

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA EDUCATIVO INGENIERÍA AMBIENTAL

INFORME TÉCNICO

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LOS AMATES
EN EL MUNICIPIO DE VILLAFLORES, CHIAPAS.**

PARA OBTENER TÍTULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA

BRUNO COUTIÑO BARRERA

DIRECTORA:

MTRA. NELLY DE LOS ÁNGELES ROBLERO GALDAMEZ

ASESORES:

MTRO. JOSÉ LUIS ORANTES GÓMEZ

MTRA. EDALÍ CAMACHO RUIZ



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Octubre 2025



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 7 de octubre de 2025.

C. Bruno Coutiño Barrera

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
"Evaluación de la calidad del agua del río Los Amates en el municipio de Villaflores,
Chiapas"

En la modalidad de: Informe Técnico

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Mtro. José Luis Orantes Gómez

Mtra. Edalí Camacho Ruiz

Mtra. Nelly de los Ángeles Roblero Galdámez

Firmas:

Ccp. Expediente

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVOS	7
OBJETIVO GENERAL.....	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
ANTECEDENTES	8
MARCO TEÓRICO.....	10
1. AGUAS SUPERFICIALES	10
1.1. AGUAS SUPERFICIALES EN MÉXICO	11
1.2. AGUAS SUPERFICIALES EN CHIAPAS	12
1.3. AGUAS SUPERFICIALES EN EL MUNICIPIO DE VILLAFLORES, CHIAPAS	12
2. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	13
2.1. CONCEPTOS.....	14
3. CALIDAD DEL AGUA	15
4. INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA.....	15
4.1. INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA SEGÚN LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA)	16
4.2. INDICADORES Y SEMÁFORO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL POR LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA)	16
5. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	18
5.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)	18
5.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	19
5.3. TEMPERATURA.....	19
5.4. TURBIDEZ	20
5.5. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	20
5.6. OXÍGENO DISUELTO.....	20
5.7. NITRATOS.....	21
5.8. NITRITOS	21
5.9. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	21
6. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	22
6.1. COLIFORMES TOTALES.....	22

6.2. COLIFORMES FECALES.....	22
7. NORMATIVIDAD Y TÉCNICAS APLICABLES	23
MARCO METODOLÓGICO.....	27
1. TIPO, ENFOQUE Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PROYECTO.....	27
2. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO	28
3. MEDICIÓN DE PARÁMETROS	32
RESULTADOS	34
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	46
CONCLUSIÓN.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de puntos de muestreo.	29
Tabla 2. Distancia entre los puntos de muestreo.....	29
Tabla 3. Metodologías empleadas para la determinación de los parámetros.	32
Tabla 4. Caracterización de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Los Amates.	34
Gráfica 1. Variación del pH en dos épocas del año.....	35
Gráfica 2. Variación del OD en dos épocas del año.	36
Gráfica 3. Variación de la conductividad eléctrica en dos épocas del año.....	37
Gráfica 4. Variación de la temperatura en dos épocas del año.	38
Gráfica 5. Variación de la turbidez en dos épocas del año.	39
Gráfica 6. Variación del color verdadero en dos épocas del año.	40
Gráfica 7. Variación de los sólidos suspendidos totales en dos épocas del año.	41
Gráfica 8. Variación de los nitratos en dos épocas del año.	42
Gráfica 9. Variación de los nitritos en dos épocas del año.	43
Gráfica 10. Variación de los coliformes fecales en dos épocas del año.	44
Gráfica 11. Variación de los coliformes totales en dos épocas del año.	45
Tabla 5. Comparación de Resultados con el Índice de Calidad del Agua de CONAGUA	48

INTRODUCCIÓN

El agua de la hidrosfera se encuentra repartida de forma muy desigual en nuestro planeta. La mayor parte de ésta se encuentra en forma líquida, aproximadamente el 98%, pero también podemos encontrarla en estado sólido, es decir en forma de hielo, y en una mínima cantidad en estado gaseoso, formando vapor de agua en las nubes (Martos, 2016).

La necesidad de agua dulce que tenemos los seres humanos ha sido uno de los motivos por los cuales desde la antigüedad las poblaciones humanas se han ido estableciendo cerca de lagos y ríos. Pero esta necesidad se ha incrementado en gran medida durante los últimos años debido a la gran cantidad de usos que le damos a este preciado recurso (Martos, 2016).

Las aguas dulces del mundo constituyen un recurso escaso, amenazado y en peligro. De acuerdo con los estudios sobre los balances hídricos del planeta solamente el 0.007% de las aguas dulces se encuentran realmente disponibles a todos los usos humanos directos. De esta pequeñísima porción dependen procesos sociales vitales (Toledo, 2002).

Además de ser esencial para el buen funcionamiento del cuerpo humano, el agua promueve la vida de muchas otras maneras. Sin ella no podríamos cultivar, criar animales, lavar los alimentos y mantener una buena higiene. El agua también ha sido clave en la evolución de la civilización pues ha servido como un medio para viajar y una fuente de energía para las fábricas. Dado que el agua también puede existir como vapor, se puede almacenar en la atmósfera y regresar en forma de lluvia en cualquier parte del planeta. Por si fuera poco, los océanos ayudan a regular el clima, absorbiendo el calor en el verano y liberándolo durante el invierno. Estos mismos océanos sirven también como un hogar para un sinnúmero de plantas y animales (Campos, 2019).

La protección de fuentes de agua incluye una amplia variedad de acciones y actividades destinadas a salvaguardar, mantener o mejorar la calidad o cantidad de las fuentes de agua potable y sus áreas contribuyentes. Estas actividades pueden depender del tipo de fuente que se esté protegiendo (por ejemplo, agua subterránea, un embalse o un río) (Basic Information About Source Water Protection, 2025).

Con el objetivo de conocer el estado de “salud” del río Los Amates, esta investigación se enfocó en realizar un diagnóstico integral del estado actual de este recurso hídrico, mediante la identificación de

contaminantes presentes y la evaluación del grado de afectación en el ecosistema. Este tipo de análisis resulta esencial para detectar las fuentes de contaminación, valorar el impacto de las actividades humanas sobre el entorno natural y, en consecuencia, establecer medidas de conservación y mejora de la calidad del agua.

La relevancia de esta evaluación radica en garantizar la integridad de los ecosistemas acuáticos, proteger la biodiversidad local y preservar la calidad del agua para diversos usos: agrícola, recreativo y de consumo humano. Asimismo, este diagnóstico contribuye a fomentar un desarrollo sostenible en la región, al proporcionar información técnica clave para la toma de decisiones en materia de gestión ambiental y planificación territorial.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es un recurso esencial para el funcionamiento de todos los elementos vivos del planeta. Desde tiempo atrás, este recurso ha sufrido una gran alteración en su calidad debido a distintos factores que le afectan, uno de ellos es la contaminación de las aguas residuales que son descargadas en ríos, afectando en gran manera los parámetros físicos, químicos y biológicos de esta. Se han realizado estudios de escala internacional que refuerzan la importancia de este problema, tal es el caso de un estudio realizado en Colombia, por Rondón (2015), el cual menciona que se ha generado la alteración del paisaje, incremento de sedimentos en los sistemas hídricos, pérdida de resiliencia de cuencas hidrográficas y deforestación de bosques asociados a cuerpos de agua, viéndose alteradas las propiedades naturales del agua.

En el caso del territorio nacional, las descargas de aguas residuales representan un problema de contaminación importante para los cuerpos de agua donde son descargados, algunos estudios reportados para México como el de Guzmán-Colis et al. (2011), mencionan que la evaluación espacial de la calidad del agua del río San Pedro, a partir del comportamiento de los diferentes subíndices del IGCA, mostró que prácticamente en todo el cauce la calidad del agua fue pobre con respecto a los parámetros de campo, otro estudio es el reportado por Chulim et al. (2014), quienes comentan que a los cauces de los ríos se vierte agua de origen residual y de nacimientos termales, que modifican la calidad de esta.

Para el contexto estatal, la situación desafortunadamente no es diferente tal como se reporta en el estudio realizado por Graniel y Carrillo (2006), quienes mencionan que las fuentes de agua se han contaminado debido al aumento de la actividad industrial, agrícola y al desarrollo de los centros urbanos, también Arcía (2015) reporta un estudio realizado en el Río Lagartero, en el municipio de Arriaga, donde nos menciona que existe una disminución de la calidad del agua debido a las emisiones constantes de contaminantes.

De la problemática antes planteada, se conoce que municipios del estado, como Villaflores, las aguas residuales provenientes de actividades agrícolas y domésticas no reciben tratamiento alguno, por ello, en el presente estudio se pretende realizar una evaluación de calidad del agua del río Los Amates, y a partir de ello realizar un diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica para ese cuerpo de agua en particular, lo cual servirá de base para los tomadores de decisiones y llevar a cabo acciones que permitan recuperar la calidad del cuerpo de agua.

A partir de la problemática previamente identificada, se reconoce que, en diversos municipios del estado, como Villaflores, las aguas residuales generadas por actividades agrícolas y domésticas son vertidas sin recibir tratamiento alguno. Esta situación representa una amenaza significativa para los cuerpos de agua de la región, entre ellos el río Los Amates. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo realizar una evaluación integral de la calidad del agua de dicho río, mediante el análisis de sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Este diagnóstico permitirá establecer el grado de deterioro del recurso hídrico y servirá como base técnica para que los tomadores de decisiones implementen estrategias orientadas a la recuperación y conservación de la calidad del agua, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y al bienestar de las comunidades que dependen de este ecosistema.

JUSTIFICACIÓN

La calidad del agua constituye un factor crítico para la salud pública, el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y el desarrollo socioeconómico de las comunidades. En el municipio de Villaflores, Chiapas, el río Los Amates representa una fuente estratégica de agua para el abastecimiento local, el riego agrícola y diversas actividades productivas. Además, este cuerpo de agua sostiene un ecosistema acuático que forma parte integral de la biodiversidad regional y del equilibrio ambiental.

Ante los crecientes impactos derivados de actividades humanas y la ausencia de tratamiento adecuado de aguas residuales, la evaluación de la calidad del agua del río Los Amates se presenta como una necesidad urgente. Este diagnóstico permitirá identificar los niveles de contaminación, caracterizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y generar información técnica clave para la toma de decisiones orientadas a la recuperación y conservación del recurso hídrico.

Es de vital importancia realizar esta investigación para los actores locales que se benefician de este río, ya que deben conocer la calidad del agua que ellos consumen día con día para su uso cotidiano, además, actividades como la agricultura, la industria y el turismo dependen de un suministro de agua limpia y segura. Evaluar la calidad del agua ayuda a garantizar que estos sectores puedan operar de manera sostenible, evitando impactos negativos que podrían surgir de la contaminación del agua.

En el ámbito municipal, no se cuenta con estudios previos que evalúen la calidad del agua del río Los Amates, lo que evidencia una importante laguna de conocimiento sobre el estado ambiental de este recurso hídrico. Por ello, resulta crucial llevar a cabo esta investigación, con el propósito de diagnosticar el estado de “salud” del río y determinar su grado de cumplimiento con las normativas ambientales vigentes.

La evaluación permitirá verificar si el agua del río satisface los estándares establecidos por las regulaciones locales, estatales y nacionales, facilitando la identificación de fuentes de contaminación y la formulación de medidas correctivas que aseguren la conformidad legal y la protección del ecosistema. Asimismo, este estudio representa una oportunidad estratégica para fomentar la conciencia y la educación ambiental entre los habitantes del municipio de Villaflores.

Los resultados obtenidos podrán ser utilizados como herramienta de sensibilización comunitaria, promoviendo prácticas más sostenibles en el uso y manejo del agua, y fortaleciendo la participación ciudadana en la conservación de los recursos naturales.

Este estudio no solo proporcionará una visión clara del estado actual del agua, sino que también ofrecerá un enfoque distinto a la población sobre el recurso hídrico para mejorar su calidad y asegurar una gestión adecuada de este recurso vital para el municipio de Villaflores, Chiapas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua del río Los Amates en el municipio de Villaflores, Chiapas, mediante el análisis de parámetros físicos químicos y biológicos de acuerdo a la normatividad oficial vigente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los puntos de muestreo para la toma de muestras en dos épocas del año, evaluando las variaciones estacionales de los parámetros analizados de acuerdo a la Norma Técnica Mexicana PROY-NMX-AA-121/1-SCFI-2008.
- Analizar los parámetros físicos del agua: pH (NMX-AA-008-SCFI-2016), conductividad eléctrica (NMX-AA-093-SCFI-2018), temperatura (NMX-AA-007-SCFI-2013), turbidez (NMX-AA-038-SCFI-2001), color (NMX-AA-017-1980) sólidos suspendidos totales (NMX-AA-034-SCFI-2015) y oxígeno disuelto (NMX-AA-012-SCFI-2001) del río Los Amates de acuerdo a las Normas Técnicas Mexicanas.
- Determinar los parámetros químicos del agua: nitratos (NMX-AA-079-SCFI-2001), nitritos (NMX-AA-099-SCFI-2006) y DQO (NMX-AA-030/2-SCFI-2011) del río Los Amates de acuerdo a las Normas Técnicas Mexicanas.
- Determinar el contenido de contaminantes microbiológicos: coliformes fecales y totales (NMX-AA-042-SCFI-2015) en el agua con base en las Normas Técnicas Mexicanas.

ANTECEDENTES

Históricamente, la evaluación de la calidad del agua en cuerpos fluviales de Chiapas ha sido limitada, y en muchos casos, las comunidades rurales carecen de datos confiables sobre el estado de los recursos hídricos que utilizan. Los estudios previos realizados en otros ríos de la región han demostrado que la contaminación puede provocar problemas como la pérdida de biodiversidad, la disminución de la disponibilidad de agua de buena calidad, entre otros.

Uno de estos estudios, es el realizado en Colombia por Trujillo-Zapata et al. (2021), que tuvo como objetivo determinar la variación de la calidad de agua de los principales afluentes que surten el acueducto del municipio de Pitalito, en el cual los resultados mostraron que los problemas de contaminación se presentan principalmente por aporte de contaminantes de naturaleza orgánica y elementos con alto contenido de fósforo (hipereutrofia: $> 1,00$, siendo este el valor más alto a partir del ICOTRO que determina la contaminación por trofia), provenientes de aguas residuales y agropecuarias que son vertidas a las afluentes.

De igual manera, Fernández-Rodríguez y Guardado-Lacaba (2021), realizaron un estudio en Cuba, donde se evaluó la composición físico-química y bacteriológica del agua del río Cabaña, arrojando resultados negativos referente a la degradación del río debido a las descargas de aguas residuales que son vertidas en él, revelando valores de 0-49 de acuerdo al Criterio general de calidad de las aguas según ICAsup de Montoya y Contreras 1997, lo que se refleja en la calidad del agua como contaminada a altamente contaminada.

Para el territorio nacional, desafortunadamente la situación es muy similar, como se revelan en los estudios hechos por Vargas et al. (2020), donde evaluaron parámetros físicos y químicos de las cuencas tributarias (Apulco y Tonaya) y los resultados reflejaron que la calidad ecológica de las franjas ribereñas en los sitios muestreados en las cuencas tributarias de Tonaya y Apulco, presentan condiciones pobres, el contenido de nitrógeno en las aguas rebasa los límites permisibles para uso potable y riego agrícola (36.41 mg/L). El siguiente estudio es el elaborado por García-Rodríguez et al. (2021), donde se evaluó la calidad del agua de arroyos tributarios y esteros contiguos al río Chiquito, indicando que la calidad del agua se clasificó desde medianamente contaminada a buena, en tanto que según el modelo de la CONAGUA la categorización fue levemente contaminada, aceptable y excelente.

En el contexto chiapaneco, también se han realizado estudios para la evaluación de la calidad de agua en ríos, uno de ellos es el de Escalona-Domenech et al. (2022), en el que se determinaron parámetros físicos y químicos del agua, donde la evaluación de la calidad de las riberas mostró que las condiciones de los sitios variaron de “malas” a “muy buenas”. La calidad de los 13 sitios (tramos de 250 m) en el río Margaritas se evaluó con el sistema de puntuación de cero a 150, según lo indicado por el protocolo del RQI. Los sitios con menor calidad de las riberas fueron M3 y M2 clasificados como “malo” (36) y “pobre” (40), respectivamente. Otro de los estudios previos en el estado de Chiapas, es el realizado por Cancino (2022), en el que se determinaron análisis microbiológicos y fisicoquímicos en tres periodos diferentes, reflejando resultados negativos que revelan que la cuenca alta del río Sabinal presenta contaminantes que causan efectos “nocivos” a la salud del ser humano y no puede considerarse como fuente de abastecimiento de agua potable.

Este informe técnico tiene como propósito presentar un diagnóstico actualizado sobre la calidad del agua del río Los Amates, ubicado en el municipio de Villaflores, Chiapas. El análisis se fundamenta en la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, conforme a la normatividad ambiental vigente.

Los resultados obtenidos permitirán identificar posibles fuentes de contaminación y establecer las condiciones actuales del recurso hídrico, lo que facilitará el diseño de estrategias orientadas a su gestión sustentable. Esta información será clave para promover la salud ambiental, proteger la biodiversidad acuática y mejorar el bienestar de las comunidades locales que dependen del río.

Asimismo, el diagnóstico servirá como base técnica para futuras investigaciones, planes de conservación y acciones de restauración, contribuyendo al fortalecimiento de políticas públicas y al manejo eficiente y sostenible del agua en la región.

MARCO TEÓRICO

1. AGUAS SUPERFICIALES

El agua superficial es aquella que corre por cauces o se mantiene en embalses sobre la superficie del planeta. En un territorio particular, el agua superficial proviene fundamentalmente de la precipitación, aunque en algunos casos se le suma la de ríos que viajan desde otras regiones. (*Boletín Estadístico Y Geográfico*, 2018).

En el planeta existen alrededor de 1 400 millones de kilómetros cúbicos de agua, de los cuales 2.5% corresponden a agua dulce, localizada principalmente en ríos, lagos, glaciares, mantos de hielo y acuíferos (UNEP-GEMS, 2007). Del total de agua dulce, cerca de tres cuartas partes están contenidas en los glaciares y mantos de hielo, la mayoría (97%) en Antártica, el Ártico y Groenlandia. Las aguas superficiales (lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales) retienen de manera muy heterogénea menos del uno por ciento del agua dulce no congelada: tan solo en los lagos del mundo se almacenan más de 40 veces lo contenido en ríos y arroyos (91 000 versus 2 120 km³) y aproximadamente nueve veces lo almacenado en los pantanos y humedales (Estadística E Información Ambiental, 2018.).

El agua superficial, es un recurso vital para los ecosistemas y las actividades humanas. Su importancia radica en su accesibilidad y en su rol como fuente de agua potable, riego agrícola, generación de energía hidroeléctrica y soporte de la biodiversidad acuática y terrestre. La protección y gestión sostenible del agua superficial es esencial para mantener estos beneficios y prevenir problemas como la contaminación y la pérdida de biodiversidad, que pueden comprometer el equilibrio ambiental y la disponibilidad del recurso.

La conservación del agua superficial requiere una articulación efectiva entre prácticas de gestión sostenible, protección ambiental y concienciación social. Para lograrlo, es indispensable implementar estrategias integrales que aborden tanto las causas como los efectos de la contaminación hídrica.

Entre las acciones clave se encuentra el control de las descargas de residuos industriales, agrícolas y urbanos en cuerpos de agua, lo cual demanda la mejora de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y la adopción de tecnologías limpias. Asimismo, es fundamental reducir el uso de productos químicos nocivos en la agricultura, como fertilizantes sintéticos y pesticidas, promoviendo alternativas agroecológicas que minimicen el impacto ambiental.

Estas medidas deben ir acompañadas de programas de educación ambiental que sensibilicen a la población sobre el valor del recurso hídrico y fomenten prácticas responsables en su uso y manejo. Solo a través de un enfoque multisectorial y participativo será posible garantizar la conservación de los ecosistemas acuáticos y la disponibilidad de agua para las generaciones futuras.

1.1. AGUAS SUPERFICIALES EN MÉXICO

En México, 60% del agua potable proviene de los cuerpos de agua superficiales. De los principales ríos, siete representan 71% del agua superficial del país, distribuidos en la zona centro y sur del país, mientras que sólo 29% del agua superficial se ubica en la zona norte. (Staff, 2023).

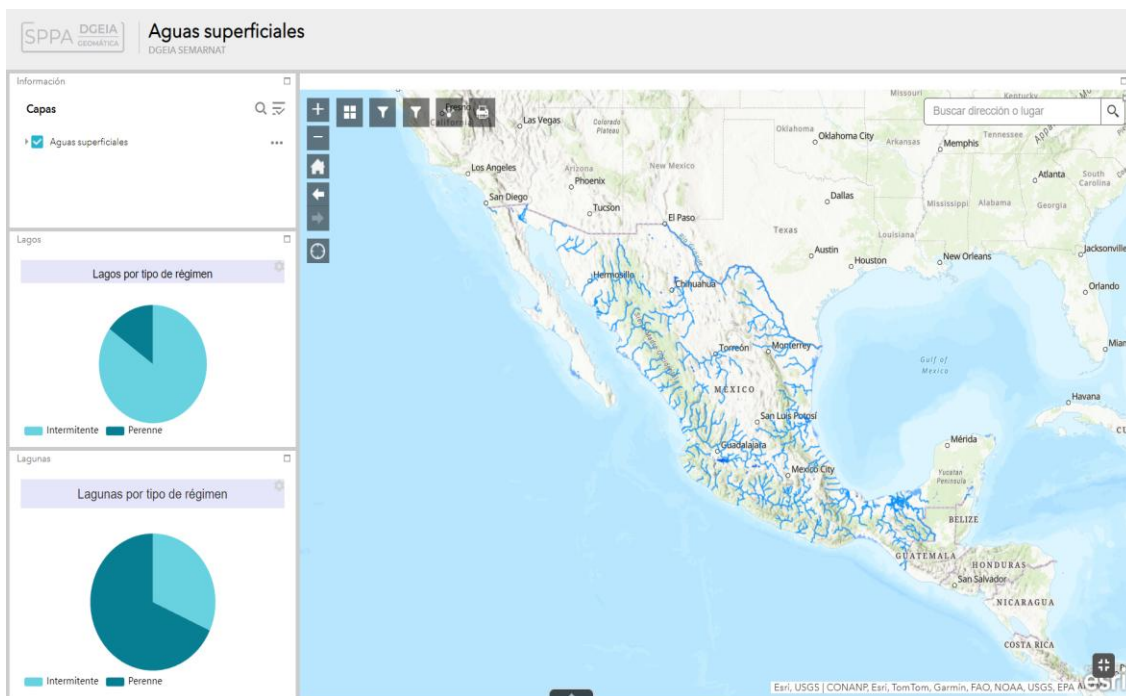


Figura 1. Aguas superficiales en México. Fuente: (Aguas Superficiales, 2024)

1.2. AGUAS SUPERFICIALES EN CHIAPAS

Las aguas superficiales en Chiapas comprenden ríos, lagos, lagunas y otros cuerpos de agua que desempeñan un papel fundamental en la conservación ambiental, el desarrollo económico y el bienestar social de las comunidades locales. Estos sistemas hídricos son esenciales para el mantenimiento de la biodiversidad, el abastecimiento de agua, la producción agrícola, la pesca, el turismo y otras actividades productivas.

En regiones donde convergen cuerpos de agua con selvas tropicales densas, se conforman ecosistemas altamente diversos y funcionales, que albergan una gran variedad de especies de flora y fauna. La interacción entre el agua superficial y los ecosistemas terrestres genera corredores biológicos, zonas de recarga hídrica y hábitats críticos que sostienen el equilibrio ecológico regional.

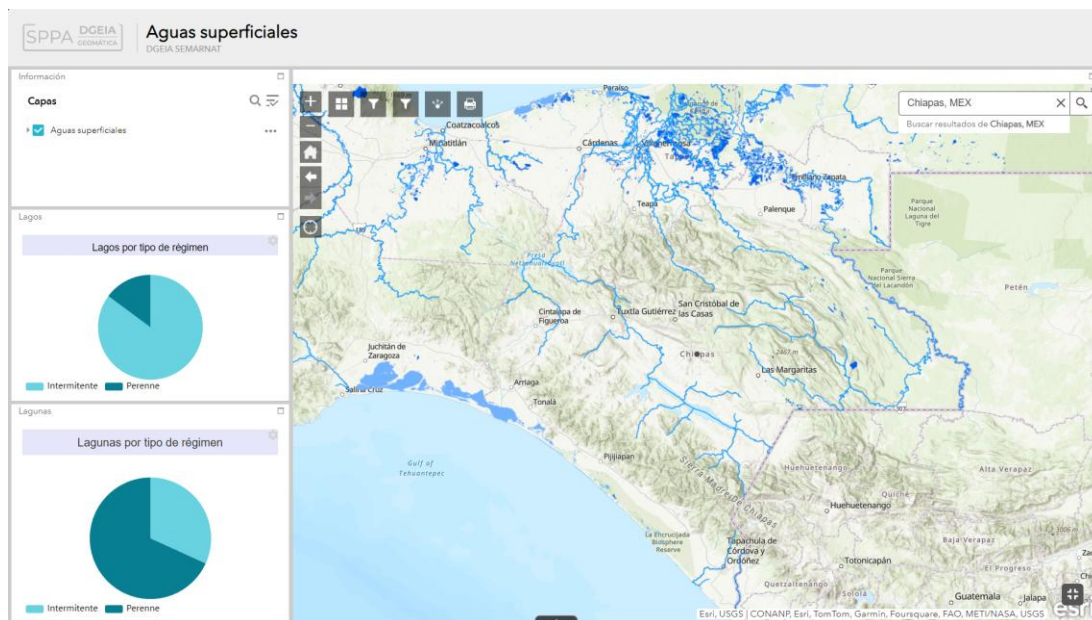


Figura 2. Aguas superficiales en el contexto estatal. Fuente: (Aguas Superficiales, 2024)

1.3. AGUAS SUPERFICIALES EN EL MUNICIPIO DE VILLAFLORES, CHIAPAS

El municipio de Villaflores, Chiapas, se distingue por la presencia de una red hidrográfica compuesta por ríos, arroyos y manantiales que conforman sus principales recursos hídricos superficiales. Estos cuerpos

de agua desempeñan un papel esencial en el abastecimiento para consumo humano, el riego agrícola, la ganadería y otras actividades económicas que sustentan el desarrollo local.

Además de su valor productivo, estos sistemas acuáticos contribuyen al equilibrio ecológico regional, al formar parte de corredores biológicos y hábitats que sostienen la biodiversidad. La interacción entre el agua superficial y los ecosistemas circundantes, como selvas y zonas agrícolas, genera dinámicas ambientales que requieren una gestión integrada y sostenible.

La conservación y monitoreo de estos recursos es fundamental para garantizar su disponibilidad futura, prevenir conflictos por el uso del agua y fortalecer la resiliencia de las comunidades ante fenómenos como sequías o contaminación.

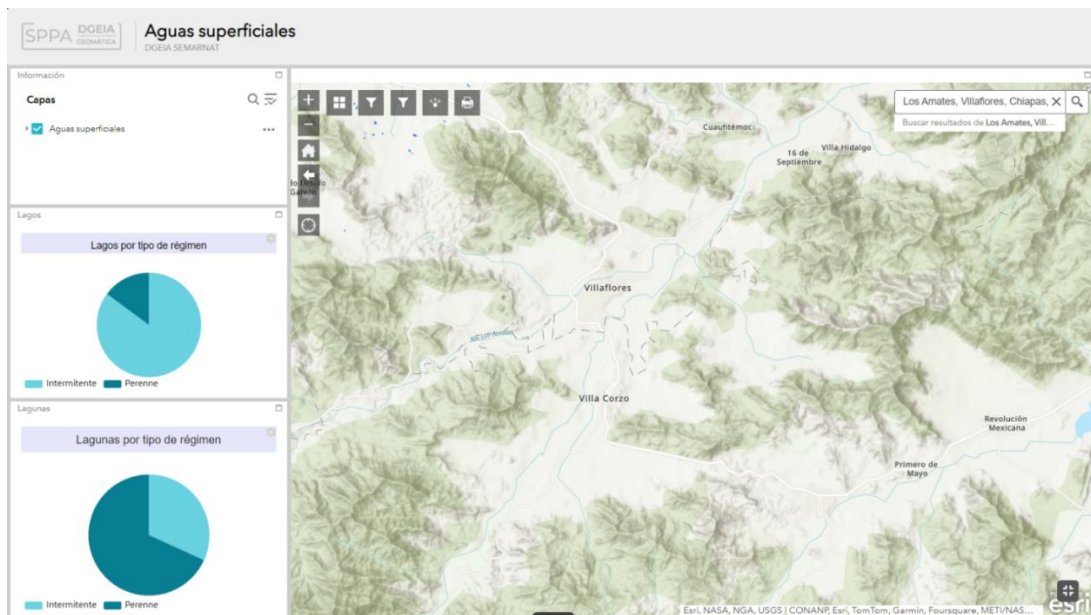


Figura 3. Aguas superficiales en el municipio de Villaflores. Fuente: (Aguas Superficiales, 2024)

2. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Conocer los conceptos básicos de la calidad del agua es esencial para entender cómo factores físicos, químicos y biológicos afectan su estado y su seguridad para diversos usos, como el consumo humano, la agricultura y la recreación. Esta comprensión permite identificar rápidamente problemas de contaminación y sus posibles causas, ayudando a tomar decisiones informadas sobre su tratamiento y conservación. Además, familiarizarse con estos conceptos fomenta prácticas responsables de uso y

manejo del agua, promoviendo la protección de los ecosistemas y asegurando un recurso limpio y seguro para las generaciones presentes y futuras.

2.1. CONCEPTOS

Calidad del agua: La calidad del agua, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud y otros organismos internacionales, se puede resumir como las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano (Baeza Gómez, 2016).

Calidad: La calidad se refiere a la capacidad que posee un objeto para satisfacer necesidades implícitas o explícitas según un parámetro, un cumplimiento de requisitos de cualidad (Enciclopedia Significados, 2023).

Límite permisible: Valor o intervalo de valores asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las aguas residuales descargadas en cuerpos receptores propiedad de la Nación (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022).

Parámetro: Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y/o biológica del agua (DOF, 2021a).

Aguas claras o Aguas de primer uso: Aquellas provenientes de distintas fuentes naturales y de almacenamientos artificiales que no han sido objeto de uso previo alguno (LAN, 1992).

Aguas Residuales: Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas (LAN, 1992 a).

Cuerpo receptor: La corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar los suelos, subsuelo o los acuíferos (LAN, 1992b).

Descarga: La acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor (LAN, 1992c).

3. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua, en general, se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. Este concepto ha sido asociado principalmente al uso del agua para consumo humano, sin embargo, dependiendo de otros usos también se puede definir la calidad del agua en función de ello (Baeza Gómez, 2016a).

La calidad del agua se ve gravemente afectada debido a diversos factores, como pueden ser las actividades humanas, tales como la producción agrícola y ganadera, producción industrial, cambios de uso de suelo, descargas de residuos sólidos y líquidos a cuerpos de agua y, descargas de agua sin tener un tratamiento previo o adecuado para ser vertidas nuevamente en los cuerpos de agua.

La calidad del agua describe su condición de acuerdo con sus características químicas, físicas y biológicas, que permiten su uso para un determinado fin. Es decir, la calidad necesaria para consumo humano no es la misma que la calidad para sostener vida acuática, o la de la destinada para fines de riego o recreación (WHO 2017). El agua segura debe de ser apta para uso y consumo, así como ser de buena calidad y no generar enfermedades. El agua clasificada como potable no debe representar un riesgo para la salud cuando se consume durante toda la vida (OPS-WHO 2017, OPS 2022).

La vigilancia de la calidad del agua desde la fuente hasta el consumo humano debe ser una prioridad de política y una efectiva estrategia para consolidar acciones hacia el desarrollo sostenible. Mejorar la conciencia individual, familiar y comunitaria incluida la empresarial y lograr una cultura del agua ayudará significativamente a lograr planes de seguridad del agua no sólo a nivel de los servicios de agua, sino también a nivel de cada cuenca (Chávez, 2018).

4. INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA

La gestión del recurso hídrico es fundamental para asegurar su disponibilidad y calidad, especialmente en un contexto de creciente demanda y cambio climático. Detectar cambios en el estado del agua a tiempo permite tomar medidas preventivas y correctivas que ayudan a preservar los ecosistemas acuáticos y proteger la salud humana. Según Castro et al. (2014), los indicadores ambientales nacen como respuesta a la necesidad de obtener información relevante sobre diversos temas ambientales; los datos obtenidos se deben presentar en un formato que permita su análisis y que sea favorable para el uso de estadísticas.

Los indicadores de calidad del agua son parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos que permiten evaluar el estado del agua y su idoneidad para distintos usos, como el consumo humano, la agricultura, la recreación o la industria. Estos indicadores proporcionan información sobre la presencia de contaminantes, nutrientes, organismos patógenos y otras sustancias que pueden afectar la salud humana y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos.

4.1. INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA SEGÚN LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA)

Los Indicadores de calidad del agua son una herramienta cuantitativa que utiliza la Gerencia de Calidad de Agua de la Conagua para determinar cómo se encuentra la calidad del agua en diversos sitios de los cuerpos de agua nacionales, clasificados como lóticos, lénticos, costeros o subterráneos (CONAGUA, 2024).

4.2. INDICADORES Y SEMÁFORO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL POR LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA)

Se establecen a partir de los resultados del monitoreo nacional realizado por la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA), gestionada por la Gerencia de Calidad del Agua de la Subdirección General Técnica.

Los Indicadores superficiales son 8 parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Coliformes fecales (CF), *Escherichia coli*, (E_COLI), Enterococos fecales (ENTEROC_FEC), porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto (OD%) y Toxicidad aguda (TOX) (Figura 4).

CALIDAD DEL AGUA DE CUERPOS LÓTICOS									
INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA				CALIFICACIÓN, CÓDIGO DE COLORES Y ESCALA DE CALIDAD DEL AGUA DEL INDICADOR					SEMAFORO
INDICADOR	CAMPOS DE LA BASE DE DATOS	ABREVIACIÓN	UNIDADES	CUMPLIMIENTO			INCUMPLIMIENTO		COLOR DEL SEMÁFORO EN CASO DE INCUMPLIMIENTO DEL INDICADOR
				EXCELENTE	BUENA CALIDAD	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, 5 DÍAS	DBO_TOT	DBO	mg/L	DBO<=3	3<DBO<=6	6<DBO<=30	30<DBO<=120	DBO>120	ROJO
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	DQO_TOT	DQO	mg/L	DQO<=10	10<DQO<=20	20<DQO<=40	40<DQO<=200	DQO>200	ROJO
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SST	SST	mg/L	SST<=25	25<SST<=75	75<SST<=150	150<SST<=400	SST>400	AMARILLO
COLIFORMES FECALES	COLI_FEC	CF	NMP/100 mL	CF<=100	100<CF<=200	200<CF<=1000	1000<CF<=10000	CF>10000	AMARILLO
ESCHERICHIA COLI	E_COLI	EC	NMP/100 mL	EC<=250	250<EC<=500	500<EC<=1000	1000<EC<=10000	EC>10000	AMARILLO
PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO	OD_%	OD	%	70<OD<=110	50<OD<=70 Y 110<OD<=120	30<OD<=50 Y 120<OD<=130	10<OD<=30 Y 130<OD<=150	OD<=10 Y OD>150	AMARILLO
INDICADOR	CAMPOS DE LA BASE DE DATOS	ABREVIACIÓN	UNIDADES	CUMPLIMIENTO			INCUMPLIMIENTO		COLOR DEL SEMÁFORO EN CASO DE INCUMPLIMIENTO DEL INDICADOR
				NO TÓXICO	TOXICIDAD BAJA	TOXICIDAD MODERADA	TOXICIDAD ALTA		
TOXICIDAD DAPHNIA MAGNA, 48 h	TOX_D_48_UT	TA	Unidades de Toxicidad	TA < 1	1<=TA<1.33	1.33<TA< 5	TA >= 5		ROJO
TOXICIDAD VIBRIO FISCHERI, 15 min	TOX_V_15_UT	TA	Unidades de Toxicidad	TA < 1	1<=TA<1.33	1.33<TA< 5	TA >= 5		ROJO
TODOS LOS INDICADORES	En caso de cumplimiento de todos los Indicadores, el color del semáforo es verde								VERDE

Figura 4. Escala de clasificación de la calidad de agua superficial, cuerpos de agua lóticos (ríos, arroyos y corrientes).

Fuente:(CONAGUA, 2024).

Además, se utiliza un Semáforo de calidad del agua, que clasifica la calidad del agua en un sitio de monitoreo específico. Esta clasificación se basa en rangos de concentración de cada parámetro indicador, creando así una escala de cumplimiento que asigna un color: verde para la mejor calidad, amarillo para calidad media y rojo para mala calidad (Figura 5).

SEMAFORO DE CALIDAD DEL AGUA		
Indicador	No cumple	Cumple
DBO	Rojo	Verde
DQO	Rojo	Verde
TOX	Rojo	Verde
ENTEROC	Rojo	Verde
E_COLI	Amarillo	Verde
CF	Amarillo	Verde
SST	Amarillo	Verde
OD%	Amarillo	Verde

Figura 5. Calificación de sitios superficiales con el semáforo de calidad del agua. Fuente:(CONAGUA, 2024).

Según CONAGUA (2024), el semáforo para agua superficial considera lo siguiente: si uno o más de los siguientes parámetros: DBO₅, DQO, ENTEROC_FEC, y/o TOX, incumplen, entonces el semáforo será de color rojo; si los parámetros anteriores cumplen, pero uno o más de los siguientes parámetros: SST, %OD, CF y/o E_COLI, incumplen, el semáforo será amarillo; y, cuando se da el cumplimiento de todos los indicadores, el semáforo será verde.

5. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información, pero no señala nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Orozco et al., 2005).

La ventaja de los métodos físicoquímicos se basa en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas (Ruiz et al., 2007).

5.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)

El pH es el Potencial de Hidrógeno. Es una medida para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una disolución. Con el pH determinamos la concentración de hidrogeniones en una disolución (De Comunicación Aconsa, 2023).

Existen ácidos fuertes (sulfúrico, clorhídrico) y ácidos débiles (acético, carbónico) y de la misma forma existen bases fuertes (sosa cáustica) y bases débiles (amoníaco, hidróxido de amonio). La fuerza de un ácido está determinada por su anión; anión fuerte (sulfúrico, clorhídrico) anión débil (carbonato, bicarbonato) y todos tienen el mismo catión (H⁺). Lo mismo ocurre con las bases (García, 2013).

- Cuando se une un anión (ácido) fuerte con un catión (base) fuerte, la sal resultante es neutra, ya que la acidez y basicidad están compensadas.
- Cuando se une un anión (ácido) fuerte, con un catión (base) débil, la sal resultante será ácida.
- Cuando se une un anión (ácido) débil con un catión (base) fuerte, la sal resultante será básica.

La medición del pH se emplea para expresar la intensidad de la acidez, la basicidad o la alcalinidad. El pH no indica la cantidad de compuestos ácidos o alcalinos en el agua, sino la fuerza que éstos tienen (García, 2013).

- Con pH 0-7 el agua es ácida, y lleva ácidos libres o sales ácidas.
- Con pH = 7 el agua es neutra, no tiene ni sales ácidas ni sales básicas; sólo contiene sales neutras.
- Con pH 7-14 el agua es básica o alcalina y lleva sales básicas.

5.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Se define la conductividad eléctrica como la capacidad de que una sustancia pueda conducir la corriente eléctrica, y, por tanto, es lo contrario de la resistencia eléctrica. Es una variable que depende de la cantidad de sales disueltas en un líquido. La unidad de medición utilizada comúnmente es el siemens/cm (S/cm), microsiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$), o milisiemens/cm (mS/cm) (García, 2013).

La conductividad eléctrica del agua proporciona una evaluación de la concentración total de iones disueltos en el agua y es una propiedad importante del agua frecuentemente medida en los sistemas acuícolas (Global Seafood Alliance, 2024).

5.3. TEMPERATURA

La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Este factor está relacionado al OD. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta,

en general, la de las sales, a su vez aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción (Minaya, 2017).

El aumento de la temperatura hasta un límite tolerable produce un incremento en las tasas de producción primaria y de respiración por parte de autótrofos y heterótrofos (Straile, 2005; Reynolds, 2006). A su vez, la temperatura también tiene efectos indirectos en los procesos físicos, resultando en gradientes de calor característicos que a su vez son responsables de gradientes químicos y de la distribución de organismos (Poole y Berman, 2001).

5.4. TURBIDEZ

La turbidez o turbiedad es la turbidez de un fluido causada por un gran número de partículas individuales que generalmente son invisibles a simple vista, similar al humo en el aire. La medición de la turbidez es una prueba clave de la calidad del agua (Academia Lab.,2024).

La turbidez es un indicador del material suspendido que puede ser originado por los sedimentos provenientes de las cuencas hidrográficas o vertimientos domésticos y/o industriales; se mide en Unidades Nefelométricas de Turbiedad, NTU (Ocasio, 2008).

Los fluidos pueden contener materia sólida en suspensión que consta de partículas de muchos tamaños diferentes. Mientras que algunos materiales suspendidos serán lo suficientemente grandes y pesados como para asentarse rápidamente en el fondo del recipiente si se deja reposar una muestra líquida (los sólidos sedimentables), las partículas muy pequeñas se asentarán muy lentamente o no se asentarán en absoluto si la muestra se deja reposar agitado regularmente o las partículas son coloidales. Estas pequeñas partículas sólidas hacen que el líquido parezca turbio (Academia Lab.,2024).

5.5. SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los SST, son parámetros utilizados en los tratamientos de aguas y la evaluación de la calidad de agua. Establecen la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro - mg/l), presentes, en suspensión. (Severiche, C., 2013).

5.6. OXÍGENO DISUELTO

El OD en el agua es la cantidad de oxígeno presente en forma líquida en el agua. Se mide en miligramos por litro (mg/L) o partes por millón (ppm). El OD resulta esencial para la supervivencia de la mayoría de las especies acuáticas, incluyendo a los peces, organismos invertebrados y plantas. Además, desempeña un papel crucial en el mantenimiento del equilibrio del ecosistema (Gunther, 2023).

5.7. NITRATOS

El nitrato es una de las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales, residuales y residuales tratadas, se presenta generalmente a nivel de trazas en el agua de superficie, pero puede alcanzar niveles elevados en las subterráneas (ONN, 2001).

5.8. NITRITOS

El nitrito es un agente etiológico potencial de metahemoglobinemia. El ácido nitroso, que se forma de nitritos en solución ácida, puede reaccionar con aminas secundarias ($RR'-NH$) para formar nitrosaminas ($RR'-N-N=O$) muchas de las cuales son conocidas por ser potentes agentes carcinogénicos (ONN, 2006).

El nitrito considerado como una etapa intermedia en el ciclo del nitrógeno puede estar presente en el agua como resultado de la descomposición biológica de materiales protéicos. En aguas superficiales crudas, las huellas de nitritos indican contaminación. También se puede producir el nitrito en las plantas de tratamiento o en los sistemas de distribución de agua, como resultado de la acción de bacterias sobre el nitrógeno amoniacal (ONN, 2006).

5.9. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

La DQO proporciona una medida del oxígeno equivalente a aquella porción de material orgánico contenido en una muestra susceptible de ser oxidada por un agente químico fuerte. Este análisis es utilizado para medir la fortaleza contaminante de los residuales domésticos e industriales (Navarro et al., 2005).

6. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

El análisis microbiológico del agua es un proceso constitutivo para priorizar la seguridad del agua que consumimos. Permite la detección y cuantificación de microorganismos, especialmente bacterias, que pueden estar presentes y potencialmente representar un riesgo para la salud pública (EILabWebMaster, 2023).

El mayor riesgo a la salud pública debido a los microbios del agua se relaciona con el consumo de agua de consumo humano contaminada con heces humanas o de animales, aunque puede haber otras fuentes y vías de exposición significativas (OMS, 2020)

6.1. COLIFORMES TOTALES

Las bacterias CT incluyen una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulados capaces de crecer en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares que fermentan la lactosa y producen ácido o aldehído en 24 horas a 35-37 °C (OMS, 2020).

Como parte de la fermentación de la lactosa, los CT producen la enzima *β-galactosidasa*. Tradicionalmente, se consideraba que las bacterias coliformes pertenecían a los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, pero el grupo es más heterogéneo e incluye otros géneros como *Serratia* y *Hafnia*. El grupo de los CT incluye especies fecales y ambientales (OMS, 2020).

6.2. COLIFORMES FECALES

Los CF son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común que se llama *Escherichia coli* y se transmiten, normalmente, en el intestino del hombre y en el de otros animales. Hay diversos tipos de *Escherichia*; algunos no causan daño en condiciones normales y otros pueden, incluso, ocasionar la muerte (Mora & Calvo, 2010).

Formas patógenas de *Escherichia* y de otras bacterias (por tener forma similar se denominan genéricamente CF) se transmiten, entre otras vías, a través de las excretas, y comúnmente, por la ingestión o el contacto con agua contaminada (Mora & Calvo, 2010).

7. NORMATIVIDAD Y TÉCNICAS APLICABLES

1. NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua Para Uso y Consumo Humano. Límites Permisibles de la Calidad del Agua.

Esta Norma establece los límites permisibles de calidad que debe cumplir el agua para uso y consumo humano y es de observancia obligatoria en el territorio nacional para los organismos responsables de los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.

No es aplicable para aguas residuales tratadas.

2. Norma Mexicana PROY-NMX-AA-121/1-SCFI-2008, Análisis de Agua - Aguas Naturales Epicontinentales, Costeras y Marinas – Muestreo.

Esta norma mexicana contiene los principios a ser aplicados en el diseño de programas de muestreo, técnicas de muestreo y el manejo de muestras de agua de ríos y corrientes para su evaluación física y química.

3. Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013, Análisis de Agua – Medición de la Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la medición de la temperatura, cuando se usan instrumentos de medición directa o instrumentos que indican expansiones o fuerzas proporcionales en los cambios de temperatura, en aguas naturales crudas no salinas (epicontinentales, subterráneas y pluviales), en aguas salinas (marinas, costeras, de estuarios, esteros, marismas y subterráneas), aguas residuales crudas municipales e industriales y aguas residuales tratadas municipales e industriales en el intervalo comprendido entre 0 °C y 45 °C.

Para su uso doméstico, como fuente de abastecimiento de agua potable, público urbano, recreativo con y sin contacto directo, riego agrícola, pecuario, acuacultura, industrial y protección de la vida acuática marina y de agua dulce y descarga en cuerpos receptores y alcantarillado municipal o reúso. Es de aplicación nacional.

4. Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016, Análisis de Agua. - Medición del Ph en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. - Método de Prueba.

Esta norma mexicana es de aplicación nacional y establece el método de prueba para la medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, en el intervalo de pH 0 a pH 14 y en un intervalo de temperatura de 0 °C a 50 °C.

5. Norma Mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001, Análisis de Agua - Determinación de Oxígeno Disuelto en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.

Dicha norma establece dos métodos de prueba para la determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales utilizando las técnicas de azida modificada y la electrométrica.

Es aplicable para el análisis de aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

6. Norma Mexicana NMX-AA-017-SCFI-2021, Análisis de Agua—Medición de Color Verdadero en Aguas Naturales, Residuales, Residuales Tratadas y Marinas - Mediante Coeficientes de Absorción Espectral - Método de prueba.

La presente Norma Mexicana, incluye un método para la medición de color verdadero en agua, a través de coeficientes de absorción espectral. Este método aplica para la medición de color verdadero en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas.

7. Norma Mexicana NMX-AA-030/2-SCFI-2011, Análisis de Agua - Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba - Parte 2 - Determinación del Índice de la Demanda Química de Oxígeno – Método de Tubo Sellado a Pequeña Escala.

Esta norma mexicana especifica un método para la determinación de la DQO usando el método de tubo sellado. La prueba es empírica y aplicable a cualquier muestra acuosa, que incluye todo tipo de agua residual y de desecho industrial. Esta norma es de aplicación nacional.

8. Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015, Análisis de Agua - Medición de Sólidos y Sales Disueltas en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.

Esta norma mexicana establece el método para la medición de sólidos y sales disueltas y aplica para aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Es de aplicación nacional.

El principio de este método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sólidos disueltos, así como la cantidad de materia orgánica contenidos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, mediante

la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, en su caso, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.

9. Norma Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001, Análisis de Agua - Determinación de Turbiedad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.

Esta norma mexicana establece el procedimiento para la determinación en campo y en el laboratorio de la turbiedad en muestras de agua residual, residual tratada y natural, en un intervalo de trabajo de 0,01 a 40 UNT, pudiendo incrementar este intervalo, realizando diluciones de muestras con concentraciones mayores de 40 UNT.

Este método se basa en la comparación entre la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas y la intensidad de luz dispersada por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones; a mayor dispersión de luz corresponde una mayor turbiedad. Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015, Análisis de Agua - Enumeración de Organismos Coliformes Totales, Organismos Coliformes Fecales (Termotolerantes) Y *Escherichia Coli* – Método del Número más Probable en Tubos Múltiples

La presente norma mexicana especifica el método enumeración en agua de organismos coliformes, organismos CF (termotolerantes) y *Escherichia coli* (*E. coli*) mediante cultivo en un medio líquido contenido en tubos múltiples y cálculo de su número más probable en la muestra, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Es de aplicación nacional.

Este método puede ser aplicado a todos los tipos de agua, incluyendo aquellos que contienen cantidades apreciables de materia suspendida.

10. Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001, Análisis de Aguas - Determinación de Nitratos En Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.

Esta norma mexicana establece dos métodos de prueba para la determinación de nitratos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

11. Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2018, Análisis de Agua - Determinación de la Conductividad Electrolítica - Método de Prueba.

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la determinación de la conductividad electrolítica en agua y es aplicable para agua potable, natural, tratada, residual, salina y residual tratada.

12. Norma Mexicana NMX-AA-099-SCFI-2006, Análisis de Agua – Determinación de Nitrógeno de Nitritos en Aguas Naturales y Residuales – Métodos de Prueba.

Esta norma mexicana especifica un método de prueba espectrofotométrico para la determinación de nitrógeno de nitritos, en agua natural, residual y residual tratada, en un intervalo de 0,01 mg/L a 1 mg/L de N-N02.

MARCO METODOLÓGICO

1. TIPO, ENFOQUE Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**Evaluación de la calidad del agua del río Los Amates en el municipio de Villaflores, Chiapas**” se clasifica como un estudio de tipo descriptivo, dado que su objetivo principal es identificar y caracterizar las condiciones actuales del recurso hídrico mediante la recopilación y análisis de datos. Este enfoque metodológico permite medir parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sin manipular variables ni establecer relaciones de causalidad, lo que lo distingue de estudios explicativos o experimentales.

Los estudios descriptivos son fundamentales para conocer la magnitud, distribución y alcance de posibles problemáticas ambientales, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones, diagnósticos más profundos o la formulación de medidas correctivas. Al centrarse en la observación y caracterización del entorno sin intervenir en él, esta evaluación responde plenamente a las características propias de un estudio descriptivo, contribuyendo al conocimiento técnico necesario para la gestión sustentable del recurso hídrico.

El proyecto “**Evaluación de la calidad del agua del río Los Amates en el municipio de Villaflores, Chiapas**” adopta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección sistemática y el análisis de datos numéricos para determinar el estado actual de la calidad del agua. Este enfoque permite obtener información precisa, verificable y reproducible mediante la medición objetiva de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Entre los indicadores evaluados se encuentran el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, la turbidez, la demanda química de oxígeno (DQO) y la presencia de coliformes fecales, los cuales son fundamentales para caracterizar la calidad del agua. La aplicación de métodos estadísticos facilita la interpretación de los resultados, la identificación de niveles de contaminación y la comparación con los límites permisibles establecidos por la normatividad ambiental vigente.

Al centrarse en datos concretos, este enfoque proporciona evidencia objetiva sobre la condición del río Los Amates, lo que contribuye a la formulación de estrategias de gestión sustentable y a la toma de decisiones informadas en materia de conservación hídrica.

El diseño de investigación de la evaluación de la calidad del agua del río Los Amates en el municipio de Villaflores, Chiapas, es de tipo no experimental, ya que no se manipulan variables de forma intencional. En lugar de intervenir en el entorno, se limita a la observación y análisis de las condiciones existentes del agua en dos periodos distintos: la temporada de lluvia y la de estiaje. Este enfoque permite identificar y describir el estado actual del recurso hídrico a partir de la recolección de datos en su contexto natural.

Para la obtención de información, no se utilizaron herramientas de intervención como entrevistas, encuestas o listas de cotejo. En su lugar, se realizaron mediciones directas de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante procedimientos estandarizados en laboratorio. Estos análisis incluyen variables como pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, turbidez y presencia de coliformes fecales, entre otros. Los resultados obtenidos proporcionan datos objetivos y cuantificables, permitiendo evaluar la calidad del agua de acuerdo con los criterios establecidos en normativas ambientales. Este enfoque no experimental resulta adecuado para describir y comparar las condiciones del río en los distintos periodos analizados, sin alterar el entorno natural.

2. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

La toma de muestras se llevó a cabo en el río Los Amates, ubicado en la ciudad de Villaflores, Chiapas, durante los años 2024 y 2025, durante la temporada de lluvia y la de estiaje, respectivamente. Este procedimiento tuvo como objetivo evaluar las posibles variaciones en la calidad del agua en función de las condiciones hidrometeorológicas. Para garantizar una representación adecuada del estado del río, se seleccionaron estratégicamente tres puntos de muestreo ubicados en las zonas poniente, oriente y centro, cubriendo de esta manera distintos sectores del cauce (Figura 6). No fue necesario realizar trámites para la obtención de permisos, ya que los sitios elegidos correspondían a áreas de acceso público. Durante el proceso de recolección, no se presentaron inconvenientes logísticos ni ambientales que obstaculizaran el desarrollo de las actividades, lo que permitió cumplir con el plan de muestreo establecido de manera eficiente y conforme a los protocolos metodológicos.

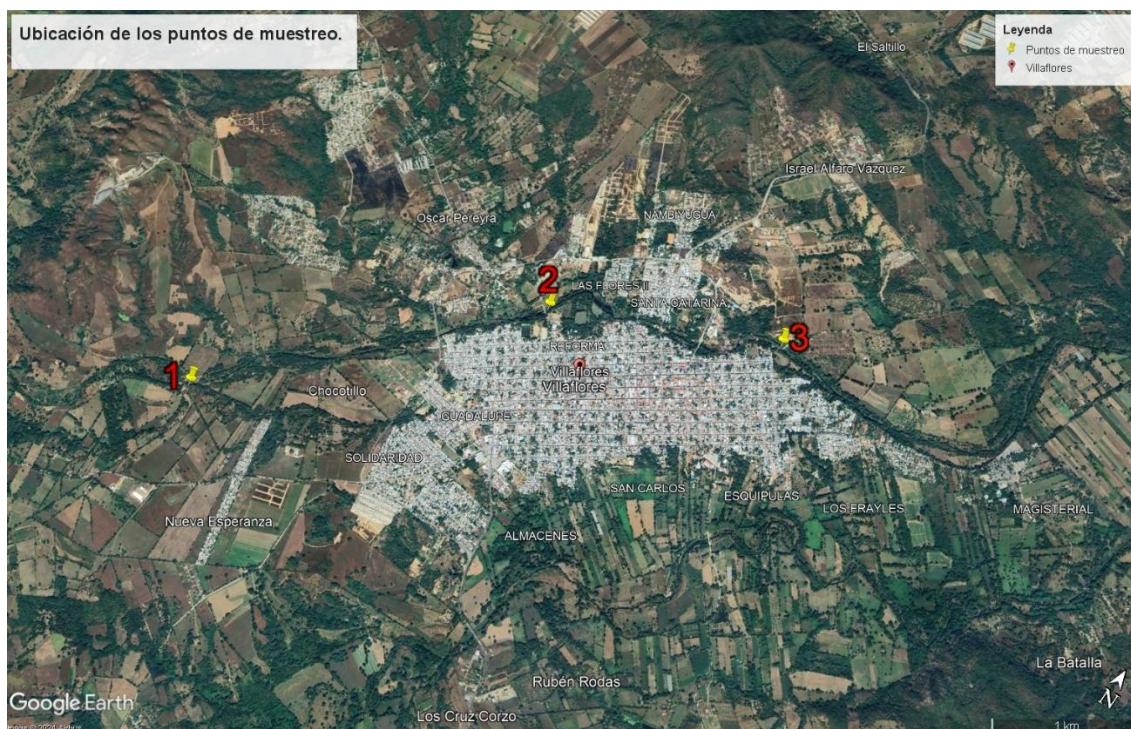


Figura 6. Ubicación de los puntos de muestro. Fuente: Elaboración Propia.

Los puntos fueron seleccionados por su ubicación y distribución a lo largo del cuerpo de agua, así como por la facilidad de acceso para la toma de muestras.

En la Tabla 1, se muestran las coordenadas geográficas de cada punto de muestreo.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de puntos de muestreo.

#	Zona	Coordenadas Geográficas	Referencia
1	Poniente	16°13'00.2"N 93°17'50.2"W	Col. Nueva Esperanza
2	Centro	16°14'07.9"N 93°16'41.4"W	Col. Reforma
3	Oriente	16°14'32.0"N 93°15'43.9"W	Col. El Matzumon

En la Tabla 2, se describe la distancia entre los puntos de muestreo:

Tabla 2. Distancia entre los puntos de muestreo.

Segmento	Zona	Distancia
1-2	Poniente - Centro	4.8 Km
2-3	Centro - Oriente	2.3 Km

En la Figura 7, se muestra el estado en el que se encontraba el río en los puntos muestreados durante la época de lluvia:



Figura 7. Puntos de muestreo. Poniente (1), Centro (2) y Oriente (3).

En la Figura 8, se muestra el estado en el que se encontraba el río en los puntos muestreados durante la época de estiaje:



Figura 8. Puntos de muestreo. Poniente (1), Centro (2) y Oriente (3).

Las muestras se recolectaron conforme a lo indicado en la norma PROY-NMX-AA-121/1-SCFI-2008 que establece los principios a ser aplicados en el diseño de programas de muestreo, técnicas de muestreo y el manejo de muestras de agua de ríos y corrientes para su evaluación física y química. Se obtendrá un total de 3 L por punto de muestreo, almacenados en envases de plástico previamente lavados. Para el análisis microbiológico (CF y CT), se utilizó 1 L; los 2 L restantes se destinaron a la medición de parámetros fisicoquímicos. Las determinaciones se realizaron por duplicado para asegurar la confiabilidad de los resultados.

Para las muestras microbiológicas se utilizaron bolsas especiales de polietileno estériles (fabricadas a tal fin), considerando que este tipo de envase es muy cómodo para la recolección y cerrado, ya que son los criterios establecidos por el laboratorio donde se analizaron las muestras.

3. MEDICIÓN DE PARÁMETROS

Los parámetros de Temperatura, pH, OD y Conductividad Eléctrica se midieron in situ con un equipo multiparamétrico, compuesto por una interfaz HI9829-00041 y una Sonda básica HI7609829 de la marca HANNA Instruments®.

Los demás análisis se realizaron en el laboratorio. Las muestras fueron trasladadas desde el lugar de estudio en una hielera, conservándose a una temperatura de 4 °C o menos.

En la Tabla 3, se presentan las metodologías que se emplearon para la medición de los parámetros.

Tabla 3. Metodologías empleadas para la determinación de los parámetros.

Parámetro	Unidad	Técnica Utilizada
Turbidez	NTU	NMX-AA-038-SCFI-2001
Color Verdadero	Pt-Co	NMX-AA-017-SCFI-2021
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015
Nitratos	mg/L	NMX-AA-079-SCFI-2001
Nitritos	mg/L	NMX-AA-099-SCFI-2021
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	NMX-AA-030/2-SCFI-2011
Coliformes Fecales (CF)	NMP /100ml	CCAYAC-M-004/8
Coliformes Totales (CT)	NMP /100ml	NOM-112-SSA1-1994

Los siguientes parámetros: Nitritos y Nitratos, fueron analizados en el laboratorio del Instituto Estatal del agua (INESA), mientras que los parámetros de CF y CT se analizaron en el laboratorio certificado del Industria Química del Istmo (IQUISA) para la época de lluvia, mientras que en la temporada de estiaje se realizaron en el laboratorio del programa educativo de Ingeniería Ambiental en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH).

El resto de los parámetros fueron analizados en el laboratorio del programa educativo de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH).

Después de realizar los análisis de los parámetros de calidad de agua, el trabajo en el laboratorio continuó con un conjunto de actividades críticas para asegurar que los resultados obtenidos sean precisos, confiables y útiles para la toma de decisiones:

1. Registro y Documentación de Resultados

Cada parámetro medido fue registrado cuidadosamente en los formatos de laboratorio correspondientes.

2. Verificación y Control de Calidad

Antes de reportar los resultados, se realizó una verificación de control de calidad para identificar posibles errores (revisión de duplicados y blancos, calibración, etc).

3. Análisis de Datos y Cálculos

En algunos casos, los resultados obtenidos requirieron procesamiento adicional (cálculo de concentraciones e interpretación estadística).

4. Archivo y Resguardo de Muestras

Finalmente, los resultados y los documentos de laboratorio se archivaron siguiendo las políticas de gestión documental para futuras referencias. Las muestras sobrantes, fueron desechadas en un sitio o recipiente adecuado.

Estas actividades post-análisis aseguran que los resultados del laboratorio sean útiles y cumplan con los más altos estándares de calidad, generando datos confiables para la toma de decisiones y el cumplimiento de los requerimientos regulatorios en la gestión de aguas.

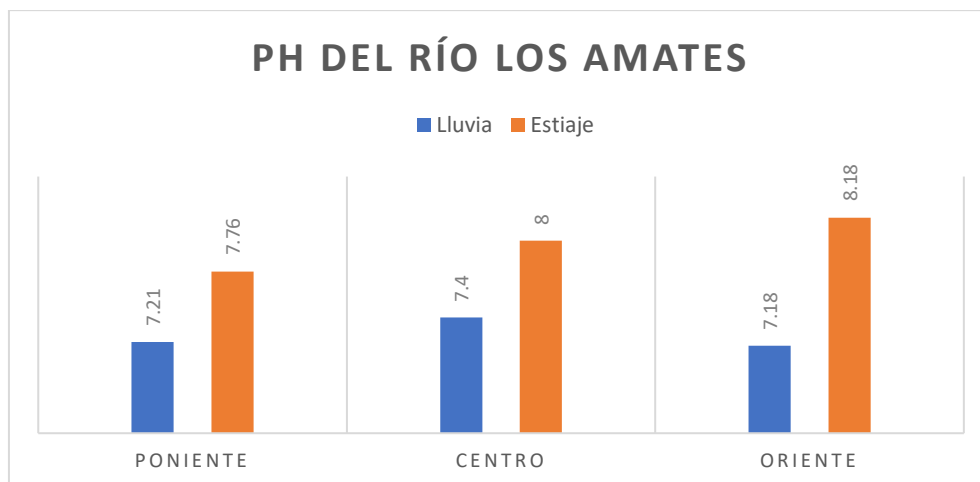
RESULTADOS

Los datos obtenidos del proceso de caracterización se presentan en la Tabla 4, tanto para la temporada de lluvia como en la temporada de estiaje.

Tabla 4. Caracterización de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Los Amates.

PARÁMETROS	UNIDADES	VALORES NOM-127-SSA1-2021	PUNTOS DE MUESTREO					
			PONIENTE		CENTRO		ORIENTE	
			LLUVIA	ESTIAJE	LLUVIA	ESTIAJE	LLUVIA	ESTIAJE
pH	Unidades de pH	6.5 a 8.5	7.21	7.76	7.40	8.18	7.18	8
OD	mg/L	/	10.05	9.1	7.5	7.6	7.2	7.2
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	µS/cm	50-550	194	222	202	222	206	244
TEMPERATURA	°C	<=35	25.41	25.73	25.82	23.08	25.19	24.31
TURBIDEZ	NTU	4.0	11.70	4.68	10.29	3.09	10.24	4.60
COLOR VERDADERO	Pt-Co	15	6	5	5	2	5	4
SST	mg/L	/	216	212	208	226	196	234
NITRATOS	mg/L	11	-	-	0.055	0.13	-	-
NITRITOS	mg/L	0.90	-	-	0.060	0.062	-	-
DQO	mg/L	/	0	0	0	0	0	0
CT	NMP /100ml	2 NMP	4,900	INCON	4,600	INCON	6,300	INCON
CF	NMP /100ml	<1.1 o no detectable	2,400	0	2,200	0	3,300	3000

Los valores mostrados con el símbolo "-" no pudieron ser medidos por falta de recursos económicos.



Gráfica 1. Variación del pH en dos épocas del año.

En la Gráfica 1 se evidencia una marcada variación estacional en los valores registrados, siendo significativamente más altos durante la época de estiaje. En este periodo, se observaron valores de 7.76 en la zona poniente, 8.00 en el centro y hasta 8.18 en el oriente del río. En contraste, durante la temporada de lluvias, los valores disminuyeron a 7.21, 7.40 y 7.18, respectivamente.

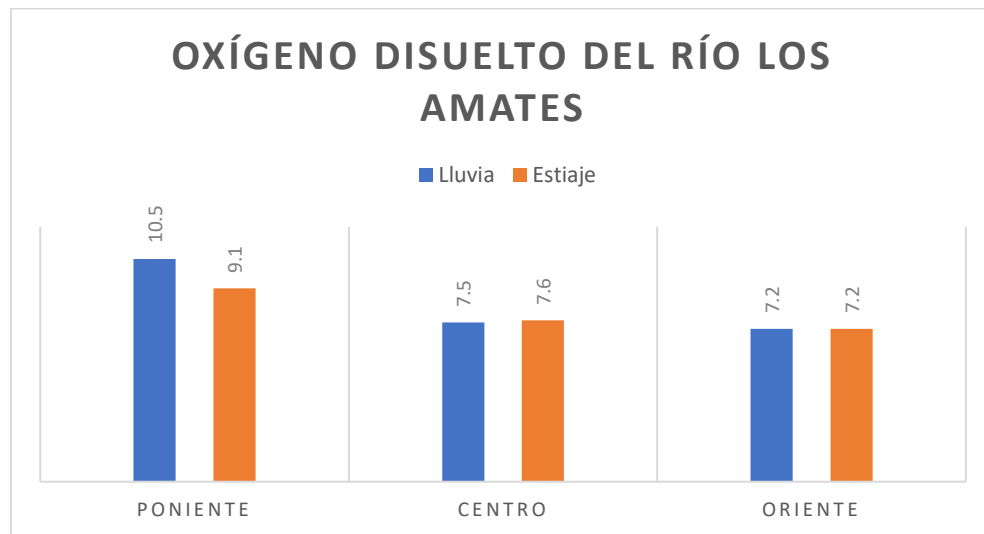
Esta diferencia sugiere que las condiciones hidrológicas y ambientales propias de cada temporada influyen directamente en los parámetros evaluados, lo cual es relevante para el diagnóstico de la calidad del agua y la planificación de estrategias de monitoreo y conservación.

En el análisis de los datos obtenidos, se identificó que el punto de muestreo ubicado en el sector oriente del río Los Amates presentó tanto el valor mínimo como el máximo registrado en el estudio. Durante la temporada de lluvias, se obtuvo un valor de 7.18, mientras que en la época de estiaje el valor ascendió a 8.18. Esta diferencia refleja una variación estacional significativa en las condiciones del agua en ese punto específico, lo cual podría estar relacionado con factores como la disminución del caudal, la concentración de solutos o la influencia de descargas locales.

El incremento en los valores de pH durante la temporada de estiaje puede atribuirse a diversos factores ambientales y bioquímicos. Uno de los principales es la menor dilución de sustancias básicas, como carbonatos y bicarbonatos, debido a la reducción del caudal y volumen de agua, lo que favorece su concentración. Asimismo, la disminución de la turbidez en esta época permite una mayor penetración de la luz solar, lo que estimula la actividad fotosintética de organismos acuáticos, como algas y macrófitas.

Este proceso consume dióxido de carbono (CO_2), lo que reduce la formación de ácido carbónico y, en consecuencia, eleva el pH del agua.

Ambos mecanismos contribuyen a una alcalinización temporal del cuerpo de agua, fenómeno común en sistemas lénticos y lóticos durante periodos de baja precipitación. Esta variación estacional debe considerarse en el análisis de calidad del agua, ya que puede influir en la disponibilidad de nutrientes, la toxicidad de ciertos compuestos y la composición biológica del ecosistema.

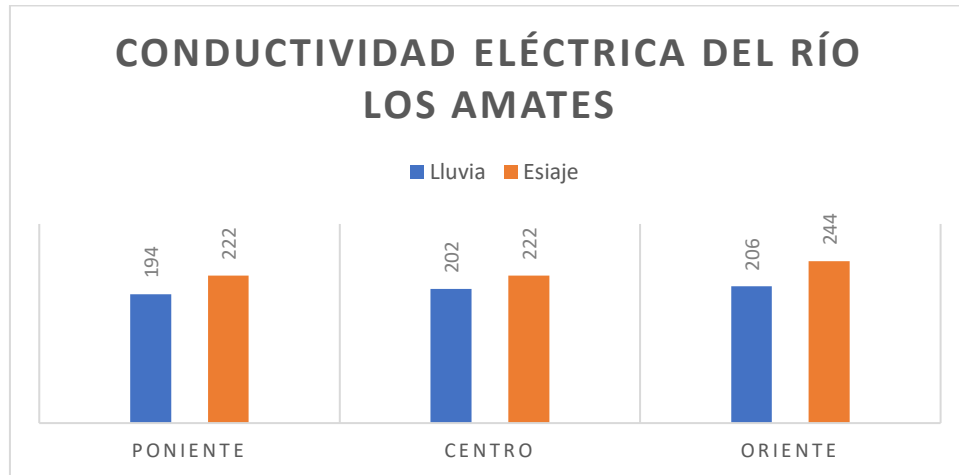


Gráfica 2. Variación del OD en dos épocas del año.

En la Gráfica 2 se observa que los valores de oxígeno disuelto (OD) presentan variaciones moderadas entre las dos épocas del año, sin diferencias extremas. El punto de muestreo ubicado en el sector poniente destaca por registrar los valores más altos: 10.5 mg/L durante la temporada de lluvias y 9.1 mg/L en época de estiaje. En contraste, el sector oriente muestra los valores más bajos, con 7.2 mg/L constantes en ambas temporadas.

Estos niveles de OD, particularmente aquellos superiores a 8 mg/L, indican condiciones favorables para la vida acuática, ya que permiten una adecuada respiración de organismos como peces, macroinvertebrados y microorganismos aeróbicos. La estabilidad del OD en el sector oriente sugiere una menor influencia de factores estacionales, aunque también podría reflejar condiciones menos dinámicas en términos de renovación del agua o actividad biológica.

El mantenimiento de niveles elevados de oxígeno disuelto en ambos periodos es un indicador positivo de la calidad del agua, aunque debe analizarse en conjunto con otros parámetros para obtener un diagnóstico integral del ecosistema.

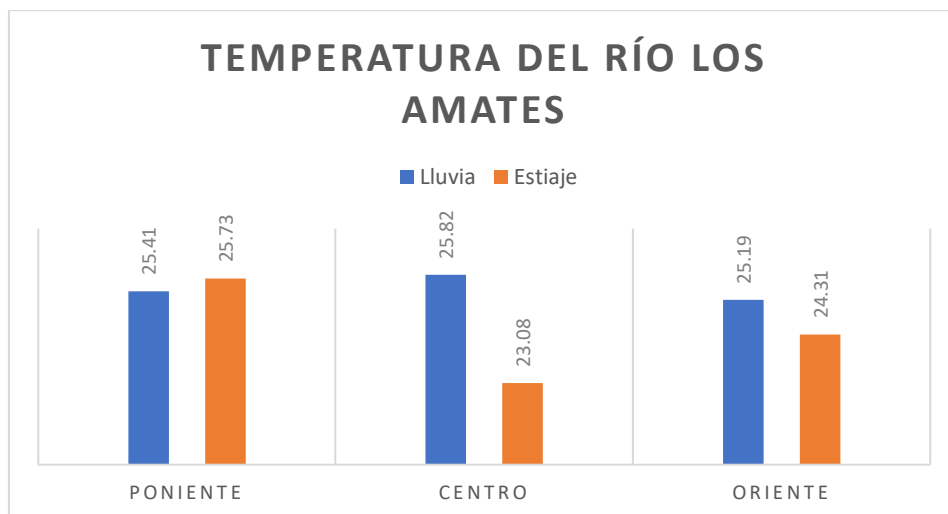


Gráfica 3. Variación de la conductividad eléctrica en dos épocas del año.

La conductividad eléctrica es un parámetro clave para evaluar la presencia de sólidos disueltos y puede reflejar el grado de mineralización del agua, así como posibles impactos por contaminación difusa o puntual. Su análisis comparativo entre zonas y temporadas permite identificar patrones de calidad y orientar acciones de monitoreo y gestión.

En la Gráfica 3 se observa que, durante la temporada de esiaje, los puntos de muestreo ubicados en el sector poniente y centro del río Los Amates presentan valores idénticos de conductividad eléctrica, lo que sugiere un comportamiento hidrológico similar en ambos tramos del cauce. Esta coincidencia podría estar relacionada con condiciones homogéneas en cuanto a composición del agua, tipo de suelo o influencia de actividades humanas en esas zonas.

El valor más alto registrado fue en el sector oriente, con 244 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el más bajo se presentó en el sector poniente, con 194 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estas diferencias indican una mayor concentración de sales disueltas en el oriente, posiblemente asociada a descargas puntuales, menor renovación del agua o características geológicas particulares.

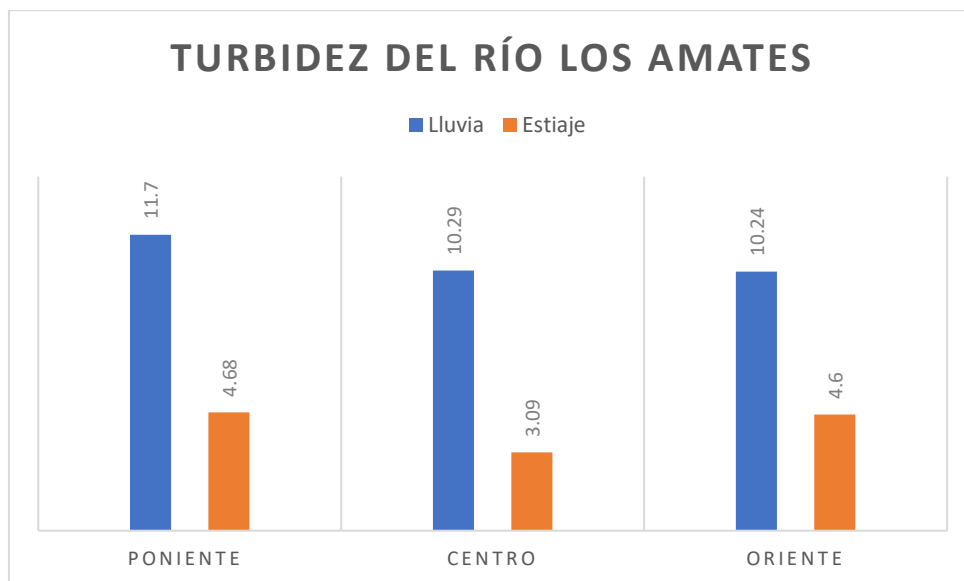


Gráfica 4. Variación de la temperatura en dos épocas del año.

La temperatura del agua es un parámetro clave que influye en la solubilidad del oxígeno, la actividad biológica y la disponibilidad de nutrientes, por lo que su monitoreo es esencial para evaluar la calidad del ecosistema acuático.

La Gráfica 4 muestra las variaciones registradas en la temperatura del agua en distintos puntos del río Los Amates. El cambio más notable se presenta en el punto de muestreo ubicado en el sector centro, donde se observaron valores de 25.82 °C durante la temporada de lluvias y 23.08 °C en época de estiaje. Esta diferencia de más de 2 °C sugiere una influencia significativa de factores locales.

El resto de los puntos de muestreo (poniente y oriente) presentan valores más constantes y cercanos entre sí, lo que indica una menor variabilidad térmica en esos sectores. La variación observada en el punto centro podría estar relacionada con condiciones climáticas específicas, como mayor exposición solar durante la temporada de lluvias, o bien con un menor sombreado del cauce en comparación con otras zonas del río.

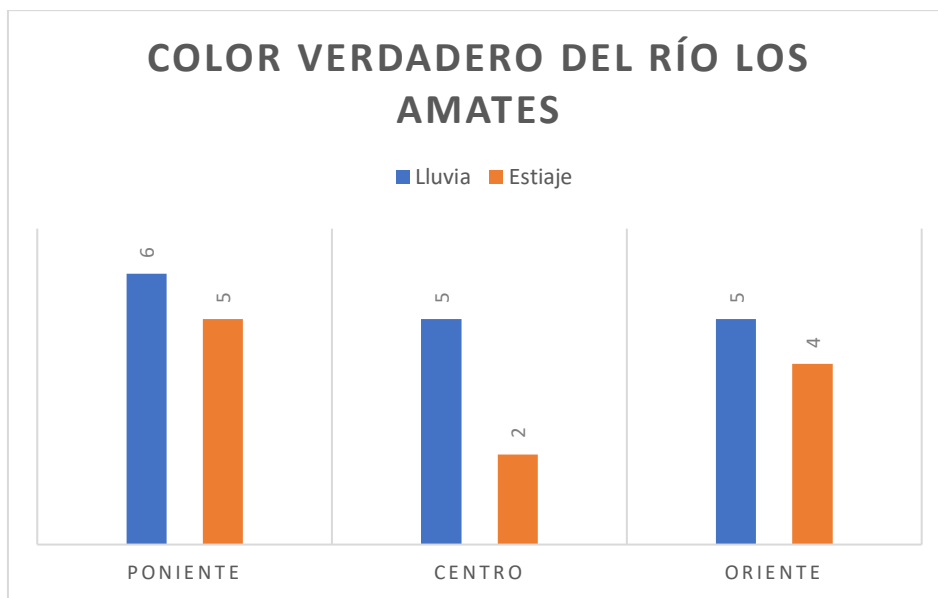


Gráfica 5. Variación de la turbidez en dos épocas del año.

La turbidez es un parámetro clave para evaluar la calidad del agua, ya que está relacionada con la presencia de partículas en suspensión, sedimentos, materia orgánica y posibles contaminantes. Su variación estacional puede estar influenciada por el arrastre superficial durante las lluvias, la erosión de suelos, el tipo de cobertura vegetal y las actividades humanas cercanas al cauce.

La Gráfica 5 muestra variaciones significativas en los niveles de turbidez del agua del río Los Amates entre las dos épocas del año evaluadas. El punto de muestreo ubicado en el sector centro presentó la mayor diferencia estacional, con valores de 10.29 NTU durante la temporada de lluvias y 3.09 NTU en época de estiaje, lo que indica una reducción considerable en la concentración de sólidos suspendidos.

En contraste, el sector oriente mostró la menor variación entre temporadas, con valores de 10.24 NTU (lluvia) y 4.60 NTU (estiaje), lo que sugiere una mayor estabilidad en las condiciones del agua en ese tramo del río. Los valores más altos se registraron en el sector poniente, con 11.70 NTU en temporada de lluvias y 4.68 NTU en estiaje, mientras que los más bajos fueron 10.24 NTU (lluvia) en el oriente y 3.09 NTU (estiaje) en el centro.

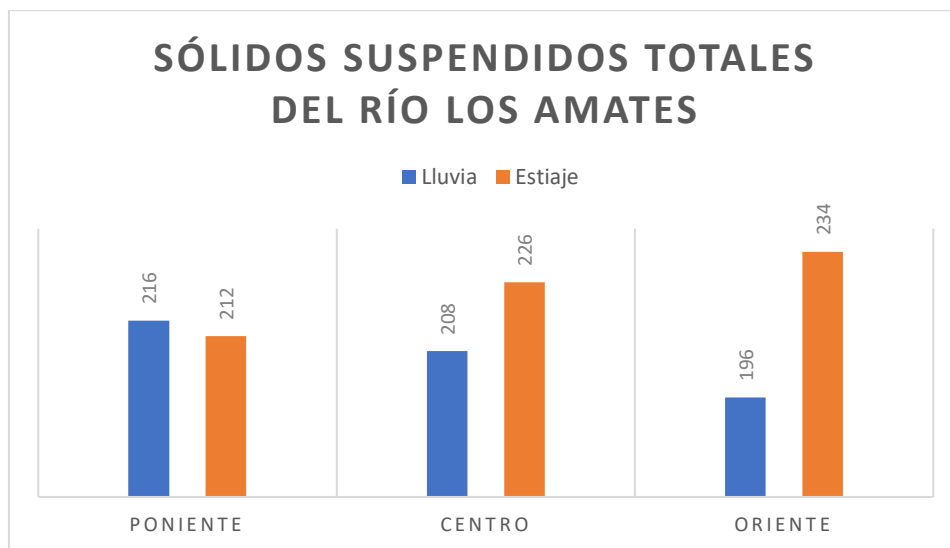


Gráfica 6. Variación del color verdadero en dos épocas del año.

El color verdadero es un parámetro indicativo de la presencia de sustancias disueltas que no pueden ser eliminadas por filtración, y su análisis es relevante para evaluar la calidad estética del agua, así como su aptitud para ciertos usos, como el abastecimiento público o recreativo.

La Gráfica 6 muestra que, durante la temporada de lluvias, el color verdadero del agua presenta un comportamiento homogéneo en los distintos puntos de muestreo, especialmente en los sectores centro y oriente, donde se registraron valores de 5 Unidades de Color (UC). En contraste, durante la época de estiaje se observan valores más bajos y con mayor variabilidad, destacando el punto centro con un valor mínimo de 2 UC.

Los valores más altos se registraron en el sector poniente, con 6 UC en temporada de lluvias y 5 UC en estiaje, lo que sugiere una mayor presencia de compuestos orgánicos o inorgánicos que afectan la coloración del agua en esa zona. Esta diferencia estacional puede estar relacionada con el arrastre superficial durante las lluvias, la actividad fotosintética, la concentración de materia orgánica disuelta o el grado de exposición solar en cada tramo del río.



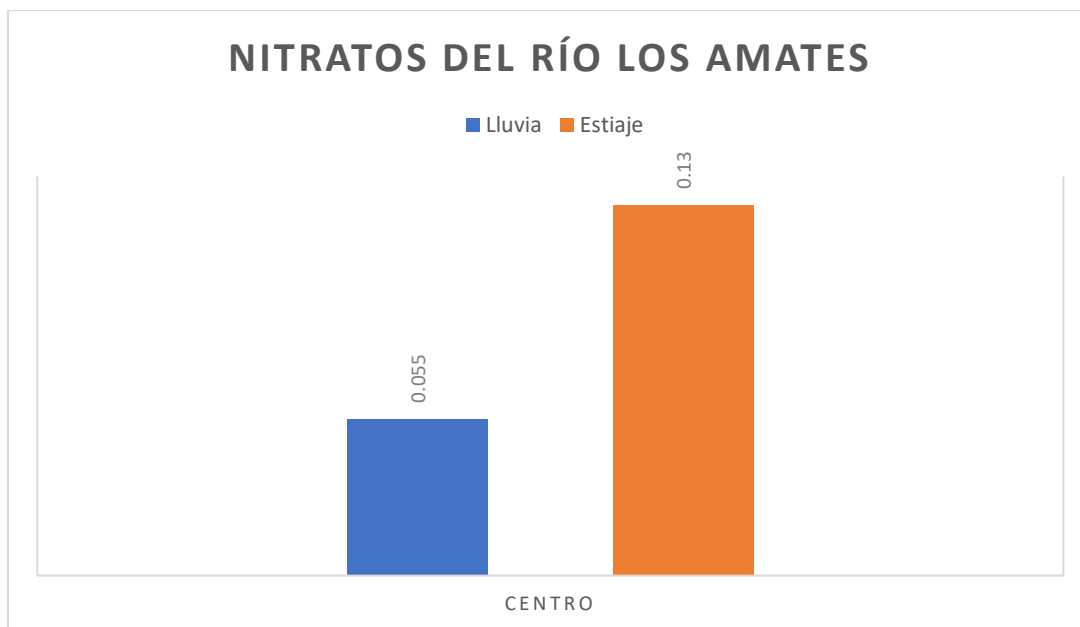
Gráfica 7. Variación de los sólidos suspendidos totales en dos épocas del año.

El análisis de SST es fundamental para evaluar la turbidez, la calidad del hábitat acuático y la eficiencia de procesos de tratamiento en caso de uso para abastecimiento. Su monitoreo periódico permite detectar cambios en la dinámica sedimentaria y orientar acciones de conservación.

La Gráfica 7 muestra variaciones significativas en los valores de sólidos suspendidos totales (SST) entre las dos épocas del año y los distintos puntos de muestreo del río Los Amates. La mayor diferencia se presenta en el sector oriente, con valores de 196 mg/L durante la temporada de lluvias y 234 mg/L en época de estiaje, lo que indica un incremento en la concentración de partículas suspendidas durante el periodo de menor caudal.

En contraste, el sector poniente muestra un comportamiento más estable, con valores de 216 mg/L en lluvias y 212 mg/L en estiaje, lo que sugiere condiciones más constantes en cuanto a arrastre de sedimentos y aporte de materiales particulados. El sector centro también refleja una variación considerable, aunque menor que en el oriente.

Los valores más representativos del estudio son 216 mg/L en temporada de lluvias (poniente) y 234 mg/L en estiaje (oriente), lo que permite identificar zonas con mayor carga de sólidos y posibles fuentes de aporte, como erosión de suelos, escorrentía superficial o actividades humanas cercanas al cauce.

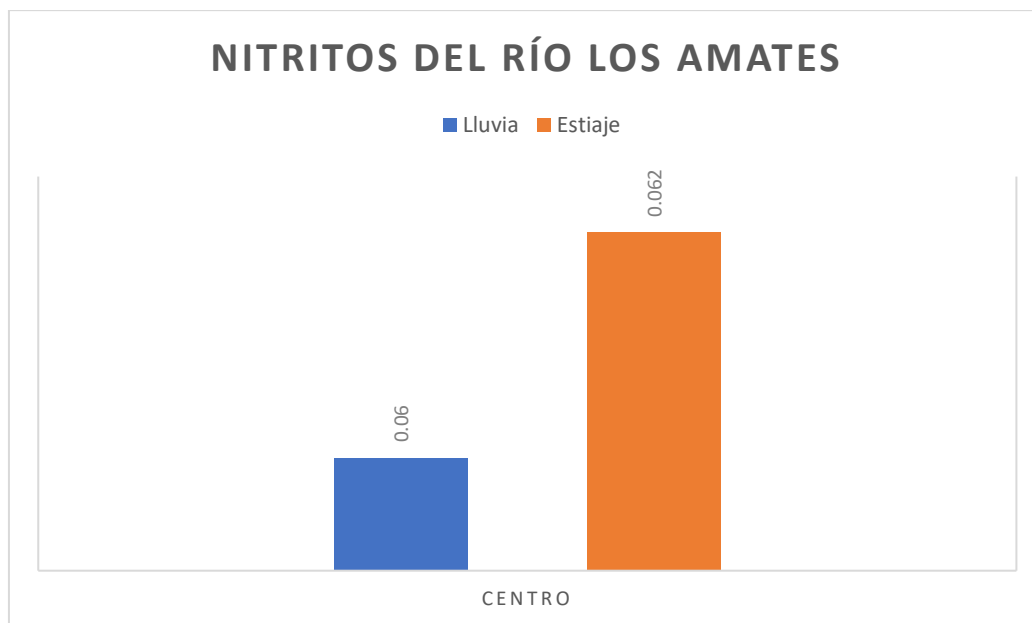


Gráfica 8. Variación de los nitratos en dos épocas del año.

La Gráfica 8 muestra una variabilidad significativa en los niveles de nitratos entre las dos épocas del año, observándose un incremento de aproximadamente el doble en la temporada de estiaje respecto a la temporada de lluvias. Este comportamiento puede estar relacionado con la menor dilución del agua durante el estiaje, lo que favorece la concentración de compuestos nitrogenados provenientes de fuentes agrícolas, urbanas o naturales.

El análisis se realizó en un único punto de muestreo, seleccionado por su representatividad dentro del cauce del río Los Amates. Esta decisión metodológica respondió a limitantes logísticas durante el trabajo de campo, priorizando la obtención de datos confiables en el sitio con mayor relevancia hidrológica y ambiental.

A pesar de la restricción en el número de muestras, los resultados obtenidos permiten identificar tendencias importantes en la dinámica de nutrientes del río, aportando información valiosa para el diagnóstico de calidad del agua y la identificación de posibles fuentes de contaminación difusa.



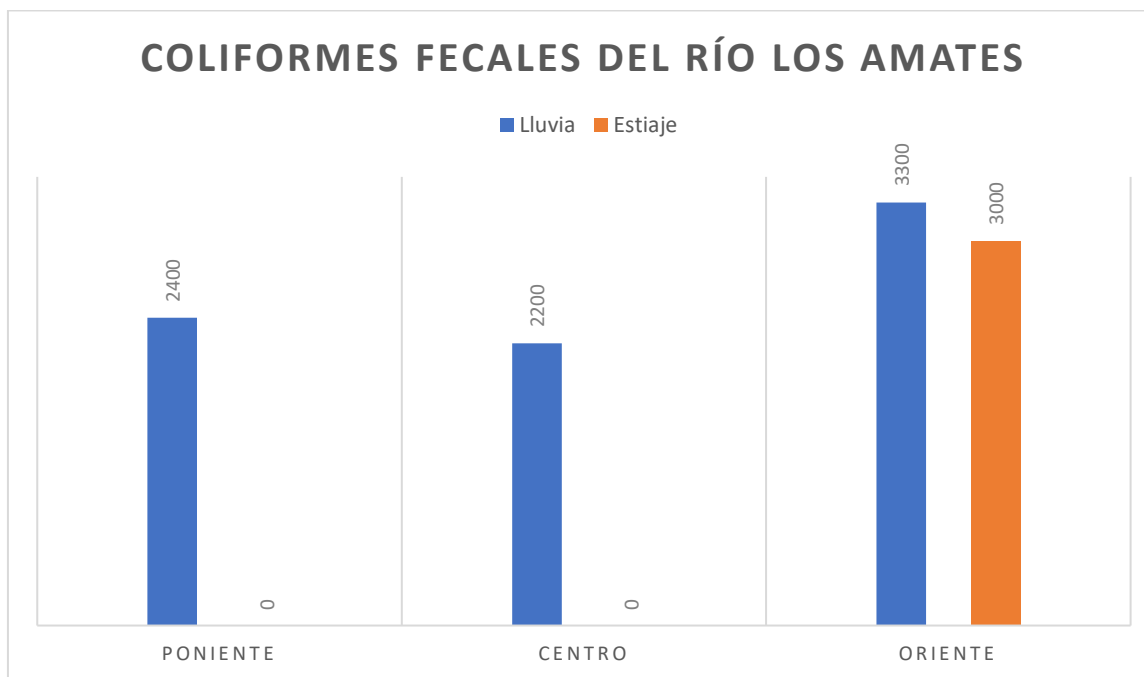
Gráfica 9. Variación de los nitritos en dos épocas del año.

La Gráfica 9 muestra una variabilidad mínima en los valores de nitritos entre las dos épocas del año, con una diferencia de apenas 0.002 mg/L. Este comportamiento sugiere una relativa estabilidad en la concentración de compuestos nitrogenados en forma de nitritos, lo cual puede indicar una baja actividad de procesos de oxidación parcial del amonio o una limitada presencia de fuentes de contaminación orgánica en el tramo evaluado.

El análisis se realizó en un único punto de muestreo, seleccionado por su representatividad dentro del cauce del río Los Amates. Esta decisión metodológica respondió a limitantes logísticas durante el trabajo de campo, priorizando la obtención de datos confiables en el sitio con mayor relevancia hidrológica y ambiental.

A pesar de la restricción en el número de muestras, los resultados permiten establecer una línea base sobre la presencia de nitritos en el sistema, lo cual es relevante para el diagnóstico de calidad del agua, dado que concentraciones elevadas pueden afectar la salud de organismos acuáticos y representar riesgos para el consumo humano.

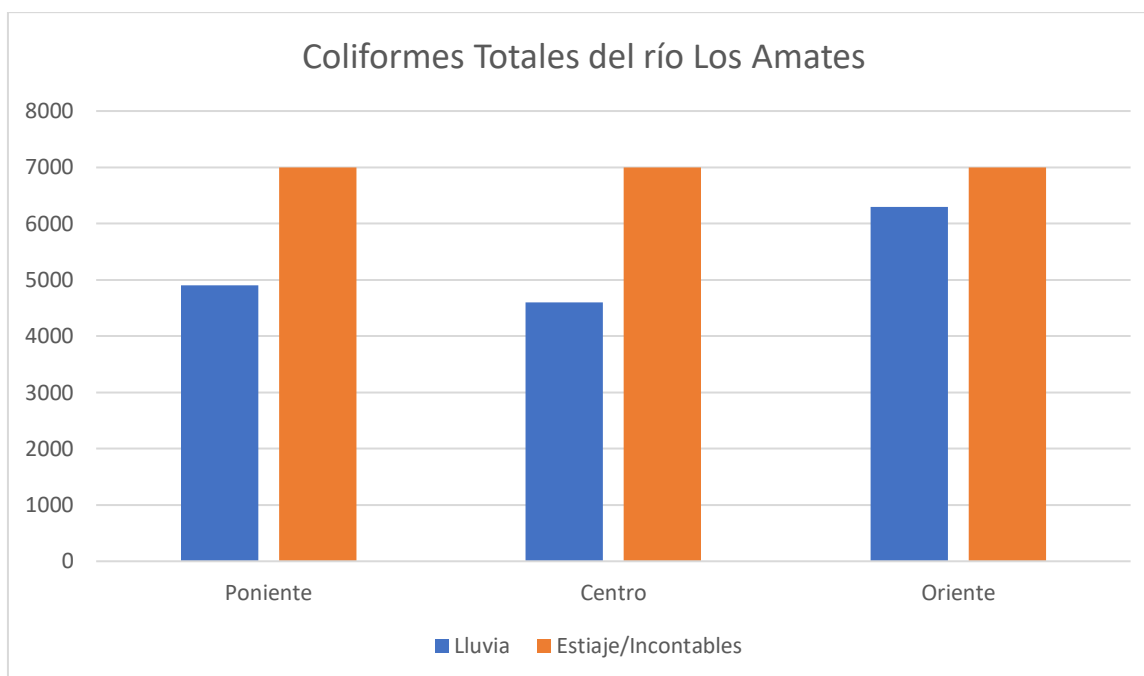
Los valores arrojados de la DQO son tan bajos que no pueden ser detectados, se utilizó el dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) como reactivo, con un nivel de absorbancia a 620 nanómetros (nm). Con esto se midió la longitud de onda de la luz usada en la medición arrojando valores demasiado bajos para que una curva de calibración de resultados mayores a 0 mg/L.



Gráfica 10. Variación de los coliformes fecales en dos épocas del año.

La Gráfica 11 evidencia una marcada variación en los niveles de coliformes fecales (CF) entre las dos épocas del año en los puntos de muestreo poniente y centro del río Los Amates. Durante la temporada de lluvias, se registraron concentraciones elevadas de 2,400 NMP/100 mL en el poniente y 2,200 NMP/100 mL en el centro, mientras que en la época de estiaje se reflejó una ausencia total de CF en ambos puntos. Esta diferencia sugiere que el arrastre superficial y las escorrentías pluviales podrían estar contribuyendo significativamente a la contaminación fecal en estos sectores durante la temporada de lluvias.

En contraste, el punto de muestreo ubicado en el sector oriente presenta niveles elevados y constantes en ambas épocas: 3,300 NMP/100 mL en lluvias y 3,000 NMP/100 mL en estiaje. Esta persistencia sugiere la presencia de una fuente continua de contaminación fecal, posiblemente relacionada con descargas domésticas, agrícolas o ganaderas no controladas.



Gráfica 11. Variación de los coliformes totales en dos épocas del año.

La Gráfica 12 muestra que, durante la temporada de estiaje, los valores de coliformes totales (CT) fueron tan elevados que excedieron la capacidad de cuantificación del método utilizado, por lo que las muestras se reportaron como incontables. Esta situación refleja una carga microbiana extremadamente alta, lo cual representa un riesgo significativo para la salud pública y evidencia una fuerte presión de contaminación en el cauce durante el periodo de menor caudal.

En contraste, durante la temporada de lluvias se obtuvieron valores cuantificables, aunque igualmente elevados: 4,900 NMP/100 mL en el punto poniente, 4,600 NMP/100 mL en el centro y 6,300 NMP/100 mL en el oriente. Estos resultados indican que, si bien el arrastre superficial durante las lluvias contribuye a la presencia de coliformes, en el estiaje la concentración se intensifica debido a la menor dilución y posible acumulación de descargas no tratadas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La caracterización de la calidad del agua del río Los Amates en el municipio de Villaflores, Chiapas, revela variaciones estacionales significativas, especialmente en parámetros como pH, turbidez y coliformes.

Durante la temporada de lluvias se observa una mayor concentración de contaminantes microbiológicos, atribuible al arrastre superficial, mientras que en época de estiaje se incrementa la concentración de sales y nutrientes debido a la menor dilución del caudal.

El punto de muestreo ubicado en el sector oriente se identifica como el más comprometido, al mantener valores elevados de coliformes fecales y totales, sólidos suspendidos y conductividad eléctrica durante todo el año, lo que sugiere la presencia de fuentes continuas de contaminación.

A pesar de que los niveles de oxígeno disuelto (OD) se mantienen en rangos adecuados para la vida acuática, los altos niveles de coliformes representan un riesgo para el uso recreativo o de contacto directo. Cabe señalar que parámetros como OD, CE, SST y DQO no son regulados directamente por la NOM-127-SSA1-2021, pero aportan información valiosa sobre la calidad ecológica del agua y posibles fuentes de contaminación, por lo que deben considerarse en el diseño de estrategias de monitoreo y gestión.

El análisis comparativo con los límites establecidos en la NOM-127-SSA1-2021, que regula la calidad del agua para uso y consumo humano en México, permite identificar que:

- El pH se mantuvo dentro del intervalo permitido (6.5–8.5), con tendencia alcalina en estiaje, sin representar riesgo por acidez o basicidad.
- Nitratos y nitritos se encontraron muy por debajo de los límites establecidos (10 mg/L y 1 mg/L, respectivamente), lo que indica baja contaminación por nutrientes nitrogenados.
- El color verdadero fue bajo en todas las muestras (<6 unidades Pt-Co), muy por debajo del máximo permitido (20 unidades), lo que sugiere ausencia de materia orgánica disuelta que afecte la apariencia o percepción del agua.

A partir de los resultados obtenidos en la caracterización de la calidad del agua del río Los Amates, se identificaron parámetros que no cumplen con los estándares establecidos en la NOM-127-SSA1-2021, lo cual impide considerar el recurso hídrico como apto para consumo humano sin tratamiento previo.

Turbidez: Durante la temporada de lluvia, los valores superaron el límite de 5 NTU en todos los puntos de muestreo, alcanzando hasta 11.70 NTU. Esta condición puede interferir con los procesos de desinfección y favorecer la presencia de microorganismos patógenos.

Coliformes fecales (CF) y coliformes totales (CT): En todos los puntos y especialmente durante la temporada de lluvia, los conteos fueron excesivamente altos. En el oriente, incluso en estiaje, los niveles de CF alcanzaron 3000 NMP/100 ml, mientras que los valores de CT fueron incontables en estiaje, excediendo completamente el límite de 0 NMP/100 ml exigido por la norma. Esta situación indica una contaminación fecal severa, posiblemente de origen doméstico o por escurrimientos superficiales, lo cual representa un riesgo significativo para la salud pública.

Adicionalmente, aunque no regulados por la NOM-127-SSA1, parámetros como la conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales (SST) y oxígeno disuelto (OD) aportan información relevante sobre el estado ecológico del río. Se observó un incremento de la conductividad y los SST en estiaje, lo cual refleja una mayor concentración de solutos debido al menor caudal. Por su parte, el OD mostró buenos niveles en general, indicando condiciones aerobias adecuadas.

En conclusión, el agua del río Los Amates no cumple con los requisitos sanitarios establecidos en la NOM-127-SSA1-2021 para uso y consumo humano. Se recomienda su uso restringido para actividades agrícolas o recreativas sin contacto directo, y se enfatiza la necesidad de implementar medidas de saneamiento y control de fuentes de contaminación fecal y monitoreo permanente, especialmente en el tramo oriente, donde se concentra la mayor carga contaminante.

Según el ICA de CONAGUA, la calidad general del agua del río Los Amates puede considerarse aceptable con condiciones excelentes en aspectos fisicoquímicos, pero con problemas serios en contaminación microbiológica y turbidez, sobre todo durante la temporada de lluvias.

Tabla 5. Comparación de Resultados con el Índice de Calidad del Agua de CONAGUA

PARÁMETRO	UNIDADES	ICA DE LA CONAGUA					PUNTOS DE MUESTREO					
		CUMPLIMIENTO			INCUMPLIMIENTO		PONIENTE		CENTRO		ORIENTE	
		EXCELENTE	BUENA CALIDAD	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA						
							LLUVIA	ESTIAJE	LLUVIA	ESTIAJE	LLUVIA	ESTIAJE
% DE SATURACIÓN DE OD	%	70<OD<=110	50<OD<=70 Y 110<OD<=120	30<OD<=50 Y 120<OD<=130	10<OD<=30 Y 130<OD<=150	OD<=10 Y OD>150	123%	-	88%	-	84%	-
SST	mg/L	SST<=25	25<SST<=75	75<SST<=150	150<SST<=400	SST>400	216	212	208	226	196	234
DQO	mg/L	DQO<=10	10<DQO<=20	20<DQO<=40	40<DQO<=200	DQO>200	0	0	0	0	0	0
CF	NMP /100ML	CF<=100	100<CF<=200	200<CF<=1000	1000<CF<=10000	CF>10000	2,400	0	2,200	0	3,300	3000

CONCLUSIÓN

La presente investigación, tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua del río Los Amates en el municipio de Villaflores, Chiapas, mediante la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en tres puntos representativos del cauce durante dos épocas contrastantes: lluvias y estiaje.

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, siguiendo normas técnicas oficiales que garantizan la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos. El proceso de muestreo se realizó conforme a la PROY-NMX-AA-121/1-SCFI-2008, que establece los lineamientos para la toma de muestras en cuerpos de agua superficiales. Asimismo, para el análisis de cada parámetro fisicoquímico y microbiológico se aplicaron metodologías específicas reconocidas por organismos nacionales e internacionales, asegurando la estandarización de los procedimientos.

Las muestras fueron recolectadas de forma planificada en tres puntos representativos del cauce del río Los Amates, durante dos periodos contrastantes: temporada de lluvias y estiaje. Posteriormente, se trasladaron bajo condiciones controladas a laboratorios especializados, donde se realizaron los análisis correspondientes utilizando técnicas validadas y equipos calibrados, conforme a los protocolos establecidos.

Este diseño metodológico permitió obtener datos precisos, comparables y reproducibles, fundamentales para el diagnóstico de la calidad del agua y su evaluación frente a los criterios establecidos en la NOM-127-SSA1-2021.

Los resultados evidencian que, si bien varios parámetros como pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, nitratos y nitritos cumplen con los límites establecidos por la NOM-127-SSA1-2021 y se clasifican como de buena o excelente calidad según el Índice de Calidad del Agua (ICA) de CONAGUA, otros indicadores, especialmente la turbidez y los coliformes fecales y totales, presentan niveles que exceden ampliamente los límites permisibles para el uso y consumo humano.

La elevada carga bacteriológica observada, especialmente durante la temporada de lluvias y en el punto de muestreo ubicado en el sector oriente del cauce, evidencia una contaminación fecal significativa, posiblemente asociada a descargas no tratadas o escurrimientos superficiales provenientes de zonas

urbanas, agrícolas o ganaderas. Esta situación representa un riesgo sanitario considerable, particularmente para actividades de contacto directo con el agua.

Asimismo, los altos niveles de sólidos suspendidos totales (SST) y turbidez registrados en época de lluvias pueden afectar tanto la salud pública como la biodiversidad acuática, al interferir con los procesos de desinfección, reducir la penetración de luz solar y alterar las condiciones del hábitat para organismos sensibles. Estos parámetros, aunque no regulados directamente por la NOM-127-SSA1-2021, aportan información crítica sobre la calidad ecológica del río y deben ser considerados en el diseño de estrategias de saneamiento y conservación.

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten concluir que el agua del río Los Amates, en el municipio de Villaflores, Chiapas, no cumple con los criterios establecidos en la NOM-127-SSA1-2021 para uso y consumo humano, debido a la presencia de turbidez elevada y concentraciones excesivas de coliformes fecales y totales, especialmente durante la temporada de lluvias y en el tramo oriental del cauce.

Por lo tanto, se recomienda que el uso del agua se restrinja exclusivamente a fines agrícolas o recreativos sin contacto directo, evitando cualquier aplicación que implique riesgo sanitario. Es indispensable que las autoridades locales y estatales implementen estrategias integrales de monitoreo continuo, saneamiento básico y control de fuentes de contaminación, con especial atención al tramo oriente del río, donde se concentra la mayor carga contaminante.

Estas acciones deben incluir la identificación de fuentes puntuales y difusas de contaminación, la mejora de infraestructura de tratamiento, la educación ambiental comunitaria y el fortalecimiento de la vigilancia normativa, con el fin de preservar la calidad ecológica del río y proteger la salud de las poblaciones que dependen de él.

Finalmente, esta investigación proporciona una base técnica objetiva que puede ser utilizada para el diseño e implementación de acciones de gestión ambiental, tanto a nivel local como estatal. Los resultados obtenidos refuerzan la importancia de contar con evaluaciones periódicas y sistemáticas que permitan detectar oportunamente los riesgos asociados al deterioro de los cuerpos de agua superficiales, especialmente en regiones con alta presión antropogénica como el municipio de Villaflores.

Este tipo de estudios no solo contribuye al diagnóstico de la calidad del agua, sino que también orienta la toma de decisiones en materia de saneamiento, conservación, uso responsable del recurso hídrico y protección de la salud pública, consolidando un enfoque preventivo y sustentable en la gestión del territorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia Lab. (2024). Turbidez. *Enciclopedia*. Revisado el 25 de octubre del 2024. <https://academia-lab.com/enciclopedia/turbidez/>
- Aguas superficiales. (2018). <https://geomaticaportal.semarnat.gob.mx/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=34364cd981fd4b75a7fc598d0a1968dc>
- Arias, H. o. R., Delgado, R. C. O., Martínez, R. M. Q., Terán, R. A. S., Rivero, J. M. O., & Burciaga, N. I. R. (2014). Índice de calidad de agua (ICA) en la presa la boquilla en Chihuahua, México / Water quality index (WQI) in the dam La Boquilla in Chihuahua, Mexico. DOAJ (DOAJ: Directory Of Open Access Journals).
- Baeza Gómez, E. (2016, 16 de noviembre). Calidad del Agua [Asesoría Técnica Parlamentaria]. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua%20Final.pdf>
- Basic Information about Source Water Protection | US EPA. (2025, February 3). US EPA. <https://www.epa.gov/sourcewaterprotection/basic-information-about-source-water-protection>
- Boletín Estadístico y Geográfico. (2018). https://gisviewer.semarnat.gob.mx/bol/20_03/
- Campos Cardenas, M. L. (2019). Aprendemos la importancia del agua para los seres vivientes.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111-124. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Chávez, J. a. V. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana De Medicina Experimental Y Salud Pública*, 35(2), 304.

Chulim, Á. C., Escobar, H. M. O., Bernal, E. I. S., & Crespo, E. C. (2014). Calidad del agua para riego en la Sierra Norte de Puebla, México. DOAJ (DOAJ: Directory Of Open Access Journals).
<https://doaj.org/article/efc1cc1f18ac4a4fb921a4e6158e6bae>

Comisión Nacional del Agua. (2024). Calidad del agua. Gobierno de México. Recuperado de:

<https://www.gob.mx/conagua>

Enciclopedia Significados, E. (2023). *Calidad: Qué es, Concepto y Definición*. Enciclopedia Significados.
<https://www.significados.com/calidad/>

Estadística E Información Ambiental, D. G. (2018). *Informe del Medio Ambiente*.

<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html#tema1>

ElLabWebMaster. (2023, October 31). *Parámetros clave en el análisis microbiológico del agua: Garantizando la seguridad del suministro*. Laboratorio ABM. <https://laboratorioabm.com/parametros-clave-en-el-analisis-microbiologico-del-agua-garantizando-la-seguridad-del-suministro/>

Escalona-Domenech, R. Y., Infante-Mata, D. M., García-Alfaro, J. R., Ramírez-Marcial, N., Ortiz-Arrona, C. I., & Macías, E. B. (2022). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA y DE LA RIBERA EN LA CUENCA DEL RÍO MARGARITAS, CHIAPAS, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 37-56

Fernández, N., Solano, F. 2005. *Índices de Calidad y Contaminación del Agua*. Universidad de Pamplona. Pamplona:

Fernández-Rodríguez, M., & Guardado-Lacaba, R. M. (2021). Evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICAsup) en el río Cabaña, Moa-Cuba. *Minería y Geología*, 37(1), 105-119.
<http://scielo.sld.cu/pdf/mg/v37n1/1993-8012-mg-37-01-105.pdf>

García-Rodríguez, G., Sandoval-Rojas, M. E., Corona-Romano, E. R., De Jesús-De la Rosa, R. E., Martínez-Romay, B., García-Gil, E., & García-Gil, E. (2021). APLICACIÓN DE DOS METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE

CUERPOS SUPERFICIALES DESTINADOS a LA PESCA EN EL SUR DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO. Revista Internacional de Contaminación Ambiental.

- Global Seafood Alliance. (2024). Conductividad eléctrica del agua, parte 1 - Responsible Seafood Advocate. <https://www.globalseafood.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte-1/>
- Gunther, T. (2023). El Oxígeno disuelto y la calidad del agua. LG Sonic. <https://www.lgsonic.com/es/el-oxigeno-disuelto/>
- Guzmán-Colis, G., Thalasso, F., Ramírez-López, E. M., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A. L., & Avelar-González, F. J. (2011). EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO SAN PEDRO EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES, MÉXICO. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 27(2), 89-102. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37019853001.pdf>
- Graniel, C. E., & Carrillo, C. M. E. (2006). Calidad del agua del río Zanatenco en el estado de Chiapas. Ingeniería, 10(3), 35-42. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46710304.pdf>
- Información sobre la protección de las fuentes de agua | US EPA.* (2024, March 13). US EPA. <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-sobre-la-proteccion-de-las-fuentes-de-agua>
- Ley de Aguas Nacionales de 1992, Diario Oficial de la Federación § 1-3-40-a (08-05-2023). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/23_080523.pdf
- Martos-López, Á. (2016). La importancia del agua para nuestro planeta.
- Microlab industrial - Parámetros - patógenos - coliformes fecales. (s.f.). <https://www.microlabindustrial.com/parametros/patogenos/182/coliformes-fecales>
- Minaya Vela, R. J. (2017). *Parámetros físicos, químicos, microbiológicos, para determinar la calidad del agua en la laguna Moronacocha, época de transición creciente - vaciante. Iquitos. Perú. 2016.*

- Miranda, D. G. P., García, L. I. V., & Herrera, M. T. A. (2023). Determinación histórica de índices de calidad del agua en observatorios participativos en el norte de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 39, 127-137.
- Monjaras Cancino, P. (2022). Evaluación de la Calidad del Agua de la Cuenca Alta del Río Sabinal (Berriozábal) [Informe Técnico de Residencia] Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
- Mora, J., & Calvo, G. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. DOAJ (DOAJ: *Directory Of Open Access Journals*).
<https://doaj.org/article/e9f59b40437441bb843b904c85a4e365>
- Navarro, R. M., Del C Espinosa Lloréns, M., Muñoz, M. S., Petit, X. R., Llaguno, Y. Á., & Pedro, S. (2005). Material de Referencia para la Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas y Aguas Residuales. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 36.
<https://www.redalyc.org/pdf/1816/181620511014.pdf>
- Norma Mexicana, NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de Aguas - Determinación de Nitratos en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba
- Norma Mexicana, NMX-AA-099-SCFI-2006. Análisis de Agua – Determinación de Nitrógeno de Nitritos en Aguas Naturales y Residuales – Métodos de Prueba
- OCASIO, F. 2008. Evaluación de calidad del agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del río Piedras. San Juan, Puerto Rico.
- OPS (2022). Saneamiento básico: agua segura, disposición de excretas y manejo de la basura: cuadernillo para capacitaciones con enfoque intercultural en áreas rurales. Organización Panamericana de la Salud [en línea]. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/5601401/02/2022>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). Guías para la calidad del agua potable. OMS, 2020.

- Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M. N., Rodríguez, F., Alfayate, J., Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química., Tercera edición, Thomson Editoriales Spain Paraninfo, S.A., 2005.
- Poole, G.C. y Berman, C.H., 2001. An ecological perspective on in-stream temperature: natural heat dynamics and mechanisms of human-caused thermal degradation. En: *Environmental Management*, 27(6), pp.787-802.
- Rondón R, R. (2015). Proyecto de educación ambiental “Agua esperanza de vida”: una propuesta curricular. Universidad Nacional, Abierta y a Distancia, La Dorada, Colombia.
- Ruiz, N. E. S., Escobar, Y. C., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. DOAJ (DOAJ: Directory Of Open Access Journals). <https://doaj.org/article/30ae5ef2867341fba8c9db4f1e682609>.
- Severiche, C., (2013). Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. Bogota: Sólidos suspendidos totales. Obtenido de <http://www.eumed.net>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022, 11 de marzo). NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Diario Oficial de la Federación.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0
- Staff, I. (2023). *Situación del agua en México*. IMCO. <https://imco.org.mx/situacion-del-agua-en-mexico/>.
- Straile, D., 2005. Food webs in lakes—seasonal dynamics and the impact of climate variability. En: Belgrano, A., Sharler, U., Dunne, J. y Ulanowicz, R., eds. *Aquatic food webs. An ecosystem approach*. En: New York: Oxford University Press. pp.41-50.
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta Ecológica*, 64, 9-18.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2887484.pdf>

- Trujillo-Zapata, S. A., Cortés-Orozco, C. P., Vinasco-Guzmán, M. C., Ortega-Astudillo, J. D., & Cruz-Ospina, C. A. (2021). Evaluación de la calidad del agua en la fuente abastecedora de Pitalito – Huila: Río Guachicos y sus afluentes principales, utilizando los índices de contaminación e índice de calidad de agua. *Gestión y Ambiente*, 23(2), 182-192.
- Vargas, O. H., Villa, O. R. M., García, C. P., López, J. L. O., Magdaleno, H. F., Chulim, Á. C., Escobar, H. M. O., & Bernal, E. I. S. (2020). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA y DE LA RIBERA EN DOS CUENCAS TRIBUTARIAS DEL RÍO TUXCACUESCO, JALISCO, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*
- WHO (2017). *Guidelines for drinking water quality*. 4a ed. World Health Organization, Ginebra, Suiza, 631 pp.