



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LA VENTA (OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA, CHIAPAS)”

REPORTE FINAL DE RESIDENCIA QUE PRESENTA:

MARTÍNEZ JIMÉNEZ MARIANA

COMO REQUISITO PARA ACREDITAR LA RESIDENCIA PROFESIONAL
DE LA LICENCIATURA EN:

INGENIERÍA QUÍMICA

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

AGOSTO-DICIEMBRE 2023



AGRADECIMIENTO

Extiendo mis profundos agradecimientos a cada una de las personas que me apoyaron incondicionalmente durante mi camino profesional.

En primer lugar, quiero agradecer a mi amada familia por todo su apoyo y su comprensión. Mamá, papá y queridas hermanas gracias por nunca dejar de creer en mí, su apoyo y alientos constantes han sido mi fuente de motivación para seguir adelante.

También quiero agradecer a mis asesores de investigación, el Dr. Juan José Villalobos Maldonado y la Ing. Yazmín Elith Colado Altamirano, gracias por su orientación y sus valiosos consejos que han sido cruciales para dar forma a mi investigación.

A los miembros del Laboratorio de Monitoreo Ambiental de la SEMAHN, los ingenieros Emigdia Flores Gorosquieta y Yarian de Jesús Espinosa Castañeda agradezco sinceramente su apoyo y paciencia. Su experiencia y compromiso laboral han impactado de manera significativa para expandir mi comprensión en este campo.

A todos y cada uno de mis respetados maestros, gracias por impartirme los conocimientos y las habilidades necesarias para concluir mi formación educativa; cada uno deja una huella duradera en mi desarrollo académico.

Con gratitud,

Mariana Martínez Jiménez

RESUMEN

Actualmente, el crecimiento poblacional e industrial ha desencadenado alteraciones ambientales, siendo uno de los más afectados el recurso hídrico. Esto es producto de los constantes vertidos de aguas residuales provenientes de actividades antropogénicas que alteran la composición natural del agua y la convierten en un recurso de alto riesgo para los ecosistemas y la misma humanidad.

El presente trabajo tiene como propósito evaluar el estado actual en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del Río La Venta; dicho cuerpo de agua es de gran relevancia para la subsistencia de los pobladores que utilizan este efluente diariamente, así como de cientos de organismos, al encontrarse principalmente dentro de un área natural protegida.

Se realizó el estudio con base en las normativas y legislaciones mexicanas sobre monitoreo, técnicas analíticas y comparativas con límites máximos permisibles. Eso se refleja en campañas de monitoreo trimestrales en diferentes épocas estacionales durante el año 2023.

La concentración de la demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno en el agua del Río La Venta son óptimas. En el caso de las concentraciones de materia flotante, sólidos suspendidos totales y turbidez se ven muy influenciados por el arrastre de contaminantes de las localidades cercanas al río.

Mientras tanto, la presencia de bacterias coliformes fecales estuvo muy por encima de los límites permisibles según las normativas analizadas, por lo cual representa un riesgo para la salud de los habitantes de la zona.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	2
RESUMEN	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	7
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	8
I. CAPÍTULO: GENERALIDADES DEL PROYECTO	10
1.1 INTRODUCCIÓN	10
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	13
1.2.1 Laboratorio de Monitoreo Ambiental.....	13
1.2.2 Organigrama de la dependencia	15
1.3 PROBLEMA A RESOLVER	16
1.4 JUSTIFICACIÓN	17
1.5 OBJETIVOS	18
1.5.1 Objetivo General.....	18
1.5.2 Objetivos Específicos	18
II. CAPÍTULO: MARCO TEÓRICO	19
2.1 AGUA.....	19
2.1.1 Aguas superficiales	19
2.1.2 Contaminación de aguas superficiales	19
2.2 INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA.....	20
2.2.1 Características fisicoquímicas	20
2.2.2 Características Biológicas del Agua	26
2.2.3 Índice de Calidad del Agua (ICA)	28
2.3 NORMATIVIDAD.....	32

2.3.1	Normatividad de análisis.....	32
III.	CAPÍTULO: DESARROLLO	34
3.1	PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES	34
3.1.1	Geoposicionamiento.....	34
3.1.2	Muestreo.....	35
3.1.3	Metodología de análisis	37
IV.	CAPÍTULO: RESULTADOS	45
4.1	RESULTADOS.....	45
4.1.1	Parámetros en campo	45
4.1.2	Parámetros en el Laboratorio	50
4.1.3	Escala de clasificación de la calidad de agua superficial.....	57
4.1.4	Índice de Calidad del Agua (ICA).	58
V.	CAPÍTULO: CONCLUSIONES	60
5.1	CONCLUSIONES	60
5.2	RECOMENDACIONES	61
5.3	EXPERIENCIA PERSONAL PROFESIONAL ADQUIRIDA	63
	COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS	64
	FUENTES DE INVESTIGACIÓN.....	65
	ANEXO.....	69
	Carta aceptación.....	69
	Fotografías.....	70
	Cálculos de Índice de Calidad del Agua (ICA)	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de tipo de fuentes de contaminación.....	19
Tabla 2. Valores de Sub_i según NSF.	29
Tabla 3. Parámetros para el cálculo del ICA según CONAGUA.	30
Tabla 4. Identificación de color según el valor del ICA.....	30
Tabla 5. Categorización de la calidad del agua según su valor de ICA y el uso.	31
Tabla 6. Escala de clasificación de la calidad de agua superficial, cuerpos de agua lóticos (ríos, arroyos y corrientes).	32
Tabla 7. Normativas de comparación para los resultados obtenidos.	32
Tabla 8. Normas técnicas de los parámetros a analizar en campo.....	33
Tabla 9. Normas técnicas de los parámetros fisicoquímicos.....	33
Tabla 10. Códigos y Coordenadas de los sitios de muestreo.	34
Tabla 11. Calendarización de las campañas de muestreo.....	36
Tabla 12. Resultados obtenidos durante los muestreos en campo.....	45
Tabla 13. Resultados promedio obtenidos durante los muestreos en campo.	46
Tabla 14. Resultados obtenidos durante el análisis fisicoquímico y microbiológico.....	50
Tabla 15. Resultados promedio obtenidos durante el análisis fisicoquímico y microbiológico.	51
Tabla 16. Resultados promedio de la calidad del agua superficial de los sitios según los indicadores de CONAGUA.....	57
Tabla 17. Resultados del ICA obtenidos durante los muestreos.....	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Organigrama de la Secretaria de Medio Ambiente e Historia Natural, Chiapas.....	15
Ilustración 2. Escala de pH.....	23
Ilustración 3. Ensayo por múltiples tubos.....	28
Ilustración 4. Sitios de muestreo ubicados en el Río La Venta, Ocozocoautla de Espinosa.	35
Ilustración 5. Equipo multiparámetro HI9829.	37
Ilustración 6. Oxímetro HI964400 marca HANNA instruments.....	38
Ilustración 7. Espectrofotómetro SQ118 marca Merck.....	42
Ilustración 8. Termo-baño marca Felisa.....	44
Ilustración 9. Calibración del equipo en campo y recolección de muestras.	70
Ilustración 10. Análisis fisicoquímico y microbiológico de las muestras.	70
Ilustración 11. Lavado y acondicionamiento de material.....	70
Ilustración 12. Ejemplo de obtención del ICA según sitio y muestreo.....	71
Ilustración 13. Ejemplo del cálculo de los valores de Subj.	72
Ilustración 14. Gráficos para la valoración de la calidad de agua en función a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	73

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1. Temperatura por sitio en cada muestreo (°C).....	46
Gráfico 2. Comportamiento de la Temperatura Promedio.....	46
Gráfico 3. pH por sitio en cada muestreo (U, de pH).....	47
Gráfico 4. Comportamiento del pH Promedio.....	47
Gráfico 5. Comportamiento de la Materia Flotante.....	47
Gráfico 6. Conductividad eléctrica por sitio en cada muestreo ($\mu\text{S}/\text{cm}$).	48
Gráfico 7. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica Promedio.	48
Gráfico 8. Oxígeno Disuelto por sitio en cada muestreo (mg/L).....	48
Gráfico 9. Comportamiento del Oxígeno Disuelto Promedio.....	49
Gráfico 10. Demanda Bioquímica de Oxígeno por sitio en cada muestreo (mg/L).....	51
Gráfico 11. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Promedio.....	51
Gráfico 12. Demanda Química de Oxígeno por sitio en cada muestreo (mg/L).	52
Gráfico 13. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno Promedio.	52
Gráfico 14. Sólidos Disueltos Totales por sitio en cada muestreo (mg/L).	52
Gráfico 15. Comportamiento de Sólidos Disueltos Totales Promedio.	53
Gráfico 16. Sólidos Disueltos Totales por sitio en cada muestreo (mg/L).	53
Gráfico 17. Comportamiento de Sólidos Suspendidos Totales Promedio.....	53
Gráfico 18. Fósforo Total por sitio en cada muestreo (mg/L).	54
Gráfico 19. Comportamiento del Fósforo Total Promedio.	54
Gráfico 20. Nitratos por sitio en cada muestreo (mg/L).....	54
Gráfico 21. Comportamiento de los Nitratos Promedio.	55
Gráfico 22. Turbiedad por sitio en cada muestreo (NTU).	55

Gráfico 23. Comportamiento de la Turbiedad Promedio.	55
Gráfico 24. Coliformes Fecales por sitio en cada muestreo (NMP/100 mL).....	56
Gráfico 25. Comportamiento de los Coliformes Fecales Promedio.	56
Gráfico 26. ICA por sitio en cada muestreo.....	58
Gráfico 27. Comportamiento del Índice de Calidad del Agua (ICA) según sitio de muestreo.	59

I. CAPÍTULO: GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

El agua es considerada uno de los elementos naturales más indispensables para el desarrollo y la interacción de la vida humana y del resto de los seres vivos. Este factor abarca el 70 % de la superficie terrestre, pero solo el 0.025 % es agua dulce consumible, ya que gran parte es descartada al estar congelada en glaciares y casquetes polares (García, 2019).

Este acceso limitado a fuentes de agua potable se ha vuelto aún más importante debido a la creciente contaminación del recurso hídrico existente. Se estima que aproximadamente 2,200 millones de personas en el mundo no cuentan con agua potable (UNICEF, 2019) y que alrededor de 3.5 millones de personas mueren al año por enfermedades producto de la calidad del agua (Aqua Fundación, 2021).

La calidad del agua abarca aquellas propiedades químicas, físicas y biológicas que pueden verse alteradas por varias causas, como es el caso de las actividades antropogénicas, es decir, actividades donde interviene el ser humano.

El crecimiento tan acelerado de la población ha sido uno de los factores más relevantes con respecto a la contaminación del agua, debido al incremento drástico en el consumo de bienes y servicios. Recordemos que el agua es uno de los recursos más empleados para realizar actividades sociales y económicas como la ganadería, la agricultura, la agroindustria, la industria, la construcción, el sector salud, actividades recreativas, etc. Muchas veces, dichas actividades comprometen la calidad del recurso al no ser tratadas adecuadamente para eliminar o reducir elementos que imposibiliten el retorno seguro del agua a sus fuentes de origen.

Según la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA), el 59.1% de las fuentes superficiales de agua se encuentran contaminadas y el 58.1% del agua subterránea son consideradas de mala calidad (Rodríguez, 2022).

En este contexto, el gobierno del país ha desarrollado e implementado medidas de conservación del agua destinadas a garantizar la salud y el bienestar de todos los seres vivos.

Las medidas ejecutadas son diferentes para cada caso; estas se elaboran a partir de conocer de forma detallada el estado, el comportamiento y la evolución de estas fuentes hídricas. Esto se puede alcanzar estableciendo metodologías de muestreo y monitores constantes que permitan localizar alteraciones en los límites permisibles de cada contaminante.

A nivel estatal, Chiapas ha desarrollado programas que permiten analizar la calidad de los cuerpos de agua, con la finalidad de poder asentar decisiones que orienten de forma segura las políticas ambientales del Estado.

De acuerdo a lo anterior, el Río La Venta ha tomado gran relevancia debido a ser uno de los principales efluentes del Río Grijalva; ubicado entre los municipios de Cintalapa, Jiquipilas y Ocozocoautla de Espinosa.

En el presente estudio, el enfoque dado será el tramo Ocozocoautla de Espinosa debido a su paso dentro de un área natural protegida, así como al aumento de zonas de actividades económicas como la agricultura y la ganadería.

En vista de esto, la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN) ha llevado a cabo el análisis de la calidad del agua de esta fuente hídrica, con el objetivo

de determinar posibles fuentes de contaminación y el establecimiento de acciones de mejora.

Debido a lo anterior, el presente estudio evaluó la calidad del agua del Río La Venta de acuerdo a los indicadores fisicoquímicos y microbiológicos basándose en 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; y los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89); para posteriormente se calcularon los índices de calidad de agua (ICA).

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, es una Dependencia del Poder Ejecutivo del Estado, que tiene como objetivo principal, aplicar la normatividad en materia de medio ambiente, ordenamiento ecológico territorial de flora y fauna en el Estado, coordinando acciones y mecanismos con Dependencias y Entidades de los tres órdenes de Gobierno, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de los chiapanecos y evitar el deterioro de los recursos naturales y medio ambiente, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, y la adaptación a los efectos del cambio climático, promoviendo además, la conservación, restauración y propagación de la flora y fauna silvestre o acuática de la Entidad (SEMAHN, s.f.).

1.2.1 Laboratorio de Monitoreo Ambiental

El Laboratorio de la Dirección de Protección Ambiental y Desarrollo de Energía surge como un instrumento de gestión ambiental para que el Estado fortalezca la toma de decisiones en el cumplimiento de sus atribuciones en la materia de calidad ambiental, mismas que se encuentran previstas en la normatividad de la materia.

La Secretaria de Medio Ambiente e Historia Natural, es responsable de generar un sistema permanente de monitoreo y evaluación sobre los recursos naturales, principalmente de aquellos sujetos a descargas contaminantes.

El Laboratorio de Monitoreo Ambiental, cuenta con equipos automatizados y con personal especialista en las áreas con las que cuenta el laboratorio. Se encarga de planear, coordinar y evaluar sobre la contaminación en agua, suelo y sedimentos mediante diagnósticos, proporcionando servicios de ensayo y muestreo, confiables, trazables y rastreables dentro del territorio chiapaneco (SEMAHN, s.f.).

1.2.1.1 *Objetivo del Laboratorio*

Generar la información en materia de impacto ambiental ocasionado al suelo y agua por fuentes de contaminación natural y antropogénica, para apoyar la eficaz toma de decisiones que orienten la política ambiental en el Estado.

1.2.1.2 *Áreas de trabajo*

1.2.1.2.1 *Área de Fisicoquímicos*

En esta área se evalúa la determinación de propiedades físicas y químicas del agua como: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Nitritos, Nitratos, Sólidos en todas sus formas, Fósforo Total, Grasas y Aceites, Cloruros, Dureza Total, Sulfatos, Alcalinidad, etc.

1.2.1.2.2 *Área de Microbiología*

Área técnica en la que se determina la calidad bacteriológica del agua mediante el análisis de: Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Enterococos Fecales y E. coli.

1.2.1.2.3 *Área de Muestreo*

Se encarga de llevar a cabo los muestreos de agua y suelo, para que las muestras ingresen adecuadamente al laboratorio y sean representativas al lugar muestreado. Además, in situ se miden parámetros de campo como son: pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Temperatura y Materia Flotante.

1.2.1.2.4 *Área de Calidad*

Esta área se encarga de mantener el sistema de calidad vigente y de verificar que todos los resultados generados en las áreas del laboratorio cumplan con las especificaciones de control de calidad para emitir resultados confiables, rastreables y trazables.

1.2.2 Organigrama de la dependencia



SECRETARÍA
DE MEDIO AMBIENTE
E HISTORIA NATURAL
GOBIERNO DE CHIAPAS

Organigrama Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural

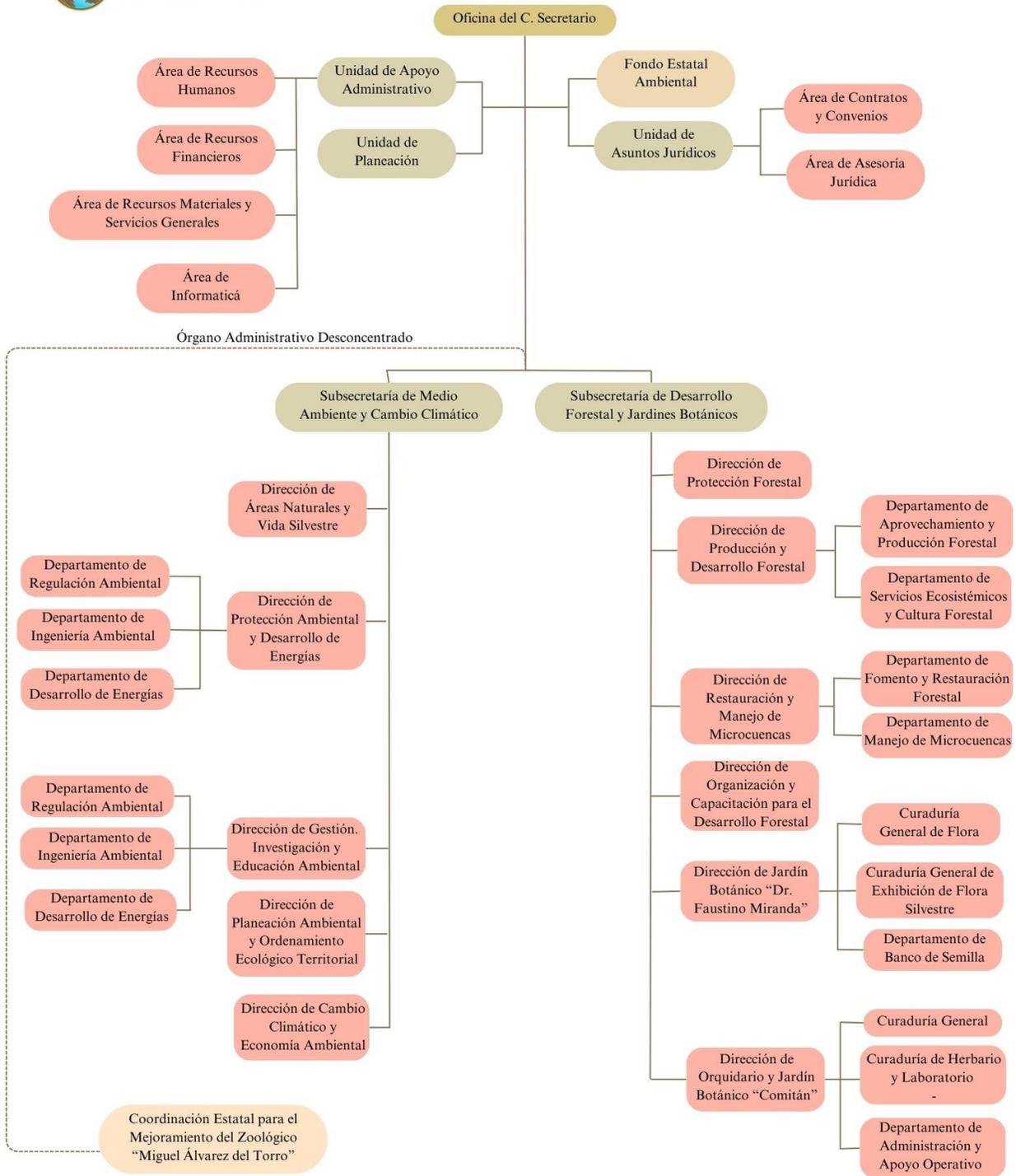


Ilustración 1. Organigrama de la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, Chiapas.

1.3 PROBLEMA A RESOLVER

1. ¿De qué manera las actividades agrícolas e industriales influyen a la calidad del agua del Río La Venta?
2. ¿De qué manera las actividades domésticas influyen a la calidad del agua del Río La Venta?
3. ¿De qué manera puede dañar el consumo del agua proveniente del Río La Venta en su estado actual?
4. ¿De qué manera la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológico del Río La Venta, incide en las propuestas de protección para este cuerpo de agua?

1.4 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la sostenibilidad del agua se ha visto perjudicada debido al constante vertido de desechos industriales, agrícolas y urbanos, así como de la extracción excesiva para su uso en actividades antropogénicas y domésticas. Estos factores han llevado a una emergencia de protección a cuerpos del agua como el caso del Río La Venta, una fuente de agua primordial para el abastecimiento de agua potable, agrícola, actividades recreativas y turísticas, además de municipio de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas.

En respuesta a esta situación, Chiapas ha establecido estrategias para garantizar el bienestar de la población y del equilibrio ecológico del estado, con un enfoque especial en el monitoreo de cuerpos hídricos la Secretaria de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN) realiza anualmente monitoreos a diferentes cuerpos de agua de relevación, con el fin de detectar y cuantificar el estado actual de cuerpos de agua superficiales

A su vez, el Ayuntamiento de Ocozocoautla de Espinosa, reconociendo la importancia crítica del Río La Venta para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico, ha decidido emprender campañas de monitoreo de agua y suelo en colaboración con el laboratorio de monitoreo ambiental de la SEMAHN.

Los resultados presentados en este informe técnico no solo serán esenciales para comprender y evaluar el estado ambiental actual del Río La Venta, sino también como base imprescindible para implantar medidas adecuadas de protección y conservación de esta fuente hídrica.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Evaluar la calidad del agua del Río La Venta, mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos en diferentes temporadas del año.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Ubicar y georreferenciar los sitios de muestreo.
- Realizar campañas de monitoreo del agua en el Río La Venta, en diferentes temporadas del año.
- Efectuar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua del Río La Venta.
- Determinar el Índice de Calidad del Agua del Río La Venta.
- Generar un diagnóstico de la calidad del agua en la zona de estudio.

II. CAPÍTULO: MARCO TEÓRICO

2.1 AGUA

El agua es uno de los bienes naturales más importante del planeta; este permite el desarrollo de múltiples ecosistemas, así como el desarrollo social y cultural de los seres humanos.

2.1.1 Aguas superficiales

El agua superficial es aquella que corre por cauces o se mantiene en embalses sobre la superficie del planeta. Esta proviene fundamentalmente de la precipitación, aunque en algunos casos se le suma la de ríos que viajan desde otras regiones. El agua superficial suele perderse debido a que el líquido se evapora de sus cauces y embalses, se transpira a través de las hojas de la vegetación, o simplemente sale por la vía fluvial (Cruz Ríos, s.f.).

2.1.2 Contaminación de aguas superficiales

La contaminación del agua ocurre muchas veces cuando sustancias nocivas llegan a ríos, lagos, arroyos, etc.; este contacto provoca la degradación en la calidad del agua, en ocasiones son tan severas que lo hacen tóxico para el medio ambiente y los seres vivos.

TIPO DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN	
Fuente puntual	Fuente no puntual
La contaminación de fuentes puntuales es cuando el origen de la contaminación es identificable y proviene de una sola fuente, por ejemplo, vertidas legal o ilegalmente como tuberías, fugas de sistemas sépticos o vertidos químicos, etc.	La contaminación de fuentes no puntuales; son aquellas en que no se puede determinar con exactitud el origen del contaminante o abarca una superficie muy amplia para la detección y control. Por ejemplo, la escorrentía de aguas agrícolas o pluviales, o los desechos arrastrados a los ríos.

Tabla 1. Clasificación de tipo de fuentes de contaminación.

2.2 INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua, se refiere a la condición y pureza en términos de idoneidad del agua según el uso que se le da. Esto implica la evaluación de un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas, para compararlas con estándares o normativas, las cuales están diseñadas para permitir el suministro de agua limpia y segura para el consumo humano y la salud de los ecosistemas.

2.2.1 Características fisicoquímicas

2.2.1.1 Características físicas

Las características físicas del agua son aquellas que asignan atributos medibles a partir de los sentidos, es decir, están relacionados con la composición física del agua, sin involucrar cambios químicos.

2.2.1.1.1 Temperatura

Este parámetro físico es uno de los más importantes del agua, esto debido a que afecta a la mayoría de los procesos fisicoquímicos y microbiológicos que tienen lugar en los ecosistemas acuáticos, como la solubilidad de las sales y gases del agua, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.

La variación de temperatura del agua se produce generalmente por cambios ambientales originados en el ciclo natural de estaciones, al igual, pueden ser producto de actividades antropogénicas como el vertido de agua caliente utilizada en las industrias (Fernández Cirelli & V. Volpedo, 2020).

Por consiguiente, cambios significativos en la temperatura pueden indicar problemas ambientales.

2.2.1.1.2 Turbidez

HANNA instruments describe la turbidez como la propiedad óptica que provoca que la luz se disperse y absorba, en lugar de ser transmitida; en donde, a mayor turbidez, mayor será la luz dispersa (HANNA instruments, 2019).

La turbidez en las aguas se da en presencia de materias diversas en suspensión, arena, limos, coloides orgánicos, plancton y otros organismos microscópicos. Estas materias pueden varias de dimensiones, que van desde 10 nm hasta diámetro del orden de 0.1 mm las cuales se asocian a tres categorías: minerales, partículas orgánicas húmicas y partículas filamentosas (Marín Galvin, 2019).

La consecuencia principal de un cuerpo de agua turbia, radica en la reducción de la concentración de oxígeno derivado por el aumento de temperatura al retener y dispersar más calor proveniente del sol, y por la disminución de las actividades fotosintéticas, secuela de que las partículas suspendidas dispersan más la luz solar.

Los valores de turbidez en cuerpo de agua dulce pueden variar desde 1 a 2 NTU o hasta 10 a 20 NTU en caso de ríos que contengan altos niveles de sedimentos; es común que después de periodos de lluvias fuertes o tormentas estos niveles incrementen significativamente (Soporte in situ, 2022).

2.2.1.1.3 Sólidos totales, suspendidos y disueltos

Los sólidos totales (TS) son la suma de los sólidos disueltos (TDS) y suspendidos (TSS) en la muestra de agua (Beran & Lassiter, 2022).

$$TS = TSS + TDS$$

Los sólidos totales disueltos (TDS) comprenden partículas menores de 2 micrómetros, por ejemplo, metales, minerales o las sales inorgánicas como calcio,

magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, y pequeñas cantidades de materia orgánica que se disuelve en el agua. Este parámetro se emplea en el estudio de calidad de masas de agua naturales: superficiales y subterráneas (HACH, 2022).

Los sólidos suspendidos (TSS) son partículas mayores de 2 micrómetros que se encuentran en el agua, mayormente esto se compone de materiales inorgánicos o cualquier cosa que flote o se "suspenda" en el agua como arcilla, grava, arena, silt, al igual, las algas y bacterias también son consideradas sólidos totales en suspensión, (Campbell, 2021). Las cantidades elevadas de sólidos en suspensión en lagos, embalses, ríos y arroyos pueden tener efectos nocivos para los sistemas ecológicos, por ejemplo, los altos niveles de TSS pueden afectar la turbidez, aumentar la temperatura de agua y disminuir los niveles de oxígenos disueltos (OD), que ralentiza la fotosíntesis de plantas acuáticas, entre otros (HACH, 2022).

2.2.1.1.4 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, es decir, es consecuencia de los electrólitos que lleva disueltos el agua. Además, se comprende que existe una relación entre conductividad y cantidad de electrolitos que contenga un agua.

La conductividad varía entre cuerpos de agua, normalmente los lagos y arroyos tienen una conductividad entre 0 y 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que los ríos tienen un valor de conductancia de hasta 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Atlas Scientific, 2022); en agua natural la conductividad está mediatizada por el terreno que atraviesa y por la posibilidad de disolución de rocas y minerales, el tipo de sales presentes, el tipo de disolución,

temperatura, gases disueltos, pH, EH, entre otros; mientras que un se presenta un valor muy bajo en un agua pura (Marín Galvin, 2019).

2.2.1.2 Características químicas

El agua es un medio en donde múltiples compuestos químicos pueden disolverse y reaccionar, ya sean de origen natural o industrial. La composición y la concentración de estos compuestos pueden determinar si son beneficiosos o dañinos. Por lo tanto, es importante conocer las características químicas de los cuerpos de agua para entender la importancia del cuidado y uso responsable.

2.2.1.2.1 pH

El pH es el término empleado para expresar las condiciones ácidas o básicas del agua, esto mediante la medición de la concentración de iones hidrógeno de una sustancia (Fernández Cirelli & V. Volpedo, 2020). Por convención está definido como:

$$pH = -\log[H^+]$$

La evaluación de este parámetro es muy importante, ya que puede advertirse la existencia de algunas anomalías relacionadas con vertidos residuales, ácidos o básicos.



Ilustración 2. Escala de pH.

Los valores altos y bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos, ya sea directa o indirectamente (Secretaría de Economía, 2016). Es capaz de influir en el fenómeno de la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución.

El intervalo de pH en aguas naturales se encuentra en un rango comprendido entre 6 y 9, mientras que el rango para agua potable se encuentra alrededor de 6.5 y 8.5 (Fernández Cirelli & V. Volpedo, 2020).

2.2.1.2.2 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) se puede definir como la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua, y la cual es esencial para la vida en los cuerpos de agua (ríos, lagunas, embalses). El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de contaminación del agua y está relacionado con la capacidad del cuerpo de agua para mantener y soportar la biota (Stachetti Rodrigues & Moreira, 2016).

Las aguas corrientes superficiales no contaminadas suelen estar bien oxigenadas, e incluso sobresaturadas (>7-8 mg/L de O₂) debido tanto al intercambio de gases atmósfera-agua, como a la actividad fotosintética. De esta forma, la oxigenación en aguas naturales es más acusada durante el día que en la noche, puesto que en ausencia de iluminación cesa la fotosíntesis, mientras que el consumo de O₂ en funciones respiratorias se mantiene (Marín Galvin, 2019).

2.2.1.2.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es la medida de la concentración de oxígeno consumida por los microorganismos para degradar y estabilizar la materia orgánica biodegradable o carbonácea en condiciones aerobias durante 5 días a 20°C (Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008).

La prueba de DBO₅ se utiliza para determinar el poder contaminante de los residuos domésticos e industriales; es una prueba de gran importancia para establecer

los criterios de regulación y capacidad de depuración de los cuerpos de agua (N. Sawyer, L. McCarty, & F. Parkin, 2001).

Los ríos no contaminados suelen tener niveles de DBO inferiores a 1 mg/L, mientras que las aguas residuales no tratadas alcanzan hasta 200 y 600 mg/L. Una concentración mayor de DBO₅ indica que se requiere más oxígeno, lo que significa una menor calidad del agua y viceversa mientras que una concentración baja de DBO₅ se reflejaría en una mejor calidad (Water Education Foundation, 2020).

2.2.1.2.4 Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro analítico de contaminación que mide el contenido de materia orgánica en una muestra de agua mediante oxidación química, y específicamente representa el contenido de materia orgánica total de la muestra oxidable por dicromato de potasio en solución ácida (Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008).

Cuanto mayor sea la concentración de DQO, mayor será el nivel de contaminación de la fuente analizada. Generalmente para aguas procedentes de industrias los valores rondan entre 50 y 2000 mg/L (Ibanez, 2017).

2.2.1.2.5 Fósforo

El fósforo total se encuentra presente en las aguas naturales en concentraciones muy bajas; la forma más común en que se encuentra es en ión fosfato (PO_4^{3-}), aunque se puede localizar como compuestos fosforados en estado coloidal o elemental (García Gallardo, 2019). Los fosfatos se encuentran en los fertilizantes y los detergentes y pueden llegar al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas servidas (Stachetti Rodrigues & Moreira, 2016).

El fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos; y raramente se encuentra en el agua en altas concentraciones debido a que las plantas observen este compuesto rápidamente. Generalmente los valores de concentración en aguas superficiales fluctúan entre 0.005 y 0.020 mg/L (Sierra Ramírez, 2011).

2.2.1.2.6 Nitratos

Los nitratos (NO_3^-) son uno de los parámetros más importantes en la evaluación de la calidad del agua subterránea y superficial (HANNA instruments, 2022).

El nitrato es la forma más oxidante del nitrógeno que se puede encontrar en el agua; frecuentemente procede de la disolución de rocas y minerales, de la descomposición de materias vegetales y animales, de efluentes industriales y de los lixiviados de tierras de labor en donde se utilizan abonos que los contienen profusamente como componentes en sus formulaciones. Las aguas naturales de superficie no suelen contener más de unos 10 mg/L e incluso con frecuencia no pasan de 1.0 mg/L (Marín Galvin, 2019).

2.2.2 Características Biológicas del Agua

Todos los cuerpos de aguas, principalmente de aguas naturales o residuales, pueden contar con elevados niveles de seres vivos, desde organismos unicelulares y pluricelulares, los cuales pueden ser agentes infecciosos (ejemplo, las bacterias, virus, algas, hongos y algunos protozoos) o no infecciosos.

A partir de esto nace la importancia de analizar la presencia de ciertos microorganismos como las bacterias de origen fecal, que al estar presentes provocan que los cuerpos de agua sean catalogados como de baja calidad; lo cual convierte al afluente en un riesgo para la salud humana y el medio ambiente.

2.2.2.1 Coliforme Total

El indicador de la calidad bacteriológica del agua es el grupo de bacterias coliformes. Este grupo coliforme está definido como todas las bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas, Gram negativas, no formadoras de esporas y de forma redonda que fermentan la lactosa formando gas en 48 horas y a 35°C (Sierra Ramírez, 2011).

Este tipo de bacterias son comunes en el suelo, en aguas superficiales e incluso en la piel; este tipo de microorganismos son en su mayoría inofensivos para las personas, aunque algunas transmitidas en el agua provocan graves enfermedades como la *Escherichia coli* o *E. coli*. Y los coliformes fecales (R. Swistock, 2023).

2.2.2.2 Coliforme Fecal

Los coliformes fecales o termotolerantes son aquellas bacterias con forma de bastón que no forman esporas, Gram negativas, que tienen la capacidad de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas entre 44 y 45°C (De Tecnología Del Agua, s.f.). Las bacterias coliformes fecales se transmiten generalmente a través de excrementos fecales de animales y humanos; el miembro más común de este subgrupo es *Escherichia coli*.

Los microorganismos de este tipo pueden causar problemas de salud a corto plazo, por ejemplo, diarrea, náuseas, dolor de cabeza o enfermedades como la gastroenteritis, entre otras. Este tipo de bacteria ingresa principalmente por la descarga de desechos de animales como los mamíferos y aves, escurrimientos agrícolas durante épocas de lluvias o por medio de agua residual no tratada de los municipios (Oram, s.f.).

El método para detectar la presencia de los coliformes es la técnica de tubos múltiples y la técnica del filtro por membrana.

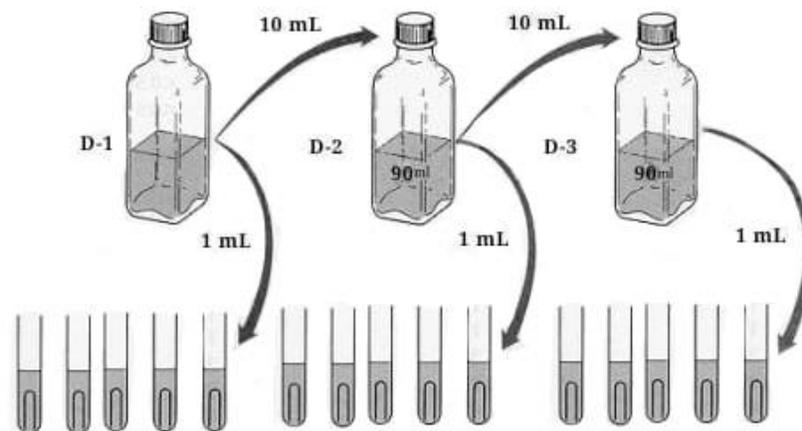


Ilustración 3. Ensayo por múltiples tubos.

2.2.3 Índice de Calidad del Agua (ICA)

En general, la valoración de la calidad del agua se comprende como la evaluación de sus componentes químicos, físicos y microbiológicos en relación a los estándares naturales de este tipo de efluentes, el posible uso y la intervención humana.

La estructura de cálculo de la mayoría de los ICA se basa en la normalización de los parámetros que los conforman de acuerdo con sus concentraciones, para su posterior ponderación en función de su importancia en la percepción general de la calidad del agua. Se calcula mediante la integración de las ponderaciones de los parámetros a través de diferentes funciones matemáticas (Torres & Hernán Cruz, 2009).

El índice de calidad de agua propuesto por la NSF en 1970 se fundamenta en un procedimiento de promedio aritmético ponderado de nueve variables. En 1973, este ICA fue modificado por Brown y McClelland en 1973, los cuales establecieron las siguientes expresiones matemáticas para su cálculo:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

Donde:

w_i = pesos establecidos para el ICA por parámetro

Sub_i = Valores obtenidos en gráficos por parámetro

PAÍS	ESTADOS UNIDOS
INDICE	ICA NSF
Parámetro	1970
OD	0.17
pH	0.11
DBO	0.11
Nitratos	0.10
Coliformes Fecales	0.16
Temperatura	0.10
Turbiedad	0.08
Solidos Disueltos Totales	0.07
Fosforo	0.10

Tabla 2. Valores de Sub_i según NSF.

2.2.3.1 Indicadores de calidad utilizados por CONAGUA

En la década de 1970, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ante la necesidad de encontrar un método uniforme que permita clasificar la calidad de agua de forma accesible, desarrolló un sistema al que denominó Índice de Calidad del Agua (ICA). El sistema ICA permite conocer el grado o porcentaje de contaminación presente en el agua que se analiza.

Este índice posee una escala de 0 a 100 con respecto a agua pura, donde un valor mayor del ICA señalara una mejor calidad del agua; este sistema considera 18 parámetros principales (físicos, químicos y biológicos) a los cuales se les asigna un peso relativo (W_i) según la importancia de cada uno (SEMARNAT, 2019).

Fórmula del ICA, según CONAGUA:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i * W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde:

I_i = Índice de calidad para el parámetro i

W_i = Coeficiente de ponderación del parámetro i

n = Número total de parámetros

PARÁMETRO	PESO (WI)	PARÁMETRO	PESO (WI)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5	Nitrógeno en nitratos	2
Oxígeno Disuelto	5	Alcalinidad	1
Coliformes fecales	4	Color	1
Coliformes totales	3	Dureza total	1
Sustancias activas al azul de metilo (Detergentes)	3	Potencial de Hidrógeno (pH)	1
Conductividad eléctrica	2	Sólidos suspendidos	1
Fosfatos totales	2	Cloruros	0.5
Grasas y aceites	2	Sólidos disueltos	0.5
Nitrógeno amoniacal	2	Turbiedad	0.5

Tabla 3. Parámetros para el cálculo del ICA según CONAGUA.

El rango de clasificación del ICA de la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA), de acuerdo con el criterio general, es:

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente.		85-100
Aceptable.		70-84
Poco contaminado		50-69
Contaminado		30-49
Altamente Contaminado		0-29

Tabla 4. Identificación de color según el valor del ICA.

Identificado el valor y la categoría de la muestra de agua, CONAGUA proporciona una tabla según el fin que se le quiera dar al cuerpo de agua.

USO DEL AGUA SEGÚN EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA					
ICA	AGUA POTABLE	AGRICOLA	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	INDUSTRIAL	RECREATIVO
91-100	No requiere purificación para el consumo	No requiere purificación para riego	Pesca y vida acuática abundante	No se requiere purificación	Cualquier tipo de deporte acuático
71-90	Purificación menor requerida	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua	Pesca y vida acuática abundante	Purificación menor para industria que requieran alta calidad de agua para operación	Cualquier tipo de deporte acuático
51-70	Tratamiento potabilizador necesario	Utilizable en mayoría de cultivos	Límites para peces muy sensitivos y dudosa la pesca sin riesgo de salud	No requiere tratamiento para la mayoría de industrias de operación normal	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias
26-50	Inaceptable para consumo	Uso solo en cultivos muy resistentes o tratamiento necesario para la mayoría de los cultivos	Vida acuática limitada a especies muy resistentes o inaceptable para actividad pesquera	Tratamiento para la mayoría de uso	Dudosa para contacto con el agua. Evitar contacto
0-25	Inaceptables para consumo	Inaceptable para riego	Inaceptable para vida acuática	Inaceptable para cualquier industria	Contaminación visible, evitar cercanía. Inaceptable para recreación

Tabla 5. Categorización de la calidad del agua según su valor de ICA y el uso.

A su vez, producto del crecimiento poblacional e industrial tan acelerado y con el fin de detectar el estado de las aguas superficiales, se ha decidido establecer indicadores para la evaluación de la calidad del agua. Los parámetros seleccionados por CONAGUA son: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Coliformes Fecales.

INDICADOR	CUMPLIMIENTO			INCUMPLIMIENTO	
	Excelente	Buena calidad	Aceptable	Contaminada	Fuertemente contaminada
Demanda Bioquímica de Oxígeno, 5 días	$DBO_5 \leq 3$	$3 < DBO_5 \leq 6$	$6 < DBO_5 \leq 30$	$30 < DBO_5 \leq 120$	$DBO_5 \geq 120$
Demanda Química de Oxígeno	$DQO \leq 10$	$10 < DQO \leq 20$	$20 < DQO \leq 40$	$40 < DQO \leq 200$	$DQO > 200$
Sólidos Suspendidos Totales	$SST \leq 25$	$25 < SST \leq 75$	$75 < SST \leq 150$	$150 < SST \leq 400$	$SST > 400$
Coliformes Fecales	$CF \leq 100$	$100 < CF \leq 200$	$200 < CF \leq 1000$	$1000 < CF \leq 10,000$	$CF > 10,000$

Tabla 6. Escala de clasificación de la calidad de agua superficial, cuerpos de agua lóticos (ríos, arroyos y corrientes).

2.3 NORMATIVIDAD

Los resultados son evaluados y comparados de acuerdo a los criterios o límites máximos permisibles de las siguientes normativas:

NORMATIVAS	DESCRIPCIÓN
NOM-001-SEMARNAT-2021	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
Ley Federal de Derechos 2022 en Materia de Agua	Establece los derechos que se pagan por el uso o aprovechamiento de los bienes del dominio público en materia de agua. También establece los derechos que se pagan por recibir servicios que presta el estado en sus funciones de derecho público.
CE-CCA-001/89	Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

Tabla 7. Normativas de comparación para los resultados obtenidos.

2.3.1 Normatividad de análisis

Las normas técnicas para la calibración de los parámetros en campos son:

PARÁMETRO	NORMATIVA	TÍTULO
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2013	Análisis de agua- Medición de la temperatura en agua naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba
Conductividad Eléctrica	NMX-AA-093-SCFI-2018	Análisis de agua- Medición de la conductividad eléctrica en agua naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba

Oxígeno Disuelto	NMX-AA-012-SCFI-2001	Análisis de agua- Determinación de oxígeno disuelto en agua naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016	Análisis de agua- Medición del pH en agua naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba

Tabla 8. Normas técnicas de los parámetros a analizar en campo.

Los parámetros fisicoquímicos a medir: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), Demanda química de oxígeno (DQO), Turbidez, pH, Nitratos, Fósforo, Sólidos disueltos totales y suspendidos, las técnicas analíticas son de las normativas mexicanas indicada para cada parámetro:

PARÁMETRO	NORMATIVA	TÍTULO
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)	NMX-AA-028-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO ₅) y residuales tratadas - Método de prueba
Demanda química de oxígeno (DQO)	NMX-AA-30/1-SCFI-2012	Análisis de agua - Medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - Método de prueba - Parte 1- Método de refluo abierto
Turbidez	NMX-AA-038-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba
Nitratos	NMX-AA-079-SCFI-2001	Análisis de aguas - Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba
Fósforo	NMX-AA-029-SCFI-2001	Análisis de aguas - Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba
Sólidos disueltos totales (SDT) Y suspendidos totales (SST)	NMX-AA-034-SCFI-2015	Análisis de agua - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba

Tabla 9. Normas técnicas de los parámetros fisicoquímicos.

Para la determinación de coliformes totales y fecales efectúa la norma mexicana **NMX-AA-042-SCFI-2015**, Análisis de agua-Enumeración de organismo coliforme totales, organismos coliformes fecales (Termotolerantes) y *Escherichia coli*- Método del número más probable en tubos múltiples.

III. CAPÍTULO: DESARROLLO

3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

3.1.1 Geoposicionamiento

Con el proceso de evaluar la calidad del agua del Río La Venta en el municipio de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, se llevó a cabo la selección de puntos de muestreo en colaboración con el personal de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

Para el geoposicionamiento, se empleó un dispositivo GPS MAP64, que permitió la medición precisa de la altitud y longitud de los sitios a muestrear.

CLAVE DEL SITIO	IDENTIFICACIÓN DEL SITIO DE MUESTREO	COORDENADAS	
		Latitud	Longitud
RLV1	Puente "Las Flores"	16°41'30.76" N	93°33'36.95" O
RLV2	Cueva "El Encanto"	16°45'26.40" N	93°31'30.20" O
RLV3	Cascada "El Aguacero"	16°45'30.39" N	93°31'37.49" O
RLV4	Antes de la Cascada "La Conchuda"	16°48'30.36" N	93°31'45.75" O
RLV5	500 mts. Agua debajo de "Llano Grande"	16°50'0.50" N	93°34'35.50" O
RLV6	Río La Venta (Unidad Modelo)	16°54'48.00" N	93°39'15.90" O
RLV7	Río Frances	16°57'8.95" N	93°25'23.98" O
RLV8	Río El Cedro	16°57'11.90" N	93°25'25.52" O
RLV9	El Encajonado	17°2'32.70" N	93°48'27.60" O

Tabla 10. Códigos y Coordenadas de los sitios de muestreo.



Ilustración 4. Sitios de muestreo ubicados en el Río La Venta, Ocozocoautla de Espinosa.

3.1.2 Muestreo

El muestreo es el proceso de extracción y/o recolección de una porción representativa de una población; ésta debe poder ser trasladada, manipulada y suficiente para el estudio.

3.1.2.1 *Períodos de muestreo*

En este proyecto se llevaron a cabo tres campañas de muestreo, las cuales se realizaron durante la temporada de estiajes y de lluvia. La intención de esta elección de

fechas fue obtener un panorama más completo del comportamiento de los contaminantes en diferentes períodos del año.

CAMPAÑAS DE MUESTREO	PERIODO
1	15/05/2023 16/05/2023
2	07/08/2023 08/08/2023
3	6/11/2023 7/11/2023

Tabla 11. Calendarización de las campañas de muestreo.

En general se recolectaron 9 muestras por campaña, a excepción de aquellos sitios que presentaron falta de accesibilidad o falta de agua.

3.1.2.2 Material de muestreo y preservación de muestras

La preservación de la muestra representa una etapa importante durante el monitoreo. Su finalidad es evitar que las muestras sufran cambios químicos y biológicos después de ser obtenidas de su fuente de origen, ya que esto podría conducir a resultados inexactos o erróneos sobre el estado real del sitio de estudio.

Los criterios seguidos durante la recolección, traslado y conservación de las muestras en este proyecto fueron tomados de las normas NMX-AA-014-1980, "Cuerpos Receptores- Muestreo" y NMX-AA-003-1998, "Aguas Residuales- Muestreo", según el tipo de análisis:

Fisicoquímicos: se recolectaron con garrafas de plástico con capacidad de 3000 mL de muestras, preservadas a 4°C. Analizando los parámetros de DBO, Turbidez y pH en un periodo no mayor a 24 horas.

Microbiológica: la muestra se recolecto en bolsas de plástico estériles con capacidad de 350 mL. Preservadas a 4°C. Analizado en un periodo no mayor a 24 horas.

3.1.3 Metodología de análisis

3.1.3.1 Metodología de los Parámetros de Campo

Empleando un equipo multiparámetro HI9829 marca HANNA instruments se midieron los parámetros en campo.

El equipo empleado fue debidamente calibrado en el laboratorio antes de muestreo, así como en el sitio en donde se tomaron las muestras. Para la calibración del pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto se empleó una solución de calibración rápida HI9828-25 de HANNA instruments.



Ilustración 5. Equipo multiparámetro HI9829.

3.1.3.2 Metodología de los Parámetros Físicoquímicas

3.1.3.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno

Preparación de agua de dilución: Se colocará en un recipiente el volumen de agua destilada necesario (el volumen a preparar dependerá de la cantidad de la muestra). Por cada litro de agua destilada se agregará 1 mL de las siguientes disoluciones: disolución de sulfato de magnesio, disolución de cloruro de calcio, disolución de cloruro férrico y disolución amortiguadora de fosfato.

Nota: Preparar el agua cada vez que se vaya a analizar (no usar agua almacenada).

Antes de usar el agua de dilución se debe saturar con oxígeno, y para ello se airea con una bomba por mínimo 12 horas antes de usarla (el tiempo dependerá de la potencia de la bomba). Así como asegurarse que la temperatura sea de 20 °C.

Diluciones directamente en frascos tipo Winkler: En un frasco Winkler de 300 mL adiciona con una pipeta volumétrica, la cantidad de muestra y agua de dilución necesarias (las proporciones de dilución se obtendrán según el estado del efluente; solo es importante recordar que las diluciones no deben ser mayores de 1:300).

Determinar el oxígeno disuelto inicial (equipo usado Oxímetro HI964400 marca HANNA instruments) de cada muestra para posteriormente cerrar herméticamente el tapón e incubar durante 5 días a 20°C. Al cumplir el periodo se mide el oxígeno disuelto final.

Recordar: Por cada lote de análisis, es necesario agregar un blanco; este se realizará sustituyendo la muestra problema por agua destilada. A su vez, una disolución madre de control o estándar, para el caso del DBO₅ utilizamos una la disolución de glucosa-ácido glutámico (DBO₅ de 198 mg/L)



Ilustración 6. Oxímetro HI964400 marca HANNA instruments.

3.1.3.2.2 Demanda Química de Oxígeno

Preparación de la muestra: A un tubo añadir 2 mL de Dicromato de Potasio, 3 mL de la mezcla sulfato de plata-ácido sulfúrico y 2 mL de la muestra. Es importante seguir el orden de agregación (tener cuidado con la solución de ácido sulfúrico). Procedemos a cerrar y agitar los tubos.

Nota: En caso de tomar una coloración verdosa, se debe realizar la dilución de la muestra.

Digestión y lectura: El tubo será llevado a un digestor (equipo empleado: Digestor DRB200 marca HACH) por 2 horas a 150 °C.

Pasado el tiempo, se debe dejar enfriar a una temperatura óptima (ambiente), para posteriormente ser trasladada a un matraz Erlenmeyer y colocar 1 o 2 gotas de ferroína como indicador.

Se procede a tratar con una solución de sulfato ferroso amoniacal (FAS).

Nota: La titulación se detiene cuando la muestra cambio pase de un color de azul-verde a café rojizo.

Recordar: Por cada lote de análisis, es necesario agregar un blanco; este se realizará sustituyendo la muestra problema por agua destilada. A su vez, una solución de referencia o estándar, para el caso de DQO es una solución de Biftalato de potasio (0.0021 mol/L).

3.1.3.2.3 Solidos totales; Solidos Suspendidos y Disueltos totales

Preparación de cápsulas: Se deberá introducir la cantidad de cápsulas necesarias para cada muestra, el duplicado y el blanco, a un horno por 2 horas a 120°C. Una vez transcurrido el tiempo, trasladar a un desecador y dejar enfriar por 20 min. Esta

debe ser pesada y repetir el ciclo horno-desecador hasta que la diferencia de dos pesadas consecutivas sea de ≤ 0.0005 g.

Sólidos totales: Añadir 10 mL de la muestra en una cápsula (a peso constante) y llevar a evaporar a sequedad en el horno de secado a 103° - 105° por aproximadamente 1 hora. Pasado el tiempo, sacar del horno el crisol y dejar enfriar en un desecador por 20 minutos.

Enfriado se puede llevar a pesar en una balanza analítica (equipo usado balanza analítica AP310 marca Ohaus) y registrar los datos obtenidos. El ciclo horno-desecador se seguirá hasta que la diferencia de dos pesadas consecutivas sea de ≤ 0.0005 g.

Sólidos disueltos totales: Preparación del filtro; moja el filtro con agua destilada para adherirse perfectamente con el crisol Gooch. Este deberá ser introducido al horno a 105° C por 20 min. Deja enfriar en desecador para posterior pesar. Se continuará con los ciclos de horno-desecador hasta que la diferencia de dos pesadas consecutivas sea de ≤ 0.0005 g.

Para el muestreo se debe montar el equipo de vacío y poder filtrar 100 mL de muestra por el crisol Gooch, recordando lavar el disco por lo menos tres veces con 10 mL de agua destilada y dejando que drene totalmente. Después de 2 ó 3 minutos después de que haya pasado toda la muestra, se puede suspender el vacío.

De la muestra filtrada se tomará una alícuota de 10 mL y se colocará en una cápsula (a peso constante), esta se llevará a evaporar a sequedad en el horno de secado a 103° - 105° por aproximadamente 1 hora. Transcurrido el tiempo se debe dejar enfriar en desecador para posterior pesar. Se continuará con los ciclos de horno-desecador hasta que la diferencia de dos pesadas consecutivas sea de ≤ 0.0005 g.

Sólidos suspendidos totales: La determinación de los sólidos suspendidos totales se realiza por medio de la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos totales obtenidos.

Recordar: Por cada lote de análisis, es necesario agregar un blanco; este se realizará sustituyendo la muestra problema por agua destilada. A su vez, una disolución control o estándar, para el caso de los sólidos es una solución de Cloruro de sodio (NaCl), Carbonato de calcio (CaCO_3), Celulosa microcristalina ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) n, Tierra de diatomáceas y Caolín o Almidón (las cantidades dependerá de la concentración deseada de sólidos en las muestras de control) y agua destilada (aforar a 1000 mL).

3.1.3.2.4 Fósforo total

Preparación de la muestra: Calentar por 30 minutos en una autoclave a 20 psia, 50 mL de la muestra. Enfriar y añadir una gota de fenolftaleína (si la muestra se tiñe de rosa, neutralizar hasta desvanecer el color con una disolución de hidróxido de sodio). Posterior a esto, aforar a 100 mL con agua destilada.

Aplicación del método cloruro estañoso y medición de la muestra: A 100 mL de la muestra preparada, agregar 4 mL de disolución de heptamolibdato de amonio tetrahidratado y 0.5 mL de la disolución de cloruro de estaño.

Una vez formada la coloración característica de este método (tono azul) en un margen de 10 a 12 min se deberán leer las absorbancias en un espectrofotómetro a 690 nm (equipo empleado: espectrofotómetro SQ118 marca Merck).

Recordar: Por cada lote de análisis, es necesario agregar un blanco; este se realizará sustituyendo la muestra problema por agua destilada. A su vez, una disolución

madre o estándar, para el caso de los fósforos totales es disolución madre de fosfato (donde 1mL= 50.0 μg de P como PO_4^{3-}).



Ilustración 7. Espectrofotómetro SQ118 marca Merck.

3.1.3.2.5 Nitratos

Aplicación del método de sulfato de brucina y medición de la muestra: A un tubo se deben adicionar 10 mL de la muestra o una alícuota diluida a 10 mL, 2 mL de Cloruro de sodio, 10 mL de Ácido sulfúrico y 0.5 mL del indicador Brucina. Siguiendo el orden indicado, procedemos a cerrar y agitar los tubos.

Posteriormente se llevarán a un baño de agua en ebullición por 20 min. Cuando pase el tiempo, nos retiramos del baño y dejamos enfriar hasta a una temperatura optima (ambiente), para ser leídas las absorbancias en un espectrofotómetro a 410 nm (equipo empleado: espectrofotómetro SQ118 marca Merck).

Recordar: Por cada lote de análisis, es necesario agregar un blanco; este se realizará sustituyendo la muestra problema por agua destilada. A su vez, una disolución madre y estándar, para el caso de los nitratos es disolución madre de nitratos (donde 1mL= 1000 μg de N-NO_3^-). Mientras el estándar se obtiene aforando 100 mL de disolución madre de nitratos a 1L (donde 1mL= 10.0 μg de N-NO_3^-).

3.1.3.2.6 Turbiedad

En particular, la medición del parámetro turbidez se realiza por medio de un equipo especializado. Por lo cual, la tarea del analista es encender el equipo y dejar estabilizarlo de acuerdo a su manual de operación. Verificar la calibración del equipo usando los estándares.

Es importante recordar enjuagar las celdas dos veces con la muestra para evitar errores por dilución. Así como, siempre homogenizar las muestras entre cada lectura.

En caso de tener lecturas mayores a 40 NTU se realizará una dilución a la muestra, esta dependerá del equipo empleado.

Recordar: Por cada lote de análisis, es necesario agregar un blanco; este se realizará sustituyendo la muestra problema por agua destilada. A su vez, una disolución patrón o estándar, para el caso de la turbidez es la combinación de 5 mL de disolución de Sulfato de hidracina y 5 mL de disolución de Hexametilentetramina (Turbidez de 400 NUT).

3.1.3.3 Metodología de los Parámetros Microbiológicos

Medio de dilución: Cada muestra se debe diluir en un medio previamente preparado y esterilizado de solución de fosfato y solución de cloruro de magnesio, en al menos tres diluciones: 10 mL, 1.0 mL y 0.1 mL.

Medio presuntico: Posteriormente, se tomará una alícuota de 10 mL de la dilución y se inoculará en los tubos del medio presuntico "caldo lactosado".

Nota: Recordar que cada serie de dilución debe contar con 5 del medio presuntico.

Incubar: Llevar a incubar los tubos inoculados por 24 a 48 horas en una incubadora a 44.5°C.

Revisión: Pasadas las primeras 24 horas, se revisarán los tubos de cultivos para detectar la formación de gas en el interior del tubo Durham. En caso de ser positivo procederemos a la resiembra en los medios selectivos. En caso de dar negativo, serán llevados otras 24 horas a la incubadora a 44.5°C.

Resiembra: Para la resiembra, se utilizará un medio selectivo para confirmar la presencia de bacterias coliformes fecales. Este medio será caldo BVB (Bilis Verde Brillante), en el cual inocularemos con una aza de acero inoxidable (dos azadas por tubo) una pequeña porción de los medios presuntivos positivos.

Incubar: Los tubos confirmativos serán llevados a un termo-baño marca Felisa, a 37.5°C por 24 horas a 48 horas.

Revisión: Pasadas las primeras 24 horas, se revisarán los tubos de cultivos para detectar la formación de gas en el interior del tubo Durham. En caso de ser positivo, se registra en la bitácora. En caso de dar negativo, serán llevados otras 24 horas a la incubadora a 37.5°C.

Recordar: Por cada lote de análisis, es necesario agregar un blanco; este se realizará sustituyendo la muestra problema por agua destilada.



Ilustración 8. Termo-baño marca Felisa.

IV. CAPÍTULO: RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Parámetros en campo

Clave del sitio	Fechas	Parámetros de Laboratorio				
		Temperatura (°C)	pH (U, de pH)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Materia Flotante	Oxígeno Disuelto (mg/L)
RLV1	may-23	30.98	7.64	321	Ausente	4.87
	ago-23	NA	7.14	129.33	Presente	6.59
	nov-23	24.06	7.45	195	Ausente	5
RLV2	may-23	29.68	7.16	388	Ausente	5.93
	ago-23	NA	7.12	325	Ausente	5.53
	nov-23	25.15	7.07	711	Ausente	3.96
RLV3	may-23	29.73	7.83	668	Ausente	6.42
	ago-23	NA	8.86	11.67	Ausente	7.03
	nov-23	23.32	8.24	663	Ausente	4.71
RLV4	may-23	30.64	8.14	547	Ausente	4.66
	ago-23	NA	7.99	216	Ausente	6.09
	nov-23	22.76	8.22	436	Ausente	5.17
RLV5	may-23	25.32	8.15	627	Presente	5.26
	ago-23	NA	NA	NA	NA	NA
	nov-23	22.57	8.11	211	Ausente	5.47
RLV6	may-23	28.36	8.52	468	Ausente	5.74
	ago-23	NA	8.52	362	Ausente	5.32
	nov-23	NA	NA	NA	NA	NA
RLV7	may-23	NA	NA	NA	NA	NA
	ago-23	NA	9.42	40	Ausente	7.12
	nov-23	22.26	8.01	348	Ausente	5.67
RLV8	may-23	NA	NA	NA	NA	NA
	ago-23	NA	8.06	130	Ausente	5.66
	nov-23	22.83	8.52	170	Ausente	7.91
RLV9	may-23	29.91	7.78	190	Presente	6.17
	ago-23	NA	NA	NA	NA	NA
	nov-23	22.92	8.08	234	Ausente	6.06

Tabla 12. Resultados obtenidos durante los muestreos en campo.

Sitios	Valores promedio de los parámetros en campo				
	Temperatura (°C)	pH (U, de pH)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Materia Flotante	Oxígeno Disuelto (mg/L)
RLV1	27.52	7.41	215.11	-	5.487
RLV2	27.415	7.117	474.667	-	5.14
RLV3	26.525	8.31	447.557	-	6.053
RLV4	26.7	8.117	399.667	-	5.307
RLV5	23.945	8.13	419	-	5.365
RLV6	28.36	8.52	415	-	5.53
RLV7	22.26	8.715	194	-	6.395
RLV8	22.83	8.29	150	-	6.785
RLV9	26.415	7.93	212	-	6.115

Tabla 13. Resultados promedio obtenidos durante los muestreos en campo.

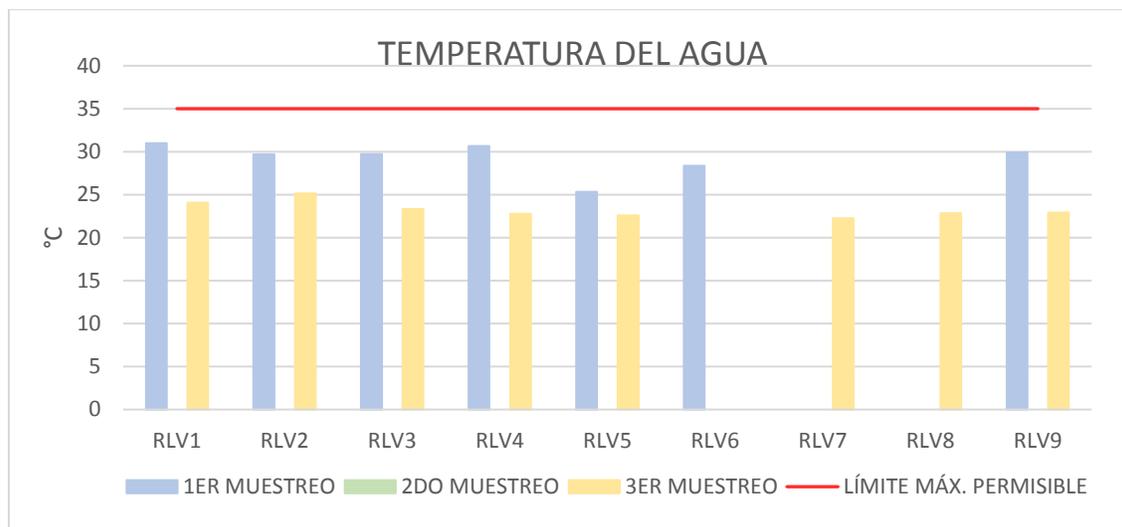


Gráfico 1. Temperatura por sitio en cada muestreo (°C).

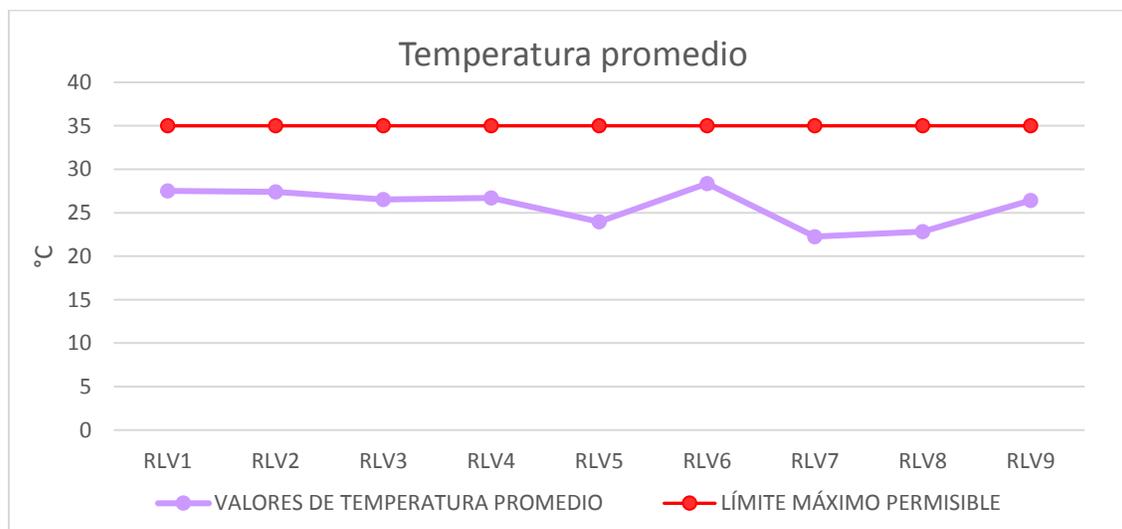


Gráfico 2. Comportamiento de la Temperatura Promedio.

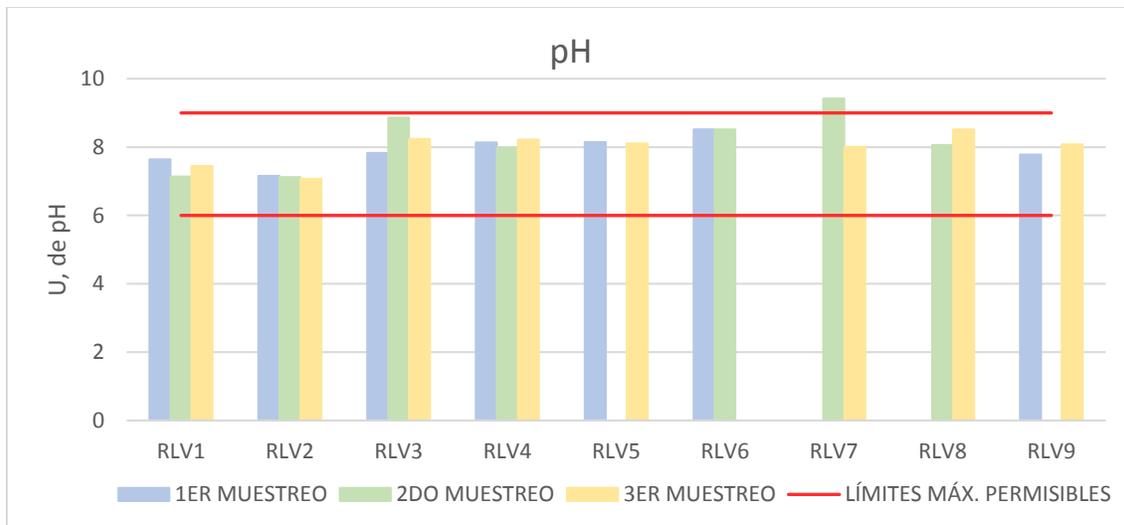


Gráfico 3. pH por sitio en cada muestreo (U, de pH).

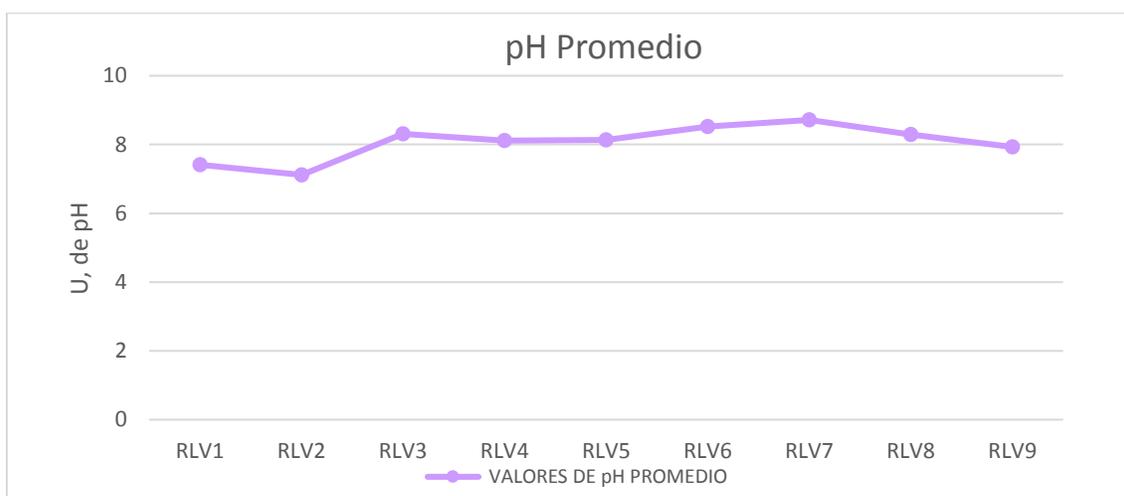


Gráfico 4. Comportamiento del pH Promedio.

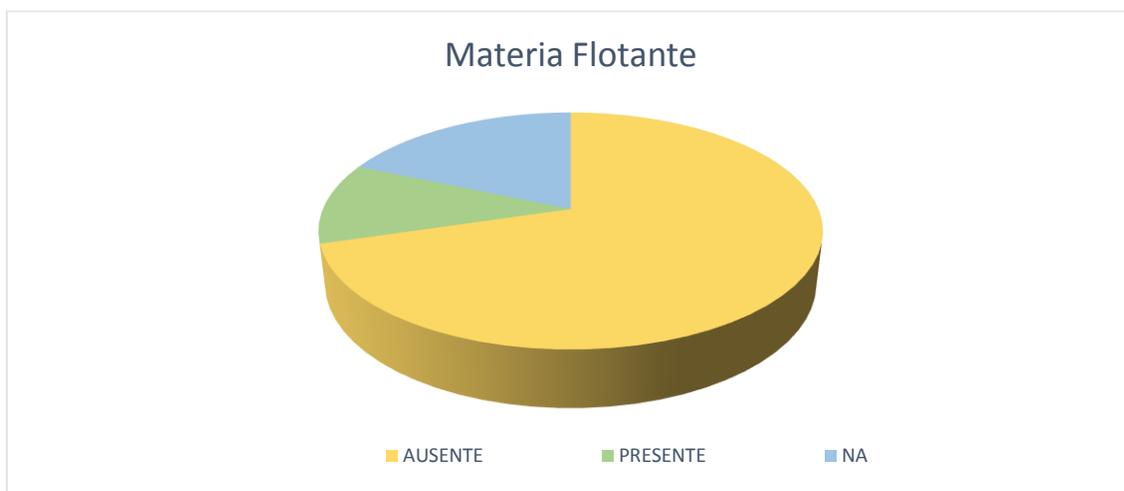


Gráfico 5. Comportamiento de la Materia Flotante.

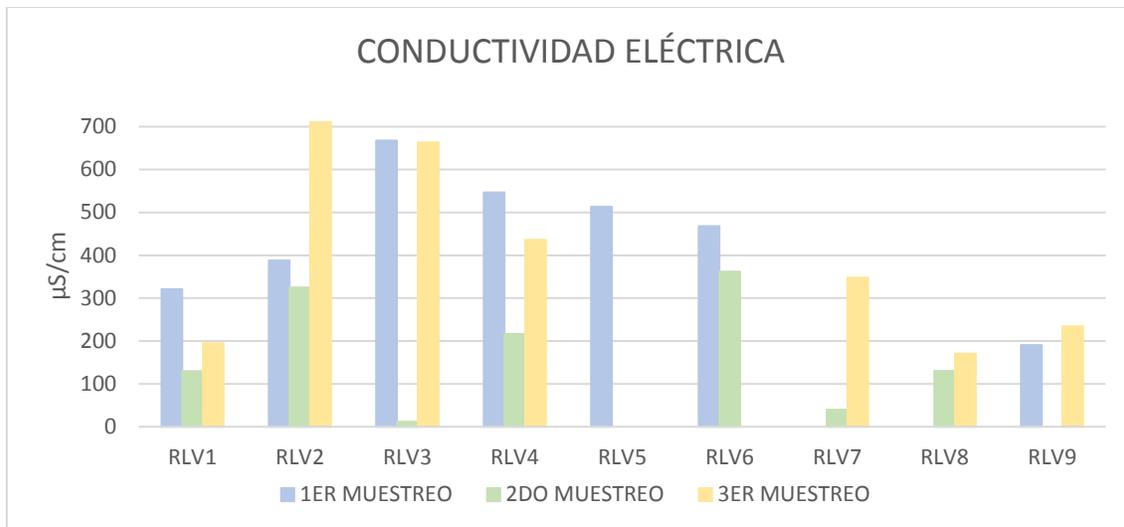


Gráfico 6. Conductividad eléctrica por sitio en cada muestreo ($\mu\text{S/cm}$).

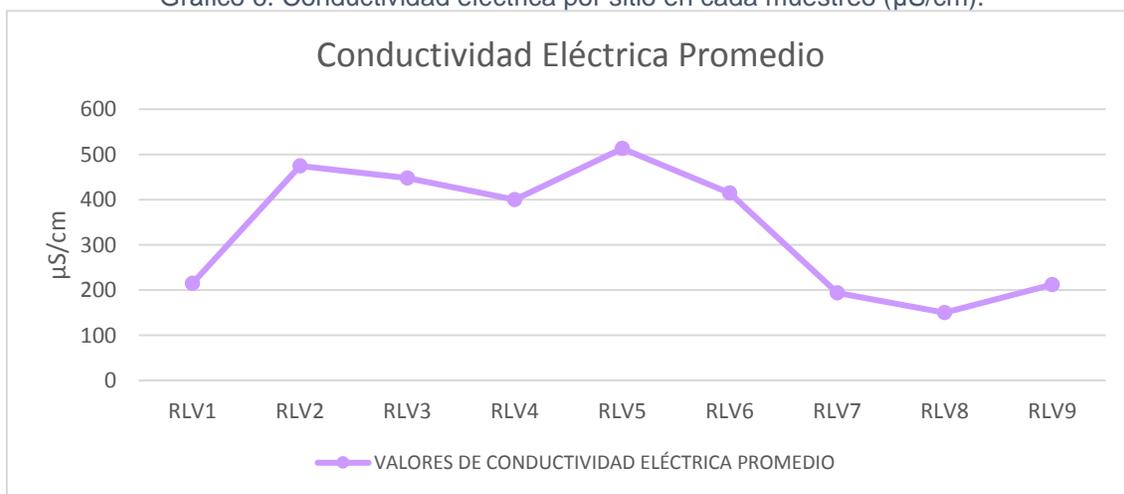


Gráfico 7. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica Promedio.

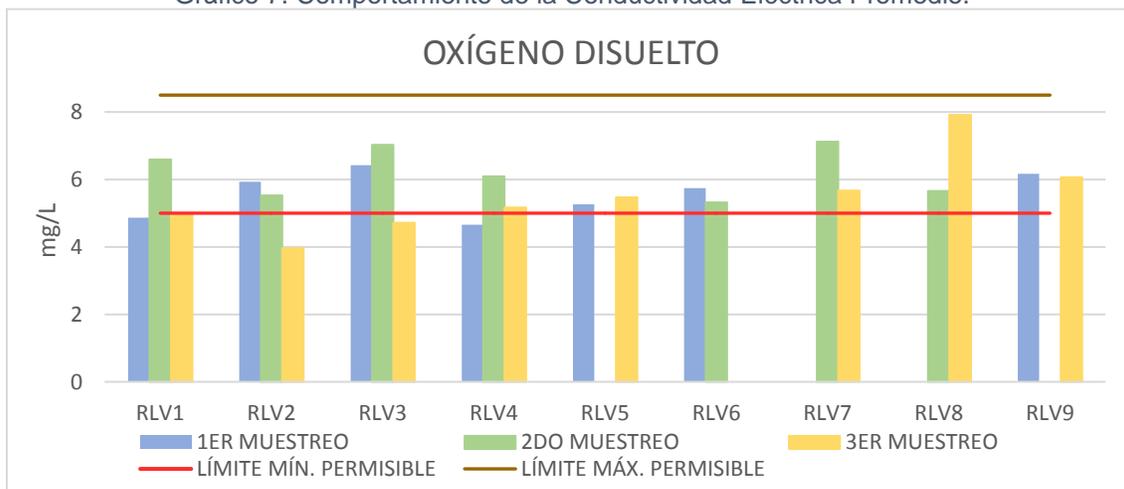


Gráfico 8. Oxígeno Disuelto por sitio en cada muestreo (mg/L).

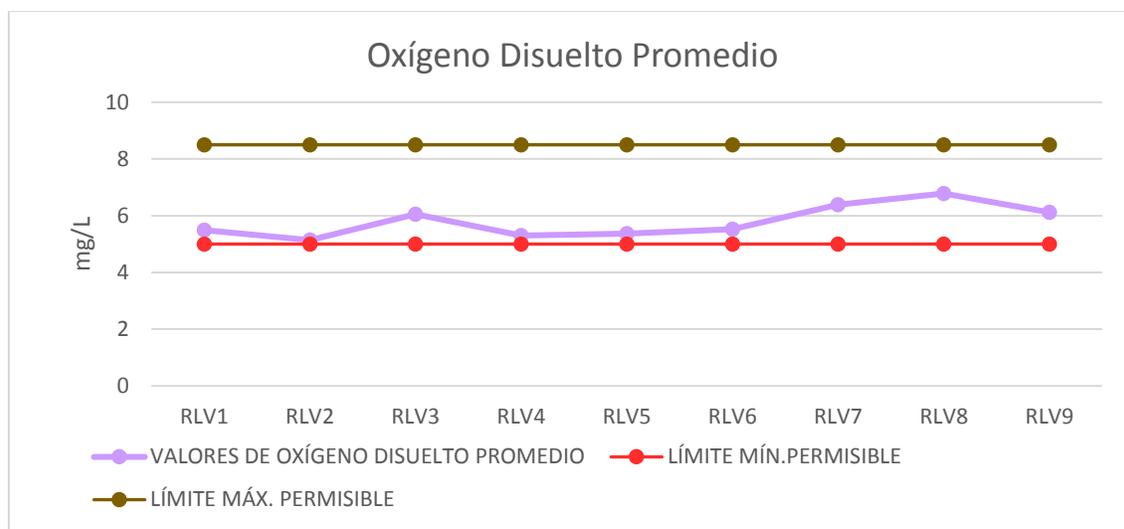


Gráfico 9. Comportamiento del Oxígeno Disuelto Promedio.

De acuerdo con la norma **NOM-001-SEMARNAT-2021, CE-CCA/001/89** y la **Ley Federal de Derecho en Materia del Agua**, referido al parámetro de temperatura; todos los sitios evaluados cumplieron con los límites máximos permisibles. Por lo contrario, el parámetro materia flotante se registraron presencia en los sitios **RLV1** “Puente Las Flores”, **RLV5** “500 mts. Agua debajo de “Llano Grande” y **RLV9** “El Encajonado”; lo cual según las normativas **Criterio Ecológico de Calidad del Agua** (CE-CCA-01/89) y la **Ley Federal de Derecho en Materia del Agua** se encuentra incumpliendo.

En el caso de la conductividad eléctrica no se tiene asignado límites máximos de acuerdo a alguna normativa, pero de acuerdo a una comparación según valores teóricos todos los sitios estudiados se encuentran dentro de los valores óptimos.

Con los que respecta al oxígeno disuelto y pH, presentaron valores ligeramente mayores a limite establecidos por las normativas (**NOM-001-SEMARNAT-2021, CE-CCA-01/89** y la **Ley Federal de Derecho en Materia del Agua**); es crucial destacar que esta desviación no parece representar un riesgo notable para la salud humana o el medio ambiente.

4.1.2 Parámetros en el Laboratorio

Clave del sitio	Fechas	Parámetros de Laboratorio							
		DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SDT (mg/L)	SST (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NO ₃ - (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Coliformes Fecales (NMP/100 mL)
RLV1	may-23	1.74	<19.88	461	3	0.1971	0.0426	3.58	374
	ago-23	7.56	<19.88	744	400	0.545	0.213	442	70,484
	nov-23	1.7175	<19.88	196	52	0.2307	0.1454	23.15	54,000
RLV2	may-23	3.3	<19.88	433	1	<0.013	1.87	<1	1,100
	ago-23	0.93	<19.88	374	0	<0.013	0.0623	1.3	200
	nov-23	6.87	<19.88	456	12	<0.013	1.61	<1	700
RLV3	may-23	1.56	<19.88	395	5	<0.013	4.214	<1	1,100
	ago-23	1.32	<19.88	344	4	<0.013	0.0649	1.33	500
	nov-23	1.62	<19.88	346	26	<0.013	4.3	<1	200
RLV4	may-23	0.7875	<19.88	365	1	<0.013	1.895	1.97	800
	ago-23	1.8	<19.88	287	103	0.262	0.1597	20.08	24,000
	nov-23	1.23	<19.88	333	19	0.139	2.35	12.31	7,900
RLV5	may-23	1.68	<19.88	386	14	0.0336	0.361	2.52	500
	ago-23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	nov-23	0.9825	<19.88	244	47	0.0515	0.2675	41.23	3,300
RLV6	may-23	2.075	<19.88	283	7	<0.013	1.116	4.17	500
	ago-23	1.995	<19.88	109	51	0.2184	<0.03	58.3	14,000
	nov-23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
RLV7	may-23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	ago-23	0.795	<19.88	201	11	<0.013	0.2493	1	2,200
	nov-23	1.755	<19.88	188	52	<0.013	0.1221	35.42	2,805
RLV8	may-23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	ago-23	1.575	<19.88	164	2	<0.013	0.03	1.93	1,300
	nov-23	1.402	<19.88	166	62	<0.013	0.0857	16.49	2,300
RLV9	may-23	1.822	<19.88	120	84	0.0336	0.174	57	1,800
	ago-23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	nov-23	0.39	<19.88	177	5	0.0325	0.3155	8.36	1,556

Tabla 14. Resultados obtenidos durante el análisis fisicoquímico y microbiológico.

Sitios	Parámetros							
	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SDT (mg/L)	SST (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NO ₃ - (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Coliformes Fecales (NMP/100 mL)
RLV1	3.673	<19.88	467	151.667	0.324	0.134	156.243	11,249.10
RLV2	3.7	<19.88	421	4.333	<0.013	1.181	1.1	536
RLV3	1.5	<19.88	361.667	11.667	<0.013	2.86	1.11	479.1
RLV4	1.273	<19.88	328.333	41	0.138	1.468	11.453	5,333.10
RLV5	1.331	<19.88	315	30.5	0.043	0.314	21.875	1,284.50
RLV6	2.035	<19.88	196	29	0.116	0.573	31.235	2,645.80
RLV7	1.275	<19.88	194.5	31.5	<0.013	0.186	18.21	2,484.10
RLV8	1.489	<19.88	165	32	<0.013	0.058	9.21	1,729.20
RLV9	1.106	<19.88	148.5	44.5	0.033	0.245	32.68	1673.6

Tabla 15. Resultados promedio obtenidos durante el análisis fisicoquímico y microbiológico.

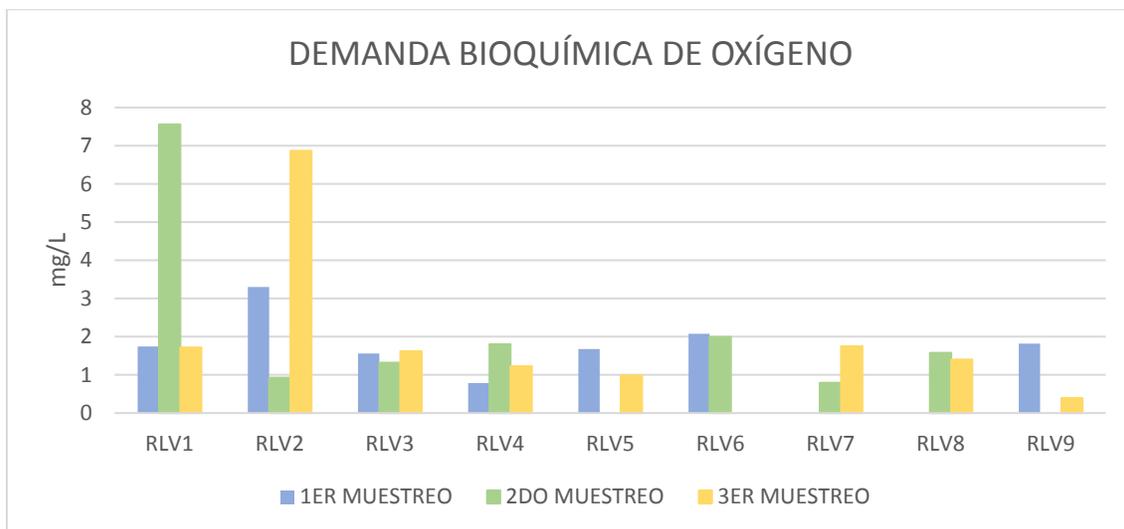


Gráfico 10. Demanda Bioquímica de Oxígeno por sitio en cada muestreo (mg/L).

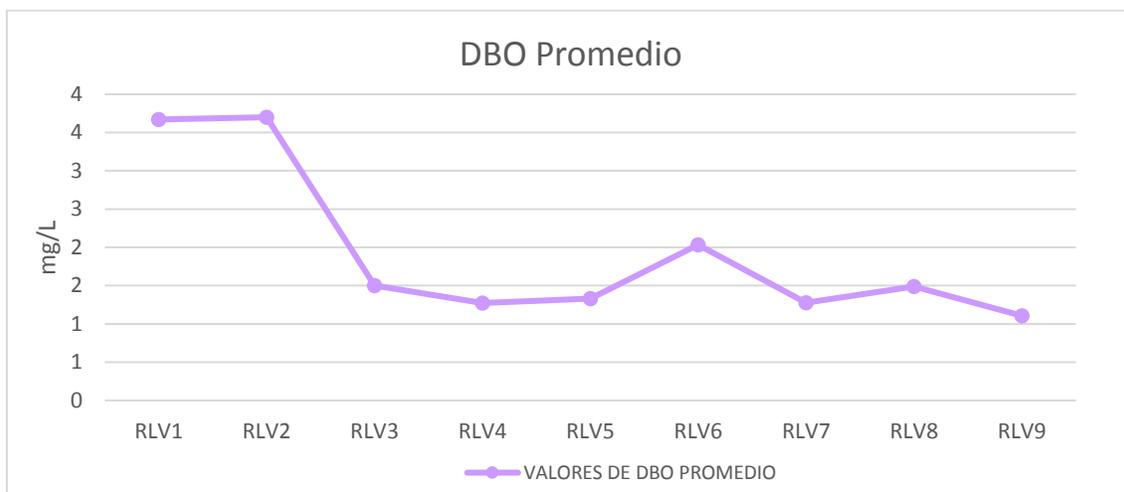


Gráfico 11. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Promedio.

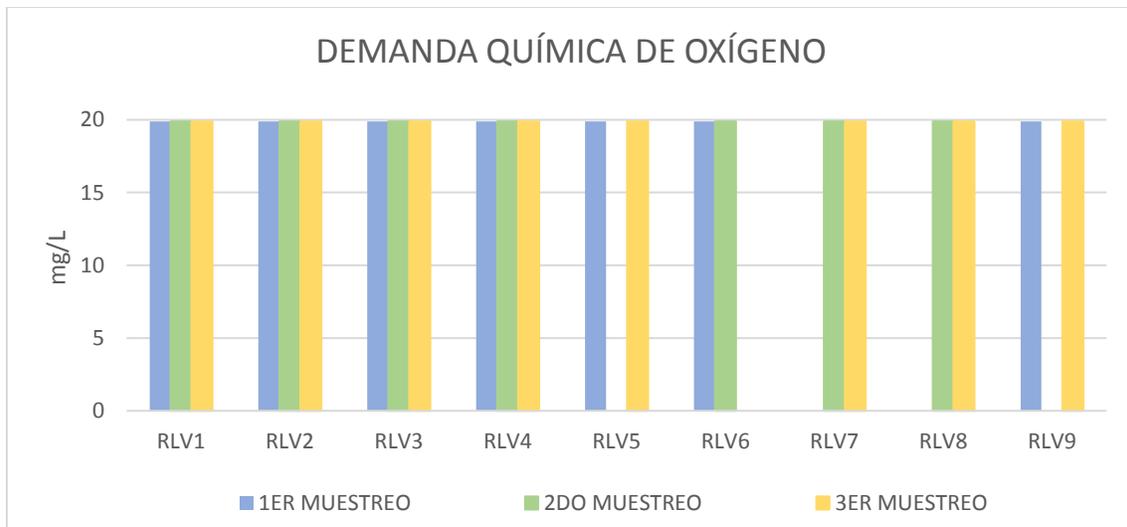


Gráfico 12. Demanda Química de Oxígeno por sitio en cada muestreo (mg/L).

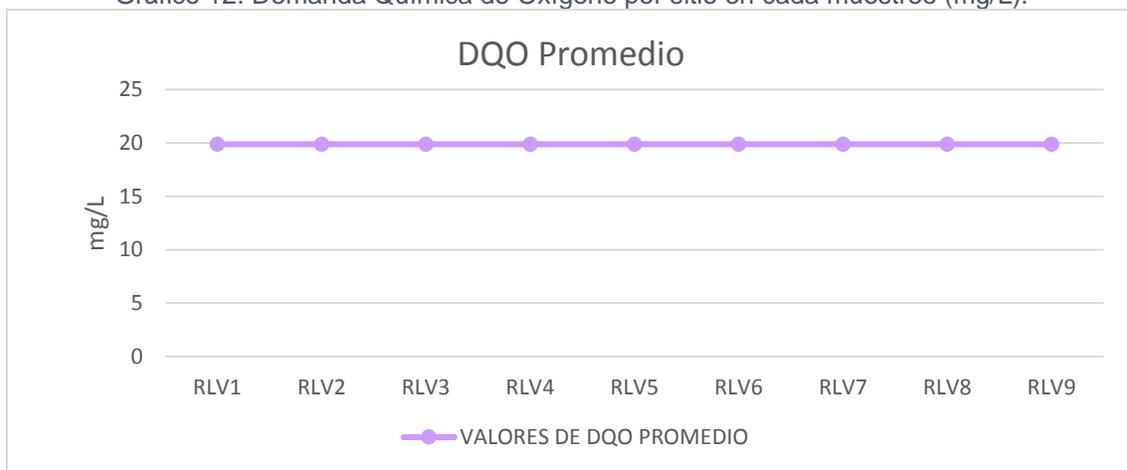


Gráfico 13. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno Promedio.

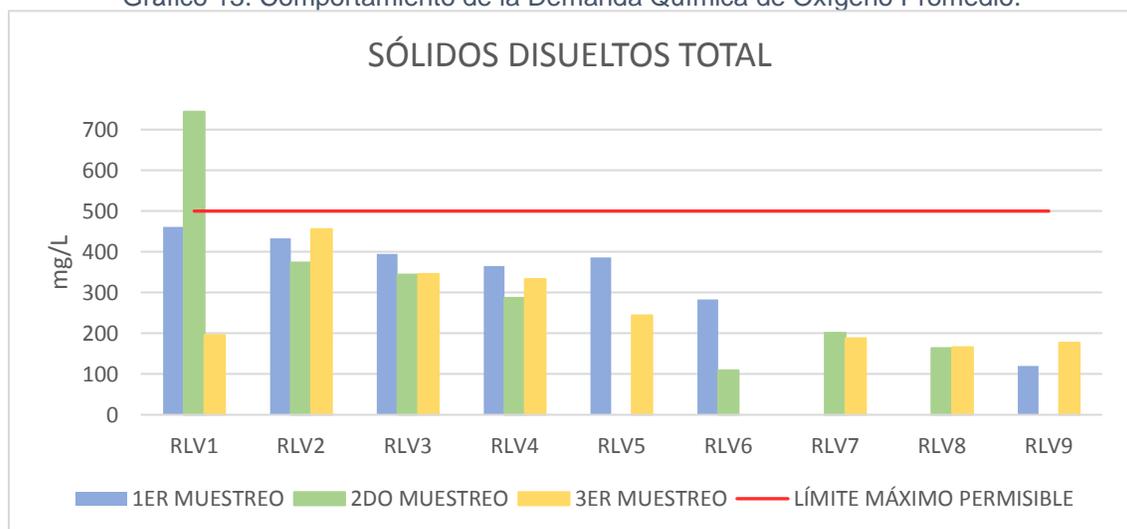


Gráfico 14. Sólidos Disueltos Totales por sitio en cada muestreo (mg/L).

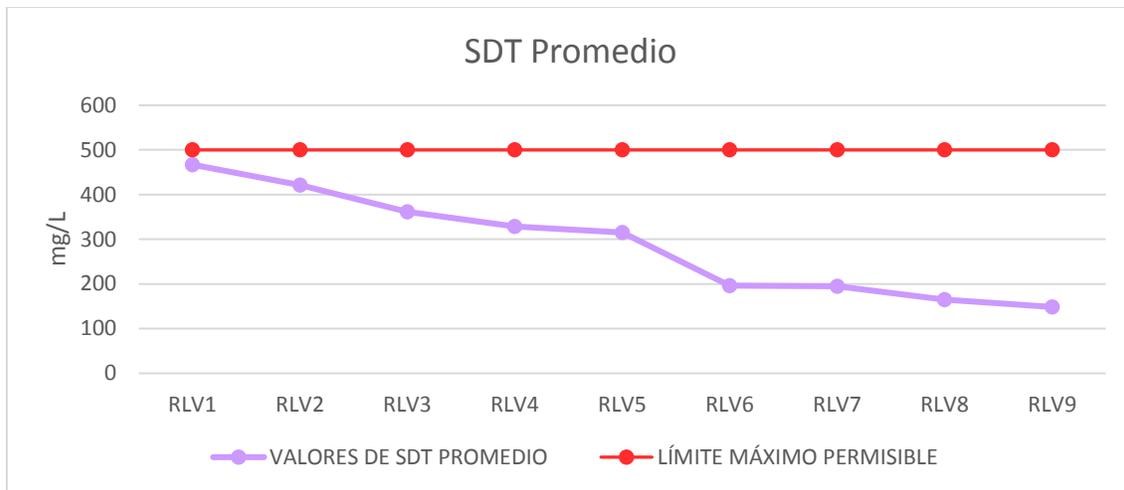


Gráfico 15. Comportamiento de Sólidos Disueltos Totales Promedio.

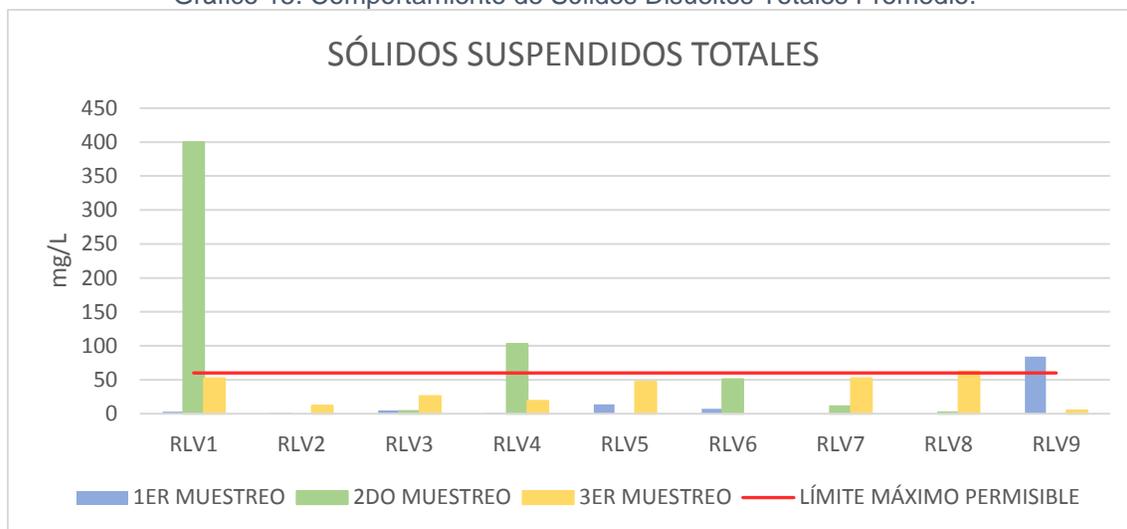


Gráfico 16. Sólidos Disueltos Totales por sitio en cada muestreo (mg/L).

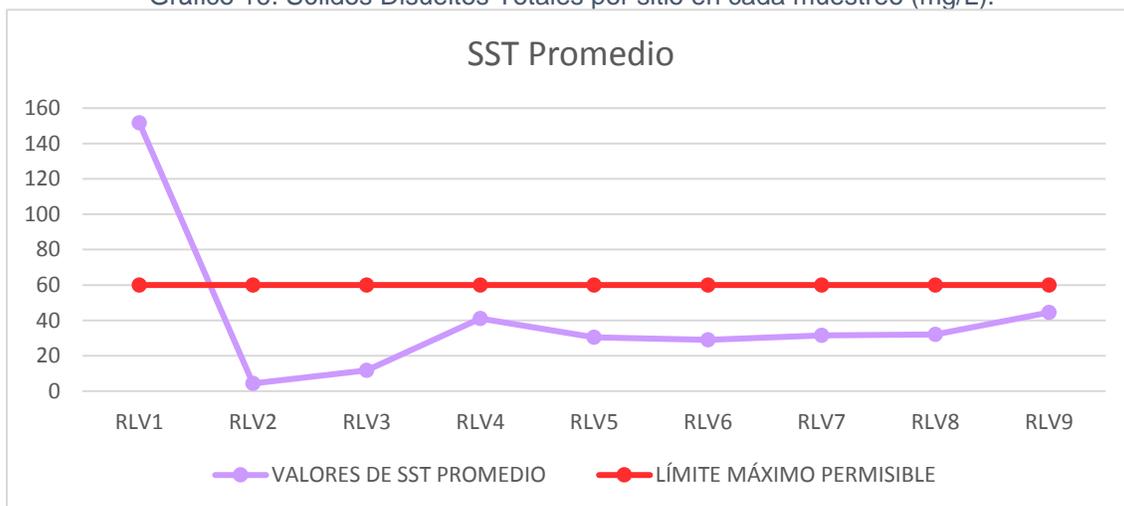


Gráfico 17. Comportamiento de Sólidos Suspendedos Totales Promedio.

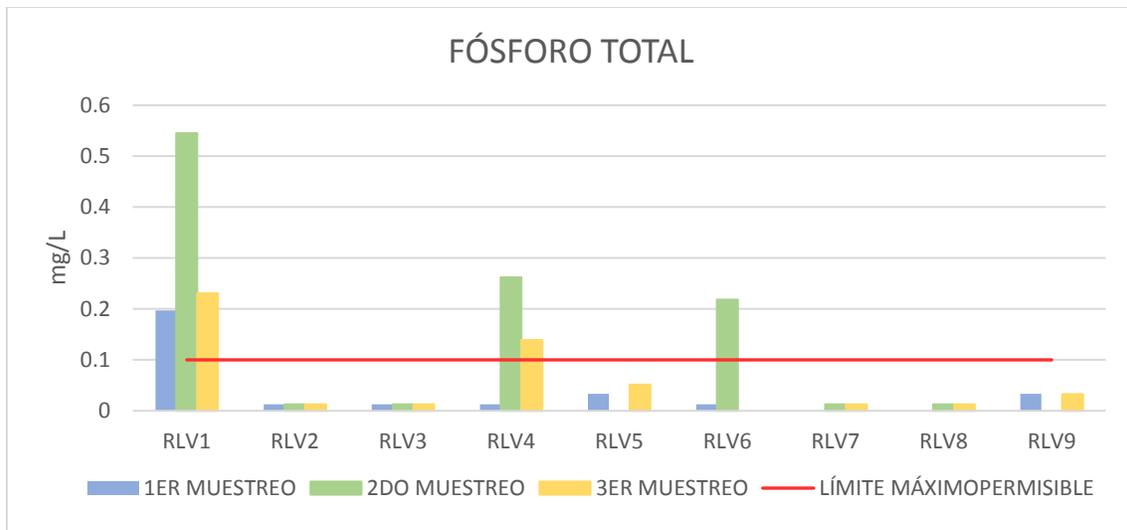


Gráfico 18. Fósforo Total por sitio en cada muestreo (mg/L).

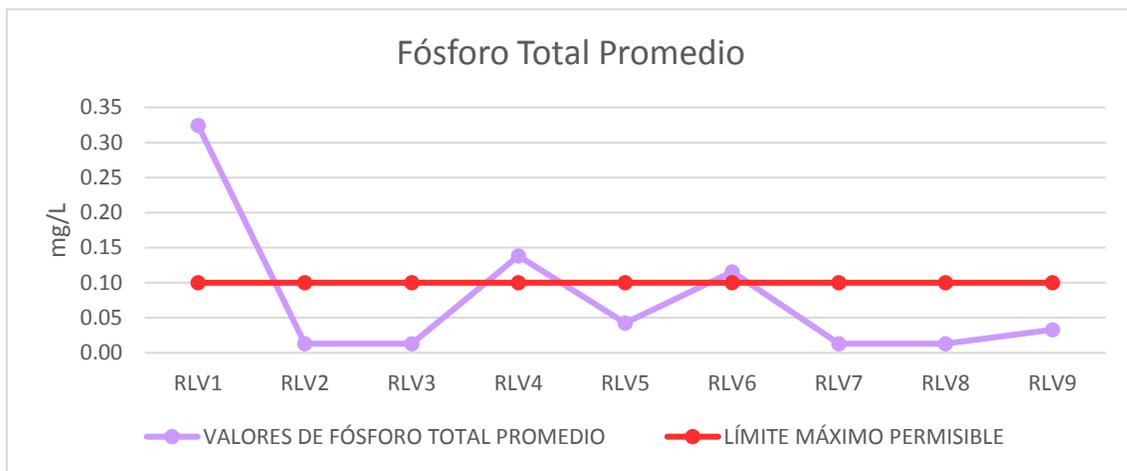


Gráfico 19. Comportamiento del Fósforo Total Promedio.

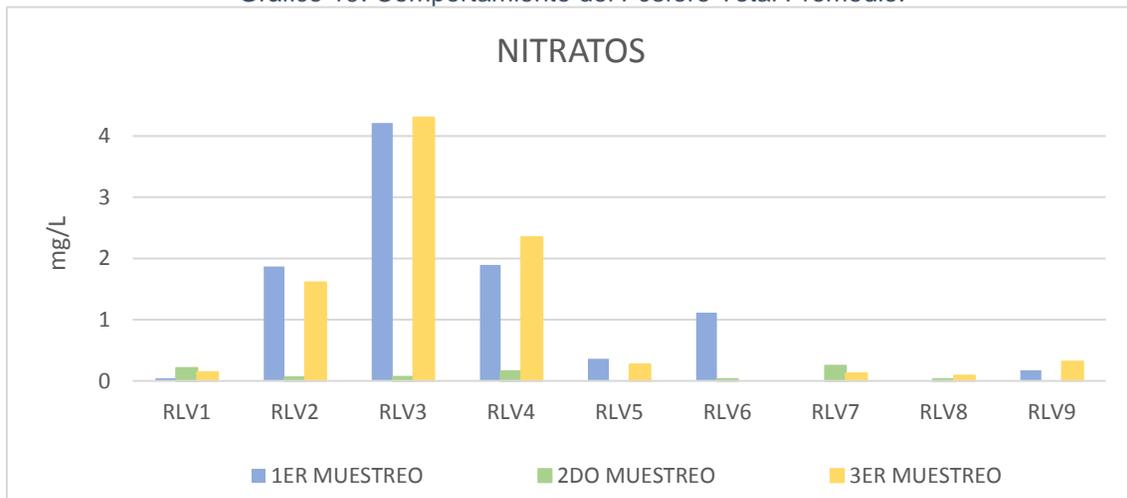


Gráfico 20. Nitratos por sitio en cada muestreo (mg/L).

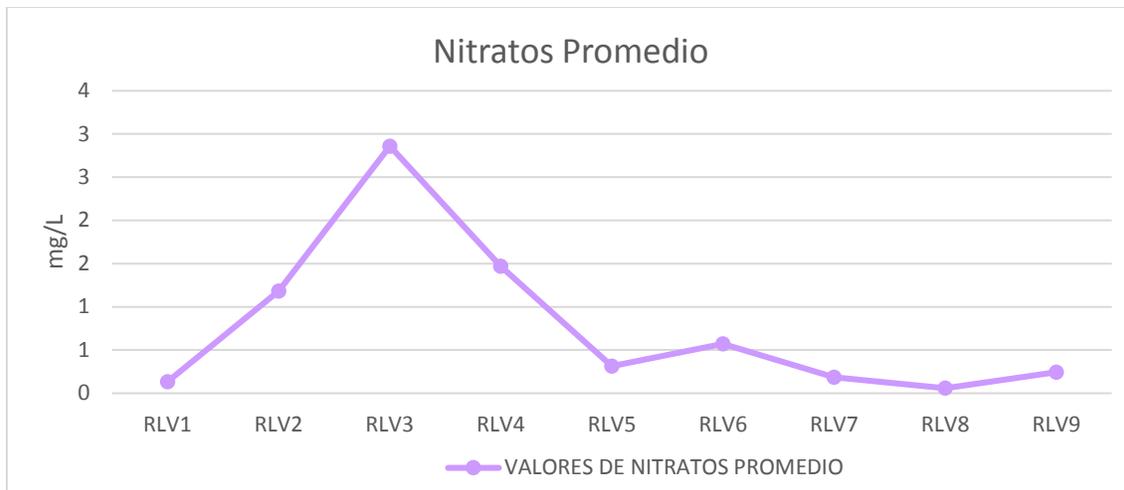


Gráfico 21. Comportamiento de los Nitratos Promedio.

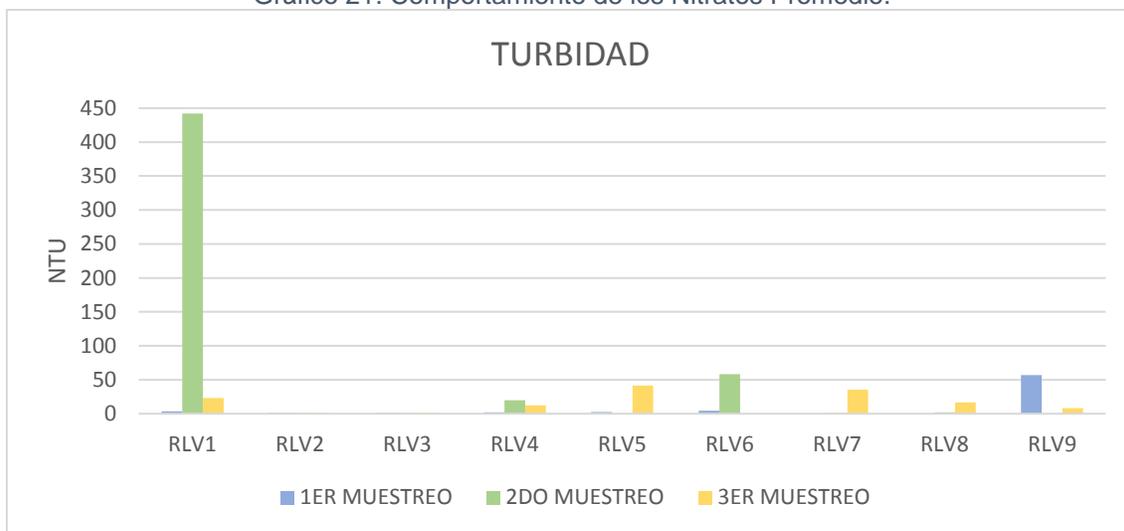


Gráfico 22. Turbiedad por sitio en cada muestreo (NTU).



Gráfico 23. Comportamiento de la Turbiedad Promedio.

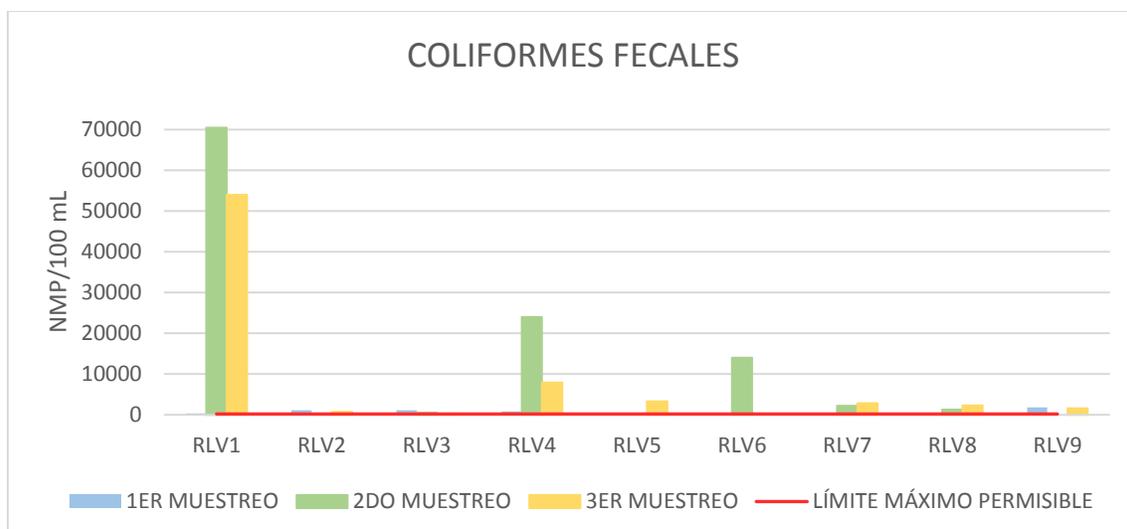


Gráfico 24. Coliformes Fecales por sitio en cada muestreo (NMP/100 mL).

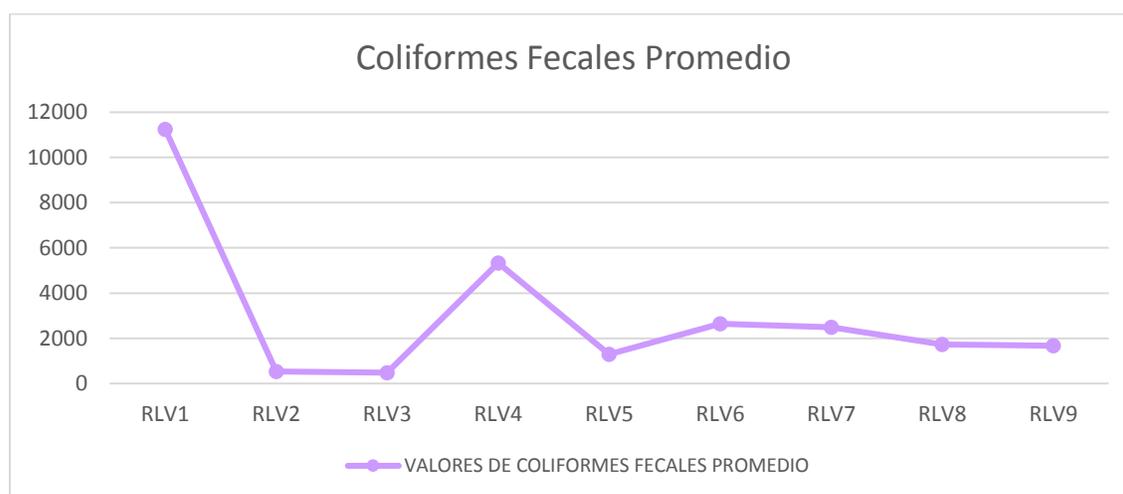


Gráfico 25. Comportamiento de los Coliformes Fecales Promedio.

Para los parámetros fisicoquímicos de DQO y fósforo se registraron valores de concentración dentro de los límites permisibles de la normativa **NOM-001-SEMARNAT-2021**. En el caso de los Sólidos suspendido total, los sitios **RLV1** Puente “Las Flores”, **RLV4** Antes de la Cascada “La Conchuda” y **RLV9** “El Encajonado” rebasan los límites establecidos por la norma.

Conforme a lo establecido en la **Ley Federal de Derecho en Materia del Agua** y **CE-CCA-01/89**, el parámetro de sólidos disueltos totales de los sitios analizados se

hallaron en los límites establecido por la ley, exceptuando el sitio **RLV1** Puente “Las Flores” (segundo muestro). Mientras que, retomando los datos obtenidos de fósforo y según estas normas, los sitios que no cumple con sus límites indicado son el **RLV1** Puente “Las Flores”, **RLV4** Antes de la Cascada “La Conchuda” y **RLV6** Río La Venta (Unidad Modelo).

Durante este análisis se detectaron valores de Turbiedad y Nitratos relativamente aceptables, comparativamente con valores teóricos en el ámbito de aguas superficiales.

Referente a la presencia de bacterias coliformes fecales, los sitios analizados exhibieron concentraciones mayores a lo señalado en los **Criterio Ecológico de Calidad del Agua** en el rubro de protección de vida acuática.

4.1.3 Escala de clasificación de la calidad de agua superficial.

Clave del sitio	Identificación del sitio de Muestreo	DBO ₅	DQO	SST	CF
RLV1	Puente “Las Flores”	3.673	<19.88	151.667	11,249.10
RLV2	Cueva “El Encanto”	3.7	<19.88	4.333	536
RLV3	Cascada “El Aguacero”	1.5	<19.88	11.667	479.1
RLV4	Antes de la Cascada “La Conchuda”	1.273	<19.88	41	5,333.10
RLV5	500 mts. Agua debajo de “Llano Grande”	1.331	<19.88	30.5	1,284.50
RLV6	Río La Venta (Unidad Modelo)	2.035	<19.88	29	2,645.80
RLV7	Río El Frances	1.275	<19.88	31.5	2,484.10
RLV8	Río El Cedro	1.489	<19.88	32	1,729.20
RLV9	El Encajonado	1.106	<19.88	44.5	1,673.60

Tabla 16. Resultados promedio de la calidad del agua superficial de los sitios según los indicadores de CONAGUA.

Comparando con los indicadores de calidad de agua de la CONAGUA, los datos promedios obtenidos muestran que el sitio **RLV1** Puente “Las Flores”, se encuentra “Fuertemente contaminado” para coliformes fecales; los sitios **RLV2** Cueva “El Encanto” y **RLV3** Cascada “El Aguacero” actualmente están “Pocos Contaminados” por este parámetro, mientras que demás sitios, tienen valores que entran en un rango de “Contaminado”.

En cuanto al parámetro de DQO, todos los sitios se encontraron en el rango de “Buena” calidad. Así como, con el DBO, los sitios se ubicaron entre “Excelente” y “Buena” calidad.

Con respecto a los sólidos suspendidos totales, el sitio **RLV1** Puente “Las Flores” incumple con las normativas establecidas, ubicándose como “Poco contaminado”. Mientras los demás se encuentran cumpliendo los valores adecuados, clasificándose como “Excelentes” y “Buena” calidad.

4.1.4 Índice de Calidad del Agua (ICA).

Clave del sitio	Identificación del sitio de Muestreo	Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo	Promedio
RLV1	Puente “Las Flores”	62.20	57.50	61.81	61.53
RLV2	Cueva “El Encanto”	62.49	65.46	65.18	64.20
RLV3	Cascada “El Aguacero”	61.41	64.79	63.07	62.81
RLV4	Antes de la Cascada “La Conchuda”	63.03	63.94	62.78	63.02
RLV5	500 mts. Agua debajo de “Llano Grande”	62.73	NA	65.18	63.97
RLV6	Río La Venta (Unidad Modelo)	64.69	65.92	NA	64.28
RLV7	Río El Frances	NA	65.78	65.69	65.21
RLV8	Río El Cedro	NA	67.01	65.67	65.90
RLV9	El Encajonado	66.47	NA	64.61	65.54

Tabla 17. Resultados del ICA obtenidos durante los muestreos.

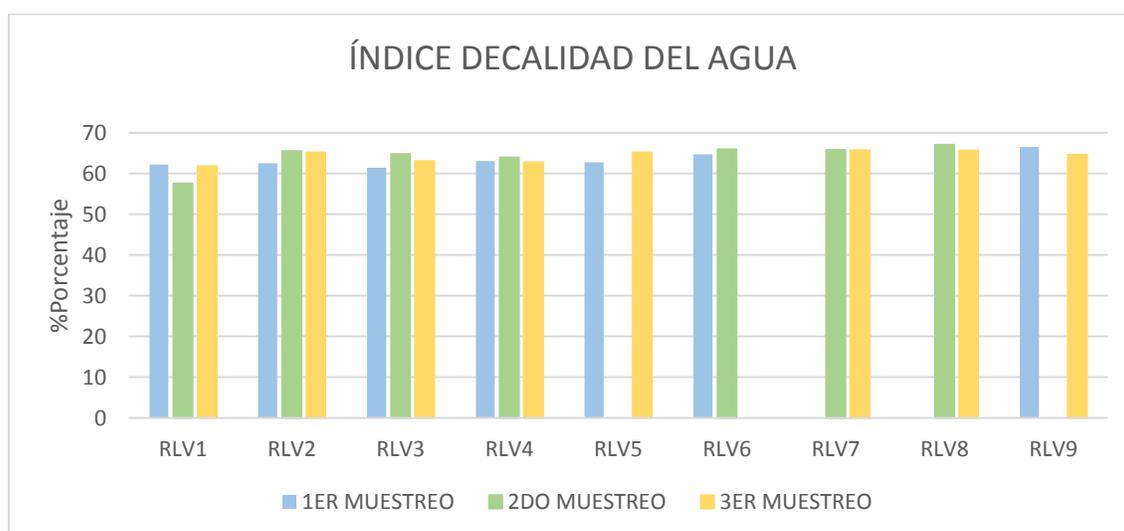


Gráfico 26. ICA por sitio en cada muestreo.

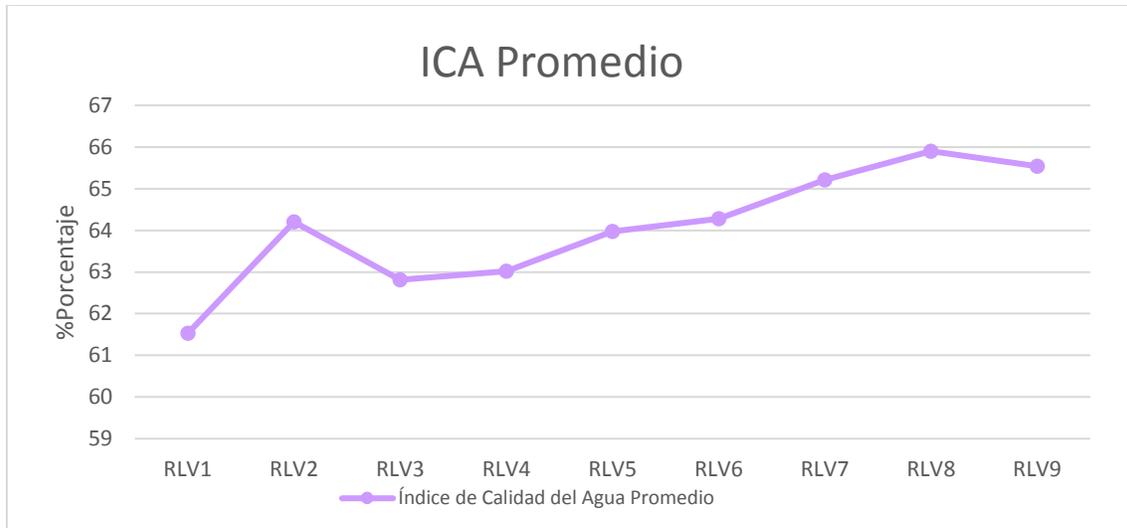


Gráfico 27. Comportamiento del Índice de Calidad del Agua (ICA) según sitio de muestreo.

Los resultados del índice de calidad de agua (**ICA**), obtuvieron un valor de entre 57.50 a 67.01%, clasificando a todos como "Poco contaminado". Al igual, se puede observar que entre más avanza el río mejor es su índice de calidad, exceptuando aquellos puntos en donde el río la venta se interseca con otras corrientes de agua.

V. CAPÍTULO: CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES

Los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y el índice de Calidad del Agua (ICA) del Río La Venta, nos indica un grado de contaminación moderado “Poco contaminado”.

De acuerdo a este índice (ICA), el uso del agua para pesca y vida acuática en aguas superficiales se encuentran rozando los límites establecidos para la pesca sin riesgo de salud y la resistencia de peces muy sensitivos. Para uso recreativo, se sugiere restringir los deportes de inmersión y tener precaución en la ingesta accidental por la presencia de bacterias coliformes fecales. En el caso del uso potable, se necesita tratamiento para el consumo. Por último, en el caso del uso agrícola y/o industrial no se requiere tratamiento para la mayoría de las industrias de operación normal y se pueden utilizar en la mayoría de los cultivos.

En conclusión, el agua proveniente del Río La Venta se encuentra recibiendo un aporte de contaminantes significativo producto de las condiciones ambientales y las actividades antropogénicas de la zona. Esto deriva en una alteración de algunos parámetros que afecta la calidad del agua, por lo cual, se recomienda el implemento de medidas de conservación que detengan el deterioro de este recurso.

5.2 RECOMENDACIONES

Entre las acciones recomendadas podemos destacar:

Campañas de monitoreo: se recomienda la continuación de programas de monitoreo para evaluar la calidad del agua. Esto con la finalidad de detectar cualquier alteración que pueda ocasionar un deterioro ambiental y tomar medidas correctivas.

Campañas de concientización y acción: promover la participación comunitaria es una de las acciones principales para conservar el agua, siendo esencial ofrecer cursos o talleres que permitan educar a la comunidad sobre el medio ambiente, su importancia y las maneras de cuidar el agua. Así como fomentar y monitorear la disposición final apropiada de desechos no orgánicos y orgánicos.

Otra acción relevante en la que puede participar la población es la campaña de limpieza en la zona, la cual es una manera efectiva de prevenir la acumulación de residuos en los ríos.

Uso eficiente del agua: adoptar prácticas o tecnologías que permitan el ahorro y la reducción de la cantidad de aguas empleadas para las actividades industriales, domésticas y agrícolas; esto puede permitir la recuperación y conservación del recurso.

Reducción de contaminantes: es importante evitar verter productos químicos (grasas, aceites, pesticidas, entre otros) y aguas residuales (domésticas e industriales) sin tratar directamente en los cuerpos de agua.

Tratamiento de aguas residuales: implementar sistemas de tratamiento de agua residual, así como la instalación y uso de un sistema de drenaje (en caso de no contar con uno).

Herramientas y métodos sostenibles: otra propuesta sería la reducción del uso de productos químicos en las actividades económicas como los pesticidas, fertilizantes y plaguicidas. O en las posibilidades, la utilización de productos y tecnologías más eficientes y ecológicas.

Conservación del suelo: Como parte del cuidado al recurso hídrico, es vital implementar prácticas más sostenibles en actividades antropogénicas, y para ello se aconseja conservar la vegetación nativa y reforestar las áreas circundantes al río que ya fueron alteradas. Todo esto con el objetivo de reducir y prevenir la erosión del suelo.

5.3 EXPERIENCIA PERSONAL PROFESIONAL ADQUIRIDA

Desarrollo de Habilidades Técnicas: Desarrollé las habilidades en las técnicas de muestreo de calidad del agua señaladas por las normas mexicanas, para el análisis fisicoquímica y microbiológico.

Experiencia Laboral Relevante: Me familiaricé con los procedimientos operativos realizados en un laboratorio, así como con los roles y responsabilidades que se pueden desempeñar en el análisis de calidad del agua.

Contribución a Proyectos Significativos: Principalmente, puedo destacar mi participación significativa en el proyecto al que se me asignó, contribuyendo al análisis de las muestras, lo cuales me permite entender mejor el significado teórico y práctico de las metodologías empleadas.

Mejora de Habilidades de Documentación: Participar activamente en el laboratorio y el proyecto me permitió desarrollar habilidades de documentación, es decir, me enseñó a mantener registros más precisos de las actividades realizadas, del procedimiento empleado y de los resultados obtenidos en los análisis.

Compresión profunda de las Normativas y Protocolos: Un aspecto muy importante que resultado de este periodo laboral, fue la adquisición y comprensión práctica de las normativas y metodologías sobre la calidad del agua. Académicamente vemos y aprendemos la parte teórica, pero muchas veces no se comprende en su totalidad.

Evaluación del Entorno Laboral: Esta experiencia dio como resultado la comprensión de la organización y las expectativas reales del trabajo en un laboratorio de esta índole. Esto permitirá adaptarme más fácilmente en el futuro al ambiente laboral.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

- Implementó de técnicas y conocimientos analíticos para la preparación de sustancias químicas. Materias relacionadas: Química Analítica; Química Orgánica I y II; y Química Inorgánica.

- Aplicación de procedimientos de muestreo y análisis, según diversos tipos de operaciones unitarias. Siempre empleando protocolos de seguridad durante la manipulación de reactivos y muestras. Materias relacionadas: Laboratorio Integral I, II y III; Fisicoquímica I y II; Procesos de separación II y III; y Salud y Seguridad en el Trabajo.

- Neutralización de sustancias que efectúen cambios termodinámicos, así como el estudio del comportamiento cinético de procesos de degradación de los contaminantes. Materias relacionadas: Termodinámica y Reactores químicos.

- Razonamiento de los principios de transferencia de masa y momentum de los contaminantes de acuerdo a su dispersión y transporte en el agua. Así como la interpretación de los datos analíticos y de los equipos empleados, usando y creando simuladores. Materias relacionadas: Análisis de Datos experimentales; Análisis instrumental; Balance de Materia y Energía; Balance de Momentum, Calor y Masa; Simulación de Procesos; y Mecanismos de transferencia.

- Comprensión de la importancia de los tratamientos de aguas, así como del control de contaminantes en las zonas; posibles tecnologías a aplicar. Además, análisis detallado de las normativas y legislaciones ambientales que ayudan a regularizar y monitorear la calidad del agua en fuentes superficiales. Materias relacionadas: Ingeniería Ambiental; Tratamiento de Efluentes Industriales.

FUENTES DE INVESTIGACIÓN

Roldán Pérez, G., & Ramírez Restrepo, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín: Universidad de Antioquia.

Aquae Fundación. (28 de Diciembre de 2021). *Aquae Fundación*. Obtenido de Datos interesantes de la distribución del agua en la Tierra: <https://www.fundacionaquae.org/principales-datos-del-agua-en-el-mundo/>

Atlas Scientific. (27 de Septiembre de 2022). *Atlas Scientific*. Obtenido de What Is The Typical Water Conductivity Range?: <https://atlas-scientific.com/blog/water-conductivity-range/>

Beran, J., & Lassiter, M. (2022). *Laboratory Manual for Principles of General Chemistry*. Reino Unido: Wiley.

Campbell, B. (09 de Septiembre de 2021). *Wastewater Digest*. Obtenido de What is Total Suspended Solids (TSS)?: <https://www.wwdmag.com/utility-management/article/10939708/what-is-total-suspended-solids-tss>

Cruz Ríos, M. Á. (s.f.). *Boletín Estadístico y Geográfico* . Obtenido de Aguas superficiales: https://gisviewer.semarnat.gob.mx/bol/20_03/

De Tecnología Del Agua. (s.f.). *Atlas de calidad del agua en México*. Obtenido de Bacterias coliformes fecales o termotolerantes: <http://atlasagua.imta.mx/Views/bcf.html>

Denchak, M. (11 de Enero de 2023). *NRDC*. Obtenido de La contaminación del agua: Todo lo que necesitas saber: <https://www.nrdc.org/es/stories/contaminacion-agua-todo-lo-necesitas-saber#que-es>

Fernández Cirelli , A., & V. Volpedo, A. (2020). Indicadores Físico- Químico: ¿Qué, cómo, cuánto reflejan la calidad del agua? 11-14.

García Gallardo, F. J. (2019). *Minimización de vertidos para el desarrollo sostenible*. Madrid: Elearning S.L.

García, S. (15 de Marzo de 2019). *National Geographic*. Obtenido de 11 datos interesantes sobre el agua: <https://www.nationalgeographic.es/photoaquae/2019/03/11-datos-interesantes-sobre-el-agua>

HACH. (06 de Agosto de 2022). *Sólidos (totales y disueltos)*. Obtenido de <https://es.hach.com/parameters/solids>

HANNA instruments. (29 de Marzo de 2019). *HANNA instruments*. Obtenido de ¿Qué es la turbidez?: <https://hannainst.com.mx/blog/que-es-la-turbidez/#:~:text=La%20turbidez%20del%20agua%20es,mayor%20ser%C3%A1%20la%20luz%20dispersa.>

HANNA instruments. (19 de Enero de 2022). Obtenido de Medición continua de nitratos y otros parámetros de la calidad del agua: <https://hannainst.com.mx/blog/medicion-continua-de-nitratos-y-otros-parametros-de-la-calidad-del-agua/>

Ibanez, Á. (20 de Noviembre de 2017). *Nihon Kasetsu*. Obtenido de DBO y DQO para caracterizar aguas residuales: <https://nihonkasetu.com/es/dbo-y-dqo-para-caracterizar-aguas-residuales/>

Marín Galvin, R. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas*. Díaz de Santos.

N. Sawyer, C., L. McCarty, P., & F. Parkin, G. (2001). *Química para ingeniería ambiental*. Bogotá: McGraw Hill.

Oram, B. (s.f.). *e Coli in Water*. Obtenido de Why Fecal Coliform Testing Is Important - e. coli?: <https://www.archive-water-research.net/index.php/e-coli-in-water>

R. Swistock, B. (05 de Septiembre de 2023). *PennState Extension*. Obtenido de Bacterias Coliformes: <https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>

Rodríguez, I. (01 de Agosto de 2022). *El Economista*. Obtenido de Contaminada, 59.1% del agua superficial de México: <https://www.eleconomista.com.mx/politica/Contaminada-59.1-del-agua-superficial-de-Mexico-20220801-0005.html>

Secretaría de Economía. (2016). NMX-AA-008-SCFI-2016.

SEMAHN. (s.f.). *Chiapas.org.mx*. Obtenido de Bienvenidos a la SEMAHN: <https://www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/conocenos>

SEMARNAT. (Junio de 2019). *Consulta temática*. Obtenido de Indicadores de calidad del agua:

http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AGUA05_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce

Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. Medellín: de la U.

Soporte in situ. (07 de Junio de 2022). *In-Situ*. Obtenido de What are typical turbidity values in natural environments?: [https://in-situ.com/us/faq/water-quality-information/what-are-typical-turbidity-values-in-natural-environments#:~:text=EPA%20drinking%20water%20standards%20\(conventionaI,never%20higher%20than%201%20NTU](https://in-situ.com/us/faq/water-quality-information/what-are-typical-turbidity-values-in-natural-environments#:~:text=EPA%20drinking%20water%20standards%20(conventionaI,never%20higher%20than%201%20NTU)

Stachetti Rodrigues, G., & Moreira, A. (2016). *Manual de evaluación de impacto ambiental de actividades rurales*. Montevideo.

Torres, P., & Hernán Cruz, C. (2009). Índice de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de aguas para consumo humano. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 79-84.

UNICEF. (18 de Junio de 2019). *UNICEF| para cada infancia*. Obtenido de 1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso a agua potable: <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo-no-tiene-acceso-a-agua-potable>

Water Education Foundation. (22 de Junio de 2020). *Biochemical Oxygen Demand* . Obtenido de <https://www.watereducation.org/aquapedia-background/biochemical-oxygen-demand>

ANEXO

Carta aceptación



UNIDAD DE APOYO ADMINISTRATIVO
Área de Recursos Humanos

"2023, Año de Francisco Villa, el Revolucionario del Pueblo"

OFICIO No. SEMAHN/UAA/ARH/163/2023.
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas;
Septiembre 20 de 2023.
04C.23.

Asunto: Aceptación de Residencia Profesional

C. Carolina Cueto Domínguez
Jefa del Departamento de Gestión
Tecnológica y Vinculación
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
P r e s e n t e .

En atención al oficio de carta presentación de la alumna **Mariana Martínez Jiménez** Con número de Control **19270527** de la carrera de **Ingeniería Química (2019)** presentada ante esta Dependencia, le informo que ha sido aceptada para realizar su **Residencia Profesional**, en el proyecto denominado "**Evaluación de la Calidad de Agua del Rio La Venta (Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas)**" y considerado dentro del programa "**Monitoreo de Agua Superficial**" en el periodo comprendido del 15 de Agosto al 15 de Diciembre de 2023, debiendo cubrir un total de 500 horas, sin recibir remuneración alguna.

Por la cual deberá de presentarse a la Dirección de Protección Ambiental y Desarrollo de Energías de esta Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, con el Biol. Israel Domínguez Bello.

Sin otro asunto en particular, reciba un cordial saludo.

Atentamente

MTRA. MARÍA CANDELARIA BARRANCO LAPARRA
Jefa del Área de Recursos Humanos.

C.c.p.-Archivo/minutario.
M'MCBL/mesv/Jcd.

Calzada Cerro Hueco S/N, Col. El Zapotal, C.P. 29094,
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Conmutador: (961) 5438890 Ext. 130



GOBIERNO DEL ESTADO DE CHIAPAS
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
E HISTORIA NATURAL



Fotografías



Ilustración 9. Calibración del equipo en campo y recolección de muestras.



Ilustración 10. Análisis fisicoquímico y microbiológico de las muestras.



Ilustración 11. Lavado y acondicionamiento de material.

Cálculos de Índice de Calidad del Agua (ICA)

ICA-SITIOS Y MUESTREOS - Excel

Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Complementos Ayuda Nitro Pro ¿Qué desea hacer? Compartir

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Edición

U31

**SUBSECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE
DIRECCION DE PROTECCION AMBIENTAL
Laboratorio de Monitoreo Ambiental**

ANEXO

Identificación de la muestra:	Puente "Las Flores"
Código de muestra:	Primer muestreo

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA

Parámetros	Resultado	Peso (w)	Sub	Sub*w	Valor ICA	Calidad del agua
Oxígeno Disuelto	4.87	0.17	14181	24.974	62.20	Poco contaminado
Coliformes fecales	374	0.15	936	1494		
Fósforo	0.1971	0.10	88.17	8.8174		
Nitratos	0.0426	0.10	97.80	9.7800		
Temperatura	4.02	0.10	37.74	3.7744		
pH	7.64	0.12	98.44	10.2728		
Turbiedad	3.58	0.08	5.00	0.4000		
DBO5	1.74	0.10	2.00	0.2000		
Sólidos Disueltos	461	0.08	40.68	3.2544		

Donde:
w = pesos establecidos para el ICA por parámetro
Sub = valores obtenidos en gráficos por parámetro
Referencia Landwehr y Denninger, 1978

**SUBSECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE
DIRECCION DE PROTECCION AMBIENTAL
Laboratorio de Monitoreo Ambiental**

ANEXO

Identificación de la muestra:	Puente "Las Flores"
Código de muestra:	Segundo Muestreo

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA

Parámetros	Resultado	Peso (w)	Sub	Sub*w	Valor ICA	Calidad del agua
Oxígeno Disuelto	6.59	0.17	14103	23.9799	67.50	Poco contaminado
Coliformes fecales	70484	0.15	2.95	0.4427		
Fósforo	0.545	0.10	67.30	6.7300		
Nitratos	0.213	0.10	97.00	9.6999		
Temperatura	0	0.10	43.00	4.9000		
pH	7.14	0.12	88.44	10.6128		
Turbiedad	442	0.08	5	0.4000		
DBO5	7.56	0.10	2.00	0.2000		
Sólidos Disueltos	744	0.08	6.72	0.5376		

Donde:
w = pesos establecidos para el ICA por parámetro
Sub = valores obtenidos en gráficos por parámetro
Referencia Landwehr y Denninger, 1978

CALCULO POR MUESTRA-SITIO DATOS DE MUESTREO COLIFORMES FECALES pH DBO5

ICA-SITIOS Y MUESTREOS - Excel

Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Complementos Ayuda Nitro Pro ¿Qué desea hacer? Compartir

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Edición

S41 Puente "Las Flores"

**SUBSECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE
DIRECCION DE PROTECCION AMBIENTAL
Laboratorio de Monitoreo Ambiental**

ANEXO

Identificación de la muestra:	Puente "Las Flores"
Código de muestra:	Tercer muestreo

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA

Parámetros	Resultado	Peso (w)	Sub	Sub*w	Valor ICA	Calidad del agua
Oxígeno Disuelto	5	0.17	14175	24.0975	61.91	Poco contaminado
Coliformes fecales	54000	0.15	4.60	0.8900		
Fósforo	0.2307	0.10	98.38	9.8382		
Nitratos	0.1454	0.10	97.32	9.7307		
Temperatura	1.94	0.10	43.57	4.3569		
pH	7.45	0.12	87.20	10.4640		
Turbiedad	3.58	0.08	5	0.4000		
DBO5	1.74	0.10	2.00	0.2000		
Sólidos Disueltos	461	0.08	40.68	3.2544		

Donde:
w = pesos establecidos para el ICA por parámetro
Sub = valores obtenidos en gráficos por parámetro
Referencia Landwehr y Denninger, 1978

**SUBSECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE
DIRECCION DE PROTECCION AMBIENTAL
Laboratorio de Monitoreo Ambiental**

ANEXO

Identificación de la muestra:	Puente "Las Flores"
Código de muestra:	Promedio

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA

Parámetros	Resultado	Peso (w)	Sub	Sub*w	Valor ICA	Calidad del agua
Oxígeno Disuelto	5.486667	0.17	14153	24.0603	61.53	Poco contaminado
Coliformes fecales	11243.12	0.15	8.88	1.3313		
Fósforo	0.324267	0.10	80.54	8.0644		
Nitratos	0.133667	0.10	97.37	9.7372		
Temperatura	2.98	0.10	40.68	4.0656		
pH	7.41	0.12	87.36	10.4832		
Turbiedad	156.2433	0.08	5	0.4000		
DBO5	3.6725	0.10	2.00	0.2000		
Sólidos Disueltos	467	0.08	39.96	3.1968		

Donde:
w = pesos establecidos para el ICA por parámetro
Sub = valores obtenidos en gráficos por parámetro
Referencia Landwehr y Denninger, 1978

CALCULO POR MUESTRA-SITIO DATOS DE MUESTREO COLIFORMES FECALES pH DBO5

Ilustración 12. Ejemplo de obtención del ICA según sitio y muestreo.

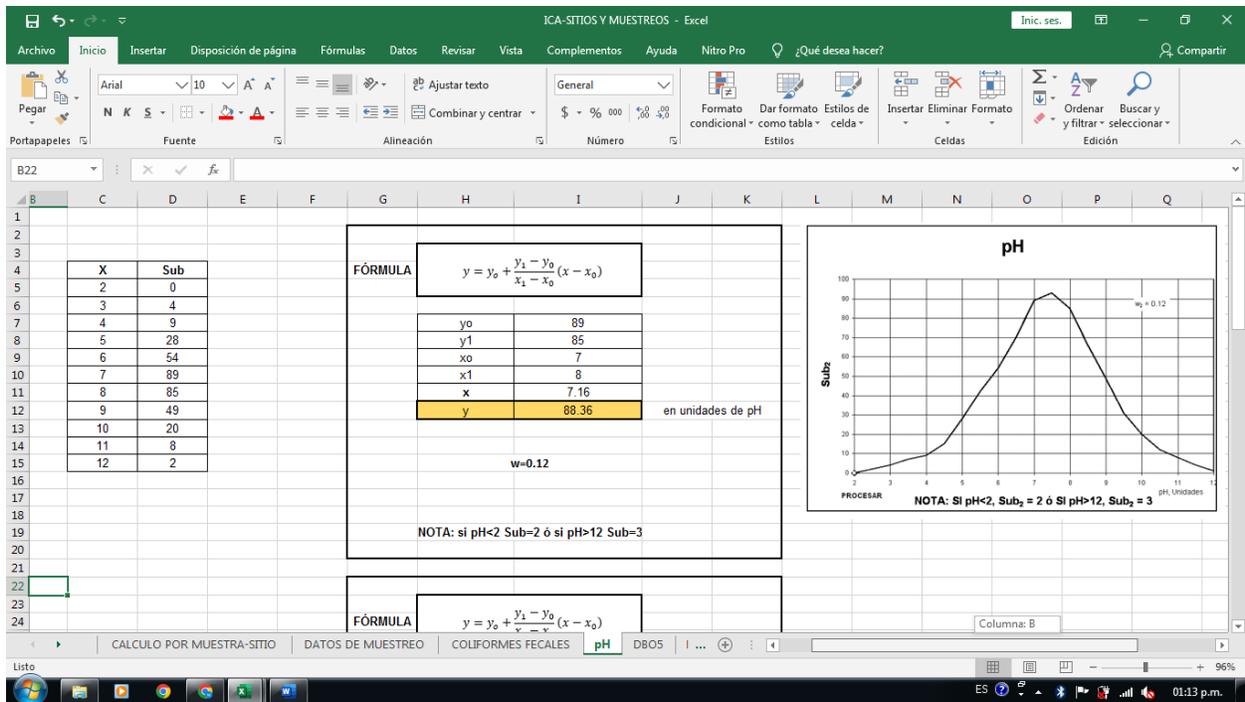


Ilustración 13. Ejemplo del cálculo de los valores de Sub_i.

Se anexa un ejemplo del calculo del valor del ICA para sitios y muestro.

Asi como, el valor de Sub_i: para ello utilizamos las graficas anexadas a continuación; en las cuales buscamos en el eje de de (X) el valor del parámetros que obtenido en los analisis.

Para facilitar el calculo, se elabora una hoja de calculo en base a los graficos para obtener el valor Sub_i. El principio es la interpolacion de los ejes (X) y ejes (Y) con dos valores (superior y inferior al valor del parámetro buscado).

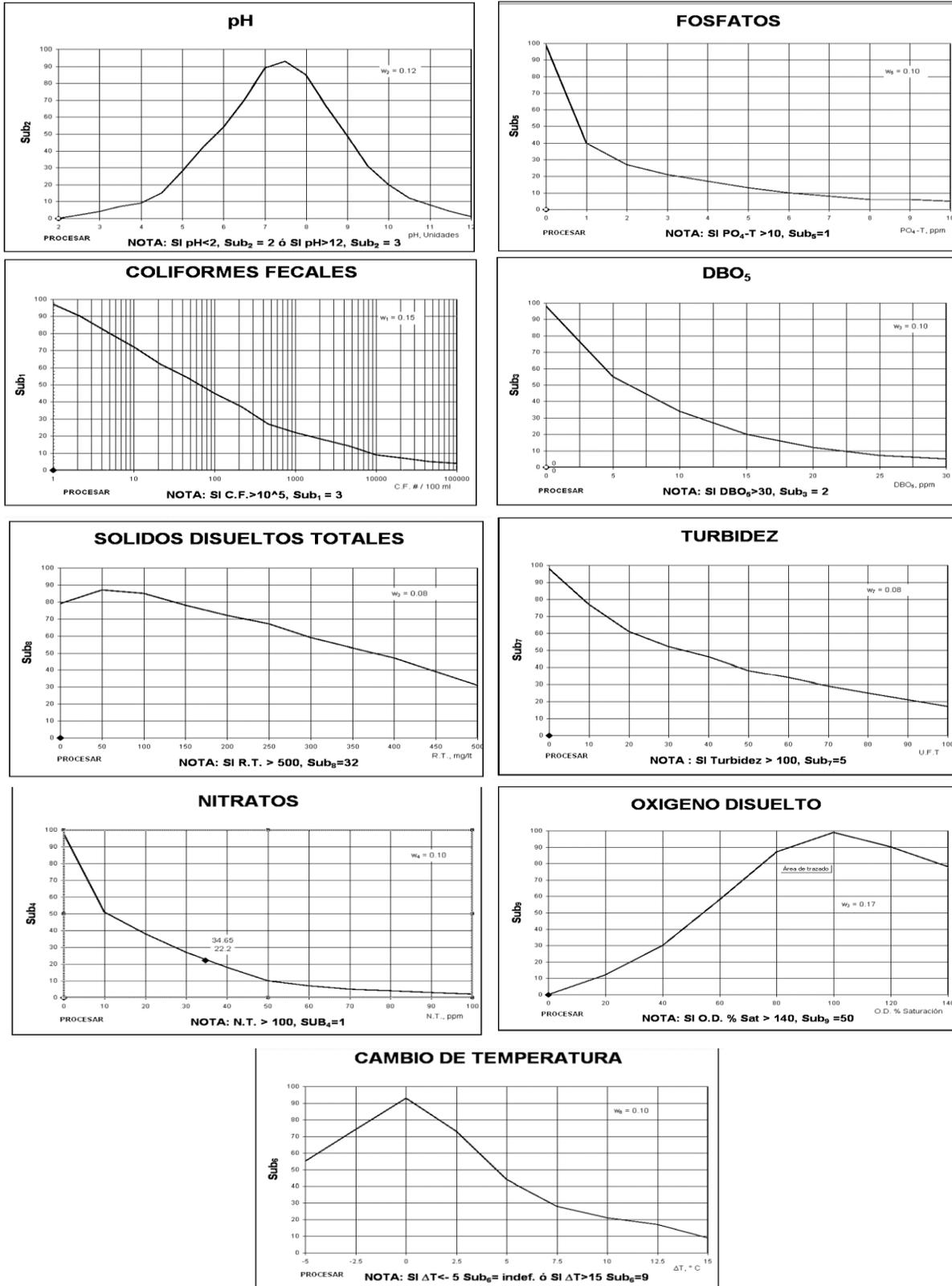


Ilustración 14. Gráficos para la valoración de la calidad de agua en función a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.