se establece de manera clara: a) Si la calidad del agua es mala, buena o excelente; b) Si presenta contaminación por metales pesados, materia orgánica, algún elemento tóxico o la presencia de sustancias peligrosas que representen un riesgo a la salud humana en el agua de la cuenca del río Fogótico y Amarillo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción de la zona

2.1.1 Marco físico

2.1.1.1 Localización

La cuenca Valle del Jovel se localiza en la parte centro-norte del estado de Chiapas, dentro de provincia fisiográfica denominada Altos de Chiapas y pertenece a la región hidrológica “RHN30Eb: R. Alto Grijalva”.

El Río Amarillo, el cual junto con el Río Fogótico, el Sumidero, Humedales de Montaña la Kisst 1 y 2, Humedales de María Eugenia y los arroyos Chamula, San Felipe y Río Navajuelos, conforman la llamada Cuenca del Valle del Jovel, la cual es denominada por la Comisión Nacional del Agua como “Acuífero San Cristóbal Las Casas, clave 0712”, este comprende una superficie de 1,360.78 kilómetros cuadrados, está ubicado entre las coordenadas extremas 16°44'09" latitud norte y 92°28'13" longitud oeste, abarca de manera total y dentro de la circunscripción territorial comprende a la Ciudad de San Cristóbal de las Casas. El área total de la cuenca de San Cristóbal es de 217.392 Km², y su escurrimiento medio anual se estima en 124 millones de m³ (3.95m³/s), ver Ilustración I.

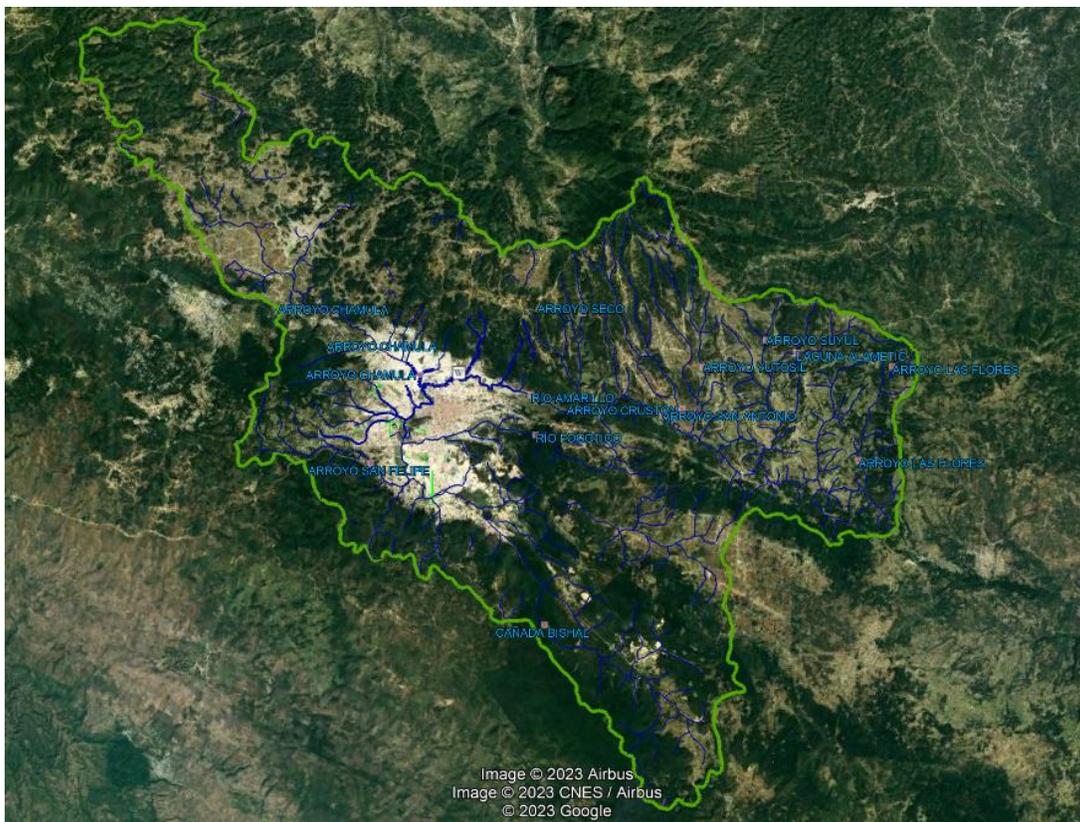


Ilustración 1. Cuenca Valle de Jovel. Google Earth.

A) Río Fogótico

Es una corriente de tipo perenne que forma su caudal con las aguas del río San Antonio, al oriente de la ciudad de San Cristóbal de las Casas, y recibe aportes de corrientes intermitentes que bajan de la vertiente sur-sureste del Tzontehuitz. Recorre una distancia de aproximadamente 12 km, pasando por las localidades de Las Piedrecitas, Agua de Pajarito y Arcotete, a partir de este punto la corriente continua en dirección noroeste y penetra al Valle de Jovel en dirección al barrio de Guadalupe y San Nicolás, bordea por el sur el barrio de Santa Lucía, corta el boulevard Juan Sabines y por el barrio de San Diego, hasta su confluencia con el río Amarillo.

Estaciones de monitoreo

En el río Fogótico se encuentran localizadas dos estaciones de monitoreo: OCFSU2967, ubicado en el cruce con el Periférico Norte antes de entrar a la ciudad de San Cristóbal de las Casas y OCFSU2971 ubicado a la altura de la Unidad Deportiva aproximadamente a 300 m aguas arriba de la confluencia con el río Amarillo, ver Tabla 1 e Ilustración 2.

Tabla 1. Información detallada de los sitios de monitoreo del Río Fogótico.

Clave sitio	Nombre del sitio	Cuenca	Estado	Municipio	Tipo de cuerpo de agua	Subtipo cuerpo de agua	Latitud	Longitud
OCFSU2967	Río Fogótico	Presas Chicoasén	Chiapas	San Cristóbal de las Casas	Lótico	Río	1.73380	-92.61464
OCFSU2971	Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.	Presas Chicoasén	Chiapas	San Cristóbal de las Casas	Lótico	Río	16.2649	-92.64666

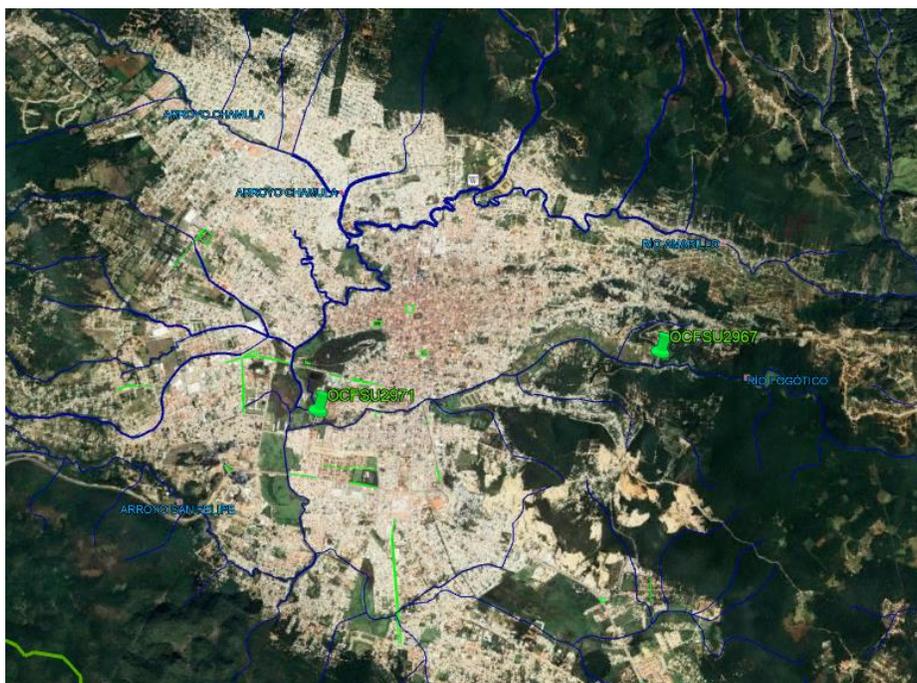


Ilustración 2. Estaciones de monitoreo del Río Fogótico en San Cristóbal de las Casas. Google Earth.

B) Río Amarillo

Es una corriente perenne que nace al nor-orient de la ciudad marcando el límite con el Municipio de Chamula, recorre 13 km en dirección sur, a través de la micro cuenca del Peje de Oro o la Garita, y 48 km en sentido oriente a poniente cruzando aproximadamente 27 colonias de San Cristóbal de las Casas y juntándose a la altura del Puente Morelos, para desembocar en el Sumidero y Túnel Del norte.

Estaciones de monitoreo

En el río Amarillo se encuentran localizadas dos estaciones de monitoreo: OCFSU2966 denominada Sumidero, ubicada en la parte baja de la cuenca del río Amarillo a 200 metros aguas arriba del túnel de salida del río citado y la estación de monitoreo OCFSU2972 que se encuentra ubicada en el mismo río pero a la altura del Periférico Norte, ver Tabla 2 e Ilustración 3.

Tabla 2. Información detallada de los sitios de monitoreo del Río Amarillo.

Clave sitio	Nombre del sitio	Cuenca	Estado	Municipio	Tipo de cuerpo de agua	Subtipo cuerpo de agua	Latitud	Longitud
OCFSU2966	Sumidero	Presas Chicoasén	Chiapas	San Cristóbal de las Casas	Lótico	Río	16.713758	-92.645656
OCFSU2972	Río Amarillo	Presas Chicoasén	Chiapas	San Cristóbal de las Casas	Lótico	Río	16.74755	-92.61793

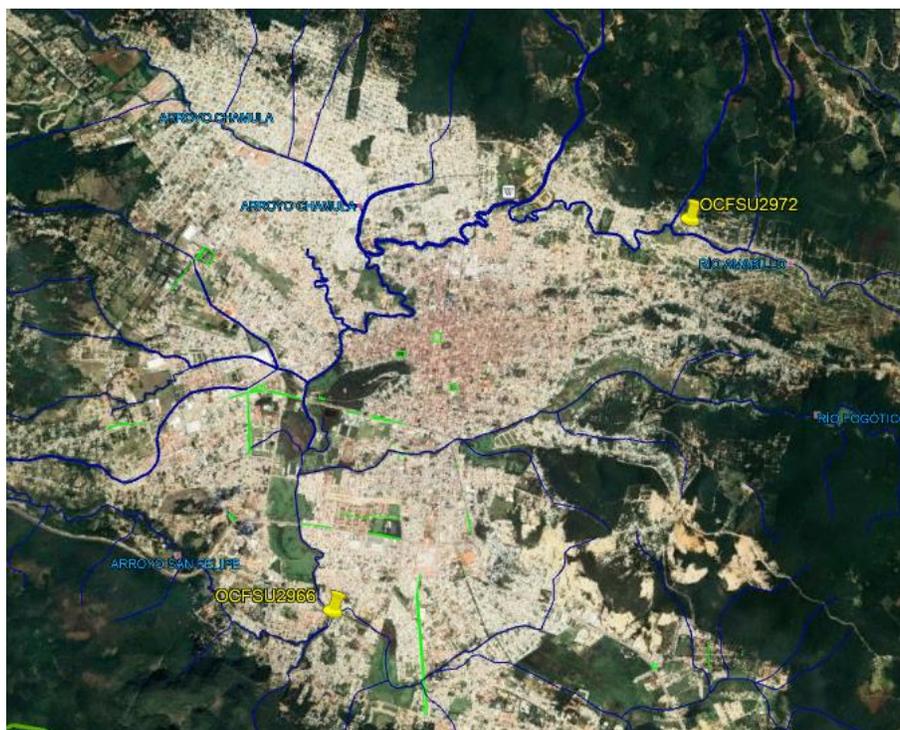
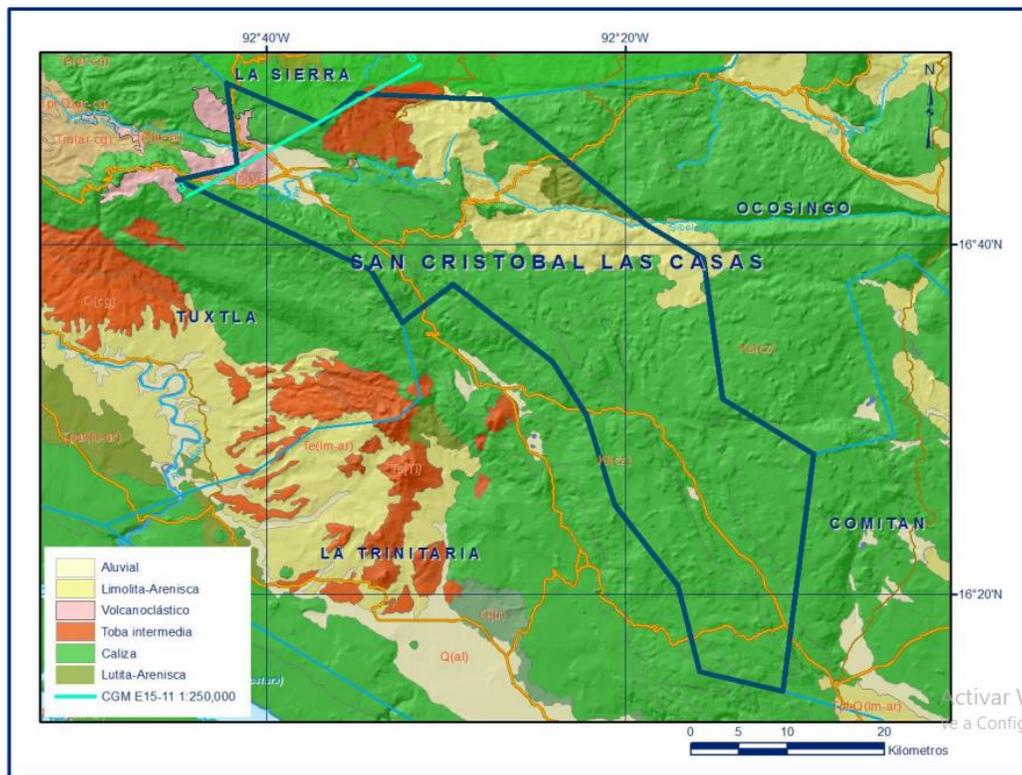


Ilustración 3. Estaciones de monitoreo del Río Amarillo en San Cristóbal de las Casas. Google Earth.

2.1.1.2. Geología y Edafología

El marco geológico de la zona del acuífero San Cristóbal de las Casas, clave 0712, está conformado por rocas cretácicas que afloran a todo lo largo de la porción sur-sureste, en el límite con el acuífero La Trinitaria y en el límite oriente, con el acuífero Comitán. Estas rocas cretácicas constituidas por calizas y dolomitas, forman los anticlinales de Comitán, Sarabia, Las Casas y San José. Las otras rocas cretácicas constituidas por calizas y lutitas se localizan en los flancos de los sinclinales de Comitán y San Isidro. En la porción meridional de la zona afloran rocas de edad terciaria, constituidas por limolitas, areniscas y calizas; al noreste y sureste de la ciudad de San Cristóbal de las Casas afloran tobas andesíticas y en el área que comprende prácticamente toda la ciudad de San Cristóbal de las Casas, afloran las rocas más recientes, constituidas por materiales aluviales (CONAGUA, 2023, ver Ilustración 4.



La corriente Río Amarillo es captora del 80% de los escurrimientos primarios de la cuenca en la época húmeda; éste río junto con sus afluentes perennes representa el 37% del total y de las corrientes. Las mayores densidades de escurrimiento se encuentran en las subcuencas de la parte este del área y obedecen a tipos de rocas como sedimentarios granulares y volcánicos piroclásticos, donde los tipos de drenaje son principalmente dentríticos, en zonas de laderas suaves a pronunciadas, y radiales en los volcanes. **Edafología:** Los tipos de suelos predominantes son: Alisol (46.25%), Luvisol (35.12%), Leptosol (9.70%) y Gleysol (0.03%). (INEGI,1992).

2.1.1.3. Flora y Fauna

Favorece el desarrollo de una zona boscosa que cubría la mayor parte del territorio municipal. Dentro de las sierras del Municipio se observan mosaicos boscosos, en su mayoría mixtos, dominando el bosque de pino-encino. En la sierra sur la comunidad vegetal se observa alterada en su forma original, lo que fueron bosques, hoy en su mayoría son arbustos de diferentes especies. En la sierra norte se encuentra agricultura de temporal y pastizal inducido; este último crece espontáneamente al ser eliminada la vegetación original. Por último, los terrenos intermontanos de suelos profundos se han incorporado a la agricultura de temporal con cultivos de maíz principalmente (INEGI,1992).

2.1.1.4. Climatología

Con el fin de conocer las características atmosféricas de la zona de San Cristóbal de Las Casas, se recopilaron en el Servicio Meteorológico Nacional y en Weather Spark los datos climatológicos de las estaciones que se encuentran en la zona.

2.1.1.4.1. Temperatura promedio

La *temporada templada* dura 2.2 meses, del 20 de marzo al 25 de mayo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 22 °C. El mes más cálido del año en San Cristóbal de las Casas es *mayo*, con una temperatura máxima promedio de 22 °C y mínima de 11 °C. La *temporada fresca* dura 2.3 meses, del 24 de noviembre al 2 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 18 °C. El mes más frío del año en San Cristóbal de las Casas es *enero*, con una temperatura mínima promedio de 6 °C y máxima de 17 °C. (Weather Spark, 2023), ver Ilustración 5.

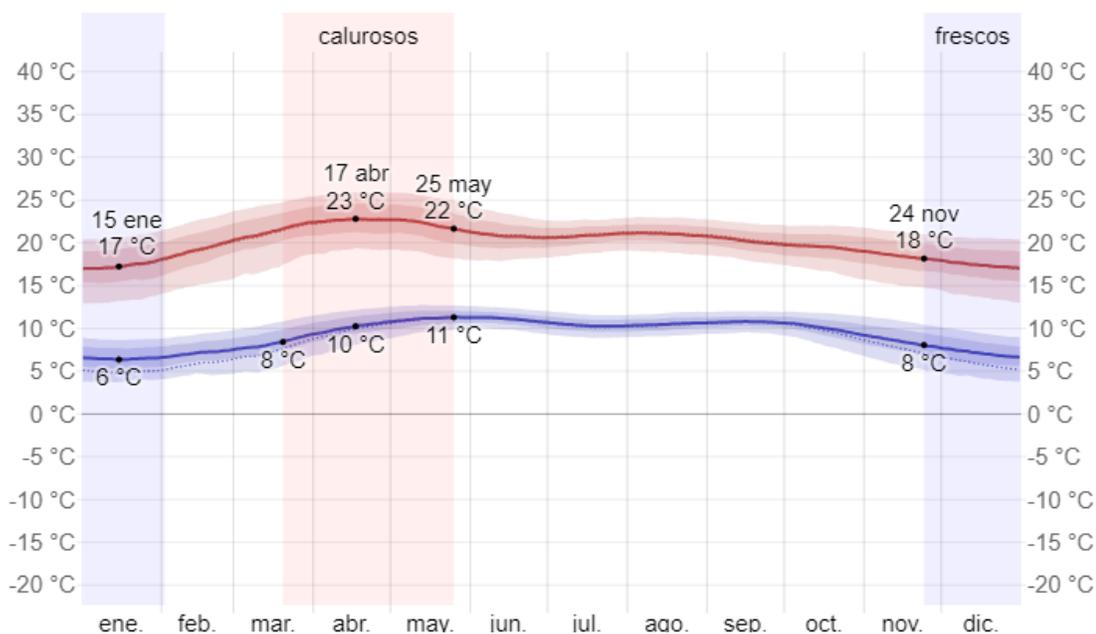


Ilustración 5. Temperatura máxima y mínima en San Cristóbal de Las Casas (Weather Spark, 2023)

2.1.1.4.2. Precipitación

Un día *mojado* es un día con por lo menos *1 milímetro* de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en San Cristóbal de las Casas varía muy considerablemente durante el año. La *temporada más mojada* dura *5.0 meses*, del *19 de mayo* al *18 de octubre*, con una probabilidad de más del *49 %* de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en San Cristóbal de las Casas es *septiembre*, con un promedio de *24.0 días* con por lo menos *1 milímetro* de precipitación.

La *temporada más seca* dura *7.0 meses*, del *18 de octubre* al *19 de mayo*. El mes con menos días mojados en San Cristóbal de las Casas es *marzo*, con un promedio de *4.7 días* con por lo menos *1 milímetro* de precipitación.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen *solamente lluvia*, *solamente nieve* o una *combinación* de las dos. El mes con más días con *solo lluvia* en San Cristóbal de las Casas es *septiembre*, con un promedio de *24.0 días*. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es *solo lluvia*, con una probabilidad máxima del *83 %* el *14 de septiembre*. (Weather Spark), ver Ilustración 6.

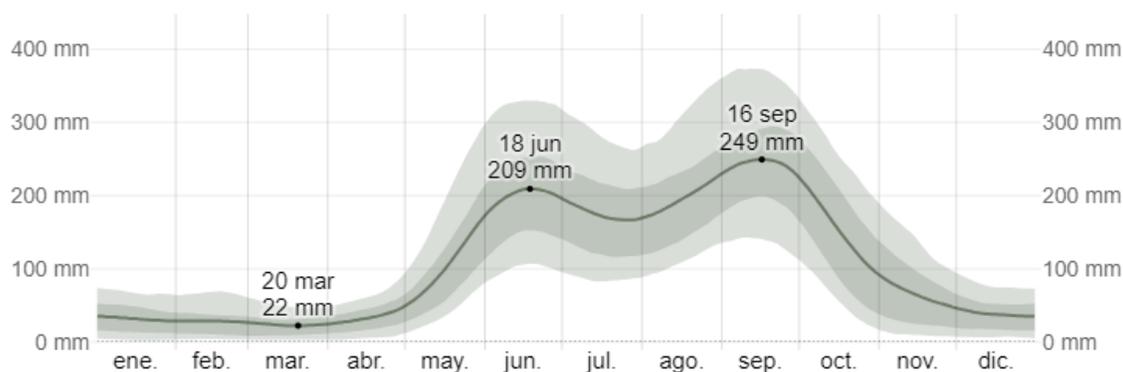


Ilustración 6. Precipitación en San Cristóbal de Las Casas. (Weather Spark, 2023)

2.1.1.4.3. Lluvia

El mes con más lluviosos en San Cristóbal de las Casas es septiembre, con un promedio de 249 milímetros de lluvia, por el contrario el mes más seco es marzo, con un promedio de 23 milímetros de lluvia.

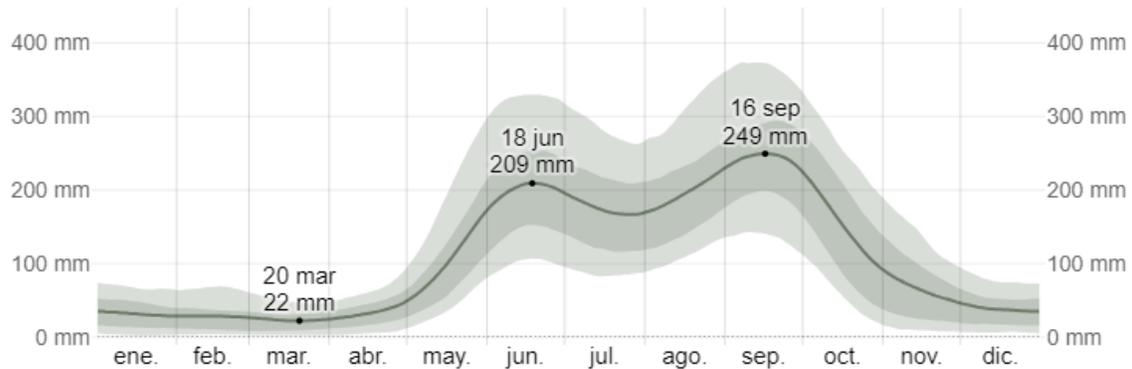


Ilustración 7. Promedio mensual de lluvia en San Cristóbal de Las Casas. (Weather Spark, 2023)

La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo de 31 días en una escala móvil, centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25° al 75° y del 10° al 90°. La línea delgada punteada es la precipitación de nieve promedio correspondiente. (Weather Spark, 2023) ver Ilustración 7.

2.1.1.4.4. Viento

La parte más ventosa del año dura 6.4 meses, del 13 de octubre al 25 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 7.6 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en San Cristóbal de las Casas es enero, con vientos a una velocidad promedio de 9.5 kilómetros por hora. El tiempo más calmado del año dura 5.6 meses, del 25 de abril al 13 de octubre. El mes más calmado del año en San Cristóbal de las Casas es junio, con vientos a una velocidad promedio de 5.7 kilómetros por hora. (Weather Spark, 2023)

	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
Vel. del viento (kph)	9.5	9.3	9.0	8.0	6.5	5.7	6.6	6.3	6.2	8.0	9.3	9.4

Ilustración 8. Velocidad del viento en San Cristóbal de las Casas (Weather Spark, 2023)

El viento con más frecuencia viene del norte durante 2.0 meses, del 3 de abril al 3 de junio y durante 2.3 meses, del 26 de septiembre al 5 de diciembre, con un porcentaje máximo del 53 % en 29 de octubre. El viento con más frecuencia viene del este durante 3.8 meses, del 3 de junio al 26 de septiembre y durante 3.9 meses, del 5 de diciembre al 3 de abril, con un porcentaje máximo del 73 % en 21 de julio. (Weather Spark, 2023), ver Ilustración 8.

2.1.2. Población

El Censo de Población y Vivienda 2020 publicado por el INEGI, permite identificar el número de habitantes y su estructura demográfica y territorial que a continuación se muestra.

Tabla 3. Variación del Censo poblacional de San Cristóbal de las Casas, Chiapas (2000-2020). (INEGI, 2020)

Variación del Censo poblacional de San Cristóbal de las Casas, Chiapas (2000-2020)	
Habitantes en el año 2000	132,421
Habitantes en el año 2010	185,917
Habitantes en el año 2020	215,874

En la tabla anterior se observa un incremento poblacional del 2010 a 2020 de 29,957. En comparación a 2010, la población en San Cristóbal de las Casas creció un 16.1%

Tabla 4. Dispersión demográfica en San Cristóbal de las Casas, Chiapas. (Inegi, 2020)

	Rango	Localidades	Habitantes
Población en localidades menores de 2,500 habitantes	Menor a 99	56	2, 508
	100-499	49	12, 578
	500 -999	14	8, 862
	1000-2,499	6	8, 417
Población en localidades de 2,500 a 9,999 habitantes	2,500-4,999	0	111
	5,000-9,999	0	52
Población en localidades de 10,000 y más	10,000-14,999	0	14
	Mayor o igual a 15,000	1	29

6.1.3. Indicadores sociales

Los indicadores sociales más representativos para las comunidades ubicadas dentro del área del acuífero San Cristóbal de las Casas son: grado de marginación, índice de desarrollo humano y rezago social. El grado de marginación para esta zona es Muy Alto; el índice de desarrollo humano para la superficie del acuífero es de 0.579, que se encuentra por debajo del índice de desarrollo humano para el Estado de Chiapas, de 0.690 que ocupa el lugar 32 dentro del índice de desarrollo humano nacional que es de 0.789 y el índice de rezago social para la zona del acuífero San Cristóbal Las Casas, clave 0712, es de 0.777057, Medio-Bajo. (CONAGUA, 2023)

2.1.4. Cobertura de Servicios Básicos

2.1.4.1. Agua potable

- **Año:** 2020
- **RHA:** Frontera Sur
- **Estado:** Chiapas
- **Municipio:** San Cristóbal de las Casas
- **Población con Cobertura:** 200,206
- **Población Total:** 214,458
- **% Cobertura:** 93.35 (CONAGUA,2020)

2.1.4.2. Drenaje

Servicio público brindado por el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado Municipal.

- **Fuentes de aprovisionamiento:** 11 fuentes (diez manantiales y un pozo profundo).
- **Programas de tratamiento:** Dos trenes de tratamiento denominados tren de agua y tren de lodos.
- **Población con Drenaje a Red Pública o fosa séptica:** 199,996
- **Población Total:** 214,458
- **% Cobertura:** 93.26

Sin embargo, sólo el 13% de las localidades dentro de dicha jurisdicción cuentan con servicio de drenaje propia (CONAGUA, 2020)

2.1.4.3. Energía eléctrica

De acuerdo con el anuario estadístico y geográfico del Estado de Chiapas para el año 2015 el uso de energía eléctrica estaba repartido en 87% para uso doméstico, 0.2% en alumbrado público, 0.03% en bombeo de aguas negras y potables y 13% en el uso industrial y de servicios.

2.1.5. Pobreza y Marginalidad

De acuerdo al Censo Coneval, Pobreza a nivel municipio 2010-2020 se presenta a continuación la tasa poblacional de pobreza y marginalidad.

Tabla 5. Población en pobreza y pobreza extrema en San Cristóbal de las Casas, Chiapas. (Coneval, 2010-2020)

POBLACIÓN EN POBREZA		
Año	Personas en pobreza	% de personas en pobreza
2010	125,866	67.7%
2020	142,693	66.1 %
Variación 2010-2020 de las personas en pobreza	16,827	1.6% (variación porcentual)

POBLACIÓN EN POBREZA EXTREMA		
Año	Personas en pobreza extrema	% de personas en pobreza extrema
2010	51,127	27.5 %
2020	53,969	25 %
Variación 2010-2020 de las personas en pobreza extrema	2,842	2.5% (variación porcentual)

2.1.6. Producto interno bruto

La Población Económicamente Activa en San Cristóbal Las Casas, es de 114,942 habitantes, de los cuales, el 75.3 por ciento se dedica al sector terciario (integrado por los servicios de agua potable y saneamiento, comercios, transportes, educación, hoteles, restaurantes y otros); 14.9 por ciento al sector secundario (representado por la industria en la zona, también incluye minería, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción) y el 9.3 por ciento al sector primario (está conformado primordialmente por la agricultura y ganadería, destacando la ganadería) (INEGI, 2020)

2.1.7. Turismo

La ciudad de San Cristóbal de las Casas cuenta con una enorme variedad de atractivos naturales y de carácter histórico como son la Catedral de San Cristóbal de las Casas, el Centro Cultural de los Altos el Centro de Textiles del Mundo Maya, el Museo del Ámbar Na Bolom, Templo y Exconvento de Santo Domingo de Guzmán.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Descargas de aguas residuales hacia los ríos Fógótico y Amarillo

En la imagen mostrada a continuación se encuentran cinco puntos de descarga localizados en la ciudad San Cristóbal de las Casas, Chiapas, de acuerdo a el Organismo de Cuenca Frontera Sur de la CONAGUA presentan las siguientes características:

Descarga No. 1 Ubicada en la colonia Santa Cecilia, en la calle Guitarra y Prolongación río Usumacinta, descarga de origen público urbano sin tratamiento de aguas residuales, medidor, bitácora de control de volúmenes descargados ni permiso de descarga otorgado por la CONAGUA, cuya descarga se vierte sobre la margen izquierda del río Amarillo. La **descarga No 2** se ubica en la colonia Nueva Esperanza, a la altura de la escuela primaria Vicente Guerrero, también presenta las mismas características que el punto de descarga 1. El punto de **descarga No 3** se localiza en la colonia Nueva Esperanza, a la altura del salón de usos múltiples y presenta las mismas características que el punto de descarga 1.

Descarga No. 4 Localizada en la colonia 14 de septiembre, a la altura de la avenida del Caminero, se reciben las aguas de las colonias El Cerrito, 14 de septiembre y del mercado San José Castillo Tielmans, descarga de origen público urbano sin tratamiento de aguas residuales, medidor, bitácora de control de volúmenes descargados ni permiso de descarga otorgado por la CONAGUA, cuyas descargas se vierten sobre la margen izquierda del río Amarillo.

Descarga No. 5 Se ubica en la colonia El Mirador del Santuario, a altura de la calle Los Sumideros, se reciben las aguas de un sector de la Ciudad de San Cristóbal de las Casas, siendo el emisor principal del drenaje denominado río Amarillo, es una descarga de origen público urbano amparada con el permiso número 6CHS100688/30HOGUE94 otorgado por la CONAGUA con una vigencia de 20 años contados a partir del 06 de octubre de 1994, sin embargo no cuenta con tratamiento de aguas residuales, medidor ni bitácora de control de volúmenes descargados, cuya descarga se vierte sobre la margen izquierda del río Amarillo.

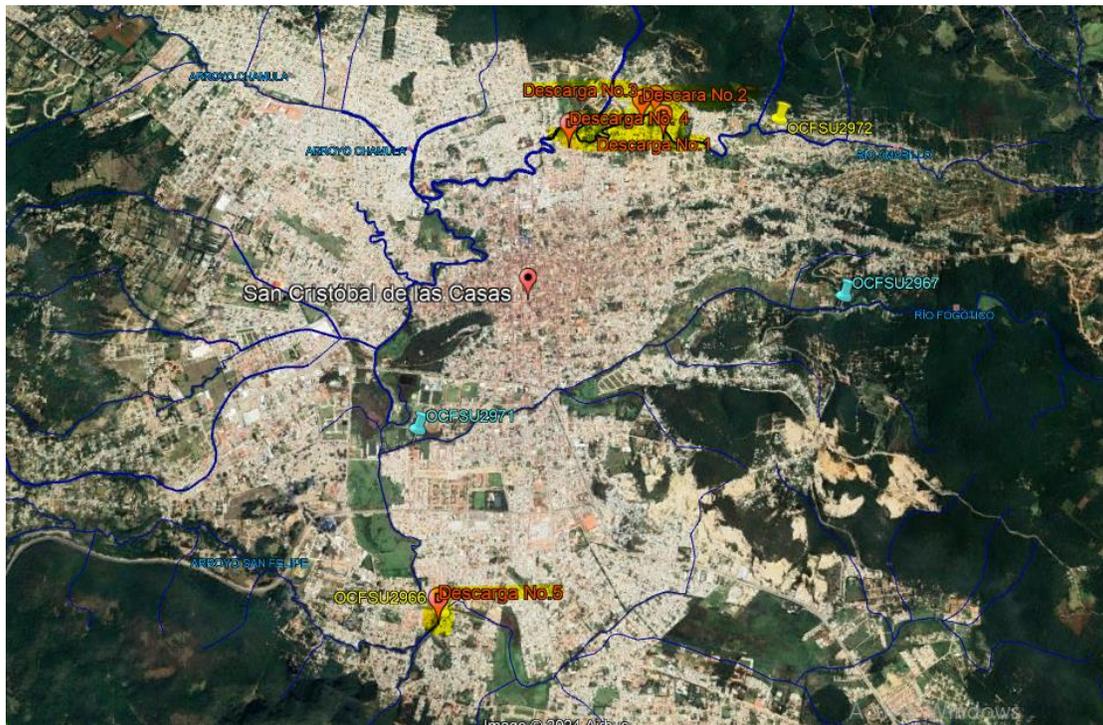


Ilustración 9. Puntos de descarga en los ríos Fogótico y Amarillo.

2.2.2 Normatividad

El marco jurídico que sustenta la realización de este proyecto se encuentra contemplado dentro de los documentos que a continuación se mencionan:

- Ley de Aguas Nacionales
Título II, Capítulo II, Artículo 7°, Fracción III y IX
Título II, Capítulo III, Artículo 9°, Fracción XLVII
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021.
- NOM-AA-3-1980
- NOM-AA-14 -1980

2.2.3 Descripción de los parámetros de calidad del agua

Para la presente evaluación de calidad del agua de los ríos Fogótico y Amarillo, se tomaron en consideración los siguientes parámetros:

2.2.2.1 Parámetros físicos:

Temperatura. Es el potencial o grado calórico retenido en cierto cuerpo, este es un parámetro importante debido a su efecto en la vida acuática. Un cambio súbito de temperatura puede generar una elevada mortandad de especies acuáticas de un río. Además el incremento de la temperatura disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en las aguas y acelera la velocidad de las reacciones bioquímicas.

Sólidos Disueltos Totales. Es el material soluble constituido por materia inorgánica y orgánica que permanece como residuo después de evaporar y secar una muestra proveniente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con poro de 1.5 μm a una temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$. (NMX-AA-034-SCFI-2015)

Sólidos Suspendidos totales. Es el material constituido por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de 1.5 μm a una temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$. (NMX-AA-034-SCFI-2015)

2.2.2.2 Parámetros químicos:

Potencial de hidrógeno. Es una forma de expresar la actividad relativa de los iones hidrógeno en la disolución: $pH = -\lg a_H = -\log(m_{H^+} - m^\circ)$ Donde a_H es la actividad relativa del ión hidrógeno H^+ a la molalidad m_H y m° es la molalidad estándar.

Conductividad eléctrica. Es la capacidad que tiene una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica. La corriente es transportada a través de la solución por el movimiento de los iones. La medición de la conductividad es un índice de la concentración de sales disueltas en el agua. (CONAGUA, 2000)

Demanda Química de Oxígeno. Es la medida del oxígeno consumido por la oxidación de la materia orgánica e inorgánica en una prueba específica. (NOM-001-SEMARNAT-2021)

Demanda Bioquímica de Oxígeno. Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica biodegradable de una muestra de agua en un periodo de 5 días. (NMX-AA-028-SCFI-2021)

Oxígeno Disuelto. Se considera como la cantidad efectiva de oxígeno gaseoso (O_2) en el agua, expresada en términos de su presencia en el volumen de agua (miligramos de O , por litro) ó de su proporción en el agua saturada (porcentaje) (Naciones Unidas, 2005).

Nitratos (NO_3). Son nutrientes que se encuentran naturalmente en el medioambiente. La consecuencia más directa de la contaminación por nitratos en ríos, lagunas y humedales es la eutrofización, un proceso que se da cuando los ecosistemas acuáticos pierden la capacidad de autodepurarse debido a un exceso de fósforo y nitrógeno procedentes de los vertidos. (¿Qué son los nitratos?, 2022)

Nitritos (NO₂). Es un compuesto de transición en el ciclo del nitrógeno y tiende a ser inestable. (Kiely, 1999)

2.2.2.3. Parámetros bacteriológicos:

Las definiciones presentadas están basadas en las normas NMX-AA-089/1SCFI y NMX-aa-089/2SCFI:

Coliformes fecales. Comprende todos los bacilos aerobios o anaerobios facultativos capaces de crecer a 35°C en un medio líquido de lactosa, con producción de ácido y gas en un plazo de 24 horas a 44,5 ± 0.2°C

Escherichia Coli. Organismos coliformes fecales como que se caracteriza por poseer la enzima beta-galactosidasa se desarrolla a 44,0 ± 1°C fermenta a la lactosa y el manitol produciendo ácido y gas, produce indol a partir del triptófano, es oxidasa negativo y no hidroliza la urea.

2.2.2.4. Parámetros toxicológicos:

Toxicidad aguda. Capacidad de una sustancia química para causar daño o la muerte a los seres vivos en un periodo menor o igual a 96 horas, después de una sola exposición o dosis. (NMX-AA-087-SCFI-2010).

2.2.4. Método Estadístico

La evaluación de calidad del agua de los ríos Fogótico y Amarillo se realizó a través de análisis descriptivo, en cual se calcularon para cada punto de muestreo la media, la mediana, el mínimo, máximo y la desviación estándar de cada parámetro.

La media o **media aritmética**, usualmente llamada promedio, se obtiene sumando todos los valores de los datos y divide el resultado entre la cantidad de datos. (Universidad de Guanajuato, 2023)

La **mediana**, en ocasiones se le llama media posicional, porque queda exactamente en la mitad de un grupo de datos, luego de que los datos se han colocado de forma ordenada. En este caso la mitad (50%) de los datos estará por encima de la mediana y la otra mitad (50%) estará por debajo de ella. La mediana es el valor intermedio cuando los valores de los datos se han ordenado (Universidad de Guanajuato, 2023)

Desviación Estándar Es la raíz cuadrada positiva de la varianza. Mide la variabilidad de los datos en las unidades en que se midieron originalmente. (Universidad de Guanajuato, 2023)

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

x_i = Observación número i de la variable x n = número de datos u observaciones
 \bar{x} = Media de la variable x S = Desviación estándar de una muestra

Mínimo y máximo: Un máximo es el valor más grande que tiene la función local o globalmente. Un mínimo es el valor más pequeño que tiene la función local o globalmente. (Mínimos y Máximos, 2020).

Media geométrica (MG): Es una medida de tendencia central que puede utilizarse para mostrar los cambios porcentuales en una serie de números positivos. (Universidad de Guanajuato, 2023). Ecuación:

$$MG = \sqrt[n]{X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n}$$

n = Cantidad de elementos. X_1 = Observación número 1 de la variable x
 X_n = Observación número n de la variable x X_2 = Observación número 2 de la variable x

III. DESARROLLO

3.1. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.

La residencia profesional la realicé en las instalaciones del Laboratorio de Calidad del Agua e Impacto Ambiental de la Dirección Técnica de la Comisión del Agua, Organismo de Cuenca Frontera Sur, llevando a cabo las siguientes actividades:

1. Revisión documental. Se investigaron las condiciones geográficas, climáticas e hidrológicas de los ríos Fogótico y Amarillo del municipio de San Cristóbal de las Casas, Chiapas. Además se realizó una revisión bibliográfica de las normas y criterios nacionales e internacionales disponibles en materia de calidad del agua para descargas.

2. Clasificación de la información. Se realizó la selección de los parámetros a evaluar para cada río, los cuales se obtuvieron del portal que emite la CONAGUA. Además se hizo la clasificación de datos agrupándolos por temporada de lluvia y de estiaje, a fin de identificar patrones, tendencias y valores atípicos con mayor facilidad.

3. Selección de métodos de evaluación de la información. Se llevó a cabo la organización de la información mediante indicadores estadísticos (media, mediana, medias geométricas, desviación estándar, máximo y mínimo.)

4. Capacitación y realización de análisis de laboratorio seleccionados. Se recibió capacitación en el manejo de equipos, materiales y reactivos a utilizar en el laboratorio y se llevó a cabo el análisis de parámetros químicos (DQO) y bacteriológicos (Coliformes totales y Escherichia Coli).

4.1 Métodos de análisis de laboratorio:

4.1.1 DQO Método de tubo sellado de bajo intervalo (hasta 150 mg/L). En este método las muestras se oxidan mediante digestión con ácido sulfúrico y dicromato de potasio en presencia de sulfato de plata y sulfato de mercurio (II). La plata actúa como catalizador para oxidar la materia orgánica más resistente. El mercurio reduce la interferencia causada por la presencia de iones cloruro, ver Ilustración 10.



Ilustración 10. Tubos DQO de bajo intervalo (hasta 150 mg/L) elaborados de acuerdo a la Norma NMX-AA-030/2-SCFI-2011

La cantidad de dicromato utilizada en la oxidación de la muestra se determina midiendo la absorbancia del Cromo (IV) formado a una longitud de onda de (440 ± 20) nm para un intervalo hasta de 150 mg/L. Las mediciones de la absorbancia se efectúan en el tubo de digestión, que hace las veces de celda, y son convertidas a un valor de DQO-TS. (NMX-AA-030/2-SCFI-2011), ver Ilustración 11 y 12.

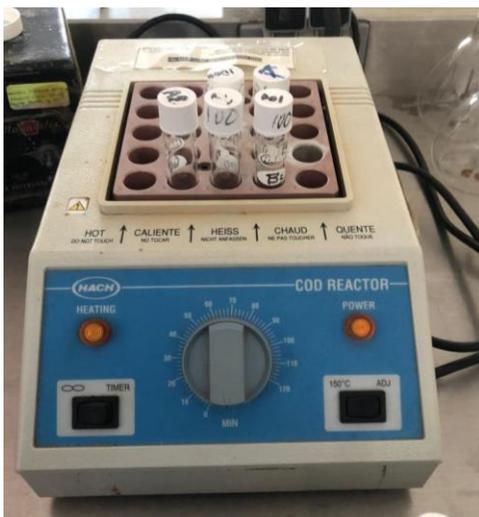


Ilustración 11. Digestión de tubos DQO en el termoreactor.

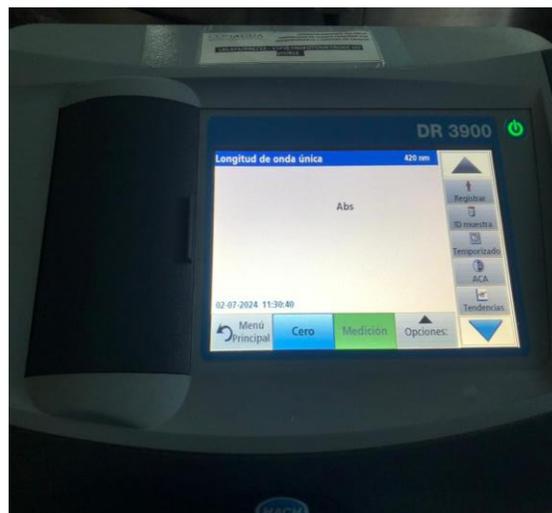


Ilustración 12. Espectrofotómetro empleado para las lecturas de absorbancia.

Actividades:

- ✓ Lectura de la Norma Mexicana NMX-AA-030/2-SCFI-2011
- ✓ Cálculo para la cantidad de reactivo a usar.
- ✓ Lista de reactivos en inventarios, verificación de caducidad, lotes, ubicación.
- ✓ Diagramas de flujo para método DQO-TS baja concentración 150 mg/L.
- ✓ Capacitación en el uso adecuado de pipetas volumétricas graduadas, uso de balanza analítica (calibración).
- ✓ Preparación de las siguientes disoluciones: Dicromato de potasio a 0.015 Mol/L (ver ilustración 13), Ácido sulfúrico 4 Mol/L, Ácido sulfúrico 1.8 Mol/L, sulfato de mercurio (II) 1.35 Mol/L, Sulfato de Plata 0.0385 Mol/L y Disolución Madre de Referencia concentración masa de ftalato ácido de Potasio (de 10 000 mg/L).
- ✓ Elaboración de tubos de digestión para el parámetro DQO-TS a bajo intervalo (hasta 150 mg/L), ver Ilustración 14.
- ✓ Preparación de las disoluciones de calibración 30mg/L, 60mg/L, 90mg/L, 120mg/L y 150mg/L de ftalato ácido de Potasio.
- ✓ Elaboración de curvas de calibración.



Ilustración 13. Preparación de la disolución de Dicromato de potasio a 0.015 Mol/L



Ilustración 14. Elaboración de tubos DQO de acuerdo a la Norma NMX-AA-030/2-SCFI-2011

4.1.2. Coliformes totales y *Escherichia Coli* en agua por la técnica sustrato definido. Este método detecta y estima los organismos coliformes totales y *Escherichia coli* en muestras de agua mediante el uso de tablas de probabilidad. A 100 mL de muestra se le agregó el sustrato, se transfirió la mezcla a una charola de incubación, se selló con calor, y se incubó durante 24 horas a 35°C. Luego se contó el número de celdas positivas y se utilizó la tabla NMP para determinar el número más probable (NMP). Para identificar la presencia de *Escherichia Coli* en la muestra, la celda debía presentar luminiscencia al exponerla a los rayos UV, en cambio para coliformes la celda se tornaba en un color amarillo.

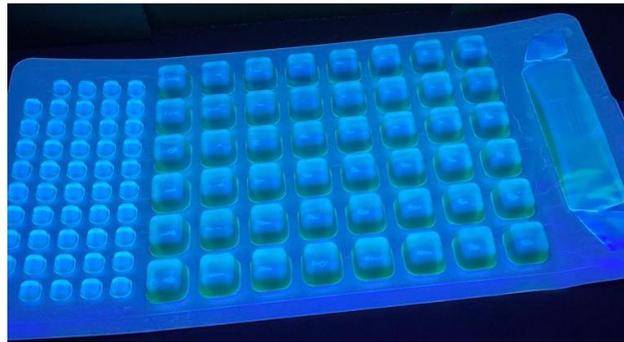


Ilustración 15. Conteo de celdas positivas para la identificación de la bacteria *Escherichia Coli* en una muestra.



Ilustración 16. Conteo de celda positivas para la identificación de Coliformes Totales en una muestra.

5. Evaluación de los datos de calidad del agua de los ríos Amarillo y Fogótico. Se realizó el análisis de datos y la comparación de resultados de calidad del agua con indicadores, normas y/o criterios nacionales e internacionales de calidad el agua. Además, con la información recabada se identificaron las fuentes de contaminación potenciales que pueden afectar la calidad del agua.

6. Discusión de resultados y conclusiones. Se elaboró el análisis final, donde se describieron los datos obtenidos y se discutiendo qué factores afectan la calidad del agua de los ríos en base a los parámetros evaluados.

7. Elaboración del informe final. Se realizó el informe final de acuerdo a los requerimientos establecidos por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El análisis de los datos obtenidos en los cuatro puntos de monitoreo, se realizó de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, publicada en el DOF el 11 de Marzo de 2022 y la norma estadounidense “SECTION 23 24 AND 96 THE WATER POLLUTION CONTROL. También se emplearon los indicadores y semáforos de calidad emitidos por la CONAGUA (ver Anexo 1).

4.1 Río Amarillo

4.1.1. Estación de monitoreo Sumidero (OCFSU2966).

De acuerdo a los datos obtenidos de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en el periodo comprendido del 2012 al 2022 de la estación de monitoreo Sumidero (Anexo 2) se elaboró la Tabla 6, en la que se muestran los resultados estadísticos, tales como promedio, media geométrica, mediana, mínimo, máximo y desviación estándar de los datos

Tabla 6. Resultados estadísticos de la estación Sumidero.

Parámetro	Global		Época de lluvia		Época de estiaje		Comentarios
	Prom.		Prom.		Prom.		
Temperatura (°C)	Prom.	18.74	Prom.	19.11	Prom.	18.28	Las variaciones de temperatura presentes en este sitio se encuentran dentro del intervalo de valores permisibles tanto para lluvia como para estiaje. La desviación estándar es más baja durante lluvias, esto indica que los datos se encuentran cercanos al valor promedio.
	Mdna.	18.80	Mdna.	19.03	Mdna.	18.2	
	Min.	14.2	Min.	16.00	Min.	14.2	
	Max.	23.9	Max.	23.10	Max.	23.9	
	Desv. std	2.1768	Desv. std	1.9056	Desv. std	2.4527	
Conductividad eléctrica (µS/cm)	Prom.	473.47	Prom.	457.57	Prom.	493.54	Los valores más elevados de conductividad se encuentran en la temporada de estiaje. Se observa además, que la desviación estándar es alta en todas las temporadas, esto indica que los datos se encuentran dispersos del valor promedio. Los valores registrados se encuentran dentro de los límites permisibles
	Mdna.	455.3	Mdna.	452	Mdna.	466	
	Min.	163	Min.	163	Min.	293.3	
	Max.	795.7	Max.	766.7	Max.	795.7	
	Desv. std	147.8756	Desv. std	165.0149	Desv. std	124.3668	
Ph	Prom.	7.65	Prom.	7.725	Prom.	7.544	Los valores de pH promedio obtenidos muestran una tendencia ligeramente alcalina. El valor mínimo se encuentra en la temporada de estiaje y es ligeramente ácido. Los valores registrados se encuentran dentro de los límites establecidos por la NOM 001. Se observa además, que la desviación estándar es baja en todas las temporadas, esto indica que los datos se encuentran cercanos al valor promedio.
	Mdna.	7.70	Mdna.	7.795	Mdna.	7.67	
	Min.	6.6	Min.	6.8	Min.	6.6	
	Max.	8.34	Max.	8.34	Max.	8.2	
	Desv. std	0.3841	Desv. std	0.3763	Desv. std	0.3794	
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	M. geo.	3439.39	M. geo.	2761.49	M. geo.	4538.45	La presencia de coliformes y <i>Escherichia Coli</i> en este sitio es mayor en la temporada de estiaje esto se observa a través de media geométrica y de la mediana que representa
	Mdna.	2400	Mdna.	2400	Mdna.	11000	
	Min.	4	Min.	4	Min.	93	

	Max.	24000	Max.	24000	Max.	24000	<p>medida de la tendencia general o valor medio de los datos.</p> <p>Los valores obtenidos en ambos parámetros se encuentran en su mayor parte por encima de los límites establecidos por la NOM 001.</p> <p>A través de los datos obtenidos de desviación estándar se puede inferir que hay una amplia dispersión de datos.</p>
	Desv. std	10778.861	Desv. std	10756.214	Desv. std	10916.553	
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100 ml)	M. geo.	3066.48	M. geo.	2286.57	M. geo.	4535.05	
	Mdna.	2400	Mdna.	2400	Mdna.	11000	
	Min.	3	Min.	3	Min.	93	
	Max.	24000	Max.	24000	Max.	24000	
	Desv. std	10946.999	Desv. std	10851.6056	Desv. std	11079.82498	
DBO5 (mg/L)	Prom.	50.76	Prom.	34.34	Prom.	71.51	<p>En época lluvia los niveles de DBO hallados tienden a ser en su mayoría valores que se encuentran fuera del límite permisible establecido por la norma, los datos están dispersos pero en menor medida con respecto a los datos globales y de estiaje.</p>
	Mdna.	39.9	Mdna.	24.27	Mdna.	66.75	
	Min.	5.9	Min.	5.9	Min.	14.1	
	Max.	236.49	Max.	120.05	Max.	236.49	
	Desv. std	43.8336	Desv. std	30.5277	Desv. std	49.78495	
DQO (mg/L)	Prom.	108.6773	Prom.	92.77625	Prom.	128.7630211	<p>La tendencia observada en este sitio con relación a la DQO es hacia el incremento, encontrando que los datos con valores elevados se muestran durante la temporada de estiaje. Sin embargo el valor máximo DQO alcanzado es en lluvias (382.76 mg/L) y el mínimo fue hallado durante estiaje (18.06) pero el valor medio de los datos fue mucho menor en lluvias, a pesar de ello se halló que ningún dato está dentro del límite permisible que establece la NOM 001.</p>
	Mdna.	86.86	Mdna.	69.115	Mdna.	115.31	
	Min.	18.06	Min.	25.2	Min.	18.06	
	Max.	382.76	Max.	382.76	Max.	351.85	
	Desv. std	81.3944	Desv. std	79.1078	Desv. std	81.848	
SDT (mg/L)	Prom.	303.02	Prom.	292.85	Prom.	315.87	<p>Todos valores de SDT y SST se mantienen dentro de intervalo permitido por la norma estadounidense "Water Pollution Control Act" y la norma mexicana NOM 001.</p> <p>Los valores más elevados de SDT se muestran durante la temporada de estiaje esto implica que en ausencia de lluvia se concentra mayor materia orgánica inorgánica en el agua.</p> <p>El parámetro SST fue mayor en lluvias esto se debe a que durante las lluvias el afluente eleva su caudal provocando un mayor arrastre de partículas sólidas.</p>
	Mdna.	291.39	Mdna.	289.28	Mdna.	298.24	
	Min.	104.32	Min.	104.32	Min.	187.712	
	Max.	509.248	Max.	490.688	Max.	509.248	
	Desv. std	94.6404	Desv. std	105.6096	Desv. std	79.5947	
SST (mg/L)	Prom.	47.79	Prom.	49.65	Prom.	45.53	
	Mdna.	38.5	Mdna.	34	Mdna.	42	
	Min.	10	Min.	10	Min.	10	
	Max.	218	Max.	218	Max.	116	
	Desv. std	38.1611	Desv. std	45.3538	Desv. std	28.163	
Nitrito (mg/L)	Prom.	0.05453	Prom.	0.05816	Prom.	0.0499	<p>Las concentraciones encontradas de NO3 y NO2 son relativamente bajas, encontrándose dentro de límite permisible establecido por la norma de Estados Unidos: Water Pollution Control Act, artículo 7 párrafo 2.</p>
	Mdna.	0.005	Mdna.	0.005	Mdna.	0.005	
	Min.	0.005	Min.	0.005	Min.	0.005	
	Max.	0.407	Max.	0.407	Max.	0.3986	
	Desv. std	0.106872	Desv. std	0.10241	Desv. std	0.11516	
Nitrato	Prom.	0.61865	Prom.	0.75187	Prom.	0.44102	
	Mdna.	0.30405	Mdna.	0.3437	Mdna.	0.22155	
	Min.	0.031	Min.	0.031	Min.	0.031	

(mg/L)	Max.	6.9096	Max.	6.9096	Max.	1.8148	La desviación estándar es más baja en todas las temporadas, esto indica que los datos se encuentran cercanos al valor promedio
	Desv. std	1.1225	Desv. std	1.414634	Desv. std	0.52262	
Oxígeno Disuelto (%)	Prom.	31.0644	Prom.	34.9587	Prom.	25.46625	El porcentaje de oxígeno disuelto presentado en este sitio presenta valores más altos en temporada de lluvias. La dispersión de datos es moderada pues en los grafios presentados más adelante se observarla con mayor claridad que para los años 2015-2017 Y 2022 el valor se eleva y se considera fuera del límite permisible por la NOM 001.
	Mdna.	25.11	Mdna.	28.03	Mdna.	19.89	
	Min.	10	Min.	10	Min.	10	
	Max.	79.7	Max.	79.7	Max.	60.07	
	Desv. std	20.5787	Desv. std	21.9033	Desv. std	17.6778	

Discusión sobre los datos analizados en la estación Sumidero (OCFSU2966)

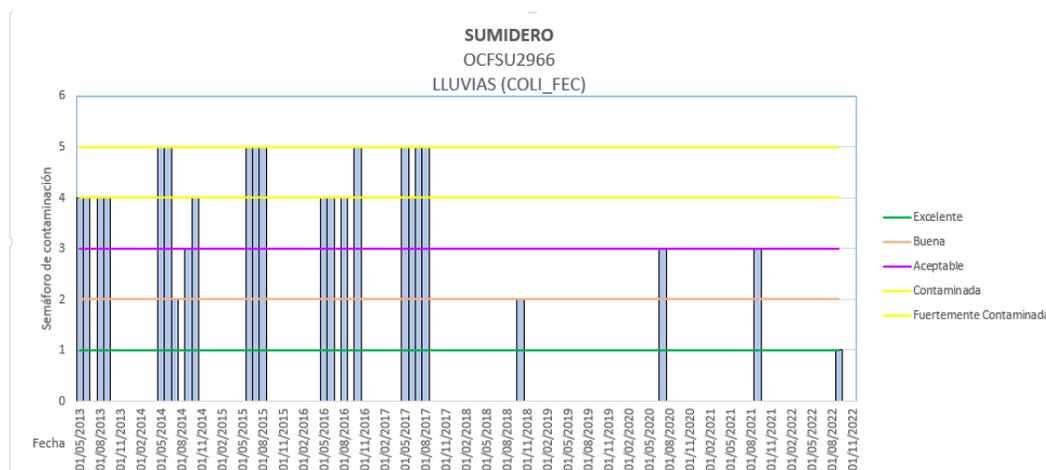
Este cuerpo se encuentra contaminado principalmente por los parámetros de DBO5, DQO, coliformes fecales, E. coli y el porcentaje de oxígeno disuelto, situación que indica que este cuerpo recibe de las descargas de aguas residuales sin tratar de la ciudad de San Cristóbal de las Casas, así como de las poblaciones que se encuentran ubicadas sobre sus márgenes.

Cronología de la variabilidad de la calidad del agua

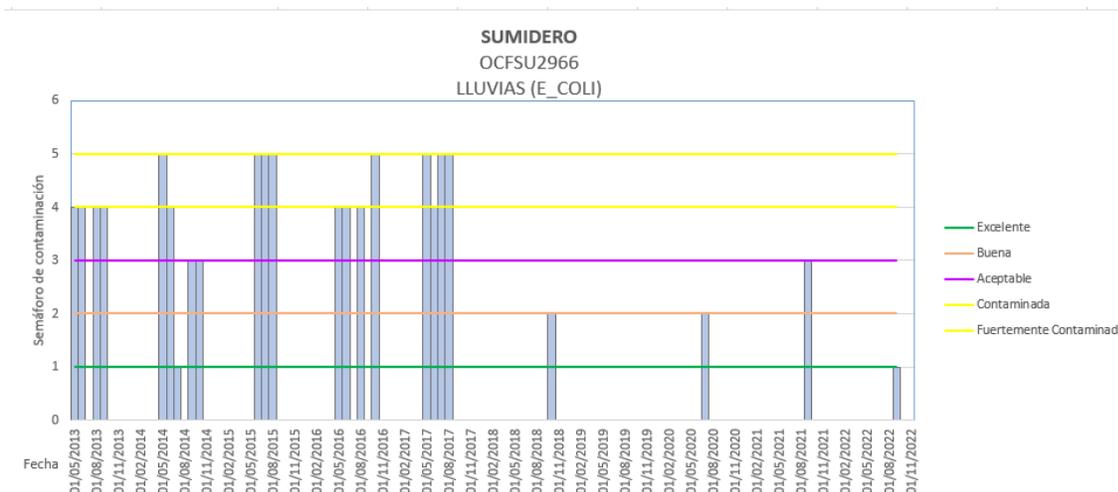
A continuación se muestran los gráficos obtenidos en época de lluvia (mayo a octubre) y en estiaje (noviembre a abril) clasificando los datos de acuerdo a los indicadores de calidad donde 1 es Excelente, 2 es buena, 3 es aceptable, 4 contaminada y 5 fuertemente contaminada.

Parámetros bacteriológicos:

En las gráficas 1 y 2 se puede observar el comportamiento bacteriológico del Río amarillo durante lluvias en la estación Sumidero, la cual se ubica a la salida de San Cristóbal de las Casas. Dese el mayo del 2013 hasta agosto del 2017 el río se clasificó como **contaminado y fuertemente contaminado** tanto para coliformes fecales y *Escherichia Coli*. Sin embargo, a finales del 2018 hasta septiembre del 2022 dichos parámetros comienzan a cumplir con la norma pues los datos se mantienen con valores de 1, 2 y 3 que indican **calidad excelente, buena y aceptable** respectivamente.

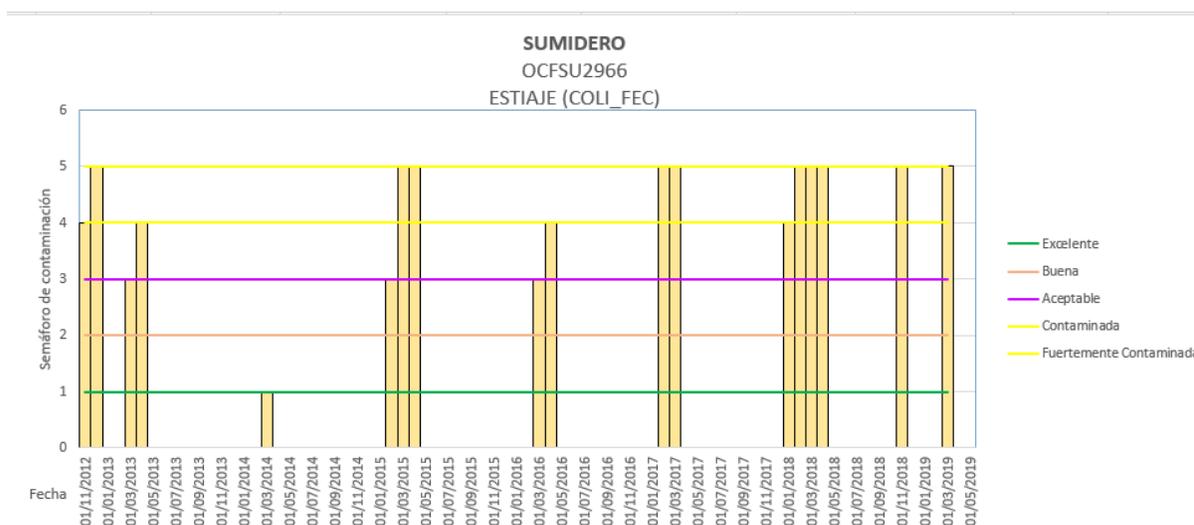


Gráfica 1. Variación de Coli_Fec durante lluvias en la estación Sumidero.

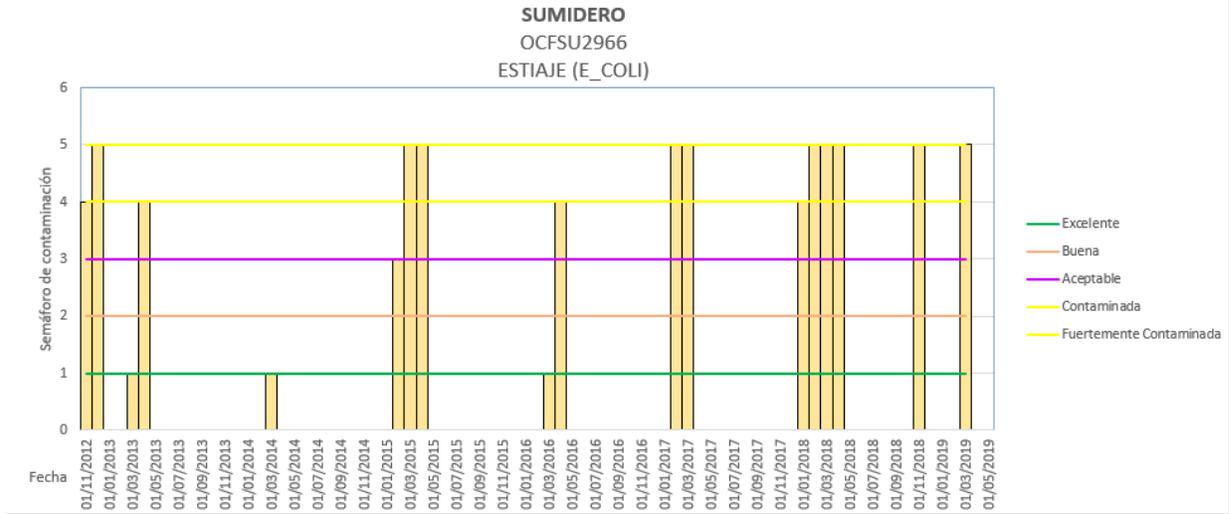


Gráfica 2. Variación de E_Coli durante lluvias en la estación Sumidero.

Por otro lado en las gráficas 3 y 4 se presenta la variación de coliformes fecales y E. Coli para el mismo punto de monitoreo pero en temporada de estiaje. En los gráficos se puede observar que ambos parámetros han permanecido principalmente como **contaminado y fuertemente contaminado** durante todo el periodo 2013-2022.



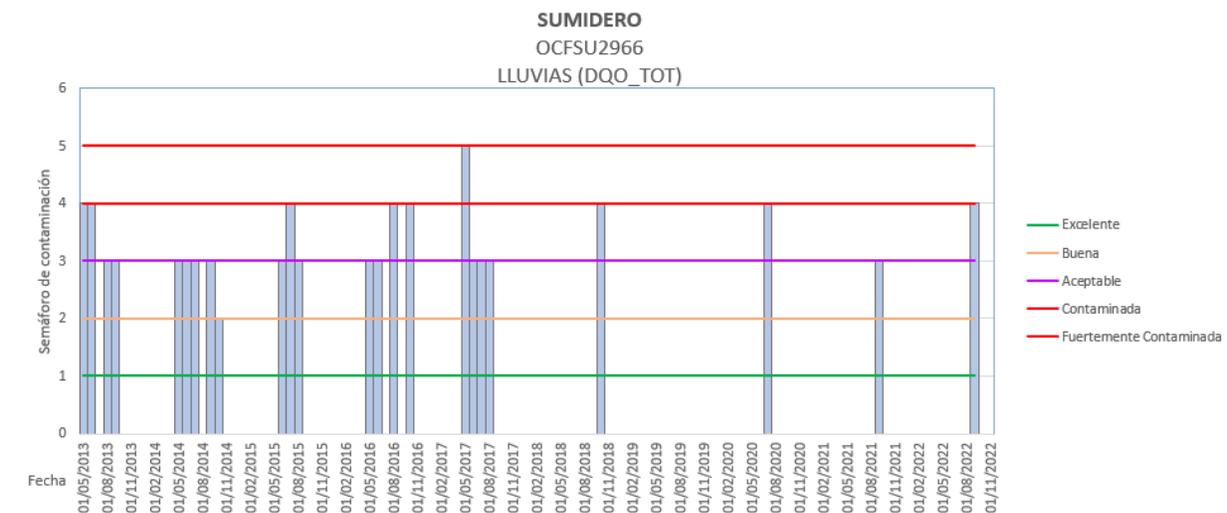
Gráfica 3. Variación de E_Coli durante estiaje en la estación Sumidero.



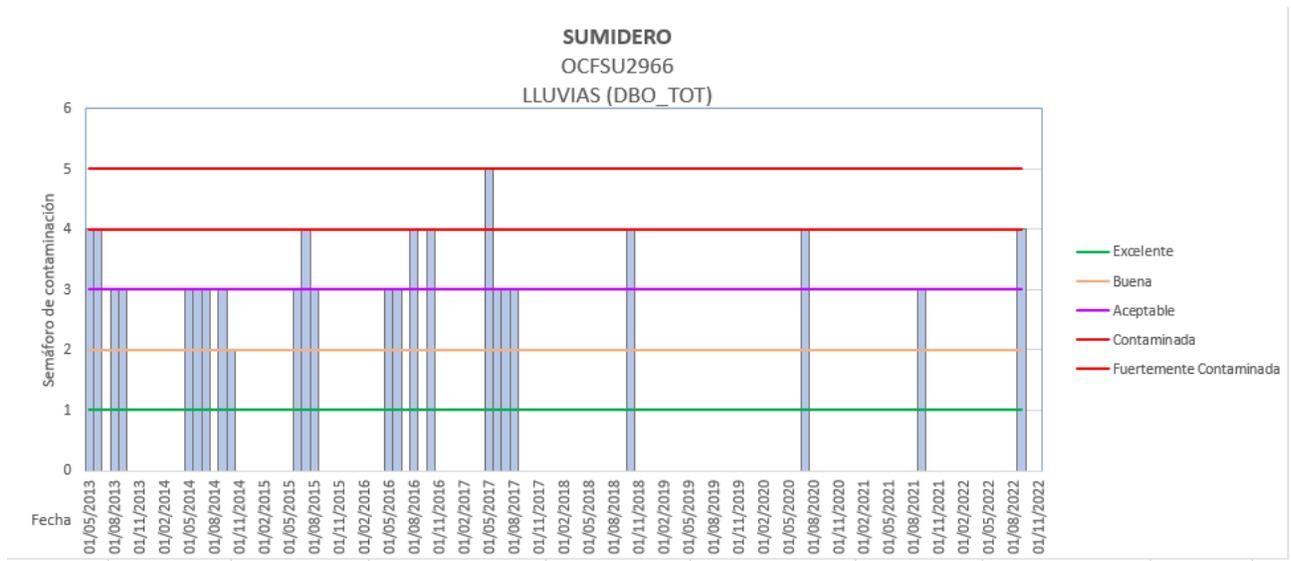
Gráfica 4. Variación de E_Coli durante estiaje en la estación Sumidero.

Parámetros químicos

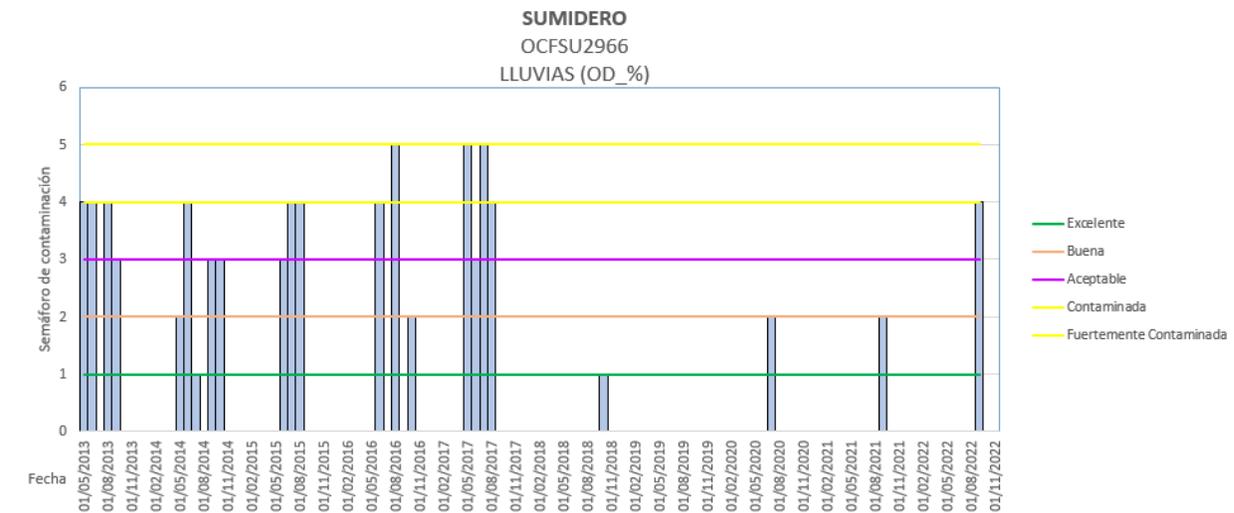
En las gráficas 5, 6 y 7 se muestra la variación de DQO, DBO5 y OD% durante la época de lluvias para la estación Sumidero. Desde el año 2013 al 2017 se observa que en el parámetro de DQO la calidad del agua mayormente es **aceptable**, por otro lado, la DBO y el %OD se clasifican como **contaminado**. A finales del 2018 hasta septiembre del 2022 la DQO y DBO se clasifican como **contaminado**, en cambio el porcentaje de oxígeno disuelto tiene una calidad **aceptable** excepto en el último año que se clasifica como **contaminado**. Nitratos y nitritos se clasificaron como **aceptable** en ambas temporadas en todos los años.



Gráfica 5. Variación de DQO durante lluvia en la estación Sumidero.

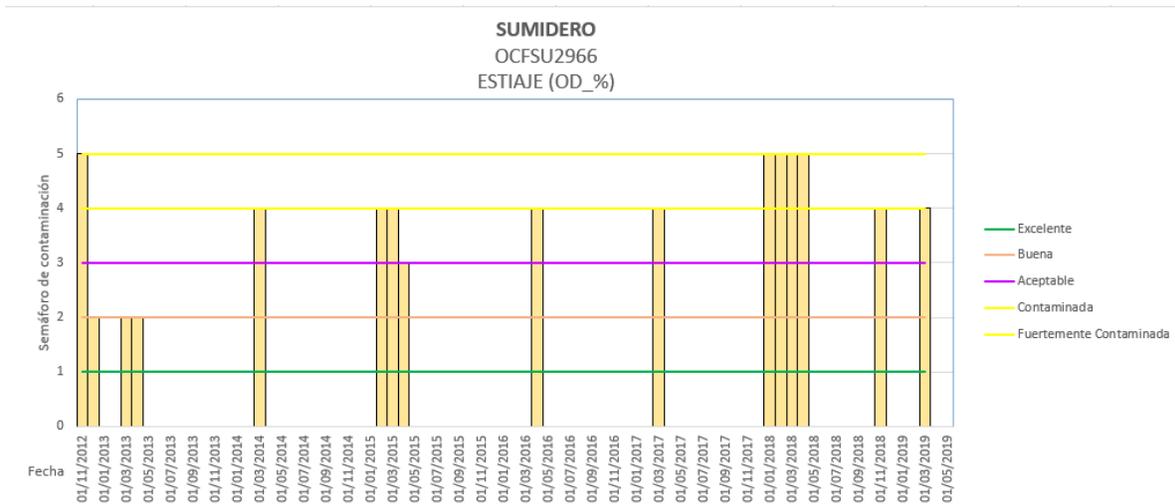


Gráfica 6. Variación de DBO durante lluvia en la estación Sumidero.

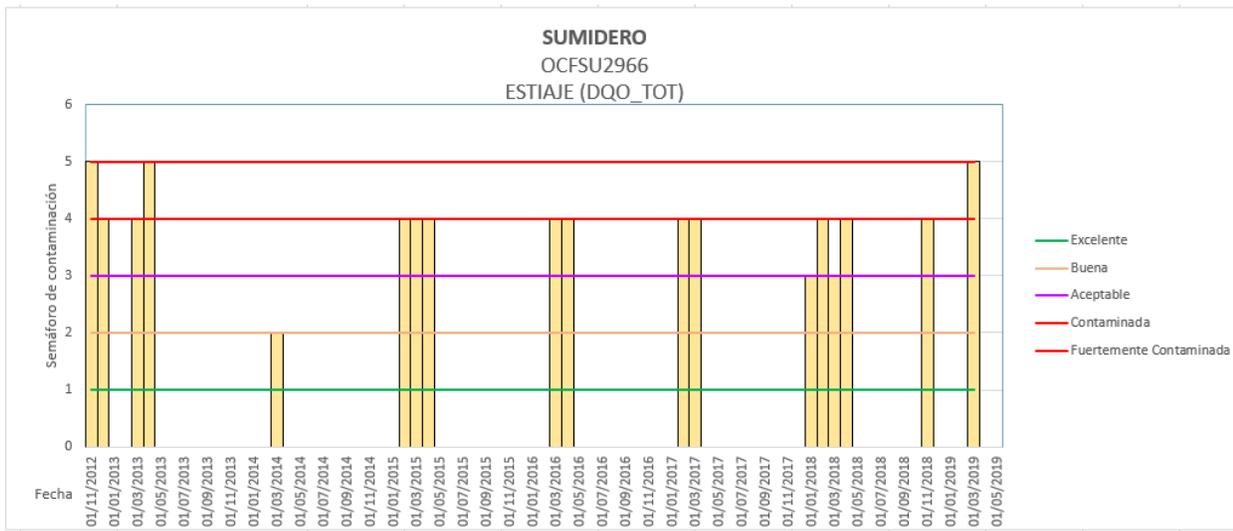


Gráfica 7. Variación de OD% durante lluvia en la estación Sumidero.

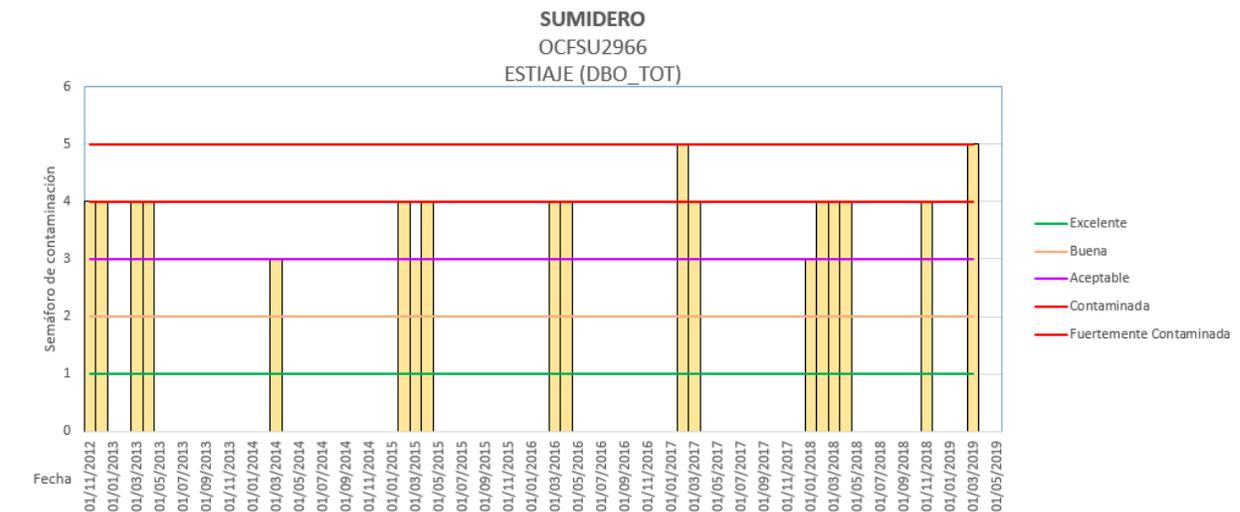
A continuación se muestra la variación de OD%, DQO y DBO5 durante época de estiaje para la estación Sumidero en las gráficas 8, 9 y 10 respectivamente, donde se puede observar que todos parámetros han permanecido en su mayoría como **contaminado y fuertemente contaminado** para el período 2013-2022. Indicando que los cuerpos de agua reciben altos aportes de materia orgánica biodegradable y no biodegradable durante su recorrido a través de la ciudad.



Gráfica 10. Variación de OD% durante estiaje en la estación Sumidero.



Gráfica 9 Variación de DQO durante estiaje en la estación Sumidero.

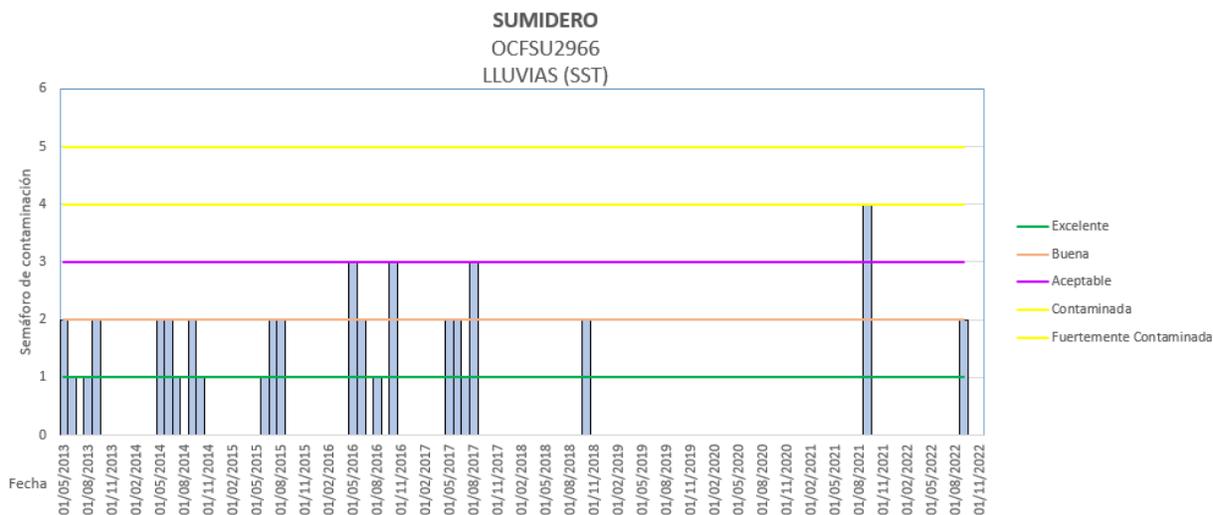


Gráfica 8. Variación de DBO durante estiaje en la estación Sumidero.

Parámetros físicos

A continuación se muestra la variación de sólidos suspendidos totales en época de lluvia donde se observa que en septiembre de 2021 se clasificó como **contaminado**, esto se debe a que durante las lluvias el afluente eleva su caudal provocando un mayor arrastre de partículas sólidas.

El resto del periodo la calidad del agua fue **aceptable, buena y excelente** tanto para lluvia y como para estiaje.



Gráfica 11. Variación de SST durante lluvias en la estación Sumidero.

Parámetro toxicológico

Se realizaron parámetros de bioensayos de toxicidad aguda utilizando los métodos Daphnia Magna y Vibrio Fisheri. Los resultados obtenidos para la estación Sumidero con el método Vibrio Fisheri arrojan **toxicidad alta** en los años 2016, 2018 y 2019. Las sustancias que son consideradas tóxicas son los fenoles, zinc II, cromo XI y 3,5, Diclorofenol.

En San Cristóbal se encuentran localizadas curtidorías de pieles que usan curtientes que contienen cromo hexavalente, también hay empresas textiles y cerámicas que utilizan colorantes que están compuestos de agentes surfactantes como fenoles y metales pesados los cuales son potenciales contaminadores que han ocasionado los altos niveles de toxicidad en el río.

4.1.2. Estación de monitoreo Río Amarillo (OCFSU2972).

De acuerdo a los datos obtenidos de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en el periodo comprendido del 2012 al 2022 de la estación de monitoreo Río Amarillo (Anexo 3) se elaboró la Tabla 7, en la que se muestran los resultados estadísticos, tales como promedio, media geométrica, mediana, mínimo, máximo y desviación estándar de los datos.

Tabla 7. Resultados estadísticos de la estación Río Amarillo.

Parámetro	Global		Época de lluvia		Época de estiaje		Comentarios
Temperatura (°C)	Prom.	17.03	Prom.	17.56	Prom.	16.41	Los datos de temperatura obtenidos en este sitio se encuentran dentro del límite permisible para todas las temporadas. La desviación estándar es más baja durante lluvias, esto indica que los datos se encuentran cercanos al valor promedio.
	Mdna.	16.78	Mdna.	17	Mdna.	15.8	
	Min.	13.6	Min.	14.7	Min.	13.6	
	Max.	22.9	Max.	22.9	Max.	19.9	
	Desv. std	2.1526	Desv. std	2.0147	Desv. std	2.1980	
Conductividad eléctrica (µS/cm)	Prom.	273.52	Prom.	293.01	Prom.	249.93	Todos los datos de conductividad están dentro del límite permisible que establece la norma estadounidense llamada "Water Pollution Control Act". Los valores más elevados de conductividad se encuentran en la temporada de lluvia, se puede observar también, que la desviación estándar es alta en todas las temporadas, esto indica que los datos se encuentran dispersos del valor promedio.
	Mdna.	257.5	Mdna.	264	Mdna.	252	
	Min.	115	Min.	115	Min.	139	
	Max.	762	Max.	762	Max.	516	
	Desv. std	117.3902	Desv. std	132.3171	Desv. std	94.4331	
pH	Prom.	7.59	Prom.	7.581	Prom.	7.598	El pH promedio obtenido en todas las temporadas muestra una tendencia ligeramente alcalina y están dentro de los límites establecidos por la NOM 001. El valor mínimo se encuentra en la temporada de lluvia y es ligeramente ácido. La que la desviación estándar es baja en todas las temporadas, esto indica que los datos se encuentran cercanos al valor promedio.
	Mdna.	7.6	Mdna.	7.6	Mdna.	7.7	
	Min.	6.5	Min.	6.5	Min.	6.7	
	Max.	8.12	Max.	8.12	Max.	8.11	
	Desv. std	0.4065	Desv. std	0.4048	Desv. std	0.41949	
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	M. geo.	438.53	M. geo.	881.85	M. geo.	195.30	La presencia de coliformes y <i>Escherichia Coli</i> en este sitio es mayor en la temporada de lluvia. Los valores obtenidos en ambos parámetros se encuentran en su mayor parte fuera de los límites permisibles para los años 2013-2017 sin embargo durante el 2018 hasta 2022 los datos están dentro de los valores permitidos establecidos por la NOM 001.
	Mdna.	280	Mdna.	930	Mdna.	210	
	Min.	10	Min.	70	Min.	10	
	Max.	24000	Max.	24000	Max.	2400	
	Desv. std	4108.73	Desv. std	5352.4893	Desv. std	744.2135	
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100ml)	M. geo.	444.25	M. geo.	746.40	M. geo.	243.61	
	Mdna.	750	Mdna.	930	Mdna.	230	
	Min.	15	Min.	15	Min.	30	
	Max.	24000	Max.	24000	Max.	2400	
	Desv. std	4102.645	Desv. std	5360.586	Desv. std	818.040	
	Prom.	5.85	Prom.	6.61	Prom.	4.94	

DBO (mg/L)	Mdna.	3.465	Mdna.	4.4	Mdna.	3.18	Los valores de DBO mostrados se encuentran en su mayoría dentro del límite permisible que establece la NOM 001. Únicamente hay una dato que sobrepasa los límites y se encuentra como valor máximo en la temporada de lluvia, Los datos presentan valores de desviación estándar relativamente bajos que se pueden interpretar como un grado de dispersión bajo con respecto a la media.
	Min.	2	Min.	2	Min.	2	
	Max.	41.28	Max.	41.28	Max.	12.18	
	Desv. std	6.5770	Desv. std	8.2564	Desv. std	3.6864	
DQO (mg/L)	Prom.	20.42	Prom.	20.92	Prom.	19.81	La tendencia observada en este sitio con relación a la DQO es hacia el incremento, encontrando que los datos con valores elevados se muestran durante la temporada de lluvia. A pesar de ello se halló que la mayor parte de datos están dentro del límite permisible que establece la NOM 001.
	Mdna.	14.52	Mdna.	13.1	Mdna.	14.64	
	Min.	10	Min.	10	Min.	10	
	Max.	74.17	Max.	74.17	Max.	55.67	
	Desv. std	14.7162	Desv. std	16.1635	Desv. std	13.1631	
SDT (mg/L)	Prom.	175.05	Prom.	187.52	Prom.	159.95	Todos valores de SDT y SST se mantienen dentro de intervalo permitido por la norma estadounidense llamada "Water Pollution Control Act" y la norma mexicana NOM 001. Los valores más elevados de SDT se muestran durante la temporada de lluvia esto implica en esas fechas se concentra mayor materia orgánica e inorgánica en el agua. El parámetro SST fue mayor en lluvias esto se debe a que durante las lluvias el afluente eleva su caudal provocando un mayor arrastre de partículas sólidas.
	Mdna.	164.8	Mdna.	168.96	Mdna.	161.28	
	Min.	73.6	Min.	73.6	Min.	88.96	
	Max.	487.68	Max.	487.68	Max.	330.24	
	Desv. std	75.1298	Desv. std	84.6829	Desv. std	60.4372	
SST (mg/L)	Prom.	25	Prom.	32.17391304	Prom.	15.833333333	El parámetro SST fue mayor en lluvias esto se debe a que durante las lluvias el afluente eleva su caudal provocando un mayor arrastre de partículas sólidas.
	Mdna.	16	Mdna.	20	Mdna.	12	
	Min.	10	Min.	10	Min.	10	
	Max.	104	Max.	104	Max.	40	
	Desv. std	23.6527	Desv. std	28.9869	Desv. std	8.3894	
Nitrito NO ₂ (mg/L)	Prom.	0.0472	Prom.	0.0498	Prom.	0.0442	Las concentraciones encontradas de NO ₂ y NO ₃ son relativamente bajas, encontrándose dentro de límite permisible establecido por la norma de Estados Unidos: Water Pollution Control Act, artículo 7 párrafo 2.
	Mdna.	0.005	Mdna.	0.02035	Mdna.	0.005	
	Min.	0.005	Min.	0.005	Min.	0.005	
	Max.	0.3218	Max.	0.258	Max.	0.3218	
	Desv. std	0.07699	Desv. std	0.06373	Desv. std	0.09175	
Nitrato NO ₃ (mg/L)	Prom.	0.5260	Prom.	0.6028	Prom.	0.4371	La desviación estándar es más baja en todas las temporadas, esto indica que los datos se encuentran cercanos al valor promedio
	Mdna.	0.3044	Mdna.	0.43085	Mdna.	0.2289	
	Min.	0.031	Min.	0.031	Min.	0.031	
	Max.	3.9438	Max.	3.9438	Max.	2.722	
	Desv. std	0.7402	Desv. std	0.8038	Desv. std	0.6694	
Oxígeno Disuelto	Prom.	61.79	Prom.	65.18	Prom.	56.81	El porcentaje de oxígeno disuelto presentado en este sitio tiene valores que se encuentran dentro del límite permisible. El valor máximo se halló en temporada de lluvias y el mínimo en estiaje.
	Mdna.	61.9	Mdna.	65.685	Mdna.	52.5	
	Min.	23.9	Min.	44.8	Min.	23.9	
	Max.	97.6	Max.	97.6	Max.	85.5	
	Desv. std	17.3102	Desv. std	15.0224	Desv. std	19.6804	

Discusión sobre los datos analizados en la estación Río Amarillo (OCFSU2972)

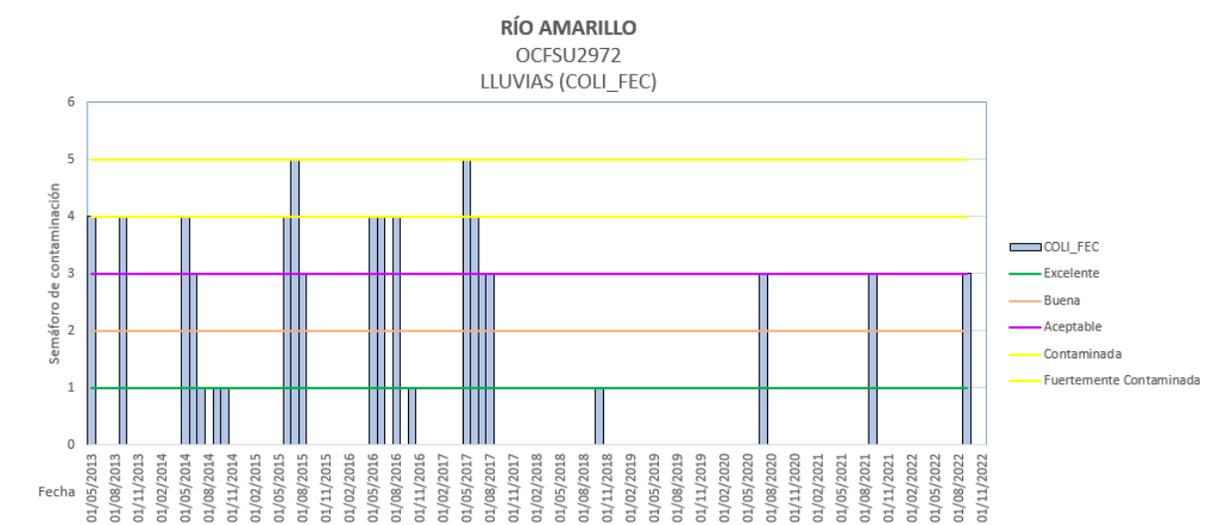
Los parámetros más influyentes sobre la calidad del agua en este sitio son coliformes fecales y E. coli sobre todo en la temporada de lluvias donde se obtuvo un valor máximo de 24 000 NMP/100ml. Por otro lado, comparando los resultados obtenidos con la estación Sumidero

(OCFSU2966) se observan que los parámetros de DBO5, DQO decrecen y el porcentaje de Oxígeno disuelto es mayormente aceptable. Por tanto, es posible afirmar que el Río Amarillo, antes de entrar a la ciudad de San Cristóbal, se encuentra contaminado únicamente por parámetros bacteriológicos.

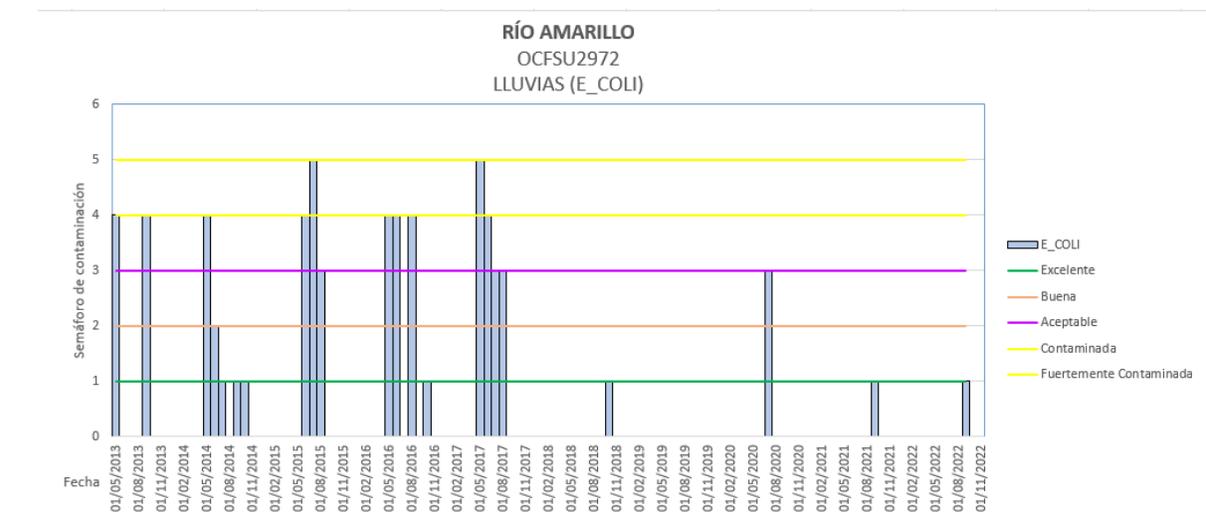
Cronología de la variabilidad de la calidad del agua. A continuación se muestran los gráficos obtenidos en época de lluvia (mayo a octubre) y en estiaje (noviembre a abril) clasificando los datos de acuerdo a los indicadores de calidad donde 1 es Excelente, 2 es buena, 3 es aceptable, 4 contaminada y 5 fuertemente contaminada.

Parámetros bacteriológicos:

En las gráficas 12 y 13 se puede observar el comportamiento bacteriológico de la estación Río amarillo durante lluvias. En el período 2013-2017 el sitio se clasificó como **contaminado** principalmente para coliformes fecales y *Escherichia Coli*. Los años con valores de contaminación más altos fueron 2015 y 2017. Sin embargo, a finales del 2018 hasta septiembre de 2022 dichos parámetros comienzan a cumplir con la norma manteniendo una calidad de agua **excelente y aceptable**.

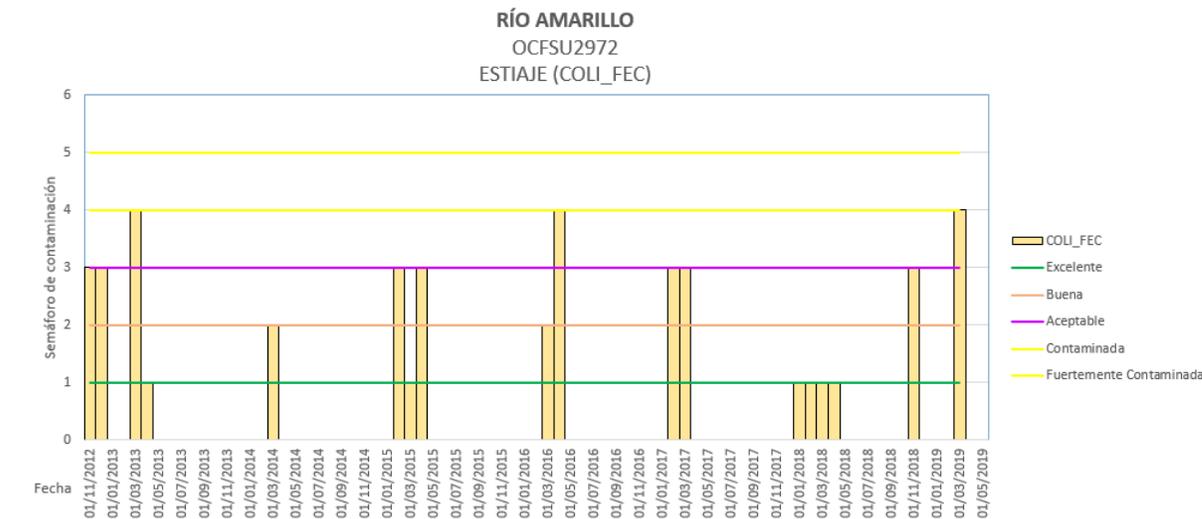


Gráfica 13. Variación de Coli_Fec durante lluvia en la estación Río Amarillo.



Gráfica 12. Variación de E_coli durante lluvia en la estación Río Amarillo.

Por otro lado en las gráficas 14 y 15 se presenta la variación de coliformes fecales y E. Coli para el mismo punto de monitoreo pero en temporada de estiaje. En los gráficos se puede observar que ambos parámetros han fluctuado a través del tiempo siendo el 2018 el año con mejor calidad, y por el contrario, en el 2013, 2016 y 2019 hubo un aumento en los parámetros causando que el agua se clasifique como **contaminada**. Sin embargo, el semáforo predominante en todo el periodo fue **aceptable** en coliformes fecales y **excelente** para *Escherichia coli*.



Gráfica 15. Variación de Coli_fec durante estiaje en la estación Río Amarillo.

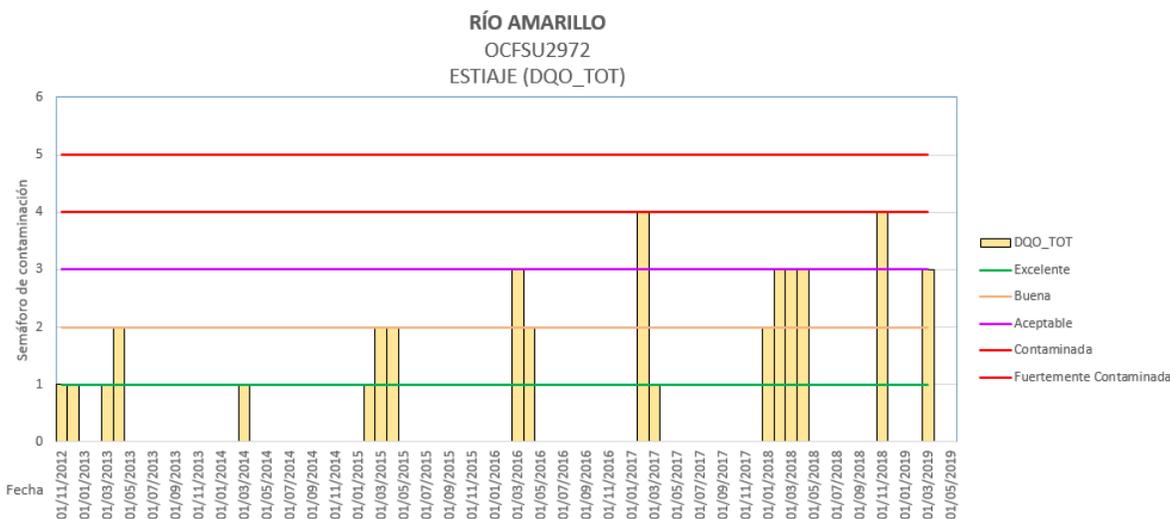
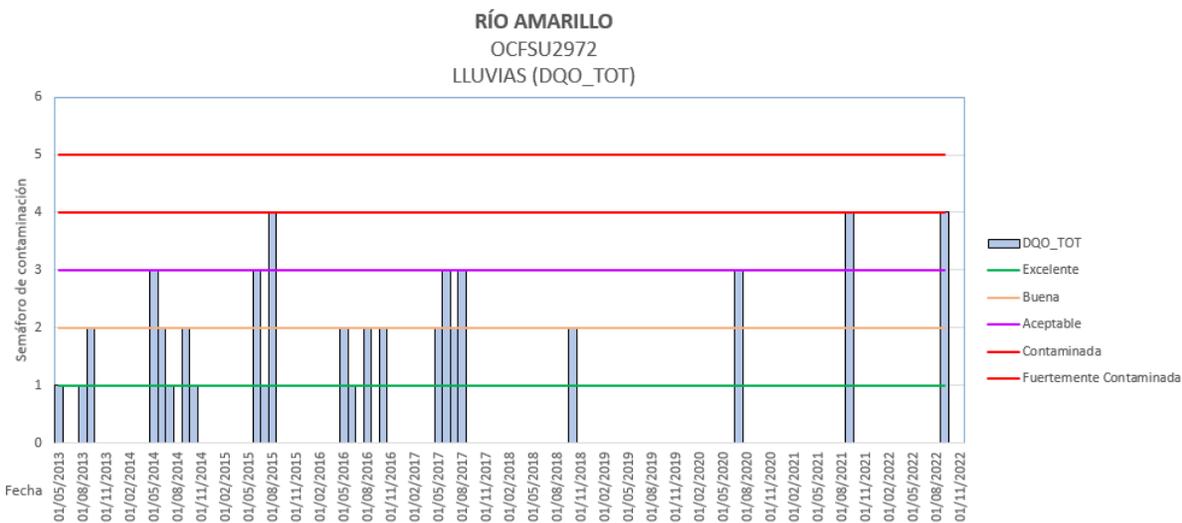


Gráfica 14. Variación de E_coli durante estiaje en la estación Río Amarillo.

Parámetros químicos

En las gráficas 16 y 17 se muestra la variación de DQO, durante la época de lluvias y estiaje para la estación Sumidero. En general el río presenta una calidad **buena**. Se puede observar que hubo un incremento en los valores de lluvia a partir del 2021 donde el punto presenta una calidad de agua **contaminada**.

DBO5 nitratos, nitritos y %OD mantienen una calidad **aceptable** cumpliendo con la normatividad



Parámetros físicos

Los sólidos suspendidos totales mantuvieron una calidad **aceptable** en estiaje y **excelente** en lluvias. Mientras que, los sólidos disueltos estables se clasificaron como **aceptable** en ambas temporadas.

Parámetros toxicológicos.

Los resultados obtenidos en toxicidad aguda, utilizando los métodos de Vibrio Fisheri y Dafnia Magna arrojaron **no tóxico** para el periodo comprendido del 2012 al 2022.

4.2 Río Fogótico

4.2.1. Estación de monitoreo Río Fogótico (OCFSU2967).

De acuerdo a los datos obtenidos de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en el periodo comprendido del 2012 al 2022 de la estación de monitoreo Río Fogótico (Anexo 4) se elaboró la Tabla 8, en la que se muestran los resultados estadísticos, tales como promedio, media geométrica, mediana, mínimo, máximo y desviación estándar de los datos.

Tabla 8. Resultados estadísticos de la estación Río Fogótico.

Parámetro	Global		Época de lluvia		Época de estiaje		Comentarios
Temperatura (°C)	Prom.	16.75	Prom.	17.19	Prom.	16.19	Este parámetro mantiene un comportamiento “aceptable” comparando los indicadores de calidad de la CONAGUA.
	Mdna.	16.2	Mdna.	16.6	Mdna.	16	
	Min.	13.1	Min.	14.8	Min.	13.1	
	Max.	26.1	Max.	22.6	Max.	26.1	
	Desv.std	2.477	Desv.std	1.806	Desv.std	3.0917	
Conductividad eléctrica (µS/cm)	Prom.	177.71	Prom.	194.51	Prom.	156.235	Los datos de conductividad se encuentran dentro del intervalo de valores permisibles. Se observa que los valores más elevados de conductividad se encuentran en la temporada de lluvia.
	Mdna.	163.3	Mdna.	170.07	Mdna.	158.45	
	Min.	120.67	Min.	122	Min.	120.67	
	Max.	784	Max.	784	Max.	175.33	
	Desv.std	99.2015	Desv.std	130.6928	Desv.std	13.4372	
pH	Prom.	7.95	Prom.	7.93	Prom.	7.97	El pH se mantiene dentro de los valores permisibles. El valor máximo se encuentra en la temporada de lluvia.
	Mdna.	8.087	Mdna.	8.045	Mdna.	8.087	
	Min.	6.6	Min.	6.6	Min.	6.8	
	Max.	8.85	Max.	8.85	Max.	8.7	
	Desv.std	0.4943	Desv.std	0.5266	Desv.std	0.4634	
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	M. geo.	312.004	M. geo.	393.59	M. geo.	220.208	La presencia de coliformes y <i>Escherichia Coli</i> en este sitio es mayor en la temporada de lluvia. Los valores obtenidos en ambos parámetros se encuentran en su mayor parte por encima de los límites establecidos por la NOM 001. Con la desviación estándar obtenida se puede inferir que hay una amplia dispersión de datos, principalmente en la temporada de lluvia.
	Mdna.	240	Mdna.	430	Mdna.	230	
	Min.	9	Min.	11	Min.	9	
	Max.	11000	Max.	11000	Max.	4600	
	Desv.std	2608.274	Desv.std	3193.676	Desv.std	1192.138	
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100ml)	M. geo.	256.17	M. geo.	283.35	M. geo.	220.21	La presencia de coliformes y <i>Escherichia Coli</i> en este sitio es mayor en la temporada de lluvia. Los valores obtenidos en ambos parámetros se encuentran en su mayor parte por encima de los límites establecidos por la NOM 001. Con la desviación estándar obtenida se puede inferir que hay una amplia dispersión de datos, principalmente en la temporada de lluvia.
	Mdna.	2.775	Mdna.	430	Mdna.	230	
	Min.	9	Min.	9	Min.	9	
	Max.	11000	Max.	11000	Max.	4600	
	Desv.std	2610.168	Desv.std	3212.346	Desv.std	1192.138	
DBO5 (mg/L)	Prom.	5.52	Prom.	6.07	Prom.	4.86	La DBO presenta valores mayormente aceptables de acuerdo a lo indicadores de calidad, solamente hay un valor que sobrepasa el límite permisible y se
	Mdna.	18.625	Mdna.	3.36	Mdna.	2.76	
	Min.	2	Min.	2	Min.	2	
	Max.	40.08	Max.	40.08	Max.	13.01	

	Desv.st d	6.551 4	Desv.std	8.126 6	Desv.std	4.0255	encuentra en temporada de lluvia (40.08 mg/L)
DQO (mg/L)	Prom.	24.20	Prom.	29.69	Prom.	17.56	Los datos de DQO se encuentran en su mayoría dentro del intervalo de valores permisibles por la norma NOM 001. Se observa que los valores más elevados de DQO se encuentran en la temporada de lluvia.
	Mdna.	104.5 12	Mdna.	20.47	Mdna.	10	
	Min.	10	Min.	10	Min.	10	
	Max.	146.6 5	Max.	146.6 5	Max.	46.51	
	Desv.st d	23.36 88	Desv.std	29.20 03	Desv.std	10.8048	
SDT (mg/L)	Prom.	113.7 3	Prom.	124.4 9	Prom.	99.9904	Todos valores de SDT y SST se mantienen dentro de intervalo permitido por la norma estadounidense llamada "Water Pollution Control Act" y la norma mexicana NOM 001. Los valores más elevados de SDT se muestran durante la temporada de lluvia.
	Mdna.	16	Mdna.	108.8 448	Mdna.	101.408	
	Min.	77.23	Min.	78.08	Min.	77.23	
	Max.	501.7 6	Max.	501.7 6	Max.	112.211 2	
	Desv.st d	63.48 897	Desv.std	83.64 34	Desv.std	8.5998	
SST (mg/L)	Prom.	27.23	Prom.	35.46	Prom.	16.84	El parámetro SST fue mayor en lluvias esto se debe a que durante las lluvias el afluente eleva su caudal provocando un mayor arrastre de partículas sólidas.
	Mdna.	0.005	Mdna.	20	Mdna.	12	
	Min.	10	Min.	10	Min.	10	
	Max.	152	Max.	152	Max.	44	
	Desv.st d	28.24 88	Desv.std	34.87 49	Desv.std	10.1831	
Nitrito (mg/L)	Prom.	0.017 8	Prom.	0.020 2	Prom.	0.0145	Las concentraciones encontradas de NO3 y NO2 son relativamente bajas, encontrándose dentro de límite permisible establecido por la norma de Estados Unidos: Water Pollution Control Act, artículo 7 párrafo 2. La desviación estándar es más baja en todas las temporadas, esto indica que los datos se encuentran cercanos al valor promedio
	Mdna.	0.162	Mdna.	0.005	Mdna.	0.005	
	Min.	0.005	Min.	0.005	Min.	0.005	
	Max.	0.128 1	Max.	0.079	Max.	0.1281	
	Desv.st d	0.026 4	Desv.std	0.024 7	Desv.std	0.02896	
Nitrato (mg/L)	Prom.	0.273 3	Prom.	0.287 2	Prom.	0.2555	El porcentaje de oxígeno disuelto obtenidos presentan una calidad aceptable en época de lluvias, sin embargo en estiaje la concentración de oxígeno disuelto disminuye provocando que el agua no tenga cantidad necesaria para que el río posea una óptima vida acuática.
	Mdna.	66.3	Mdna.	0.231	Mdna.	0.0782	
	Min.	0.031	Min.	0.031	Min.	0.031	
	Max.	1.445 3	Max.	0.926 1	Max.	1.4453	
	Desv.st d	0.309 5	Desv.std	0.257 10	Desv.std	0.3731	
Oxígeno Disuelto (%)	Prom.	67.45	Prom.	70.06	Prom.	63.97	El porcentaje de oxígeno disuelto obtenidos presentan una calidad aceptable en época de lluvias, sin embargo en estiaje la concentración de oxígeno disuelto disminuye provocando que el agua no tenga cantidad necesaria para que el río posea una óptima vida acuática.
	Mdna.	66.3	Mdna.	66.9	Mdna.	63.75	
	Min.	22.7	Min.	40.04	Min.	22.7	
	Max.	107.4	Max.	107.4	Max.	104.3	
	Desv.st d	18.91 63	Desv.std	16.42 67	Desv.std	21.8066	

Discusión sobre los datos analizados en la estación Río Fogótico (OCFSU2967)

Para el sitio de muestreo OCFSU2967, ubicado en el cruce con el periférico norte, antes de entrar a la Ciudad de San Cristóbal de las Casas, se encontró que los parámetros que generan un impacto negativo son coliformes fecales y E. Coli principalmente; DBO5, DO y OD% en menor grado. La presencia de coliformes fecales indica que el agua se encuentra contaminada por heces fecales provenientes de animales de sangre caliente y del ser humano. Los elevados

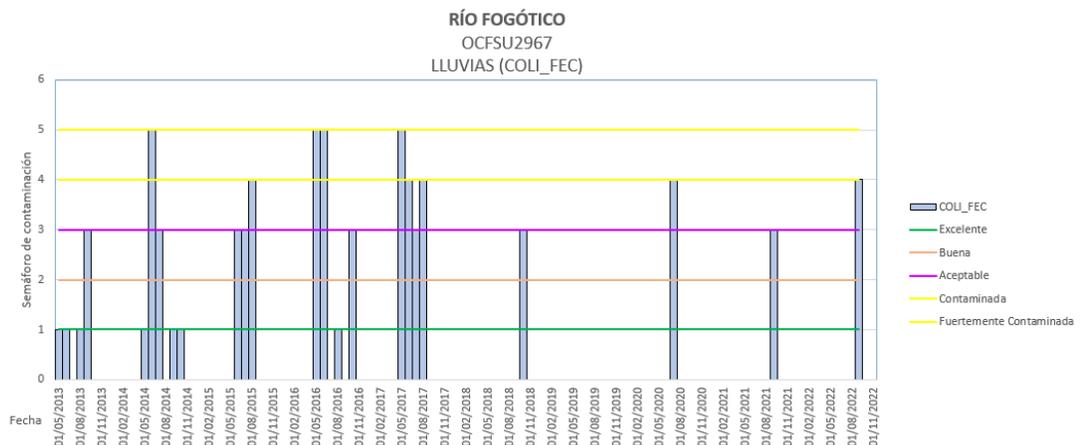
valores de *Escherichia Coli* presentan un riesgo a la salud, ya que pueden provocar enfermedades infecciosas en humanos.

Cronología de la variabilidad de la calidad del agua

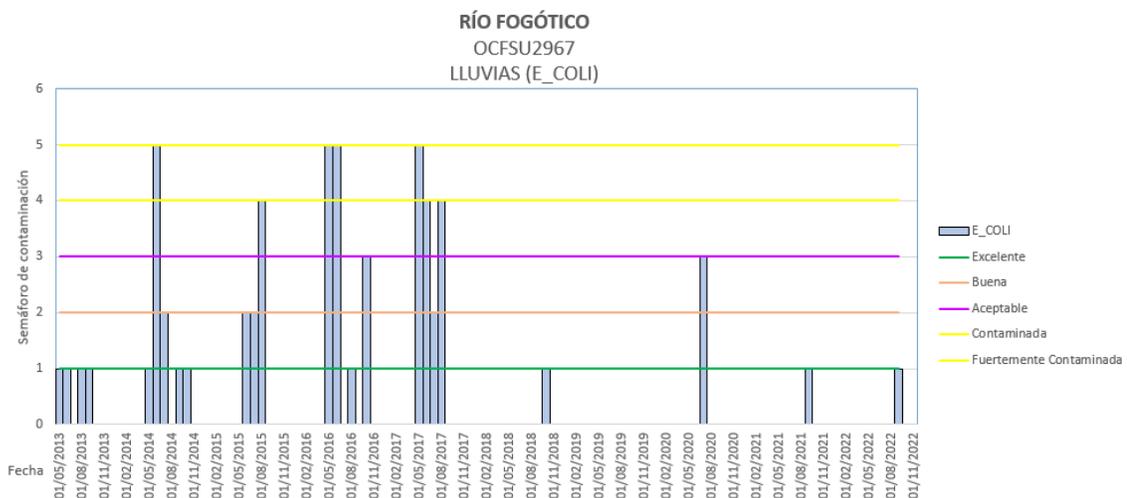
A continuación se muestran los gráficos obtenidos en época de lluvia (mayo a octubre) y en estiaje (noviembre a abril) clasificando los datos de acuerdo a los indicadores de calidad donde 1 es Excelente, 2 es buena, 3 es aceptable, 4 contaminada y 5 fuertemente contaminada.

Parámetros bacteriológicos:

En las gráficas 18 y 19 se puede observar cómo han variado los parámetros de coliformes fecales y *Escherichia coli* con respecto al tiempo durante las épocas de lluvias. Desde el 2013 se puede ver que ambos parámetros se encontraban cumpliendo con la NOM-001, pero conforme avanza el tiempo este sitio comienza a tener una calidad **contaminada y fuertemente contaminada**, sobre todo en las fechas de mayo a junio de los años 2014-2017. A partir de 2018 hasta 2022 el parámetro E coli vuelve a estar dentro de los límites permisibles de la norma, en cambio aún sigue habiendo contaminación por parte de coliformes fecales en esas mismas fechas.

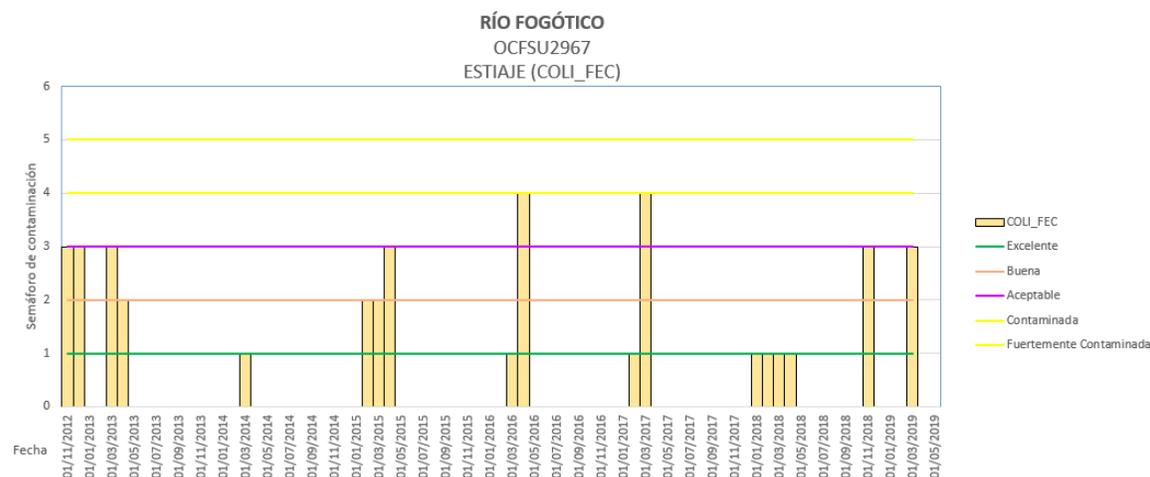


Gráfica 19. Variación de Coli_fec durante lluvia en la estación Río Fogótico.

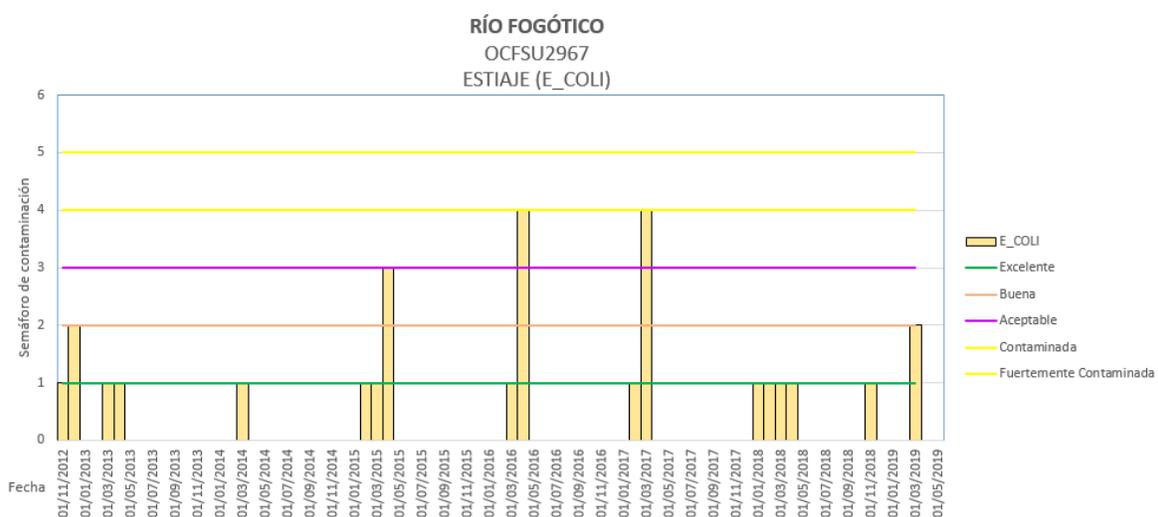


Gráfica 18. Variación de E_coli durante lluvias en la estación Río Fogótico.

En los gráficas 20 y 21 se presenta la variación de coliformes fecales y E. Coli para el mismo punto de monitoreo pero en temporada de estiaje. Se puede observar que ambos parámetros se han mantenido dentro del límite permisible excepto en los años 2016 y 2017.



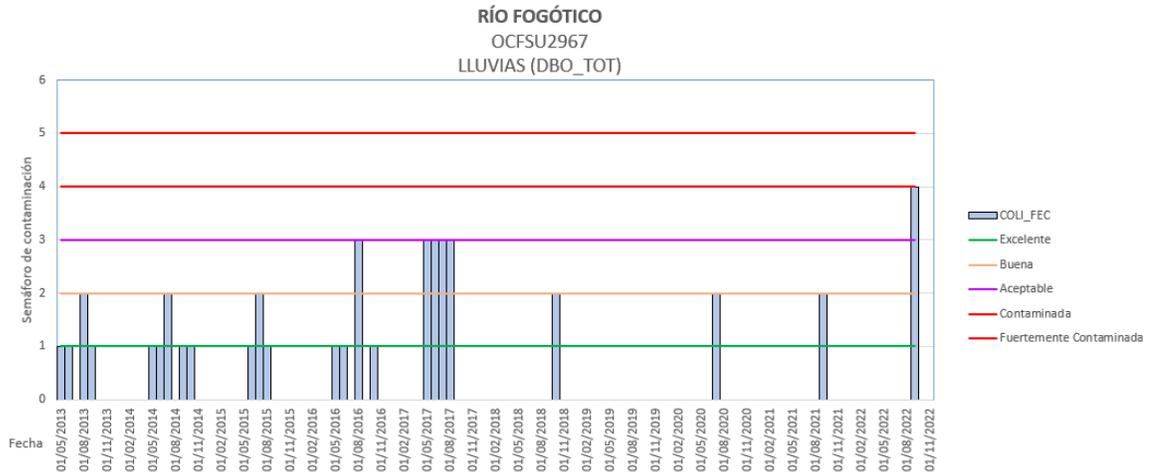
Gráfica 21. Variación de Coli_fec durante estiaje en la estación Río Fogótico.



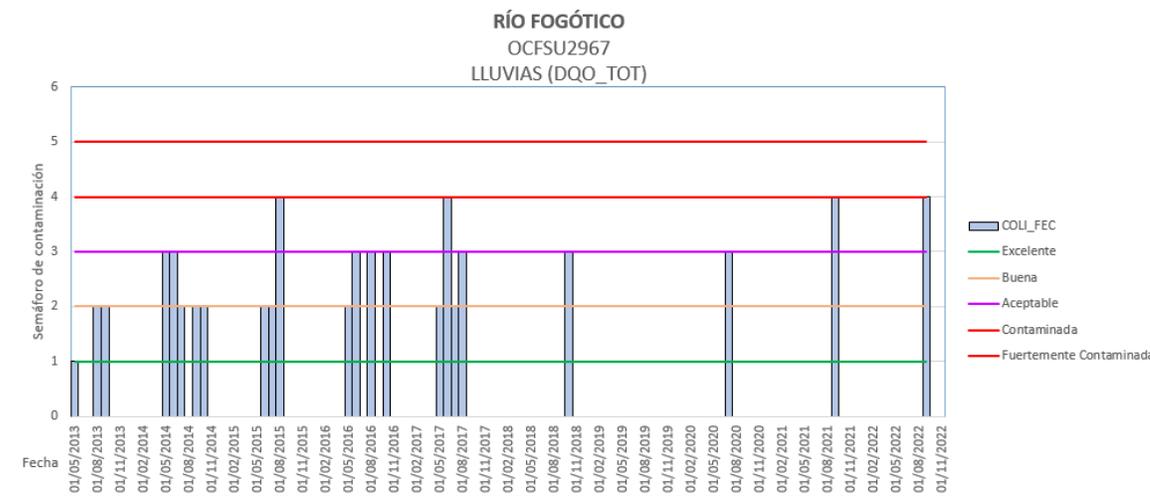
Gráfica 20. Variación de E_coli durante estiaje en la estación Río Fogótico.

Parámetros químicos: En las gráficas 22, 23 y 24 se muestra la variación de DBO5, DQO y OD% durante la época de lluvias para la estación Río Fogótico donde se observa que en los parámetros de DQO y OD% la calidad del agua es **aceptable y buena** es en casi todos los años, sin embargo, la demanda bioquímica de oxígeno se clasificó como **contaminada** en los años 2015, 2017, 2021 y 2022.

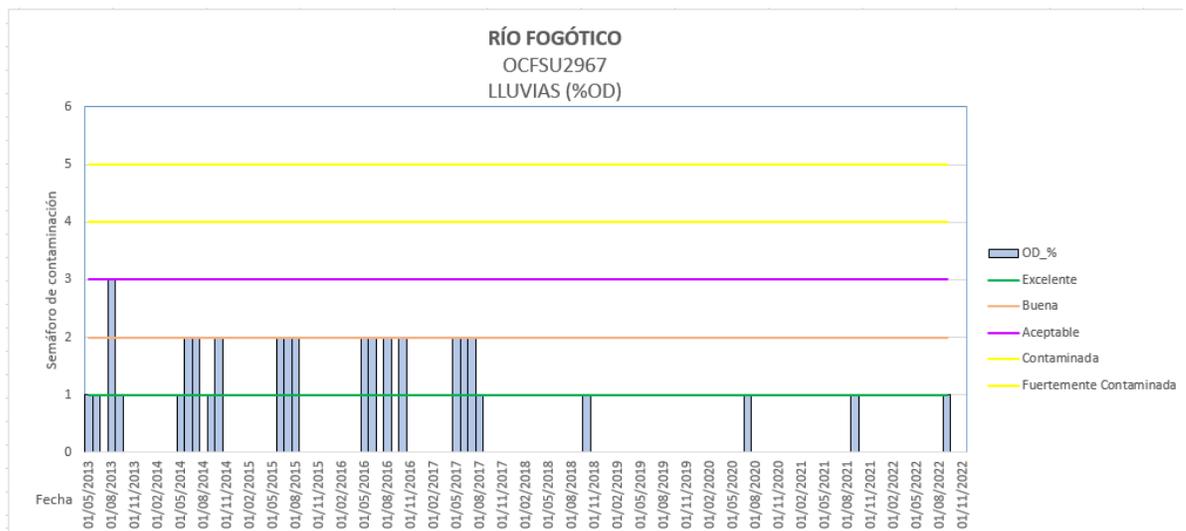
Las gráficas 25-27 se presentan los resultados obtenidos en estiaje para el mismo sitio de monitoreo, se observa que los parámetros de DBO5 Y DQO se encuentran dentro del cumplimiento de la norma para el periodo 2012-2022 y el porcentaje de oxígeno disuelto sobrepasa el límite permitido en los años 2012 y 2018 pero el resto de años se mantiene dentro del intervalo permitido.



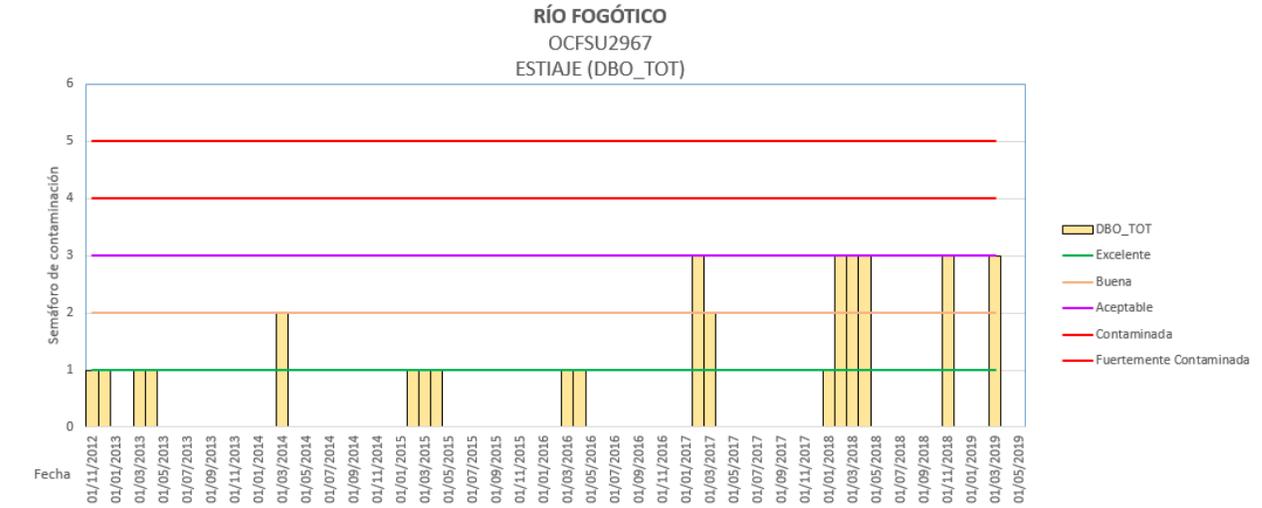
Gráfica 22. Variación de la DBO durante lluvia en la estación Río Fogótico.



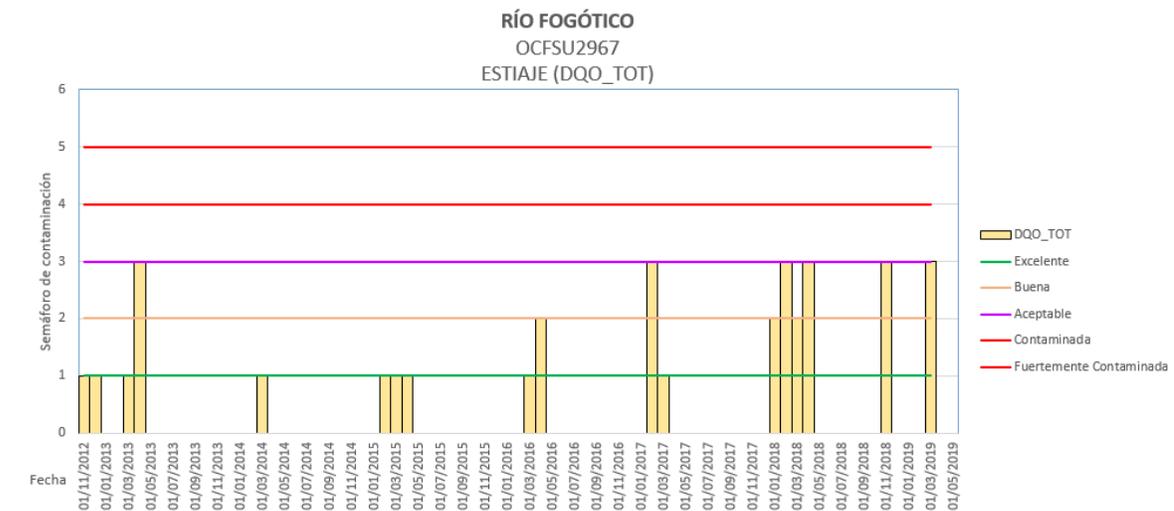
Gráfica 23. Variación de la DQO durante lluvia en la estación Río Fogótico.



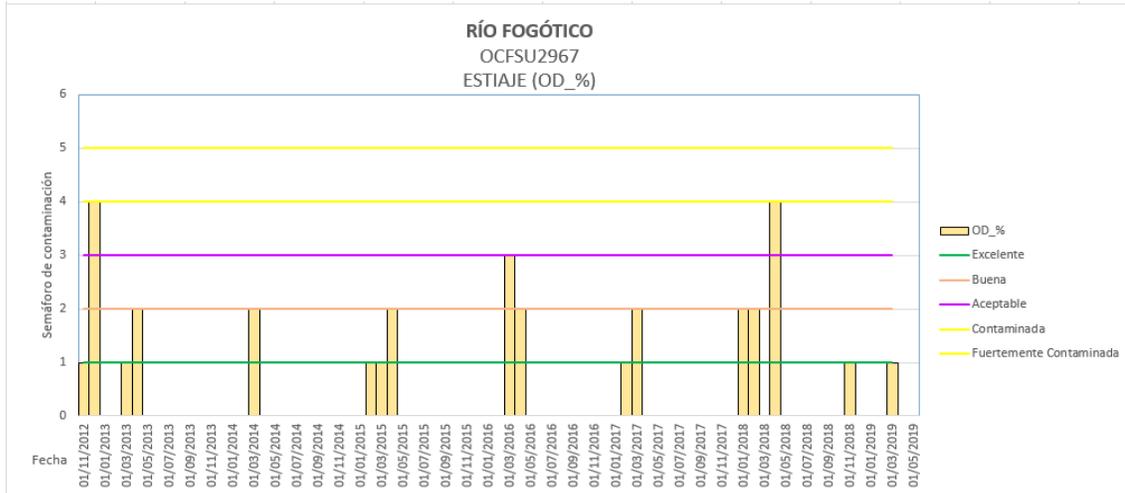
Gráfica 24. Variación de OD_% durante lluvia en la estación Río Fogótico.



Gráfica 25. Variación de DBO durante estiaje en la estación Río Fogótico.



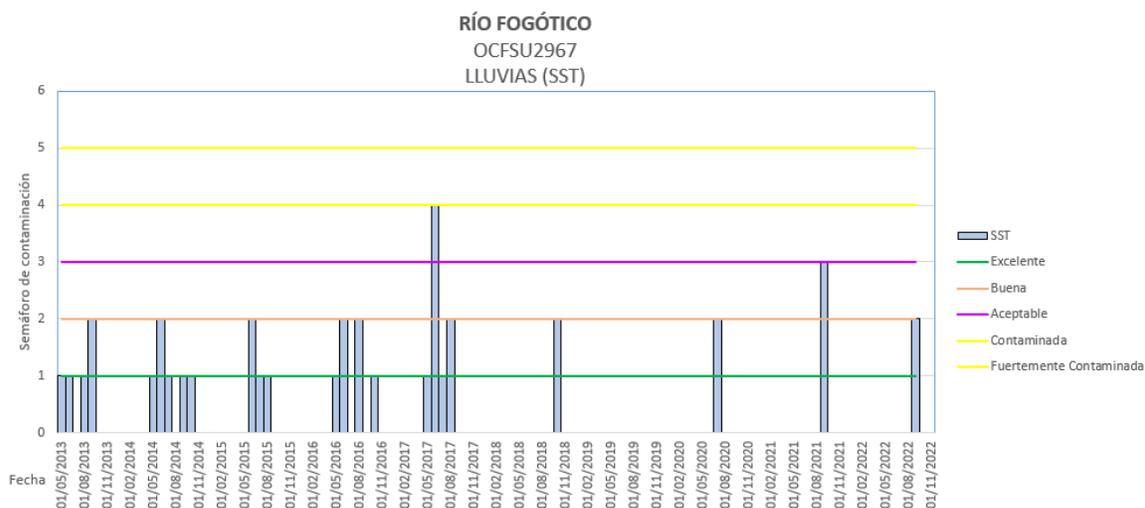
Gráfica 26. Variación de DQO durante estiaje en la estación Río Fogótico.



Gráfica 27. Variación de OD_% durante estiaje en la estación Río Fogótico.

Parámetros físicos:

Los sólidos suspendidos totales mantuvieron una calidad **aceptable** en estiaje y **excelente** en lluvias excepto en junio de 2017. Mientras que, los sólidos disueltos estables se clasificaron como **aceptable** en ambas temporadas.



Gráfica 28. Variación de SST durante lluvia en la estación Río Fogótico.

Parámetros toxicológicos:

Los resultados obtenidos en toxicidad aguda, utilizando los métodos de Vibrio Fisheri y Daphnia Magna arrojaron **no tóxico** durante los años 2012-2022.

4.2.2. Estación de monitoreo: Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo (OCFSU2971).

De acuerdo a los datos obtenidos de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en el periodo comprendido del 2012 al 2022 de la estación de monitoreo Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo (Anexo 5) se elaboró la Tabla 9, en la que se muestran los resultados estadísticos, tales como promedio, media geométrica, mediana, mínimo, máximo y desviación estándar de los datos.

Tabla 9. Resultados estadísticos de la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.

Parámetro	Global		Época de lluvia		Época de estiaje		Comentarios
Temperatura (°C)	Prom.	17.67	Prom.	18.83	Prom.	15.96	Este parámetro se mantiene dentro del límite permisible durante todas las temporadas. Los valores máximos se encuentran en la época de lluvia.
	Mdna.	17.86	Mdna.	19	Mdna.	15.8	
	Min.	13.4	Min.	15.5	Min.	13.4	
	Max.	24.3	Max.	24.3	Max.	18.5	
	Desv.std	2.3302	Desv.std	2.037	Desv.std	1.572	
Conductividad eléctrica (µS/cm)	Prom.	336.46	Prom.	335.3	Prom.	338.09	Los datos de conductividad se encuentran dentro del intervalo de valores permisibles. Se observa que los valores más elevados de conductividad se encuentran en la temporada de estiaje.
	Mdna.	282	Mdna.	278.5	Mdna.	291	
	Min.	173.9	Min.	173.9	Min.	190	
	Max.	763	Max.	750	Max.	763	
	Desv.std	145.8	Desv.std	139.6	Desv.std	158.5	
pH	Prom.	7.74	Prom.	7.818	Prom.	7.62	El pH se mantiene dentro de los valores permisibles. El valor máximo se encuentra en la temporada de lluvia. No hubo una variabilidad en los datos obtenidos a lo largo del tiempo ya que se observa que los valores de desviación estándar tienden a cero.
	Mdna.	7.8	Mdna.	7.8	Mdna.	7.7	
	Min.	6.9	Min.	7.2	Min.	6.9	
	Max.	8.4	Max.	8.4	Max.	8.16	
	Desv.std	0.34707	Desv.std	0.277	Desv.std	0.408	
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	M. geo.	3821.70	M. geo.	3311.29	M. geo.	4781.19	La presencia de coliformes y <i>Escherichia Coli</i> en este sitio es mucho mayor en la temporada de estiaje. Los valores obtenidos en ambos parámetros se encuentran en su mayor parte por encima de los límites establecidos por la NOM 001.
	Mdna.	11000	Mdna.	2400	Mdna.	17500	
	Min.	15	Min.	15	Min.	70	
	Max.	24000	Max.	24000	Max.	24000	
	Desv.std	10895.731	Desv.std	10836.662	Desv.std	10973.368	
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100ml)	M. geo.	2886.97	M. geo.	2745.89	M. geo.	3122.05	La DBO presenta valores mayormente por aceptables de acuerdo a lo indicadores de calidad sobre todo en estiaje.
	Mdna.	4600	Mdna.	2400	Mdna.	17500	
	Min.	3	Min.	3	Min.	43	
	Max.	24000	Max.	24000	Max.	24000	
	Desv.std	11137.07	Desv.std	10946.8	Desv.std	11507	
DBO5 (mg/L)	Prom.	25.049	Prom.	16.86	Prom.	36.43	Los datos de DQO se encuentran en su mayoría fuera del intervalo de valores permisibles. Se observa que los valores más elevados de
	Mdna.	13.28	Mdna.	10.6	Mdna.	17.55	
	Min.	2	Min.	2	Min.	2	
	Max.	153.32	Max.	84.31	Max.	153.32	
	Dsv.std	32.3377	Desv.std	19.5797	Desv.std	42.5024	
DQO (mg/L)	Prom.	71.26	Prom.	64.72	Prom.	80.49	Los datos de DQO se encuentran en su mayoría fuera del intervalo de valores permisibles. Se observa que los valores más elevados de
	Mdna.	47.04	Mdna.	40.7	Mdna.	59.05	
	Min.	10	Min.	10	Min.	10	
	Max.	378.19	Max.	378.19	Max.	226.92	

	Desv.std	73.1251	Desv.std	75.9169	Desv.std	70.2041	DQO se encuentran en la temporada de estiaje.
SDT (mg/L)	Prom.	215.33	Prom.	214.59	Prom.	216.38	Todos valores de SDT y SST se mantienen dentro de intervalo permitido por la norma estadounidense llamada "Water Pollution Control Act" y la norma mexicana NOM 001.
	Mdna.	180.48	Mdna.	178.24	Mdna.	186.24	
	Min.	111.296	Min.	111.296	Min.	121.6	
	Max.	488.32	Max.	480	Max.	488.32	
	Desv.std	93.3237	Desv.std	89.3691	Desv.std	101.441	
SST (mg/L)	Prom.	36.12	Prom.	40.21	Prom.	30.67	Los valores más elevados de SDT se muestran durante la temporada de estiaje. El parámetro SST fue mayor en lluvias esto se debe a que durante las lluvias el afluente eleva su caudal provocando un mayor arrastre de partículas sólidas.
	Mdna.	19	Mdna.	23	Mdna.	15	
	Min.	10	Min.	10	Min.	10	
	Max.	244	Max.	244	Max.	104	
	Desv.std	41.833	Desv.std	48.6978	Desv.std	30.9382	
Nitrito (mg/L)	Prom.	0.063	Prom.	0.0683	Prom.	0.0527	Las concentraciones encontradas de NO ₃ y NO ₂ son relativamente bajas, encontrándose dentro de límite permisible establecido por la norma de Estados Unidos: Water Pollution Control Act, artículo 7 párrafo 2. La desviación estándar es más baja en todas las temporadas, esto indica que los datos se encuentran cercanos al valor promedio
	Mdna.	0.0111	Mdna.	0.0139	Mdna.	0.00805	
	Min.	0.005	Min.	0.005	Min.	0.005	
	Max.	0.4225	Max.	0.4225	Max.	0.3664	
	Desv.std	0.1136	Desv.std	0.11826	Desv.std	0.10724	
Nitrato (mg/L)	Prom.	0.7127	Prom.	0.63152	Prom.	0.82548	La desviación estándar es más baja en todas las temporadas, esto indica que los datos se encuentran cercanos al valor promedio
	Mdna.	0.303	Mdna.	0.2994	Mdna.	0.35085	
	Min.	0.031	Min.	0.031	Min.	0.031	
	Max.	5.4068	Max.	3.6783	Max.	5.4068	
	Desv.std	1.04294	Desv.std	0.8599	Desv.std	1.2729	
Oxígeno Disuelto (%)	Prom.	43.59	Prom.	47.08	Prom.	38.01	El porcentaje de oxígeno disuelto de este sitio presenta valores que se encuentran dentro del límite permisible durante casi todos los años.
	Mdna.	43.4	Mdna.	53.61	Mdna.	22.8	
	Min.	10	Min.	10	Min.	10	
	Max.	96.7	Max.	96.7	Max.	93	
	Desv.std	27.6439	Desv.std	27.8963	Desv.std	27.231	

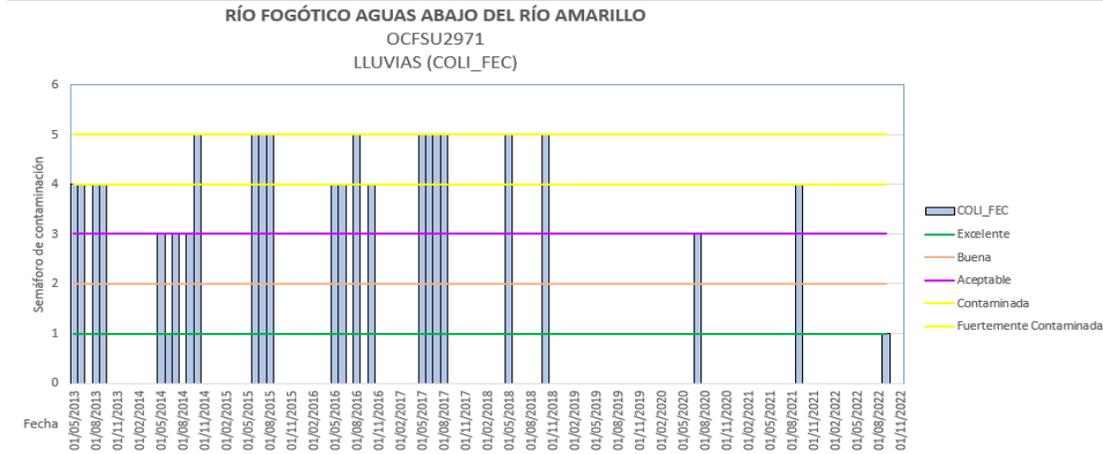
Discusión sobre los datos analizados en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo (OCFSU2971).

El sitio de muestreo OCFSU2971 ubicado aproximadamente a 300 metros aguas arriba de la confluencia con el río Amarillo, se encuentra contaminado en los parámetros de DQO, Coliformes Fecales, E. coli. La presencia de coliformes fecales indica que el agua se encuentra contaminada por heces fecales provenientes de animales de sangre caliente y del ser humano. La Escherichia Coli al rebasar los límites de la NOM-001 puede provocar enfermedades infecciosas en humanos. La DQO nos indica la presencia de materia orgánica biodegradable y no biodegradable a lo largo del recorrido del río. Entre más materia orgánica se vierta a un cuerpo de agua es necesaria una mayor cantidad de oxígeno para su descomposición, por lo tanto, disminuirá el oxígeno lo que va en detrimento de la vida acuática.

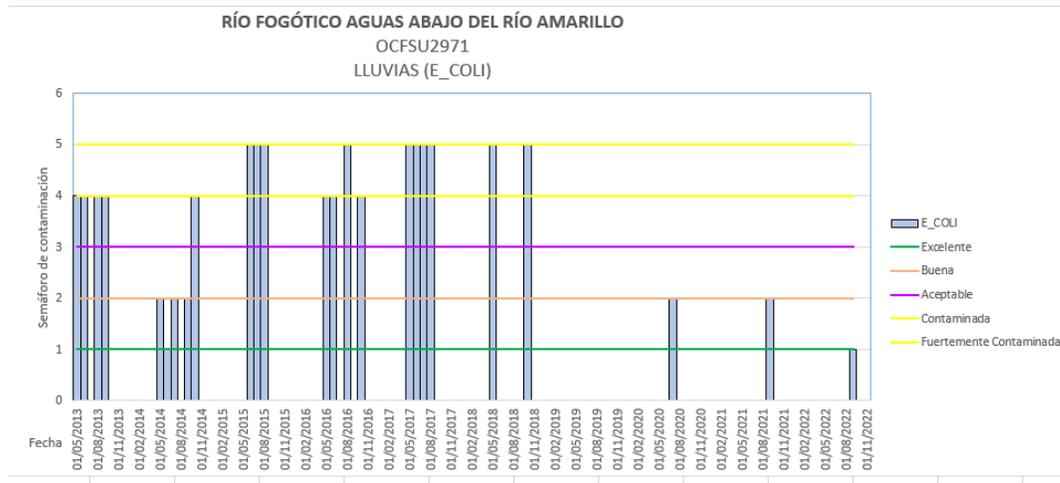
Cronología de la variabilidad de la calidad del agua

A continuación se muestran los gráficos obtenidos en época de lluvia (mayo a octubre) y en estiaje (noviembre a abril) clasificando los datos de acuerdo con indicadores de calidad donde 1 es Excelente, 2 es buena, 3 es aceptable, 4 contaminada y 5 fuertemente contaminada.

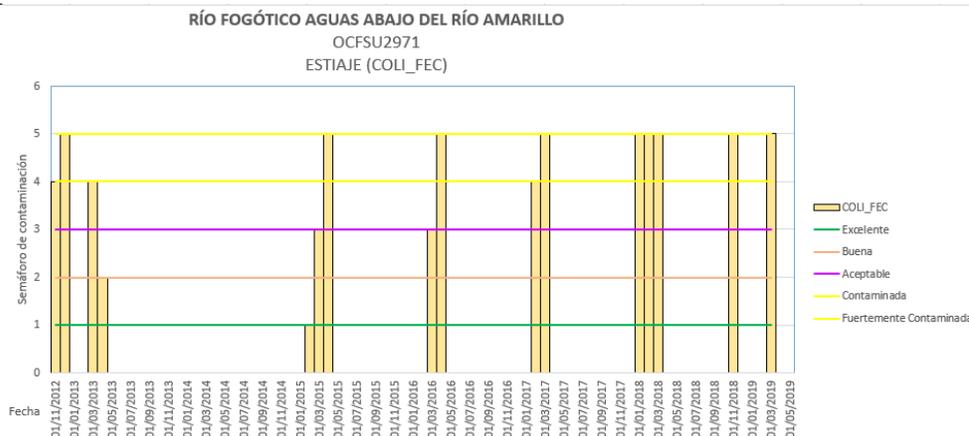
Parámetros bacteriológicos: En las gráficas 29 y 30 se puede observar el comportamiento bacteriológico del Río Fógótico aguas abajo del río Amarillo durante lluvias y en los gráficos 31 y 32 para estiaje en la estación Sumidero. Se observa que en ambas temporadas este sitio se clasificó como **contaminado y fuertemente contaminado** tanto para coliformes fecales y *Escherichia Coli*.



Gráfica 29. Variación de Coli_fec durante lluvia en la estación Río Fógótico aguas abajo del Río Amarillo.

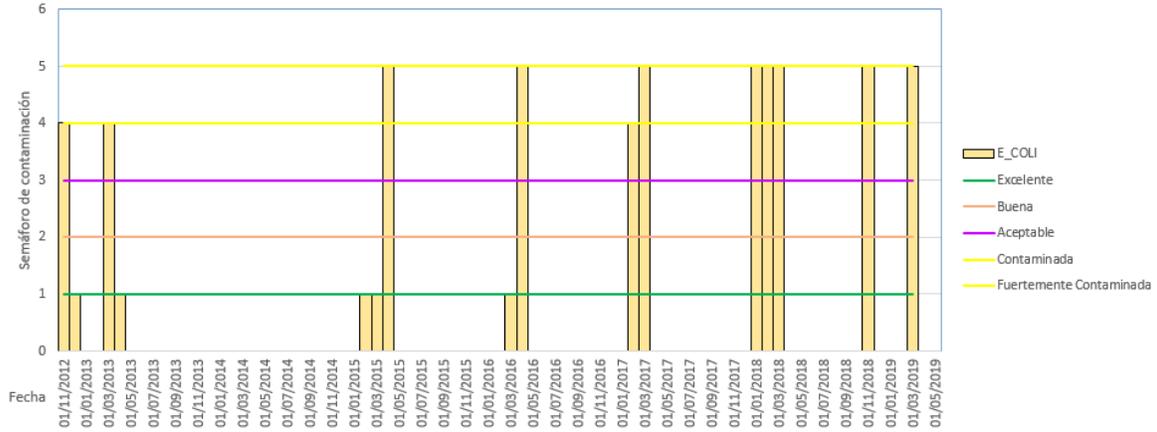


Gráfica 30. Variación de E_coli durante lluvia en la estación Río Fógótico aguas abajo del Río Amarillo.



Gráfica 31. Variación de Coli_fec durante estiaje en la estación Río Fógótico aguas abajo del Río Amarillo.

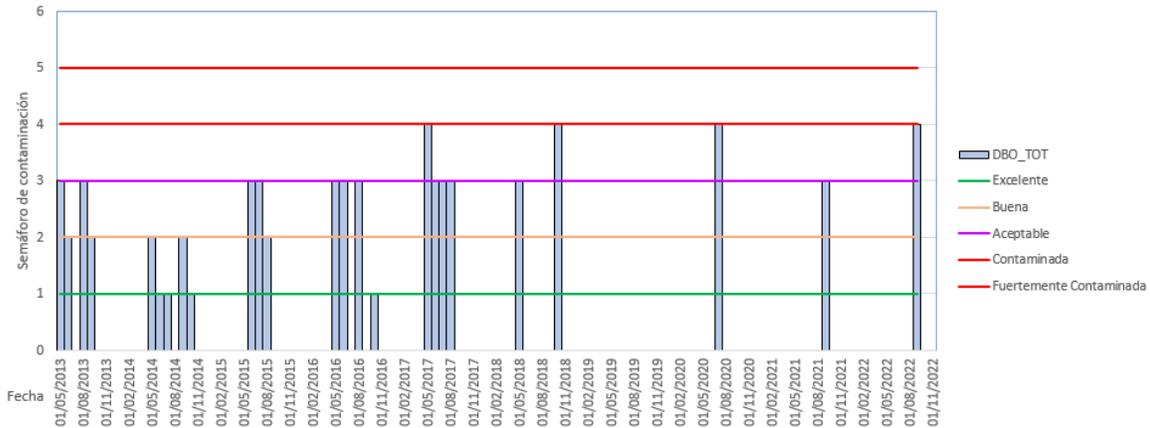
RÍO FOGÓTICO AGUAS ABAJO DEL RÍO AMARILLO
OCFSU2971
ESTIAJE (E_COLI)



Gráfica 32. Variación de E_coli durante estiaje en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.

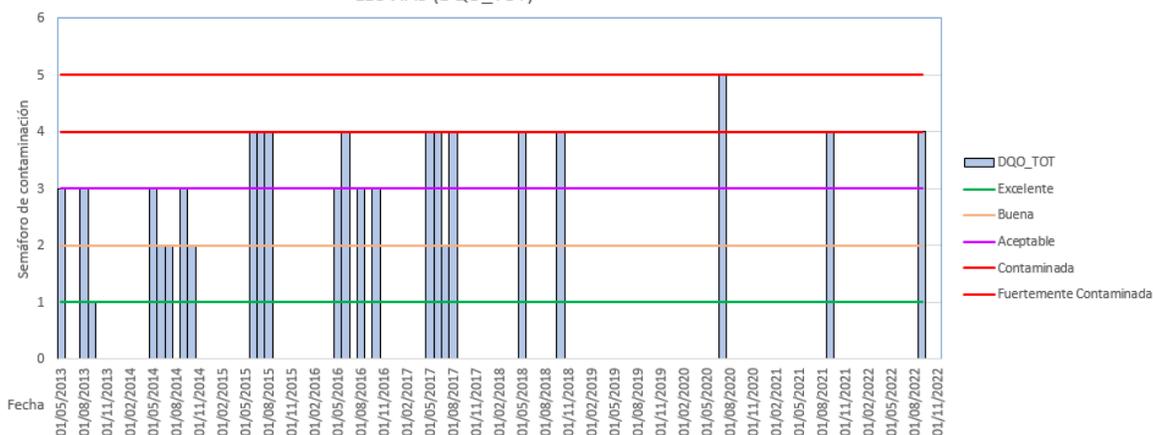
Parámetros químicos: Las gráficas mostradas a continuación se muestra la variación de DQO, DBO5 y OD% durante la época de lluvias y estiaje para la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo. Se observa que en el parámetro de DBO5 la calidad del agua mayormente es **aceptable** y para DQO es **contaminada** para lluvia y estiaje. El porcentaje de oxígeno disuelto se mantuvo **dentro de los límites permisibles** casi todo los años excluyendo del 2015-2013 para lluvias y en estiaje se registra **contaminación** en casi todo el periodo de tiempo.

RÍO FOGÓTICO AGUAS ABAJO DEL RÍO AMARILLO
OCFSU2971
LLUVIAS (DBO_TOT)



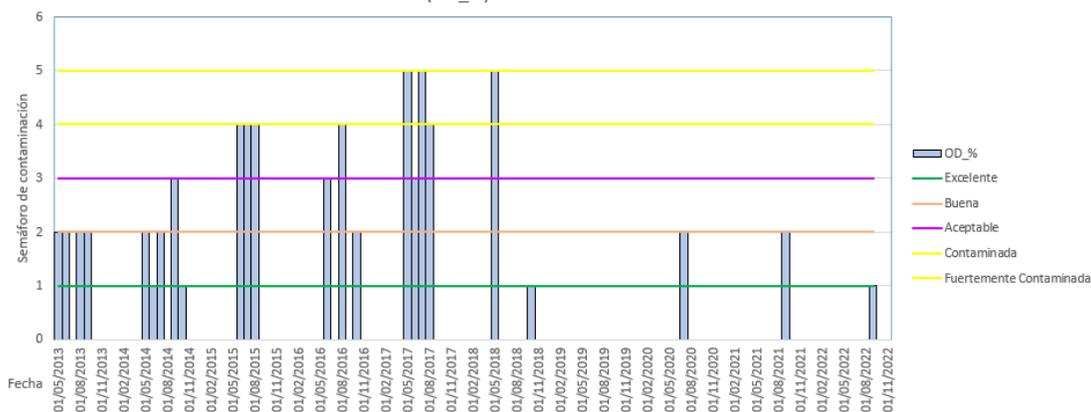
Gráfica 33. Variación de DBO durante lluvia en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.

RÍO FOGÓTICO AGUAS ABAJO DEL RÍO AMARILLO
OCFSU2971
LLUVIAS (DQO_TOT)



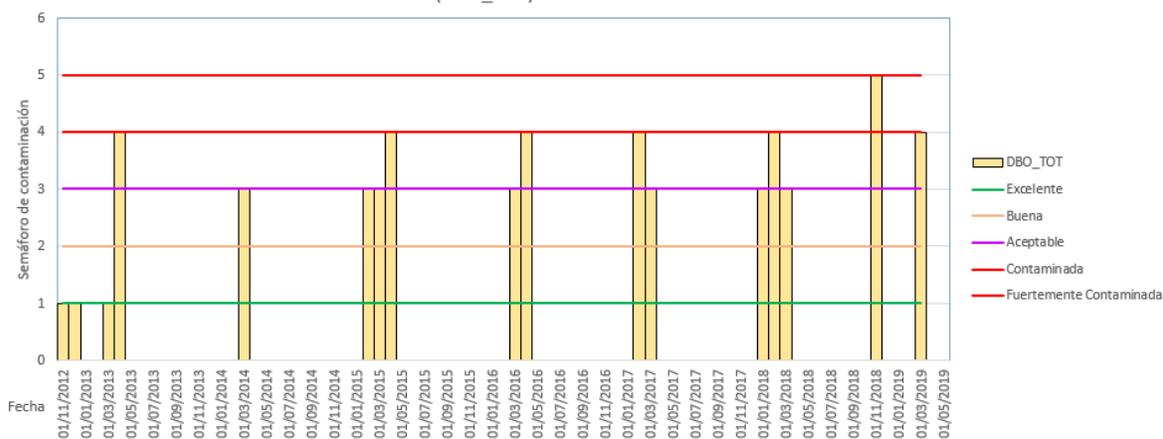
Gráfica 34. Variación de DQO durante lluvia en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.

RÍO FOGÓTICO AGUAS ABAJO DEL RÍO AMARILLO
OCFSU2971
LLUVIAS (OD_%)



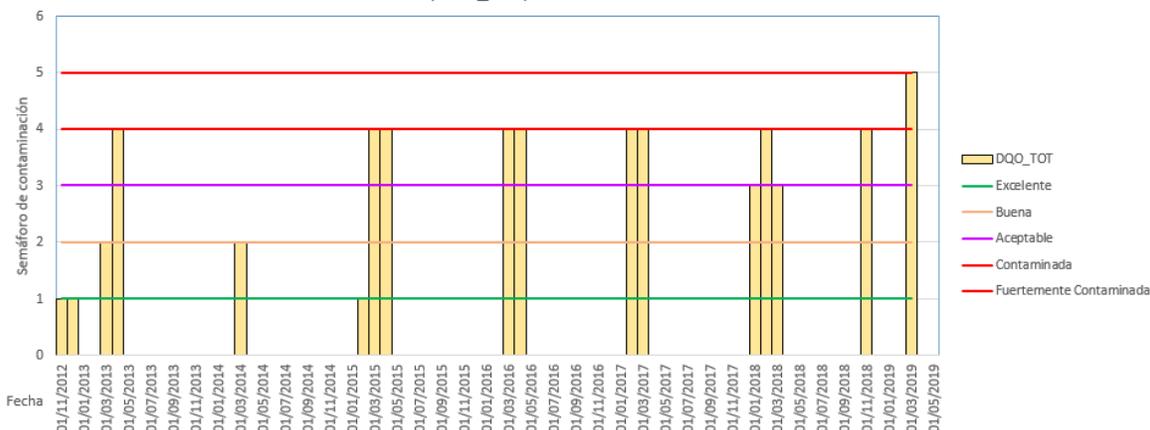
Gráfica 35. Variación de OD_% durante lluvia en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.

RÍO FOGÓTICO AGUAS ABAJO DEL RÍO AMARILLO
OCFSU2971
ESTIAJE (DBO_TOT)



Gráfica 36. Variación de DBO durante estiaje en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.

RÍO FOGÓTICO AGUAS ABAJO DEL RÍO AMARILLO
OCFSU2971
ESTIAJE (DQO_TOT)



Gráfica 37. Variación de DQO durante estiaje en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo..

RÍO FOGÓTICO AGUAS ABAJO DEL RÍO AMARILLO
OCFSU2971
ESTIAJE (OD_%)



Gráfica 38. Variación de OD_% durante estiaje en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.

Parámetro toxicológico:

Se realizaron parámetros de bioensayos de toxicidad aguda utilizando los métodos Daphnia Magna y Vibrio Fisheri. Los resultados obtenidos para la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo con el método Vibrio Fisheri arrojó **toxicidad moderada** en los años 2015 y 2018 y **toxicidad alta** en mayo del 2016.

V. CONCLUSIONES.

5.1 Conclusiones

La calidad del agua registrada en las estaciones del río Amarillo y del río Fogótico previo a su entrada a la ciudad de San Cristóbal de las Casas (OCFSU2967 y OCFSU2972) reportan niveles de excelente a aceptables en casi todos los parámetros, a excepción de los bacteriológicos (coliformes fecales y Escherichia Coli) que presentaron contaminación principalmente para época de lluvia en los años 2013-2017. Esto puede ser debido a que el Río Amarillo marca límite con el municipio Chamula y el río Foógtico recibe aportes de corrientes intermitentes que bajan de la vertiente sur-sureste del Tzontehuitz donde la principal actividad económica es la agricultura y la ganadería.

Mientras que la estación ubicada cerca a la confluencia de ambos ríos (OCFSU2971) registra fuerte contaminación para E.coli y coliformes fecales, contaminada para DQO y toxicidad alta para Vibrio Fisheri, Finalmente, la estación aguas debajo de ambos ríos, previo a su entrada en el “Tunel” (OCFSU2966) reporta niveles de contaminación fuerte para E.coli, para los parámetros de DBO5, DQO y coliformes fecales como contaminada, así como niveles de Toxicidad alta por Vibrio fisheri y moderada por Dafnia magna esto puede deberse a que en el sitio de muestreo Sumidero (OCFSU2966) se encuentra un punto directo de descarga de aguas residuales domésticas e industriales por ello los residuos sanitarios no logran someterse a los procesos de autodepuración propios del río. Con lo anterior, se concluye que las aguas de los ríos Amarillo y Fogótico se ven impactados en su calidad al atravesar la parte urbana de la ciudad de San Cristóbal de las Casas, al recibir las descargas de aguas residuales del sistema de alcantarillado municipal y de algunas de las actividades productivas (Industria textil, cerámica, curtidora, entre otras) que se realizan en la ciudad y en la parte alta de la cuenca.

El modelo estadístico permitió describir los datos obtenidos para cada estación de monitoreo de forma sintética y significativa para poder analizarlos mejor. Primero, con el promedio, media geométrica y mediana se logró analizar la tendencia central de los datos de cada parámetro para lluvia y estiaje, con ello fue más fácil determinar si los datos se encontraban dentro de los límites permisibles emitidos por la Norma NOM001 y la norma internacional SECTION 23, 24 AND 96 THE WATER POLLUTION CONTROL. A través de la desviación estándar analizamos el grado de dispersión de los datos, finalmente, con el máximo y mínimo se observaron el valor más alto y bajo que alcanzó cada parámetro en el período de tiempo 2012-2022.

5.2 Recomendaciones

- Implementar el diseño de una red de saneamiento que recolecte las descargas domésticas e industriales generadas en la ciudad. De acuerdo a Kiely (1999) el agua residual en zonas urbanas se recoge mediante una serie de redes de tuberías subterráneas, que se suelen colocar de 1 a 3 metros por debajo de la cota de carretera (dependiendo de su pendiente). Un ramal de tubería normalmente arranca con la recogida del agua residual de viviendas con un diámetro inicial de 0.15m debido a que éste es el tamaño práctico más reducido. A medida

que el número de viviendas (o establecimientos industriales) se incrementan lo hace igualmente el diámetro de la tubería.

- Realizar un estudio de factibilidad para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de San Cristóbal de las Casas.

- Gestión más eficiente y transparente de los recursos hídricos del municipio. Las autoridades deben tener mayor vigilancia, verificando que todas las aguas que se viertan a los ríos, satisfagan los requisitos y condiciones señaladas en la normatividad Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021.

- Implementar un sistema de recolección de residuos sólidos urbanos así como la realización estudio de factibilidad para la construcción de un relleno sanitario en la ciudad.

5.3 Experiencia profesional adquirida

Durante mi estancia en el Laboratorio Regional de Calidad del Agua de la Frontera Sur, aprendí que para describir la calidad del agua se aplican dos enfoques, el primero son medidas cuantitativas como son los parámetros fisicoquímicos del agua, de los sedimentos o tejidos biológicos, y el segundo son los análisis bioquímicos/biológicos (incluida la estimación de la demanda bioquímica y química de oxígeno, DBO y DQO) que se describen a continuación:

Conocimiento de las técnicas:

- TAFQ17 pH en Aguas.
- TAFQ24 Temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
- TAFQ21 Sólidos en aguas naturales y residuales.
- TAFQ26 Demanda química de oxígeno (DQO) en aguas naturales y residuales (Método de Tubo Sellado).
- TAMB4 Coliformes totales y Escherichia Coli en agua por la Técnica sustrato definido.
- TAFQ05 Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas naturales residuales (DBO5) y residuales tratadas.
- TAFQ15 Oxígeno Disuelto en aguas naturales y residuales.
- TAFQ 4. Conductividad eléctrica en agua potable natural, tratada, residual salina y residual tratada.

De estas técnicas únicamente se realizaron experimentalmente en el Laboratorio de Calidad del agua las siguientes: TAMB4 Coliformes totales y Escherichia Coli en agua por la Técnica sustrato definido y TAFQ26 Demanda química de oxígeno (DQO) en aguas naturales y residuales (Método de Tubo Sellado). Además aprendí cómo se implementa la validación de métodos analíticos normalizados, no normalizados o desarrollados en el laboratorio.

Para el desarrollo de Evaluación de la calidad del agua de los ríos Fogótico y Amarillo en el municipio de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, aprendí manejar la herramienta digital: Google Earth, la cual me sirvió para ubicar geográficamente las cuatro estaciones de monitoreo en los ríos Fogótico y Amarillo, así como los puntos de descarga.

Para el análisis de los datos experimentales de las 4 estaciones de monitoreo se aplicaron métodos descriptivos como son el promedio, la desviación estándar, mediana, mínimo y máximo.

El desarrollar la residencia profesional me permitió enriquecer mi formación profesional en el Área Ambiental, aprendí la normatividad en materia de calidad del agua y adquirí la capacidad técnica necesaria para realizar los métodos de análisis del agua. Además logré desenvolverme en el ámbito laboral, ya que desarrollé mi capacidad de trabajar en equipo, la capacidad de analizar y comunicarme con mis compañeros dentro de la institución, además apliqué el razonamiento lógico y el pensamiento crítico durante la elaboración del presente proyecto.

VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS.

Durante la estancia en el Departamento de Calidad del Agua e Impacto Ambiental de la Comisión Nacional del Agua y en la realización del proyecto, se utilizaron y desarrollaron las siguientes competencias:

Instrumentales:

- Capacidad de análisis y síntesis.
- Capacidad de organizar y planificar.
- Conocimientos generales básicos.
- Conocimientos básicos de la carrera (Química analítica, Química orgánica e inorgánica, Instrumentación, Ingeniería Ambiental, Taller de Investigación, Análisis de Datos Experimentales).
- Comunicación oral y escrita en su propia lengua.
- Habilidades básicas de manejo de equipos de laboratorio como: Espectrofotómetro, Termociclador, Autoclave, Incubadora, Conductímetro y balanza analítica.
- Habilidades de búsqueda de información (Google Earth, portales del INEGI y la CONAGUA, Normatividad nacional e internacional en calidad del agua, Google Maps).

Interpersonales:

- Solución de problemas y toma de decisiones.
- Capacidad crítica y autocrítica.
- Trabajo en equipo.
- Capacidad de comunicarse con profesionales de otras áreas.
- Habilidades para trabajar en un ambiente laboral.
- Compromiso ético.

Competencias sistémicas:

- Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica.
- Habilidades de investigación.
- Capacidad de aprender.
- Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones.
- Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad).
- Liderazgo.
- Habilidad para trabajar en forma autónoma.
- Capacidad para diseñar y gestionar proyectos.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.

- Actualización de La Disponibilidad Media Anual de Agua En El Acuífero San Cristóbal Las Casas, Actualización; de Chiapas, Estado* (2023). Obtenido de CONAGUA: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/chiapas/DR_0712.pdf
- Boletín de calidad del agua (200-2006)*. CONAGUA. Organismo de Cuenca Frontera Sur.
- Coneval, Pobreza a nivel municipio 2010-2020.
- El clima en San Cristóbal de las Casas, el tiempo por mes, temperatura promedio (México)* - Weather Spark. (2023). Weatherspark.com. <https://es.weatherspark.com/y/10595/Clima-promedio-en-San-Crist%3%B3bal-de-las-Casas-M%3%A9xico-durante-todo-el-a%3%B1o>
- Estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del Acuífero San Cristóbal Las Casas, clave 0712, en el Estado de Chiapas, Región Hidrológico-Administrativa Frontera Sur. (2016, junio 21). Diario Oficial de la Federación.* https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5441870&fecha=21/06/2016
- Gerencia de Planificación Hídrica-Sistema Nacional de Información del Agua. (2020). CONAGUA. Gob.Mx.* <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020. Org.mx. Recuperado el 22 de enero de 2024, de* <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- INEGI, Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020.
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Mc Graw Hill.
- 1.2.1: Mínimos y Máximos.* (2022, octubre 30). LibreTexts Español; Libretxts. https://espanol.libretexts.org/Educacion_Basica/Analisis/01%3A_An%3A1lisis_de_funciones/1.02%3A_Tasa_promedio_de_cambio/1.2.01%3A_M%3ADnimos_y_M%3A1ximos
- NACIONES UNIDAS (UN). Glosario de Términos Ambientales, citado por COMUNIDAD ANDINA. Manual de Estadísticas Ambientales. CAN: Santa Cruz de la Sierra, 2005. p 31-45
- Normales Climatológica por Estado.* (2000) Obtenido de Conagua Gob.mx. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=chis>
- ¿Qué son los nitratos?* (15 de Mayo de 2022). Obtenido de GreenPeace.org: <https://es.greenpeace.org/es/en-profundidad/un-agua-de-mierda-el-legado-de-las-macrogranjas/que-son-los-nitratos/>

San Cristóbal de las Casas. (s/f). MVCH. Recuperado el 28 de noviembre de 2023, de <https://www.museovirtualug.org/sancristobaldelascasas>

San Cristóbal de las Casas. Cuaderno de Información básica para la planeación municipal. (1992). INEGI.

Secretaría de Economía. (2016, febrero 11). *Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015, análisis de agua - medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba* (cancela a la NMX-AA-034-SCFI-2001) Gob.mx <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>

Secretaría de Economía. (2022, marzo 11). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0

Secretaría de Economía. (2022, octubre 26). *Norma Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2021, análisis de agua-medición de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-dilución y método de siembra-método de prueba* (cancela a la NMX-AA-028-SCFI-2001). Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5669720&fecha=26/10/2022&print=true

Secretaría de Economía. (2011, marzo 03). *NMX-AA-089/1-SCFI-2010 protección al ambiente - calidad del agua – vocabulario - parte 1* (cancela a la NMX-AA-089-1-1986). Gob.mx <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166799/NMX-AA-089-1-SCFI-2010.pdf>

Secretaría de Economía. (2013, agosto 29). *NMX-AA-089/2-SCFI-2010 Protección al ambiente - calidad del agua vocabulario - parte 2* (cancela a la NOM-AA-89/2-1992). Gob.mx <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166801/NMX-AA-089-2-SCFI-2010.pdf>

Secretaría de Economía. (2013, agosto 29). *NMX-AA-087-SCFI-2010, análisis de agua - evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia magna*, Straus (Crustacea-Cladocera) - método de prueba* (cancela a la NMX-AA-087-SCFI-1995). Gob.mx. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166801/NMX-AA-089-2-SCFI-2010.pdf>

Universidad de Guanajuato. (2023, noviembre 24). *Clase digital 4. Medidas de tendencia Central (media mediana y moda)*. Recursos Educativos Abiertos; Sistema Universitario de Multimodalidad Educativo (SUME) - Universidad de Guanajuato. <https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-4-medidas-de-tendencia-central-media-mediana-y-moda/>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Normas de calidad de agua.

Tabla 10. Escala de clasificación de la calidad de agua superficial, cuerpos de agua lóticos (ríos, arroyos y corrientes). (CONAGUA, 2022)

CALIDAD DEL AGUA DE CUERPOS LÓTICOS				CLASIFICACIÓN, CÓDIGO DE COLORES Y ESCALA DEL AGUA DEL INDICADOR				
INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA				CUMPLIMIENTO			INCUMPLIMIENTO	
INDICADOR	CUERPO DE LA BASE DE DATOS	ABREVIACIÓN	UNIDADES	EXCELENTE	BUENA CALIDAD	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA
				1	2	3	4	5
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, 5 DÍAS	DBO_TOT	DBO	mg/L	DBO ≤3	3 < DBO ≤ 6	6 < DBO ≤ 30	30 < DBO ≤ 120	DBO > 120
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	DQO_TOT	DQO	mg/L	DQO ≤ 10	10 < DQO ≤ 20	20 < DQO ≤ 40	40 < DQO ≤ 200	DQO > 200
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SST	SST	mg/L	SST ≤ 25	25 < SST ≤ 75	75 < SST ≤ 150	150 < SST ≤ 400	SST > 400
COLIFORMES FECALES	COLI_FEC	CF	NMP/100 ml	CF ≤ 100	100 < CF ≤ 200	200 < CF ≤ 1000	1000 < CF ≤ 10000	CF > 10000
ESCHERICHIA COLI	E_COLI	EC	NMP/100 ml	EC ≤ 250	250 < EC ≤ 500	500 < EC ≤ 1000	1000 < EC ≤ 10000	EC > 10000
PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTOS	OD_%	OD	%	70 ≤ OD ≤ 110	50 < OD ≤ 70 Y	30 < OD ≤ 50 Y	10 < OD ≤ 30 Y	OD > 10 Y
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	SDT	SDT	mg/L			3000	>3000	
INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA				CUMPLIMIENTO			INCUMPLIMIENTO	
INDICADOR	CUERPO DE LA BASE DE DATOS	ABREVIACIÓN	UNIDADES	NO TÓXICO	TOXICIDAD BAJA	OXICIDAD MODERAD	TOXICIDAD ALTA	
				TA < 1	1 ≤ TA ≤ 1.33	1.33 < TA < 5	TA ≥ 5	
TOXICIDAD DAPHNIA MAGNA, 48 h	TOX_D_48_UT	TA	Unidades de Toxicidad	TA < 1	1 ≤ TA ≤ 1.33	1.33 < TA < 5	TA ≥ 5	
TOXICIDAD VIDRIO FISCHER, 15 min	TOX_V_15_UT	TA	Unidades de Toxicidad	TA < 1	1 ≤ TA ≤ 1.33	1.33 < TA < 5	TA ≥ 5	

Tabla 11. Clasificación de parámetros de calidad de acuerdo a normas internacionales (SECTION 23, 24 AND 96 THE WATER POLLUTION CONTROL)

INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA				CUMPLIMIENTO	INCUMPLIMIENTO
INDICADOR	CUERPO DE LA BASE DE DATOS	ABREVIACIÓN	UNIDADES	ACEPTABLE	CONTAMINADA
Ph	pH_CAMPO	pH	-	6.5-9.0	0 > pH < 6.4 pH > 9
Temperatura	TEMP_AGUA	T	°C	35	>35
Conductividad	CONDUC_CAMPO	CONDUC	µs/cm	4300	> 4300
NITRATOS	N_NO3	NO3	mg/L	20	>20
NITRITOS	N_NO2	NO2	mg/L	2	>2

Tabla 12. Calificación de sitios superficiales con el semáforo de calidad del agua (CONAGUA, 2022).

SEMÁFORO DE CALIDAD DEL AGUA		
Indicador	No cumple	Cumple
DBO	Rojo	Verde
DQO	Rojo	Verde
TOX	Rojo	Verde
ENTEROC	Rojo	Verde
E COLI	Amarillo	Verde
CF	Amarillo	Verde
SST	Amarillo	Verde
OD%	Amarillo	Verde

Si los resultados de calidad del agua indican incumplimiento en uno o más de los indicadores, el sitio se pinta de rojo.

Si los resultados de calidad del agua indican incumplimiento en uno o más de los indicadores, el sitio se pinta de amarillo.

Anexo 2. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos del período 2012-2022 en la estación Sumidero (OCFSU2966).

La tabla mostrada a continuación recopila los resultados obtenidos durante el periodo de lluvias (mayo a octubre) en los años 2013-2022 en el punto de muestreo **Sumidero**

Tabla 13. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante lluvias en la estación Sumidero.

FECHA REALIZACIÓN	COLI_FEC	E_COLI	DBO_TOT	DQO_TOT	SDT	SST	N_NO2	N_NO3	OD_%	TOX_V_15_UT	TOX_D_48_UT
22/05/2013	2400	2400	86.62	382.76	384	28	0.005	0.558	13.39	<1	<1
28/06/2013	2400	2400	39.9	162.76	180.48	10	0.005	0.031	28.03	<1	<1
15/08/2013	2400	2400	12.18	31.94	193.92	10	0.1735	0.031	28.03	<1	<1
12/09/2013	2400	2400	8.97	25.45	140.8	56	0.407	1.1565	31.14	<1	<1
02/05/2014	24000	24000	12.8	70.63	301.44	46	0.013	0.15	52.7	<1	<1
13/06/2014	11000	4600	8.3	25.2	190.72	74	0.005	0.031	14.7	<1	<1
26/07/2014	150	90	24.8	52.76	281.6	16	0.005	0.423	79.7	3.17	<1
05/09/2014	750	430	16.8	35.82	253.44	34		0.364	31.2	<1	<1
14/10/2014	1500	930	5.9	34.46	183.04	24	0.048	0.433	45.4	<1	<1
04/06/2015	24000	24000	23.73	44.31	289.28	20	0.0224	0.031	44.05	<1	<1
08/07/2015	24000	24000	63.84	170.71	320.64	34	0.218	0.1835	27.14	3.18	<1
13/08/2015	24000	24000	9.27	71.46	289.28	46	0.005	0.0726	25.11	<1	<1
07/05/2016	2400	2400	28.95	68.73	454.4	100	0.1547	0.3234		1.69	<1
18/06/2016	2100	2100	28.5	69.5	291.2	32	0.005	0.2204	15.1	<1	<1
03/08/2016	2100	2100	63	67.02	293.12	14	0.005	0.0958	10	<1	<1
03/10/2016	24000	24000	59.52	140.7	240	96	0.0246	0.4422	64.86	<1	<1
11/05/2017	24000	24000	120.05	134.89	386.56	28	0.005	0.9517	10	<1	<1
13/06/2017	2100	2100	10.8	174.52	490.688	60	0.005	1.3597	31.8	<1	<1
19/07/2017	24000	24000	15.23	37.75	456.32	16	0.005	1.9485	10	<1	<1
26/08/2017	24000	24000	7.38	70.18	278.208	76	0.1926	1.4212	21.2	<1	<1
08/10/2018	150	150	34.8	48	291.392	32	0.005	6.9096	78.1	<1	<1
27/07/2020	930	150	85.23	94.22	104.32		0.005	0.8415	58.4	<1	<1
13/09/2021	460	460	14.4	161.56	249.6	218	0.0172	0.0353	64.6	2.754	<1
08/09/2022	4	3	43.08	51.3	483.84	72	0.0067	0.031	19.4	<1	<1

La tabla mostrada a continuación recopila los resultados obtenidos durante el periodo de estiaje (noviembre a abril) en los años 2012-2020 para el punto de muestreo Sumidero.

Tabla 14. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante estiaje en la estación Sumidero.

FECHA REALIZACIÓN	COLI_FEC	E_COLI	DBO_TOT	DQO_TOT	SDT	SST	N_NO2	N_NO3	OD_%	TOX_V_15_UT	TOX_D_48_UT
03/11/2012	2400	2400	78.91	200.91	264.96	52	0.005	0.3409	10	<1	<1
01/12/2012	24000	24000	40.08	69.32	292.48	10	0.005	0.031	60.07	<1	<1
26/12/2012	4600		100.21	183.6774	347.52	40	0.0237	0.4556		<1	<1
05/03/2013	210	210	63.31	173.24	295.04	37	0.005	0.5374	53.8	<1	<1
18/04/2013	2400	2400	98.44	244.97	308.48	22	0.005	0.5074	52.8	<1	<1
14/03/2014	93	93	14.1	18.06	187.712	76	0.021	0.111	26.7	<1	<1
18/02/2015	930	930	59.4	86.86	312.96	116	0.005	0.031	18.98	<1	<1
25/03/2015	11000	11000	26.28	41.97	303.36	42	0.005	0.1375	17.65	<1	<1
29/04/2015	24000	24000	66.75	137.02	281.6	54	0.0217	0.031	47.67	3.26	<1
03/03/2016	150	150	89.85	155.33	403.84	88	0.0158	0.0519		5.41	1.76
07/04/2016	2100	2100	31.26	147.08	284.16	68	0.3986	0.0786	15.69	2.54	<1
15/02/2017	11000	11000	120.65	140.77	307.4112	12				<1	<1
23/03/2017	24000	24000	40.61	110.12	282.0288	16	0.005	0.1105	21.6	<1	<1
04/01/2018	1500	1500	25.2	30.72	219.968	32	0.005	0.2847	10	3.457	<1
08/02/2018	24000	24000	67.21	115.31	327.488	24	0.3297	0.6861	10	3.535	<1
14/03/2018	24000	24000	33.3	34.08	497.92	16	0.005	0.1584	10	7.911	<1
19/04/2018	24000	24000	82.81	115	509.248	48	0.005	1.8148	10	5.727	<1
12/11/2018	24000	24000	83.71	90.21	298.24	44	0.0212	1.4346	21.7	<1	<1
01/03/2019	24000	24000	236.49	351.85	277.12	68	0.0165	1.136	20.8	5.325	<1

Tabla 15. Promedio anual de cada parámetro en la estación Sumidero.

Años	PROMEDIO ANUAL								
	COLI_FEC	E_COLI	DBO_TOT	DQO_TOT	SDT	SST	N_NO2	N_NO3	OD_%
2012	6422.8351	7589.4664	73.0667	151.3025	301.6533	34.0000	0.0112	0.2758	35.0350
2013	1599.1134	1599.1134	51.5700	170.1867	250.4533	27.1667	0.1001	0.4702	34.5317
2014	1267.3263	847.1123	13.7833	39.4883	232.9920	45.0000	0.0184	0.2520	41.7333
2015	12258.9545	12258.9545	41.5450	92.0550	299.5200	52.0000	0.0462	0.0811	30.1000
2016	2075.8467	2075.8467	50.1800	108.0600	327.7867	66.3333	0.1006	0.2021	26.4125
2017	14041.3702	14041.3702	52.4533	111.3717	366.8693	34.6667	0.0425	1.1583	18.9200
2018	6488.9025	6488.9025	54.5050	72.2200	357.3760	32.6667	0.0618	1.8814	23.3000
2019	24000.0000	24000.0000	236.4900	351.8500	277.1200	68.0000	0.0165	1.1360	20.8000
2020	930.0000	150.0000	85.2300	94.2200	104.3200		0.0050	0.8415	58.4000
2021	460.0000	460.0000	14.4000	161.5600	249.6000	218.0000	0.0172	0.0353	64.6000
2022	4.0000	3.0000	43.0800	51.3000	483.8400	72.0000	0.0067	0.0310	19.4000

Nota: En los parámetros de coliformes fecales (COLI_FEC) y Escherichia coli (E_COLI) se calculó media geométrica.

Tabla 16. Datos de campo obtenidos durante estiaje y lluvia en la estación Sumidero.

EPOCA DE LLUVIA			
FECHA REALIZACIÓN	TEMP_AGUA	CONDUC_CA MPO	pH_CAMPO
22/05/2013	19.06	600	7.79
28/06/2013	19.2	282	8.26
15/08/2013	16	303	8.21
12/09/2013	16.2	220	8.34
02/05/2014	17.5	471	7.4
13/06/2014	18.9	298	8.3
26/07/2014	20.9	440	7.7
05/09/2014	17.5	396	7.9
14/10/2014	19.5	286	7.7
04/06/2015	16.6	452	6.8
08/07/2015	23.1	501	7.6
13/08/2015	20.3	452	6.8
07/05/2016	17.6	710	7.6
18/06/2016	19.9	455	7.5
03/08/2016	20.8	458	7.8
03/10/2016	19	375	7.8
11/05/2017	20.5	604	7.7
13/06/2017	21	766.7	7.8
19/07/2017	21.6	713	7.8
26/08/2017	18.5	434.7	7.8
08/10/2018	21.4	455.3	7.7
27/07/2020	16	163	7.8
13/09/2021	18.5	390	7.5
08/09/2022	19	756	7.8

EPOCA DE ESTIAJE			
FECHA REALIZACIÓN	TEMP_AGUA	CONDUC_CA MPO	pH_CAMPO
03/11/2012	20.7	414	8
01/12/2012	23.9	457	7.67
26/12/2012	16.9	543	7.507
05/03/2013	16.96	461	7.7
18/04/2013	18.5	482	7.36
14/03/2014	18.2	293.3	8.2
18/02/2015	16.4	489	6.6
25/03/2015	18.9	474	7.8
29/04/2015	22.7	440	7.2
03/03/2016	17.3	631	7.4
07/04/2016	18.6	444	6.8
15/02/2017	18.8	480.33	7.8
23/03/2017	19	440.67	7.7
04/01/2018	14.3	343.7	7.5
08/02/2018	14.2	511.7	7.4
14/03/2018	18.2	778	7.7
19/04/2018	16	795.7	7.7
12/11/2018	20.2	466	7.8
01/03/2019	17.6	433	7.5

Anexo 3. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos del período 2012-2022 en la estación Río Amarillo (OCFSU2972).

La tabla mostrada a continuación recopila los resultados obtenidos durante el periodo de lluvias (mayo a octubre) en los años 2013-2022 en el punto de muestreo **Río Amarillo**.

Tabla 17. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante lluvias en la estación Río Amarillo.

FECHA REALIZACIÓN	COLI_FEC	E_COLI	DBO_TOT	DQO_TOT	SDT	SST	N_NO2	N_NO3	OD_%	TOX_D_48_U T	TOX_V_15_U T
22/05/2013	2400	2400	4.5	10	173.44	12	0.151	0.361	97.6	<1	<1
15/08/2013			5.4	10	200.768	13	0.258	0.5084	72.53	<1	<1
12/09/2013	2400	2400	2.07	10.75	73.6	58	0.1054	1.1161	69.86	<1	<1
02/05/2014	1500	1500	2	27.03	161.28	24				<1	<1
13/06/2014	280	280	2	13.1	189.824	88	0.076	0.067	61.9	<1	<1
26/07/2014	70	70	3.6	10	189.632	16	0.013	0.512	67.9	<1	<1
05/09/2014	70	40	2.3	10.74	174.08	22	0.126	0.567	54.1	<1	<1
14/10/2014	70	70	4.4	10	168.96	22	0.005	0.781	67.6	<1	<1
04/06/2015	2100	2100	2.15	28.41	156.8	14	0.0632	0.031	49.39	<1	<1
09/07/2015	11000	11000	2.28	10	167.04	28	0.005	0.031	60.59	<1	<1
13/08/2015	930	930	3.21	74.17	165.12	20	0.0314	0.1682	66.51	<1	<1
07/05/2016	4600	4600	3.33	10.56	160	10	0.005	0.3044	48.7	<1	<1
18/06/2016	4600	4600	2.49	10	127.36	44	0.005	0.5841	44.8	<1	<1
03/08/2016	4600	4600	7.41	12.27	179.84	17	0.0158	0.1892	47	<1	<1
03/10/2016	90	90	2	15.87	171.52	10	0.005	0.4766	64.86	<1	<1
11/05/2017	24000	24000	10.26	12	166.592	10	0.005	0.2381	48.9	<1	<1
13/06/2017	4600	4600	11.35	23.18	291.392	20	0.005	1.0568	52.5	<1	<1
18/07/2017	930	930	12.27	15.79	292.288	16	0.0523	0.8187	51.2	<1	<1
24/08/2017	930	930	4.86	26.84	149.12	16	0.0227	0.5321	80.7	<1	<1
08/10/2018	90	90	5.04	19.2	85.312	32	0.005	3.9438	79.5	<1	<1
27/07/2020	930	930	11.4	25.44	112	40	0.0382	0.278	71.6	<1	<1
13/09/2021	240	150	6.48	47.43	269.44	104	0.0836	0.3851	85.7	<1	<1
07/09/2022	210	15	41.28	48.4	487.68	104	0.018	0.313	90.6	<1	<1

La tabla mostrada a continuación recopila los resultados obtenidos durante el periodo de estiaje (noviembre a abril) en los años 2012-2019 en el punto de muestreo Río Amarillo.

Tabla 18. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante estiaje en la estación Río Amarillo.

FECHA REALIZACIÓN	COLI_FEC	E_COLI	DBO_TOT	DQO_TOT	SDT	SST	N_NO2	N_NO3	OD_%	TOX_D_48_U T	TOX_V_15_U T
03/11/2012	230	230	2	10	250.88	10	0.005	0.2289		<1	<1
01/12/2012	10	2100	2	10	204.16	10	0.005	2.722		<1	<1
26/12/2012	230	230	2	10	197.12	10	0.266	0.3879		<1	<1
05/03/2013	1100	1100	2	10	164.48	10	0.005	0.031	84.68	<1	<1
18/04/2013	93	93	2	16.46	184.96	10	0.005	0.031	78.46	<1	<1
14/03/2014	150	150	3.7	10	180.48	24	0.012	0.243	49.7	<1	<1
19/02/2015	210	150	2.91	10	161.92	18	0.0269	0.3448	68.23	<1	<1
26/03/2015	90	40	2	14.64	161.28	10	0.1069	0.1831	68.38	<1	<1
30/04/2015	930	930	3.27	12.69	330.24	10	0.0411	0.1194	30.61	<1	<1
03/03/2016	110	110	4.8	20.16	161.28	30	0.005	0.031	32.2	<1	<1
07/04/2016	2400	2400	2.4	15.23	153.6	11	0.3218	0.0512	44.27	<1	<1
15/02/2017	750	750	7.59	55.67	163.84	16	0.005	0.1596	55.6	<1	<1
23/03/2017	930	930	3.18	10	121.1712	10	0.005	0.1415	51.1	<1	<1
04/01/2018	30	30	2	14.4	91.968	12	0.005	0.2982	52.5	<1	<1
08/02/2018	30	30	8.22	34.93	100.032	20	0.005	0.0886	50	<1	<1
14/03/2018	30	30	11.34	22.08	89.6	20	0.005	0.2931		<1	<1
19/04/2018	70	70	12.18	23.23	100.032	12	0.005	0.9508	23.9	<1	<1
12/11/2018	280	280	11.04	44.69	88.96	40	0.005	1.6	85.5	<1	<1
01/03/2019	2400	2400	9.15	32.29	133.12	12	0.005	0.3992	77	<1	<1

Tabla 19. Promedio anual de cada parámetro en la estación Río Amarillo

	COLI_FEC	E_COLI	DBO_TOT	DQO_TOT	SDT	SST	N_NO2	N_NO3	OD%
2012	80.8758	480.7194	2.0000	10.0000	217.3867	10.0000	0.0920	1.1129	-
2013	876.1421	876.1421	2.8889	11.2090	150.7935	15.5350	0.0400	0.1815	80.0433
2014	166.8934	152.0312	3.0000	13.4783	177.3760	32.6667	0.0464	0.4340	60.2400
2015	850.1716	702.1903	2.6367	24.9850	190.4000	16.6667	0.0458	0.1463	57.2850
2016	1149.9704	1149.9704	3.7383	14.0150	158.9333	20.3333	0.0596	0.2728	46.9717
2017	2013.3218	2013.3218	8.2517	23.9133	197.4005	14.6667	0.0158	0.4911	56.6667
2018	60.2065	60.2065	8.3033	26.4217	92.6507	22.6667	0.0050	1.1958	58.2800
2019	2400.0000	2400.0000	9.1500	32.2900	133.1200	12.0000	0.0050	0.3992	77.0000
2020	930.0000	930.0000	11.4000	25.4400	112.0000	40.0000	0.0382	0.2780	71.6000
2021	240.0000	150.0000	6.4800	47.4300	269.4400	104.0000	0.0836	0.3851	85.7000
2022	210.0000	15.0000	41.2800	48.4000	487.6800	104.0000	0.0180	0.3130	90.6000

Nota: En los parámetros de coliformes fecales (COLI_FEC) y Escherichia coli (E_COLI) se calculó media geométrica.

Tabla 20. Datos de campo obtenidos durante estiaje y lluvia en la estación Río Amarillo.

EPOCA DE LLUVIA			
FECHA REALIZACIÓN	TEMP_AGUA	CONDUCT_CAMP	pH_CAMPO
22/05/2013	18.4	271	8.12
15/08/2013	16.3	313.7	7.59
12/09/2013	15.5	115	7.45
02/05/2014	16	252	7.6
13/06/2014	17.8	296.6	7.5
26/07/2014	16.5	296.3	7.6
05/09/2014	19.3	272	8.1
14/10/2014	19.3	264	7.6
04/06/2015	15.9	245	6.5
09/07/2015	14.7	261	7.7
13/08/2015	17.5	258	7.9
07/05/2016	16.2	250	7.4
18/06/2016	17.3	199	6.9
03/08/2016	17.4	281	7.6
03/10/2016	19.5	268	7.4
11/05/2017	16.5	260.3	7.1
13/06/2017	17	455.3	7.2
18/07/2017	21.6	456.7	7.5
24/08/2017	15.5	233	7.5
08/10/2018	19.5	133.3	8
27/07/2020	16.2	175	8.1
13/09/2021	22.9	421	7.9
07/09/2022	17	762	8.1

EPOCA DE ESTIAJE			
FECHA REALIZACIÓN	TEMP_AGUA	CONDUCT_CAMP	pH_CAMPO
03/11/2012	19.9	392	8.11
01/12/2012	15.7	319	7.89
26/12/2012	15.8	308	7.847
05/03/2013	16.56	257	6.7
18/04/2013	15.1	289	7.92
14/03/2014	18.7	282	8.1
19/02/2015	14.3	253	7.1
26/03/2015	19.7	252	7.2
30/04/2015	19.2	516	7.4
03/03/2016	15	252	7.4
07/04/2016	19.8	240	7.7
15/02/2017	15.3	256	7.3
23/03/2017	14	189.33	8
04/01/2018	13.6	143.7	7.9
08/02/2018	14	156.3	7.5
14/03/2018	17.3	140	7.1
19/04/2018	17.1	156.3	7.2
12/11/2018	17.1	139	7.9
01/03/2019	13.6	208	8.1

Anexo 4. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos del período 2012-2022 en la estación Río Fogótico (OCFSU2967).

La tabla mostrada a continuación recopila los resultados obtenidos durante el periodo de lluvias (mayo a octubre) en los años 2013-2022 en el punto de muestreo **Río Fogótico**.

Tabla 21. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante lluvias en la estación Río Fogótico.

FECHA REALIZACIÓN	COLI_FEC	E_COLI	DBO_TOT	DQO_TOT	SDT	SST	N_NO2	N_NO3	OD_%	TOX_D_48_U T	TOX_V_15_U T
22/05/2013	15	15	2.16	10	108.8448	14	0.0543	0.4505	98.56	<1	<1
28/06/2013	43	43	2		112.832	10	0.005	0.031	71.64	<1	<1
15/08/2013	11	11	3.63	18.05	106.6432	13	0.005	0.0426	40.04	<1	<1
12/09/2013	240	240	2	19.28	95.36	44	0.033	0.588	79.2	<1	<1
02/05/2014	90	90	2	23.54	94.208	18	0.076	0.067	107.4	<1	<1
13/06/2014	11000	11000	2	35.28	98.88	32	0.005	0.031	66.5	<1	<1
26/07/2014	430	430	3.4	10.16	120.832	10	0.011	0.349	67.3	<1	<1
05/09/2014	90	40	2	15.62	114.496	20	0.022	0.447	75.1	<1	<1
13/10/2014	70	70	2	13.55	109.44	18	0.005	0.162	60.5	<1	<1
04/06/2015	430	430	2.31	16.37	102.912	28	0.0731	0.031	56.51	<1	<1
09/07/2015	430	430	3.6	14.28	107.264	10	0.005	0.031	59.6	<1	<1
13/08/2015	2100	2100	2.13	68.07	96.064	20	0.005	0.031	61.44	<1	<1
07/05/2016	11000	11000	2.76	16.32	102.4	10	0.005	0.799	59.8	<1	<1
18/06/2016	>24000	>24000	2.73	20.47	126.464	36	0.005	0.1088	60.4	<1	<1
03/08/2016	<3	<3	7.53	39.18	117.12	30	0.005	0.0436	60.5	<1	<1
03/10/2016	930	930	<2	21.82	81.28	16	0.005	0.2202	67.57	<1	<1
11/05/2017	>24000	>24000	10.5	12	115.392	10	0.005	0.4469	50.2	<1	<1
13/06/2017	2100	2100	12.6	146.65		152	0.0179	0.4917	54.6	<1	<1
19/07/2017	430	430	12.11	12.58	150.592	14	0.0234	0.9261	56.8	<1	<1
24/08/2017	1500	1500	7.44	24.89	115.648	52	0.005	0.3953	83.2	<1	<1
08/10/2018	230	230	5.88	20.64	92.16	60	0.005		94.6	<1	<1
27/07/2020	2400	930	5.4	32.64	114.56	56	0.005	0.231	77.1	<1	<1
13/09/2021	210	150	3.36	45.98	78.08	112	0.079	0.3708	81.7	<1	<1
07/09/2022	1100	9	40.08	45.5	501.76	66	0.025	0.311	91.1	<1	<1

La tabla mostrada a continuación recopila los resultados obtenidos durante el periodo de estiaje (noviembre a abril) en los años 2012-2019 para el punto de muestreo Sumidero.

Tabla 22. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante estiaje en la estación Río Fogótico.

FECHA REALIZACIÓN	COLI_FEC	E_COLI	DBO_TOT	DQO_TOT	SDT	SST	N_NO2	N_NO3	OD_%	TOX_D_48_U T	TOX_V_15_U T
03/11/2012	230	230	2	10	96.128	10	0.005	0.031	85.88	<1	<1
01/12/2012	460	460	2	10	112.2112	10	0.005	0.031	69.86	<1	<1
26/12/2012	23	23	2	10	105.344	10	0.005	0.031	24.91	<1	<1
05/03/2013	240	240	2	10	104.768	10	0.005	0.031	104.3	<1	<1
18/04/2013	150	150	2	27.44	109.7792	16	0.005	0.3264	66.1	<1	<1
14/03/2014	9	9	3.6	10	94.272	20			61.4	<1	<1
19/02/2015	150	150	2	10		30	0.005	0.0968	74.31	<1	<1
26/03/2015	150	150	2	10	101.056	10	0.0274	0.0976	75.7	<1	<1
30/04/2015	930	930	2	10	110.784	10	0.1281	0.2081	55.3	<1	<1
03/03/2016	70	70	2.76	10	106.24	38	0.005	0.0404	41.7	<1	<1
07/04/2016	4600	4600	2.79	10.47	101.76	10	0.005	0.0465	59.15	<1	<1
15/02/2017	<3	<3	13.01	34.65	94.72	12	0.0142	0.0596	88.9	<1	<1
23/03/2017	1200	1200	3.72	10	77.2288	10	0.005	0.0401	50.6	<1	<1
04/01/2018	<30	<30	2	19.2	90.432	12	0.0152	0.7645	52.7	<1	<1
08/02/2018	<30	<30	6.24	22.14	96.192	24	0.005	0.0484	51.1	<1	<1
14/03/2018	<30	<30	11.94	19.2	91.52	16	0.005	0.3621		<1	<1
19/04/2018	<30	<30	10.08	22.26	104.512	12	0.0111	0.7061	22.7	<1	<1
12/11/2018	230	230	11.76	46.51	103.04	44	0.005	1.4453	85.9	<1	<1
01/03/2019	430	430	8.49	31.82	99.84	16	0.005	0.2333	81	<1	<1

Tabla 23. Promedio anual de cada parámetro en la estación Río Fogótico.

	COLI_FEC	E_COLI	DBO_TOT	DQO_TOT	SDT	SST	N_NO2	N_NO3	OD%
2012	134.5048	134.5048	2.0000	10.0000	104.5611	10.0000	0.0050	0.0310	60.2167
2013	62.7930	62.7930	2.2983	16.9540	106.3712	17.8333	0.0179	0.2449	76.6400
2014	169.9996	148.5083	2.5000	18.0250	105.3547	19.6667	0.0238	0.2112	73.0333
2015	448.3704	448.3704	2.3400	21.4533	103.6160	18.0000	0.0406	0.0826	63.8100
2016	1347.2025	1347.2025	3.7140	19.7100	105.8773	23.3333	0.0050	0.2098	58.1867
2017	1129.1199	1129.1199	9.8967	40.1283	110.7162	41.6667	0.0118	0.3933	64.0500
2018	230.0000	230.0000	7.9833	24.9917	96.3093	28.0000	0.0077	0.6653	61.4000
2019	430.0000	430.0000	8.4900	31.8200	99.8400	16.0000	0.0050	0.2333	81.0000
2020	2400.0000	930.0000	5.4000	32.6400	114.5600	56.0000	0.0050	0.2310	77.1000
2021	210.0000	45.9800	3.3600	45.9800	78.0800	112.0000	0.0790	0.3708	81.7000
2022	1100.0000	9.0000	40.0800	45.5000	501.7600	66.0000	0.0250	0.3110	91.1000

Nota: En los parámetros de coliformes fecales (COLI_FEC) y Escherichia coli (E_COLI) se calculó media geométrica.

Tabla 24. Datos de campo obtenidos durante estiaje y lluvia en la estación Río Fogótico.

EPOCA DE LLUVIA			
FECHA REALIZACIÓN	TEMP_AGUA	CONDOC_CAMPO	pH_CAMPO
22/05/2013	170.07	8.85	19.73
28/06/2013	176.3	8.4	19.9
15/08/2013	166.63	8.09	15.4
12/09/2013	149	8.21	16.1
02/05/2014	147.2	7.6	17.5
13/06/2014	154.5	8.3	18.5
26/07/2014	188.8	8.3	16.1
05/09/2014	178.9	8.5	16.9
13/10/2014	171	8.1	16
04/06/2015	160.8	6.6	16
09/07/2015	167.6	7.8	14.8
13/08/2015	150.1	7.9	15.3
07/05/2016	160	8.2	17.2
18/06/2016	197.6	7.6	18.8
03/08/2016	183	8	16.6
03/10/2016	127	7.2	19.5
11/05/2017	180.3	7.2	17.2
13/06/2017		7.3	16.6
19/07/2017	235.3	7.4	16.9
24/08/2017	180.7	7.8	16.5
08/10/2018	144	8.4	22.6
27/07/2020	179	8.5	16.2
13/09/2021	122	7.7	16.3
07/09/2022	784	8.3	16

EPOCA DE ESTIAJE			
FECHA REALIZACIÓN	TEMP_AGUA	CONDOC_CAMPO	pH_CAMPO
03/11/2012	150.2	8	18.7
01/12/2012	175.33	8.31	14.4
26/12/2012	164.6	8.087	14.2
05/03/2013	163.7	8.01	26.1
18/04/2013	171.53	8.01	16.1
14/03/2014	147.3	8.5	16
19/02/2015		7.1	14
26/03/2015	157.9	8.1	18.7
30/04/2015	173.1	6.8	16
03/03/2016	166	8.1	15.2
07/04/2016	159	8.7	20
15/02/2017	148	7.7	14.5
23/03/2017	120.67	8.2	13.1
04/01/2018	141.3	8.1	13.3
08/02/2018	150.3	8	14
14/03/2018	143	7.4	16.7
19/04/2018	163.3	7.7	17
12/11/2018	161	8.3	16.1
01/03/2019	156	8.3	13.5

Anexo 5. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos del período 2012-2022 en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo (OCFSU2971).

La tabla mostrada a continuación recopila los resultados obtenidos durante el periodo de lluvias (mayo a octubre) en los años 2013-2022 en el punto de muestreo Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.

Tabla 25. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante lluvias en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.

FECHA REALIZACIÓN	COLI_FEC	E_COLI	DBO_TOT	DQO_TOT	SDT	SST	N_NO2	N_NO3	OD_%	TOX_D_48_UT	TOX_V_15_UT
22/05/2013	2400	2400	13.44	21.96	176	16	0.378	0.7955	50.71	<1	<1
28/06/2013	2400	2400	3.33		164.672	10	0.0588	0.031	56.51	<1	<1
15/08/2013	2400	2400	15.06	24.63	163.84	17	0.4225	0.2613	69.86	<1	<1
12/09/2013	2400	2400	3.9	10	117.312	62	0.0214	0.7643	68.52	<1	<1
02/05/2014	280	280	4.2	30.96	141.952	14	0.011	0.033	65.1	<1	<1
13/06/2014	90	90	2	13.1	111.296	40	0.124	0.154	96.7	<1	<1
26/07/2014	750	430	2	16.46	172.544	10	0.022	0.365	64.5	<1	<1
04/09/2014	930	430	5	34.36	170.24	14		0.278	49.4	<1	<1
14/10/2014	11000	4600	2	17.42	128.64	14	0.18	0.576	72.1	<1	<1
03/06/2015	24000	24000	16.35	77.16	281.6	98	0.005	0.031	11.12	<1	<1
08/07/2015	11000	11000	11.01	51.41	289.92	28	0.005	0.031	12.23	<1	<1
13/08/2015	24000	24000	5.43	82.31	175.36	30	0.005	0.031	10.36	<1	<1
07/05/2016	2100	2100	27.3	27.84	274.56	24	0.005	2.3037		<1	5.18
18/06/2016	2400	2400	27.6	53.79	158.72	28	0.005	0.3671	43.4	<1	<1
03/08/2016	24000	24000	7.02	32.01	187.52	18	0.005	0.031	12.5	<1	<1
03/10/2016	1500	1500	2.67	34.22	112.64	18	0.0316	0.2994	68.91	<1	<1
11/05/2017	24000	24000	45.3	47.04	219.52	40	0.005	0.2824	10	<1	<1
13/06/2017	24000	24000	10.6	113.83		60	0.005	1.4965	36.8	<1	<1
19/07/2017	24000	24000	14.66	18.88	263.232	18	0.005	0.625	10	<1	<1
26/08/2017	24000	24000	8.94	66.31	281.408	68	0.0447	1.6818	22.5	<1	<1
24/05/2018	24000	24000	13.8	70.08	277.312	20	0.005	0.1835	10	<1	<1
08/10/2018	24000	24000	84.31	125.13	382.08	52	0.0168	3.6783	72.2	<1	2.449
27/07/2020	430	430	34.06	378.19	180.48		0.2343	1.0213	65.4	<1	<1
13/09/2021	1100	460	8.01	141.82	239.36	244	0.005	0.0409	67.2	<1	<1
08/09/2022	15	3	53.4	64.37	480	22	0.039	0.426	83.8	<1	<1

La tabla mostrada a continuación recopila los resultados obtenidos durante el periodo de estiaje (noviembre a abril) en los años 2012-2019 para el punto de muestreo Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo

Tabla 26. Datos fisicoquímicos, bacteriológicos y toxicológicos obtenidos durante estiaje en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.

FECHA REALIZACIÓN	COLI_FEC	E_COLI	DBO_TOT	DQO_TOT	SDT	SST	N_NO2	N_NO3	OD_%	TOX_D_48_UT	TOX_V_15_UT
03/11/2012	24000	24000	2	10	121.6	10	0.005	0.031	93	<1	1.5
01/12/2012	11000		2	10	163.2	10	0.039	0.031	64.96	<1	<1
26/12/2012		43	2		155.52	10	0.005	1.2595	10	<1	<1
05/03/2013	2400	2400	2	12.54	124.5248	10	0.005	0.4305	86.1	<1	<1
18/04/2013	150	150	40.22	42.86	198.4	16	0.313	0.3987	51.9	<1	<1
14/03/2014			7.2	11.71	133.696	14	0.005	0.229	53.8	<1	<1
19/02/2015	70	70	13.28	10	188.16	36	0.3664	0.303	43.01	<1	<1
26/03/2015	230	90	10.35	59.05	213.12	10	0.0254	0.0739	17.65	<1	<1
30/04/2015	24000	24000	84.9	127.9	279.68	52	0.005	0.0387	10.6	<1	2.76
03/03/2016	210	150	29.52	112.03		56	0.005	0.2069		<1	<1
07/04/2016	11000	11000	35.04	129.21	186.24	48	0.005	5.4068	43.01	<1	3.4
15/02/2017	4600	4600	106.72	159.57	252.5888	10	0.1002	0.2591	22.8	<1	5.41
23/03/2017	24000	24000	20.4	163.9	174.72	10	0.0111	0.2152	21	<1	<1
04/01/2018	24000	24000	11.04	23.04	173.248	12	0.0157	1.4639		<1	<1
08/02/2018	24000	24000	47.4	80.62	244.288	24	0.005	0.5429	10	<1	<1
14/03/2018	24000	24000	14.7	28.32	154.24	16	0.005	0.6659		<1	<1
12/11/2018	24000	24000	153.32	160.72	426.88	104	0.0163	1.6181	22.2	<1	2.75
01/03/2019	24000	24000	73.66	226.92	488.32	104	0.0171	1.6845	20.1	<1	<1

Tabla 27. Promedio anual de cada parámetro en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.

	COLI_FEC	E_COLI	DBO_TOT	DQO_TOT	SDT	SST	N_NO2	N_NO3	OD%
2012	16248.077	1015.874	2.000	10.000	146.773	10.000	0.016	0.441	55.987
2013	1511.905	1511.905	12.992	22.398	157.458	21.833	0.200	0.447	63.933
2014	719.892	463.681	3.733	20.668	143.061	17.667	0.084	0.273	66.933
2015	3671.206	3139.746	23.553	67.972	237.973	42.333	0.069	0.085	17.495
2016	2735.631	2586.443	21.525	64.850	183.936	32.000	0.009	1.436	41.955
2017	18223.663	18223.663	34.437	94.922	238.294	34.333	0.029	0.760	20.517
2018	24000.000	24000.000	54.095	81.318	276.341	38.000	0.011	1.359	28.600
2019	24000.000	24000.000	73.660	226.920	488.320	104.000	0.017	1.685	20.100
2020	430.000	430.000	34.060	378.190	180.480		0.234	1.021	65.400
2021	1100.000	460.000	8.010	141.820	239.360	244.000	0.005	0.041	67.200
2022	15.000	3.000	53.400	64.370	480.000	22.000	0.039	0.426	83.800

Tabla 28. Datos de campo obtenidos durante estiaje y lluvia en la estación Río Fogótico aguas abajo del Río Amarillo.

EPOCA DE LLUVIA			
FECHA REALIZACIÓN	TEMP_AGUA	CONDUC_CA MPO	pH_CAMPO
22/05/2013	19.13	275	8.18
28/06/2013	17.83	257.3	8.12
15/08/2013	16.8	256	7.87
12/09/2013	16.2	183.3	7.78
02/05/2014	19.1	221.8	8.1
13/06/2014	17.5	173.9	8.2
26/07/2014	16	269.6	7.8
04/09/2014	19	266	8.1
14/10/2014	20.3	201	7.8
03/06/2015	16.6	440	7.2
08/07/2015	24.3	453	7.4
13/08/2015	21.9	274	7.8
07/05/2016	20.8	429	7.6
18/06/2016	19.6	248	7.9
03/08/2016	19.4	293	7.8
03/10/2016	19	176	7.4
11/05/2017	18.5	343	7.7
13/06/2017	19		7.8
19/07/2017	19.8	411.3	7.7
26/08/2017	18.7	439.7	7.7
24/05/2018	22	433.3	7.5
08/10/2018	18.8	597	7.7
27/07/2020	15.5	282	8.4
13/09/2021	18	374	7.9
08/09/2022	17	750	8

EPOCA DE ESTIAJE			
FECHA REALIZACIÓN	TEMP_AGUA	CONDUC_CA MPO	pH_CAMPO
03/11/2012	14.8	190	8.02
01/12/2012	14.6	255	8.16
26/12/2012	14	243	7.81
05/03/2013	14.36	194.57	7.56
18/04/2013	16.13	310	7.83
14/03/2014	15.7	208.9	8
19/02/2015	16	294	6.9
26/03/2015	18.5	333	7.1
30/04/2015	17.7	437	7.1
07/04/2016	16	291	7.1
15/02/2017	15.1	394.67	7.3
23/03/2017	18.1	273	7.8
04/01/2018	13.4	270.7	7.5
08/02/2018	18	381.7	7.4
14/03/2018	15.8	241	8.1
12/11/2018	17.9	667	7.7
01/03/2019	15.2	763	8.1