

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES
DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

INFORME TÉCNICO

**CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA EN EL
TRAMO: EMBARCADERO DE CHIAPA DE CORZO AL
PUENTE BELISARIO DOMINGUEZ DEL RIO
GRIJALVA, CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTA
VALERIA HERNÁNDEZ RUIZ**

**DIRECTOR
DR. JOSÉ MANUEL GÓMEZ RAMOS**

**CODIRECTORES
MTRO. ULISES GONZÁLEZ VÁZQUEZ.
DR. RUBÉN ALEJANDRO VÁZQUEZ SÁNCHEZ**

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

Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
Fecha: 22 de octubre de 2025.

C. Valeria Hernández Ruiz

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

"Calidad Fisicoquímica del agua en el tramo: Embarcadero de Chiapa de Corzo al Puente

Belisario Domínguez del Río Grijalva, Chiapa de Corzo, 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

Dr. Rubén Alejandro Vázquez Sánchez

Mtro. Ulises González Vázquez

Dr. José Manuel Gómez Ramos

Firmas:

Ccp. Expediente

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme la sabiduría, la fortaleza y las oportunidades que me permitieron concluir satisfactoriamente esta etapa tan importante de mi vida profesional.

A mis padres, Gonzalo Hernández Aguilar y Karina Ruiz Sánchez quienes son el corazón de este logro. Gracias por su amor incondicional, por creer siempre en mí, por sus sacrificios silenciosos y por enseñarme con su ejemplo el valor del trabajo, la humildad y perseverancia. Todo lo que soy y lo que he alcanzado es reflejo de su esfuerzo, de sus palabras de aliento y de su fe en mí. Son mi fuente de inspiración.

A mis hermanos, compañeros de vida, Raúl y Valentina por ser mi refugio, fuerza y mi alegría en todo momento. Gracias por ser mi apoyo constante, por estar conmigo en todo momento. Por recordarme siempre quién soy y cuanto puedo lograr. Agradezco infinitamente a Dios, a mis padres y a la vida por darme el mejor regalo del mundo, mis hermanos. Los amo profundamente.

A mis abuelos, por ser el ejemplo más puro de amor, esfuerzo y sabiduría. Gracias por su cariño incondicional, sus palabras y por estar siempre presentes en mi vida. Sus abrazos, oraciones y palabras de aliento me acompañaron en cada paso de este camino.

A mis amigos y colegas, gracias por su compañía, apoyo y ánimo durante todo este proceso. Cada risa compartida, conocimiento, consejos y cada gesto de amistad hicieron más ligero este camino y llenaron de alegría cada paso de esta etapa. Los llevaré siempre en mi corazón.

A mis tutores, por su apoyo profesional, por su invaluable guía, paciencia y valiosas orientaciones a lo largo de este proceso. Gracias por compartir su conocimiento, por inspirarme a dar lo mejor de mí y superarme. Les estaré profundamente agradecida por haberme acompañado en este camino.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia, en especial a mi hermano, al hombre más importante en mi vida. No hay un día en que no piense en ti, que no imagine tu sonrisa o que no desee volver a escucharte, en todo lo que fuimos y en lo que aún somos, a pesar de la distancia. Crecer, avanzar y lograr cosas sin ti ha sido el mayor reto que nunca quise enfrentar, pero cada paso que doy lo hago con tu recuerdo en mi alma. Tu ausencia ha sido una herida profunda, pero también una fuente de inmensa fortaleza.

Te dedico este logro con todo mi amor, con la esperanza de que algún día nuestros caminos vuelvan a encontrarse. Este proyecto no es solo mío, también es tuyo, porque en cada momento difícil recordé tu fuerza.

Le pido a Dios que cuide de ti, donde sea que estés, ojalá puedas sentir el orgullo y amor que guardo por ti. Siempre estarás en mi corazón, en mi vida y en cada meta que alcance. Te amo con todas mis fuerzas.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
3. JUSTIFICACIÓN	11
4. OBJETIVOS	12
4.1 GENERAL.....	12
4.2 ESPECÍFICOS.....	12
5. ANTECEDENTES.....	13
6. MARCO TEÓRICO.....	15
6.1 CICLO HIDROLÓGICO	15
6.2 AGUAS SUPERFICIALES.....	18
6.3 AGUAS SUPERFICIALES EN MÉXICO	18
6.4 AGUAS SUPERFICIALES EN CHIAPAS	19
6.5 AGUAS SUBTERRÁNEAS	19
6.6 CALIDAD DEL AGUA.....	19
6.7 DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	20
6.8 AGUAS RESIDUALES	21
6.9 PROBLEMAS OCASIONADOS POR LAS AGUAS RESIDUALES.....	22
6.10 AGUA EN LA SOCIEDAD	23
6.11 AGUA DE CONSUMO HUMANO.....	24
6.12 EL AGUA EN CHIAPAS	25
6.13 MONITOREO	25
6.14 PARÁMETROS.....	25
6.15 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	26

COLOR.....	26
TURBIEDAD	27
TEMPERATURA	27
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)	27
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)	28
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT).....	28
OXÍGENO DISUELTO (OD).....	28
6.16 MARCO NORMATIVO LEGAL DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	28
6.17 LEY DE AGUAS NACIONALES	29
6.18 LEY DE AGUAS ESTATALES	30
6.19 EL RIO GRIJALVA	31
6.20 RELIEVE.....	31
6.21 CLIMA Y PRECIPITACIÓN	32
6.22 FLORA Y FAUNA	33
7. METODOLOGÍA	34
7.1 REALIZACIÓN DEL RECORRIDO.....	34
7.2 ELABORACIÓN DEL MAPA CON LOS PUNTOS DE MUESTREO....	36
7.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CON LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.....	37
8. RESULTADOS	39
9. CONCLUSIONES	44
10. REFERENCIAS.....	46
11. ANEXOS FOTOGRÁFICOS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución Global del Agua	15
Figura 2. Esquema del Ciclo Hidrológico y sus etapas.....	16
Figura 3. Recorrido de reconocimiento en el río.....	34
Figura 4. Presencia de residuos en el río durante el monitoreo.....	35
Figura 5. Ubicación de los puntos del tramo a muestrear.	36
Figura 6. Registro de observaciones.....	33
Figura 7. Toma de monitoreo en estiaje	38
Figura 8. Toma de monitoreo en temporada de lluvias.	38
Figura 9. Río Grijalva en temporada de estiaje.	51
Figura 10. Río Grijalva en temporada de lluvias.	51
Figura 11. Condiciones del Río Grijalva en lluvias.	52
Figura 12. Actividad de pesca por los habitantes de la zona.....	52
Figura 13. Embarcadero Chiapa de Corzo, Chiapas.	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de cada uno de los puntos de muestreo.	36
Tabla 2. Distancia entre los puntos de muestreo.....	37
Tabla 3. Materiales necesarios para realizar los muestreos.	37
Tabla 4. Equipos necesarios para realizar los muestreos.....	37
Tabla 5. Caracterización fisicoquímica del agua en temporada de estiaje y lluvia, Rio Grijalva, Chiapas.	39

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Análisis del comportamiento de la temperatura del agua en el Rio Grijalva en dos temporadas.	39
Gráfico 2. Análisis del comportamiento del pH en el Rio Grijalva en dos temporadas.	40
Gráfico 3. Análisis del comportamiento de la Conductividad Eléctrica del agua en el Rio Grijalva en dos temporadas.	41
Gráfico 4. Análisis del comportamiento de los Sólidos Disueltos Totales del agua en el Rio Grijalva en dos temporadas.....	42

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital e insustituible que permite y potencializa la vida en la tierra. Su contaminación es un grave problema que reduce y encarece el suministro de agua potable en la población. Este recurso natural es esencial para la vida humana y es la parte más delicada del ambiente (Das y Acharya, 2003). Todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible) de agua (Organización Mundial de la Salud, OMS, 2006).

Debido a su naturaleza, el agua es un sistema complejo, sobre el que habrá que realizar análisis cuantitativos con el propósito de conocer el tipo y grado de alteración que ha sufrido, buscando determinar su calidad.

Moraima (2020), plantea que la contaminación del agua puede ser considerada como la modificación de sus propiedades físico-químicas y biológicas, que restringe su uso y aplicaciones donde habitualmente es utilizada. Se entiende entonces que el agua contaminada es aquella afectada por la acción del hombre en una magnitud por encima de sus variaciones naturales, que sobrepasa los valores permisibles máximos de las concentraciones establecidas por los estándares para el agua potable, de uso industrial o de uso agrícola.

La valoración de la calidad del agua puede entenderse como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica en relación con su calidad natural, los efectos humanos y usos posibles. En la naturaleza la calidad del agua afecta la condición de los ecosistemas alterando la existencia de los seres vivos. Toda gestión de los recursos hídricos involucra el control y la calidad del agua; esta última se determina a partir del conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para un uso determinado (Fernández y Guardado, 2021).

Para determinar la calidad del agua en un tramo del Río Grijalva, el presente estudio se enfocará en obtener valores de parámetros fisicoquímicos, en dos diferentes épocas del año (lluvias y estiaje) con la finalidad de observar y comparar los valores resultantes a causa de los cambios en las condiciones climáticas. Posteriormente, los resultados obtenidos se compararán con valores estandarizados de normatividad; para finalmente, comprender el estado actual del recurso hídrico.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La importancia de cuidar, preservar y manejar correctamente los cuerpos de agua radica no solamente en el importante papel que estos tienen en el funcionamiento adecuado de los ecosistemas donde se encuentran, sino también al representar una de las principales fuentes de suministro de agua para nuestras ciudades, ser de gran relevancia para las actividades como la pesca, agricultura y recreación, regular el clima, poseer una belleza paisajística, además de ser el hogar de diversas especies vegetales y animales, entre otras (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT, 2002).

En Chiapas, el acceso a agua potable es prioritario, sin embargo, la expansión urbana y las actividades humanas han generado contaminación en las fuentes de agua (Graniel y Carrillo, 2006). Este es el caso del río Grijalva uno de los cuerpos de agua más importantes del estado, no solo por su impacto económico, sino también por su papel crucial en la conservación del medio ambiente. Este cauce fluye a través de varios ecosistemas, proporcionando recursos valiosos y sustento a numerosas comunidades.

Las aguas del río se han visto afectadas por descargas de desechos industriales, agrícolas y domésticos. El uso intensivo de pesticidas y fertilizantes en las áreas agrícolas cercanas ha incrementado la presencia de nutrientes y sustancias tóxicas en el agua, esto pone en riesgo la salud de las personas que dependen de él para su abastecimiento de agua potable. La detección temprana de contaminantes puede prevenir problemas de salud pública y garantizar la seguridad del agua.

Abordar estos problemas requiere un enfoque integral que contemple la protección del medio ambiente, la gestión sostenible de los recursos y la participación activa de las comunidades locales. Por ello, este estudio pretende realizar un análisis comparativo en el tramo seleccionado, en dos temporadas (estiaje y lluvia) del año, mediante la aplicación de índices de calidad que integran parámetros fisicoquímicos relevantes, con la finalidad de obtener un diagnóstico inicial de la calidad del agua, estos datos servirán para conocer las condiciones en que se encuentra este tramo, lo que marcaría la pauta de las acciones a tomar para mitigar, reducir y/o recuperar la calidad del agua en el río.

3. JUSTIFICACIÓN

El agua es un elemento esencial para el desarrollo de la vida en nuestro planeta ya que es parte fundamental del equilibrio ecológico de los ecosistemas, interviene en gran parte de los procesos biológicos, satisface las necesidades básicas del ser humano y es utilizada en la mayoría de sus actividades productivas; además de ser un factor de suma importancia en el desarrollo y bienestar económico y productivo de todos los países (Paredes, 2015).

En la búsqueda de su bienestar, el humano ha dado origen a las grandes ciudades que hoy en día conocemos, las cuales, al paso del tiempo, se han poblado más y, como se ha mencionado anteriormente, esto puede ocasionar problemas de contaminación.

El Rio Grijalva ubicado en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, es uno de principales cuerpos de agua en el estado, que desempeña un papel crucial tanto en el ecosistema regional como en la vida cotidiana de las comunidades que se encuentran a lo largo de su curso. Este río no solo es fundamental para la biodiversidad local, sino que también es una fuente de vital de agua para actividades agrícolas, industriales y consumo humano.

Este estudio pretende llevar a cabo un monitoreo, en dos temporalidades, mediante la implementación de los siguientes parámetros físico-químicos: temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (SDT). Obtener estos datos y analizarlos representará uno de los primeros pasos para conocer la condición presente de este segmento del río. Además, es de suma importancia para el desarrollo de políticas ambientales y regulaciones que promuevan la protección del recurso hídrico y la implementación de medidas de remediación. Y así, contribuir al archivo histórico de este tema, que pudiera ayudar a futuras investigaciones que pretendan continuar con el monitoreo de este cuerpo de agua.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Evaluar la calidad fisicoquímica del agua en el tramo “Embarcadero” Chiapa de Corzo-Puente Belisario Domínguez, del Rio Grijalva, Chiapas.

4.2 ESPECÍFICOS

- Realizar un recorrido, para ubicar lo puntos de muestreo para la elaboración del mapa de ubicación de los puntos de muestreo.
- Caracterizar el agua con los parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (STD), en el tramo del río.
- Analizar los resultados de los muestreos de acuerdo a los límites máximos permisibles para agua de uso y consumo humano indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-2021.

5. ANTECEDENTES

La calidad del agua en los ríos es un tema crucial para la salud pública, el medio ambiente y la economía. Los ríos proporcionan agua para consumo humano, agricultura, industria y recreación, pero también pueden ser fuente de contaminación y riesgos para la salud.

A nivel mundial, en los países en desarrollo menos de 10 por ciento del agua usada es tratada, situación no muy diferente a la de México, donde los porcentajes están cerca de 20 por ciento, en cuanto a agua utilizada en servicios urbanos o industriales (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2005). Esto significa que la mayor parte del líquido se vierte a ríos, lagos o mares sin ningún tratamiento previo, ocasionando la contaminación de éstos y, en consecuencia, la reducción de agua disponible para el consumo humano.

En México, los ríos enfrentan problemas de contaminación debido a la descarga de aguas residuales sin tratamiento, actividades agrícolas y ganaderas, y la deforestación. De acuerdo a la CONAGUA, en 2020: el 70% de las aguas superficiales estaban contaminadas, y el 40% de los ríos presentaban niveles críticos de contaminación.

El río Grijalva, ubicado en Chiapas, México, es un recurso hídrico vital que sustenta la biodiversidad y las actividades económicas de la región. Sin embargo, su calidad fisicoquímica ha sido gravemente afectada por las distintas actividades humanas. Diversos estudios han documentado la contaminación del río Grijalva por actividades industriales y agrícolas. Por ejemplo, en una investigación realizada por Pérez (2015), determinó que las descargas de aguas residuales sin tratar han contribuido a altos niveles de nutrientes y metales pesados en la fuente, afectando tanto la salud del ecosistema acuático como la calidad del agua para consumo humano.

El trabajo de García y López (2017), detalla el monitoreo de parámetros fisicoquímicos como pH, turbidez, OD y concentración de sólidos suspendidos. Los resultados indicaron variaciones significativas a lo largo del río, lo que sugiere la influencia de fuentes puntuales y difusas de contaminación, afectando la biodiversidad y la salud ecológica del ecosistema acuático. Además, el estudio subraya la importancia de implementar medidas de gestión y conservación para proteger este recurso hídrico.

Según un informe de la Secretaría de Salud de Chiapas (2020), el deterioro de la calidad del agua del río Grijalva ha implicado riesgos para la salud pública, incluyendo brotes de enfermedades gastrointestinales asociadas a la contaminación por patógenos en el agua.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de monitorear continuamente la calidad del agua y de implementar medidas para reducir la contaminación, estrategias de manejo y conservación que aseguren la sostenibilidad del Río Grijalva, y la protección de sus recursos hídricos, especialmente en áreas más densamente pobladas.

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

6. MARCO TEÓRICO

6.1 CICLO HIDROLÓGICO

Podemos pensar en el ciclo hidrológico como una serie de reservas o áreas de almacenamiento, y una serie de procesos que causan que el agua se mueva entre estas reservas. Las reservas más grandes son los océanos, que contienen aproximadamente un 97% del agua de la Tierra. El 3% restante es el agua dulce, tan importante para nuestra sobrevivencia. De ésta, aproximadamente el 78% está almacenada en la Antártica y en Groenlandia. Aproximadamente, el 21% de agua dulce en la Tierra está almacenada en sedimentos y rocas debajo de la superficie de la tierra. El agua que vemos en los ríos, arroyos, lagos y en la lluvia constituye menos del 1% del agua dulce de la Tierra y menos que el 0.1% de toda el agua del planeta (Egger, 2003).

En la **Figura 1**, se presenta detalladamente la distribución del agua en el mundo;

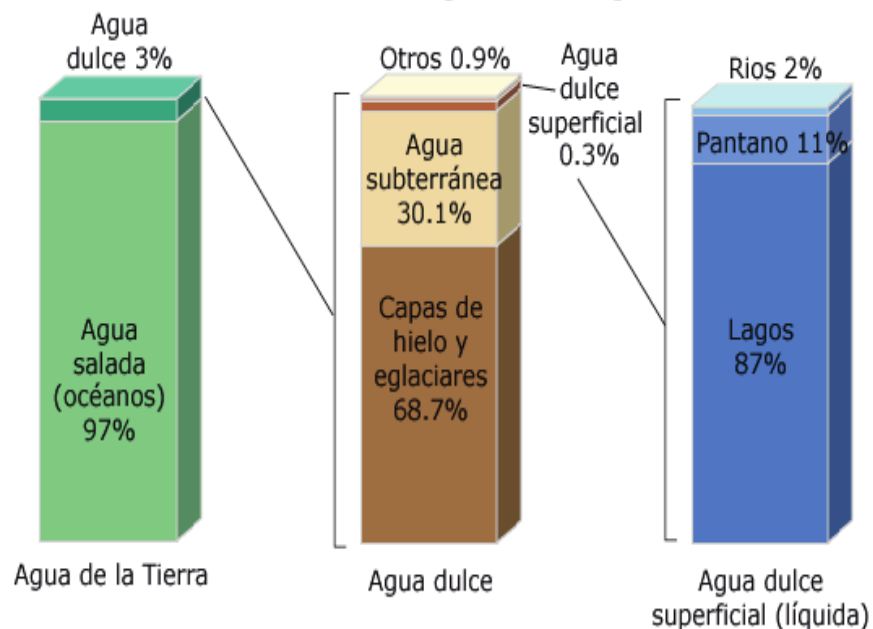


Figura 1. Distribución Global del Agua

Fuente: United States Geological Survey (USGS).

Se denomina ciclo hidrológico (ciclo del agua) al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (agua superficial o agua subterránea) (Villon, 2002). Se trata de un conjunto de procesos simultáneos interrelacionados.

Se encarga de regular la temperatura, cambiar el clima, crear las lluvias, circular los minerales del suelo y crear las formas geográficas de la Tierra (icebergs, ríos, lagos, etc.). En la **figura 2** se puede observar las etapas de este ciclo (Advanced Purification Engineering Corp (APEC), 2013):

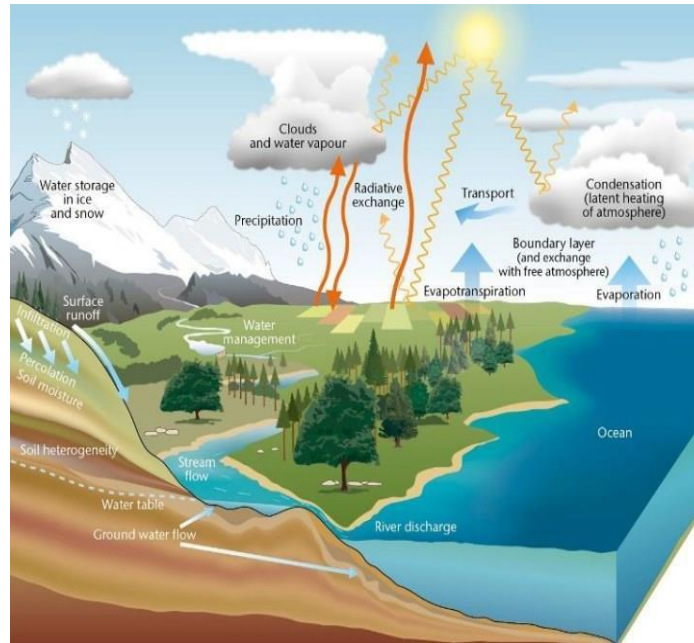


Figura 2. Esquema del Ciclo Hidrológico y sus etapas.

Fuente: APEC, 2013.

Evaporación: Es un proceso en donde el agua superficial se transforma en vapor de debido al calor del Sol y se mueve de la hidrósfera a la atmósfera. Al momento de evaporarse, se reduce la temperatura de los cuerpos de agua.

Condensación: A medida que el agua se vaporiza en vapor de agua, se eleva en la atmósfera. A grandes altitudes, el vapor de agua se transforma en partículas muy pequeñas de hielo / gotas de agua debido a la baja temperatura. Estas partículas se acercan y forman nubes y nieblas en el cielo.

Sublimación: La sublimación es un proceso en el que el hielo se convierte directamente en vapores de agua sin convertirse en agua líquida. Este fenómeno se acelera cuando la temperatura es baja o la presión es alta. Las principales fuentes de agua por sublimación son las capas de hielo del Polo Norte y el Polo Sur y los casquetes polares de las montañas.

Precipitación: Las nubes se vierten como precipitación debido al viento o al cambio de temperatura. Esto ocurre porque las gotas de agua se combinan para formar gotas más grandes, por lo que cuando el aire no puede retener más agua, precipita. A grandes altitudes, la temperatura es baja y, por lo tanto, las gotas pierden su energía calorífica. Estas gotas de agua caen en forma de lluvia. Si la temperatura es muy baja (por debajo de 0°), entonces las gotas de agua caen en forma de nieve. Así el agua entra en la litósfera al aterrizar en la tierra.

Transpiración: A medida que el agua precipita, parte de ella es absorbida por el suelo. La transpiración es un proceso en el que las plantas convierten el agua líquida en vapor de agua. Las raíces de las plantas absorben el agua y la empujan hacia las hojas, donde se utiliza para la fotosíntesis. Así, el agua entra en la biosfera y sale en una fase gaseosa.

Escorrentía: Es el proceso en el que el agua corre sobre la superficie de la tierra. A medida que el agua corre sobre el suelo, desplaza la capa superior del suelo con ella y mueve los minerales junto con el arroyo. Esta escorrentía se combina para formar canales, ríos y termina en lagos, mares y océanos. En esta fase, el agua entra en la hidrósfera.

Infiltración: Parte del agua que precipita no escurre hasta los cuerpos de agua, sino que se mueve profundamente en el suelo, es decir, se infiltra; y de esta manera aumenta el nivel de la capa freática.

El Instituto del Agua (2024), explica que el ciclo hidrológico es un proceso crucial y eterno que mueve el agua desde la tierra hasta la atmósfera y de vuelta. Este ciclo, también conocido como el ciclo del agua, juega un papel primordial en la distribución y disponibilidad de agua dulce en nuestro planeta. La evaporación, la condensación, la precipitación y la infiltración son las etapas fundamentales que permiten el funcionamiento de este sistema. Cada una de estas etapas tiene su importancia y complejidad, pero todas trabajan en conjunto para mantener la vida en la Tierra. Es importante entender que el equilibrio del ciclo hidrológico se ve amenazado debido al cambio climático y a la intervención humana. Por ello, es crucial tomar consciencia sobre nuestra responsabilidad en la preservación de los recursos hídricos y en la mitigación de los impactos negativos sobre el ciclo del agua.

6.2 AGUAS SUPERFICIALES

La NOM-127-SSAI-2021, define como agua superficial a la que fluye sobre la superficie del suelo a través de arroyos, canales y ríos, o que se almacene en lagos, embalses, ya sean naturales o artificiales.

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).

El agua superficial proviene de las precipitaciones, no se infiltra ni regresa a la atmósfera por evaporación o es también la que proviene de manantiales o nacimientos que se originan de las aguas subterráneas. Se encuentra circulando o en reposo sobre la superficie de la tierra. Estas masas de agua sobre la superficie de la tierra, forman ríos, lagos, lagunas, pantanos, charcas, humedales, y otros similares, sean naturales o artificiales (JAPAC, 2016).

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 $2\,120\text{ km}^3$) y aproximadamente nueve veces lo almacenado en los pantanos y humedales (Estadística E Información Ambiental, 2018).

6.3 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).

6.4 AGUAS SUPERFICIALES EN CHIAPAS

El estado de Chiapas se caracteriza por una abundante red hidrográfica, destacando las cuencas del río Grijalva-Mezcalapa y Usumacinta, además de múltiples ríos costeros que desembocan en el océano Pacífico. Estas cuencas aportan gran parte del caudal superficial del país y son fundamentales para la generación hidroeléctrica, la agricultura y la conservación de ecosistemas acuáticos (SEMARNAT, 2019; INEGI, 2022).

Sin embargo, los cuerpos de agua de Chiapas enfrentan diversas presiones antropogénicas, como descargas de aguas residuales sin tratamiento, contaminación agrícola y alteraciones por infraestructura hidroeléctrica. Estos factores afectan parámetros como el pH, la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales, reduciendo la calidad del agua (Escalona-Domenech *et al.*, 2025).

El manejo sostenible de los recursos hídricos en Chiapas requiere fortalecer el monitoreo, ampliar la cobertura de tratamiento de aguas residuales y promover la gestión integrada de cuencas, garantizando la preservación del recurso para las generaciones futuras (GWP, 2021).

6.5 AGUAS SUBTERRÁNEAS

De acuerdo al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2019):

“Las aguas subterráneas son todas las aguas de lluvia que caen sobre una tierra que puede ser penetrada por algún líquido, que luego descienden lentamente, bajo la acción de la gravedad, hasta encontrar un terreno o asiento impermeable. La acumulación de este recurso conforma una capa de agua debajo de la superficie del terreno. Esta agua fluye en forma permanente en el subsuelo y eventualmente sale a la superficie de manera natural a través de manantiales, áreas de humedales, cauces fluviales o de forma directa hacia el mar.”

6.6 CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, que cumplan con ciertas condiciones de seguridad. Para conocer esta información se requieren datos puntuales como la determinación de ciertos

parámetros fisicoquímicos relacionados con la presencia de materia orgánica como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO); presencia de nutrientes por medio de Nitrógeno y Fósforo Total; y otros parámetros de interés como son: la Alcalinidad, pH, Temperatura, CE, Sólidos Suspendidos, OD, entre otros (Foster *et al.* 2003).

Castro *et al.*, 2014, explica que la calidad del agua se mide de acuerdo con distintos parámetros mediante los cuales se cuantifica el grado de alteración de las cualidades naturales y se la clasifica para un uso determinado. Uno de ellos es el Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un cercano o igual a 0%, en tanto que el agua en excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100%. Se ha convertido en un instrumento fundamental para transmitir información sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general. Es un indicador compuesto que integra información de varios parámetros de calidad del agua y presenta diferentes metodologías según su autor. Es una herramienta matemática para la calidad y puede ser utilizada para transformar grandes cantidades de datos sobre la calidad del agua en una escala de medición única. El tipo de calidad del agua se define en función de los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos. El establecimiento de la calidad antes del uso es crucial para diversos fines, tales como: agua potable, el agua utilizada en la agricultura, el agua utilizada para el ocio (pesca, natación) o agua que se utiliza en la industria.

6.7 DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA

El deterioro de la calidad del agua es un gran problema que va en aumento, y es considerado uno de los principales problemas ambientales. Las principales causas, tanto para el agua dulce como la salada, son los vertidos incontrolados de las aguas residuales urbanas e industriales, muchas veces sin tratamiento, así como las prácticas agrícolas deficientes. La contaminación atmosférica, la acumulación de sustancias químicas en suelos y sedimentos, el exceso de bombeo de aguas subterráneas, la minería y otras industrias de extracción, también contribuyen a su deterioro. Los principales efectos que produce el agua contaminada en el medio ambiente son: contaminación microbiológica del agua, con la transmisión hídrica de enfermedades; pérdida de los ecosistemas acuáticos; riesgo de infecciones crónicas en el

hombre, asociadas a la contaminación química; pérdida de la capacidad productiva en suelos regados, a causa de procesos de salinización; pérdida de suelos por erosión. Hay que considerar que no todos los problemas de calidad de agua son únicamente consecuencia del impacto del hombre. Las características geoquímicas naturales pueden aportar cantidades elevadas de metales y sales a las aguas subterráneas, reduciendo su uso como agua de bebida. No obstante, cualquiera de estos eventos, impacta menos que cualquier actividad desarrollada por el hombre (Fernández, 2012).

6.8 AGUAS RESIDUALES

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, se definen como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Las aguas residuales son una combinación de uno o más de los efluentes domésticos consistentes en aguas negras (orina, excreta y lodo fecal) y aguas grises (provenientes de la cocina y/o el baño), agua de establecimientos comerciales e instituciones (incluyendo hospitales), efluentes industriales, aguas pluviales y otros escurrimientos urbanos, agrícolas y motívelas, etcétera (Raschid y Jayakody, 2008).

Díaz *et al* (2012), definen por aguas residuales a la acción y efecto en la que el hombre introduce materias contaminantes, formas de energía o inducir condiciones en el agua de modo directo o indirecto; implica alteraciones perjudiciales de su calidad con relación a los usos posteriores o con su función ecológica. Estas aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias. El agua residual está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos; es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos.

Se asume que, en el área del presente estudio, existen descargas de aguas residuales domésticas. De manera específica, hacen referencia a aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.), consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos.

Se estima que las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca de 99,9 % y apenas 0,1 % de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, esta pequeña fracción de sólidos es la que presenta los mayores problemas en su tratamiento y su disposición. En el tratamiento de aguas residuales domésticas se pretende eliminar los contaminantes hasta alcanzar los valores máximos permisibles de acuerdo a las normas y estándares nacionales o internacionales. (Díaz *et al*, 2012).

6.9 PROBLEMAS OCASIONADOS POR LAS AGUAS RESIDUALES

Parte de los problemas de contaminación del agua son causados debido al crecimiento urbano ya que cada vez son más personas y empresas generadoras de aguas residuales que terminan en ríos, mares y demás. La falta de políticas públicas que sancionen este tipo de contaminación se ven reflejadas en aquellas áreas que terminan totalmente contaminadas y llenas de residuos industriales y tóxicos. Al igual, la falta de plantas tratadoras de aguas residuales en las ciudades ocasiona que se generen grandes cantidades de desechos de aguas contaminadas, provocando un daño al medio ambiente que repercute en la salud de la flora, la fauna y los seres humanos. La generación de aguas residuales provoca un sinnúmero de problemas de salud y de mala imagen para los sitios turísticos, comunidades, ciudades y países, formando parte de este problema los metales pesados, aceites, grasas, detergentes, fertilizantes, pesticidas y demás productos químicos (Ávila y Bojórquez, 2020). Estos autores hacen mención de algunos de los efectos provocados por estas aguas:

- **Malos olores:** Debido a los compuestos que contienen se generan gases.
- **Acción tóxica:** Provoca un deterioro a la flora y fauna, en los cuerpos receptores y sobre los consumidores que utilizan estas aguas.
- **Transmisión de enfermedades:** Al contener sustancias químicas el consumo de estas provoca enfermedades mortales y muy dañinas para el cuerpo.

Los efectos más destacados que tiene la contaminación por aguas residuales son la desaparición de la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos. Al igual, los seres humanos se ven perjudicados a causa de la alteración que estas producen en la cadena alimentaria.

6.10 AGUA EN LA SOCIEDAD

De acuerdo a Fernández (2012), la disponibilidad de agua es de suma importancia para la vida y el desenvolvimiento económico de cualquier región del mundo. Los recursos disponibles deben repartirse entre numerosos usuarios además de tener en cuenta las necesidades del medio ambiente. Durante muchos años, todos los recursos eran considerados disponibles para cualquier uso antrópico, sin tener en cuenta la calidad o las necesidades para los usos ambientales. Existe una relación estrecha entre el uso de aguas residuales sin tratar y los problemas sanitarios. La creciente competencia por el agua está llevando a un mejor uso de este enorme recurso. El agua es usada para muchas finalidades y en cada caso se requiere una calidad particular, siendo importante no utilizar agua de calidad superior para un uso que no lo requiera. El aprovisionamiento de agua para uso doméstico es el más exigente, en términos de calidad y seguridad del suministro. La calidad de agua tiene consecuencias directas en la salud humana, situación que se torna más grave por la demanda creciente. El agua potable es necesaria para la vida, para la salud y para una existencia productiva, la salud humana depende no sólo de la cantidad de agua suministrada, sino principalmente de la calidad.

El grado de deterioro ecológico y ambiental que se le ha infringido al planeta se manifiesta cada vez con mayor frecuencia y de múltiples formas: sequías severas, huracanes, pérdidas irreparables de biodiversidad o contaminación de fuentes hídricas. A últimas fechas los temas ambientales han encabezado las listas de prioridades de gobiernos, organizaciones civiles, centros de enseñanza e investigación, empresas, etc. En el contexto de la actual situación ambiental y ecológica mundial, sin duda uno de los problemas de mayor relevancia es el referente al agua, no sólo por las fuertes desigualdades que impone su distribución geográfica, tanto en el tiempo como el espacio, sino por las decisiones económicas y políticas que determinan nuestra relación social con este vital líquido (Peña, 2007).

En la actualidad, existen importantes problemas respecto al abastecimiento del agua potable a nivel mundial, y México no ha sido la excepción, históricamente nuestro país ha enfrentado una situación hídrica compleja, con episodios graves de sequía, desabasto o inundaciones. El país requiere que su población cuente con agua potable, drenaje y saneamiento para garantizar su salud y para asegurar el crecimiento económico del país. Se necesita concientizar a la gente que el tema de agua hoy en día es muy importante y que no sólo se debe

tener conocimiento de ello, sino que la sociedad se comprometa a cuidar y a luchar por un bien necesario y agotable. Se debe demostrar que es importante tomar conciencia de que la adecuada disponibilidad y calidad del agua es uno de los pilares del desarrollo nacional, una condición necesaria para mantener el bienestar y la salud de nuestra población y uno de los elementos indispensables para un medio ambiente sano, por ende, es trascendente invertir tiempo y esfuerzo en vislumbrar la aportación que las nuevas tecnologías pueden generar en torno a la problemática representada por la escasez del agua (Nieves y Villegas, 2017).

6.11 AGUA DE CONSUMO HUMANO

El acceso al agua potable es un derecho imprescindible, ya que satisface necesidades básicas referidas a la salud y las condiciones de vida de las poblaciones humanas; expresado por el derecho de gozar de altas coberturas en los servicios de agua y saneamiento. Sin embargo, a nivel mundial aún se identifican deficiencias en la calidad de la prestación de los servicios, organización, ausencia de planificación e insuficiente inversión que puedan garantizar en el mediano y largo plazo el sostenimiento de las coberturas en los servicios de agua y saneamiento en numerosos países. El agua y la salud son dos aspectos indispensables y dependientes. En la actualidad los problemas del agua se centran tanto en la calidad como en la cantidad para abastecer a las poblaciones de una forma adecuada, así mismo están relacionados con la continuidad del servicio. Se entiende que la salud de las personas y las comunidades humanas es el resultado de procesos sociales en el que las condiciones de vida a nivel doméstico y comunitario intervienen de manera decisiva. Es por eso que la explicación del riesgo de enfermar debe abordarse también a partir de los determinantes ambientales y como parte de ellos el agua y los sistemas de abastecimiento. El concepto de ambiente al igual que el concepto de salud no se define exclusivamente desde lo biológico. La dimensión sociocultural de los problemas ambientales globales y locales, ha cobrado cada vez mayor trascendencia cuando se trata de aportar soluciones, aquí radica el carácter decisivo de la participación de la población con igualdad de derechos en la gestión de sus propias necesidades. Las necesidades de salud son parte de las necesidades sociales básicas, cuya satisfacción depende de las relaciones sociedad-naturaleza y de su gestión por parte de la sociedad, es decir, la gestión de las relaciones ambiente-salud (Hernández y Mora, 2011).

6.12 EL AGUA EN CHIAPAS

Gutiérrez *et al.*, (2016), mencionan que, en el caso de Chiapas, entre los problemas que han generado un impacto ecológico que repercute en el suministro de agua están: i) la pérdida de espacios agroecológicos; ii) ampliación de la mancha urbana; iii) contaminación de los cuerpos de agua, en gran escala por los efectos de la ganadería extensiva. Aunado a los problemas de organización social como lo son: i) poca representatividad social; ii) frágil organización interna comunitaria; iii) mala comunicación entre los usuarios del agua; y iv) poca participación de la sociedad en la gestión integral del agua.

6.13 MONITOREO

Una de las actividades más importantes para la gestión del recurso hídrico es el monitoreo periódico de los cuerpos de agua. Esta actividad permite la detección temprana de cambios en la calidad del recurso. Sin embargo, el monitoreo no es sólo hacer mediciones: se reconoce cada vez más que los datos deben estar disponibles. La comunicación de los resultados implica una retroalimentación, además, permite que la información recopilada sea utilizada en las decisiones de gestión. El monitoreo de las fuentes de agua se convierte en una herramienta de gran importancia para su vigilancia. 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 (Castro *et al.*, 2014).

6.14 PARÁMETROS

Según Cedeño (2020), en su análisis de parámetros de calidad del agua, menciona que el deterioro de la calidad del agua constituye un problema ambiental cada vez mayor debido a los efectos perjudiciales sobre la salud de los seres humanos y su impacto en el ambiente. En tal sentido, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares ya establecidos en las diversas normativas de calidad nacionales o internacionales. La determinación de la calidad de las aguas se basa en la evaluación de sus características físicas (temperatura, color, turbidez, transparencia, sólidos totales disueltos, sólidos

suspendidos, color), químicas (conductividad, pH, alcalinidad, acidez, dureza, OD, demanda de oxígeno, concentraciones de nitrógeno y fósforo, cloruros, metales pesados, biocidas, entre otros) y microbiológicas (presencia de bacterias patógenas, virus, helmintos y protozoarios, entre otras consideraciones). En el caso del agua potable, estos estándares se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

6.15 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 fisicoquímicos 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).

COLOR

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc. en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales (Colín *et al.*, 2014; Romero, 2009).

La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es, por lo tanto, objetivo esencial del tratamiento (Loayza, 2017).

TURBIEDAD

Es un estimador simple de los sólidos en suspensión. Se aplica a las aguas que contienen materia en suspensión en tal medida que interfiere con el paso de la luz a través del agua. A mayor penetración de la luz solar en una columna de agua, es menor la cantidad de sólidos o partículas en suspensión en la columna y viceversa (Castro, et al., 2014).

La determinación de turbidez es de gran importancia en aguas para consumo humano y en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas (Loayza, 2017).

TEMPERATURA

La Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2016 define como temperatura al potencial o grado calorífico referido a un cierto cuerpo.

Juega un papel muy importante en la solubilidad de los gases, en la disolución de las sales y por lo tanto en la conductividad eléctrica, en la determinación de pH, en el conocimiento del origen de agua y de las eventuales mezclas, etc. La temperatura del agua influirá en la cantidad de oxígeno presente en el agua ya que a mayor temperatura se acelerará el proceso fotosintético, así como la remoción de materia orgánica (Nieves y Villegas, 2017).

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).

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).

Aguas fuera del rango normal de 6 a 9 pueden ser dañinas para la vida acuática. Estos niveles de pH pueden causar perturbaciones celulares y la eventual destrucción de la flora y fauna acuática. En el campo de abastecimiento de agua el pH tiene importancia en la coagulación química, desinfección, ablandamiento del agua y control de corrosión (Peña, 2007). Para este parámetro se aplica la Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

La conductividad de una muestra de agua es una medida de la capacidad que tiene la solución para transmitir corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia, movilidad, valencia y concentración de iones, así como de la temperatura del agua. (Torres, 2009). Para la determinación de la CE aplica la NMX-AA-093-SCFI-2016.

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

Comprenden las sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua (Fernández, 2012). De acuerdo a la NMX-AA-034-SCFI-2016, es el material soluble constituido por materia inorgánica y orgánica que permanece como residuo después de evaporar y secar una muestra previamente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 μm a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

OXÍGENO DISUELTO (OD)

Es la cantidad presente en el agua y que es esencial para los ríos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y de cuánto sustento puede dar esa agua a la vida animal y vegetal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica una mejor calidad de agua. Si los niveles son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire, del producto de la fotosíntesis de las plantas acuáticas y también podría resultar de la turbulencia en las corrientes debido a que el oxígeno en el aire que queda atrapado bajo el agua en movimiento rápido se disuelve en ésta (Torres, 2009). La Norma Mexicana para determinar este parámetro es NMX-AA-012-SCFI-2009.

6.16 MARCO NORMATIVO LEGAL DE LA CALIDAD DEL AGUA

De acuerdo a De Anda (2017), en México se manejan una serie de normas de carácter permanente para el manejo de los procesos de potabilización. El papel más importante es el de aplicar adecuadamente las mismas. Las principales y más importantes normas manejadas por los organismos operadores de agua son:

NOM-127-SSA1-2021. Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano. Esta Norma Oficial Mexicana (NOM) establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya en todo el territorio nacional.

NOM-179-SSA1-2020. Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos y especificaciones que deberán observarse en las actividades de control de la calidad del agua para uso y consumo humano. Es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y es aplicable a todos los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento público.

NOM-230-SSA1-2002. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo. Esta NOM es de observancia obligatoria en todo territorio nacional y es aplicable a todos los organismos 37 operadores de los sistemas de abastecimiento público y privado o cualquier persona física o moral que realice el manejo del agua para uso y consumo humano.

NOM-014-SSA3-2013. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. Esta Norma Oficial Mexicana (NOM) establece los procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en los sistemas de abastecimiento públicos y privados, incluyendo aspectos bacteriológicos y físico-químicos, así como criterios para manejo, preservación y transporte de muestreo.

6.17 LEY DE AGUAS NACIONALES

La presente Ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto

regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. Las disposiciones de esta Ley son aplicables a las aguas de zonas marinas mexicanas en tanto a la conservación y control de su calidad, sin menoscabo de la jurisdicción o concesión que las pudiere regir.

Un objetivo central de la LAN es prevenir la contaminación de cuerpos de agua. En el artículo 86, la ley tiene a su cargo; Promover y, en su caso, ejecutar y operar la infraestructura federal, los sistemas de monitoreo y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos, de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas respectivas y las condiciones particulares de descarga. Además, el artículo 88 ordena la construcción de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales y exige que estas cumplan con estándares de calidad antes de ser devueltas a ríos o lagos, promoviendo así el equilibrio ecológico y la protección ambiental.

6.18 LEY DE AGUAS ESTATALES

La presente Ley establece las disposiciones que rigen la explotación, uso y aprovechamiento del recurso agua en el Estado de Chiapas, además de regular los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento. La Ley define las competencias de los municipios y demás autoridades públicas en esta materia.

Regula la gestión y conservación de los recursos hídricos estatales, con una especial atención a la calidad del agua para proteger la salud pública y los ecosistemas. Esta ley establece que el Estado debe "asegurar la preservación de la calidad del agua para satisfacer las necesidades humanas y productivas" (artículo 4), y que es responsabilidad de las autoridades supervisar el cumplimiento de los estándares de calidad.

La ley también obliga a los usuarios que realicen descargas de aguas residuales a "tratar dichas aguas conforme a los límites máximos permisibles de contaminantes" (artículo 28). Asimismo, se exige la implementación de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, asegurando que las aguas retornadas a ríos y otros cuerpos de agua no afecten el ambiente ni la salud de la población. Para ello, se establecen sanciones a quienes incumplan las normas de calidad y se prioriza la participación de la comunidad en la vigilancia de estos recursos, promoviendo un manejo sustentable y la restauración de cuerpos de agua contaminados (artículo 32).

6.19 EL RIO GRIJALVA

El Río Grijalva es uno de los más largos y caudalosos de México, así que, como otros ríos del mundo, ha sido fundamental para el desarrollo de las poblaciones que durante siglos se han establecido en sus cercanías. Conocido también con los nombres locales de Río Grande, Carrizal o Mezcalapa, nace en Huehuetenango, Guatemala, cruza los estados mexicanos de Chiapas y Tabasco y desemboca en el Golfo de México. Es refugio de una rica diversidad de especies animales y vegetales, sitios de importancia turística, como el Cañón del Sumidero —presente en el escudo de Chiapas—, o áreas protegidas por su alcance ecológico, entre las que destaca la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, que comprende el delta del Grijalva y el Usumacinta. Este río tiene una extensión de aproximadamente 57 mil km cuadrados (ECOFRONTERAS, 2019).

La región hidrológica del Grijalva se divide en dos subregiones llamadas Alto Grijalva y Bajo Grijalva. El Alto Grijalva comprende la parte del río que va desde su nacimiento en el Valle de Écija en Guatemala, hasta la Presa Angostura, abarcando un área de 9,643 km². Allí se interna en territorio mexicano por el estado de Chiapas, atraviesa las montañas de la Sierra Madre del Sur y la depresión central de Chiapas (Giménez, 2020).

6.20 RELIEVE

El río Grijalva, en su paso por Chiapas, presenta un relieve diverso que va desde terrenos montañosos en su curso alto hasta planicies en su tramo bajo. En su curso superior, el Grijalva atraviesa la Sierra Madre de Chiapas, una región caracterizada por montañas elevadas y cañones profundos. Uno de los tramos más conocidos es el Cañón del Sumidero, donde el río ha labrado un valle de paredes casi verticales que alcanzan alturas de hasta 1,000 metros. Esta sección montañosa del río destaca por su relieve abrupto, con un caudal rápido y angosto, resultado de procesos de erosión intensiva (Cruz y Ruiz, 2018; Soto y Hernández, 2016).

A medida que el Grijalva desciende hacia la Depresión Central de Chiapas, el relieve se torna menos pronunciado, con colinas y valles más amplios. Esta región es fundamental para la generación de energía hidroeléctrica, ya que la topografía permite la construcción de presas como Chicoasén y Malpaso, las cuales aprovechan la estabilidad del terreno para el

almacenamiento y control del agua (González *et al.*, 2022). En esta zona intermedia, el flujo del río se vuelve más estable y menos torrencial, adecuado para la instalación de infraestructura hidráulica (Martínez y López, 2017).

Finalmente, en su tramo bajo, al entrar en Tabasco, el Grijalva se desplaza sobre terrenos de baja pendiente y planicies aluviales, donde su corriente se vuelve más lenta y deposita sedimentos. Este cambio en el relieve hacia tierras bajas favorece la sedimentación y genera un ambiente propenso a inundaciones en temporada de lluvias, especialmente en su confluencia con el río Usumacinta.

6.21 CLIMA Y PRECIPITACIÓN

La cuenca del río Grijalva es una de las más importantes del país en términos de su caudal hídrico, debido a su tamaño y al hecho de que en ella se localizan algunas de las zonas más lluviosas del país.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020), el clima en la región del río, se caracteriza principalmente por ser cálido húmedo, con variaciones que dependen de la altitud y la cercanía a cuerpos de agua y vegetación densa. Experimenta altas temperaturas promedio anuales que oscilan entre los 24°C y 26°C. Durante la temporada de lluvias, de mayo a octubre, la precipitación es abundante, alcanzando valores de entre 1,500 y 2,500 mm anuales, lo cual contribuye a la formación de una vegetación tropical exuberante y favorece la biodiversidad de la región.

Los cambios de altitud en esta cuenca generan microclimas variados, especialmente en las áreas más altas de la región, donde la temperatura puede ser más fresca y la humedad puede variar. Además, el río Grijalva tiene una gran influencia en el clima local, ya que su caudal y los embalses que lo acompañan, como el de la presa Chicoasén, afectan la humedad y moderan las temperaturas en áreas adyacentes (CONAGUA, 2019).

El clima de esta región también está influenciado por el ciclo de huracanes en el océano Atlántico y el mar Caribe. Durante la temporada de huracanes, la cuenca del río Grijalva puede experimentar fuertes lluvias y viento que incrementan el riesgo de inundaciones, especialmente en las zonas bajas de la cuenca (Martínez *et al.*, 2018).

6.22 FLORA Y FAUNA

El río Grijalva, es un ecosistema diverso que alberga una flora y fauna variada debido a las condiciones de su cuenca, sus corrientes y sus afluentes en la región. Este entorno provee hábitats esenciales para una variedad de especies tanto acuáticas como terrestres. De acuerdo a Plascencia (2014); se han registrado más de 20.000 especies de plantas superiores, entre las que el 12% son endémicas, ocupando el primer lugar nacional en número de especies exclusivas de la región. En la zona se presentan 17 tipos de vegetación que ocupan aproximadamente un 47% de la superficie de la cuenca. Las especies más representativas son: tamarindo silvestre, zopo, caoba de Honduras, tanimbuca, tinco, chilacayote, ojoche, guanandí, acacia, guásimo, coloradillo, palo bermejo, amargoso, indio desnudo, cedro oaxaqueño, pochote, algodoncillo, curbaril, guanacaste, crotón y frijolillo. De la mano con la diversidad vegetal, la cuenca del río Grijalva es un reservorio de una gran biodiversidad de fauna. La variabilidad del clima a lo largo de la cuenca marca la presencia de diferentes especies por sectores, algunas de ellas endémicas, por lo que están protegidas o en peligro de extinción. Se estima que en la zona habita el 67% de las especies animales registradas en México, 150 especies de peces de agua dulce, 189 especies de anfibios, 240 especies de aves y 200 especies de reptiles. Algunas de las más representativas de la zona son sardinita macabí, cocodrilo de río, serpiente tigre, guayacón de Chimalapa, róbal negro, hocofaisán, lobito de río, mano de piedra centroamericana, tenguayaca, kinkajú, garza blanca, murciélago de hoja nasal, turipache de montaña, zorra manglera, cormoranes, encinela de selva y mono araña. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2016), menciona que este ecosistema enfrenta desafíos debido a la presión humana y la contaminación, lo cual afecta tanto a la biodiversidad como a la calidad del agua del río Grijalva. Se han implementado esfuerzos para preservar estas áreas, reconociendo la importancia ecológica y económica de esta región.

7. METODOLOGÍA

La presente investigación conllevará una serie de pasos que se describirán a continuación:

7.1 REALIZACIÓN DEL RECORRIDO

Con el objetivo de establecer los puntos representativos para el monitoreo de la calidad fisicoquímica del agua, se realizó un recorrido de reconocimiento a lo largo del tramo seleccionado del río Grijalva. Esta actividad tuvo como finalidad identificar los puntos más adecuados para efectuar el muestreo, considerando criterios;

- **Técnicos** (representatividad, accesibilidad y seguridad del muestreo, continuidad temporal),
- **Ambientales** (condiciones hidrológicas, usos del suelo, zonas de influencia de fuentes contaminantes, condiciones ecológicas)
- **Y logísticos** (accesibilidad física, seguridad, permisos, condiciones climáticas).



Figura 3. Recorrido de reconocimiento en el río.

Fuente: Hernández, 2025.

Durante el recorrido se efectuó una inspección visual y técnica del cauce principal, registrando aspectos como el color, olor, presencia de residuos sólidos, vegetación ribereña, accesibilidad y posibles fuentes de contaminación. Asimismo, se observaron las condiciones del entorno.



Figura 4. Presencia de residuos en el río durante el monitoreo.

Fuente: Hernández, 2025.

Los puntos fueron documentados mediante fichas de campo que incluyeron coordenadas, descripción del entorno, fotografías y observaciones relevantes (se describirá a continuación). Con esta información se elaboró el mapa de localización de los puntos de muestreo propuestos, el cual será de base para los estudios o trabajos posteriores de monitoreo fisicoquímico.

7.2 ELABORACIÓN DEL MAPA CON LOS PUNTOS DE MUESTREO

Se delimitaron los puntos de muestreo para realizar la caracterización del agua, desde el Embarcadero “Chiapa de Corzo” (PI), hasta la ubicación del Puente Belisario Domínguez (PF), una longitud de 5922.8 m > 5.92 km. En este tramo se seleccionaron 4 puntos, son los más representativos, ya que presentan una alta zona antropogénica, son de fácil accesibilidad, son seguros y, además se presume que existen posibles fuentes de contaminación.

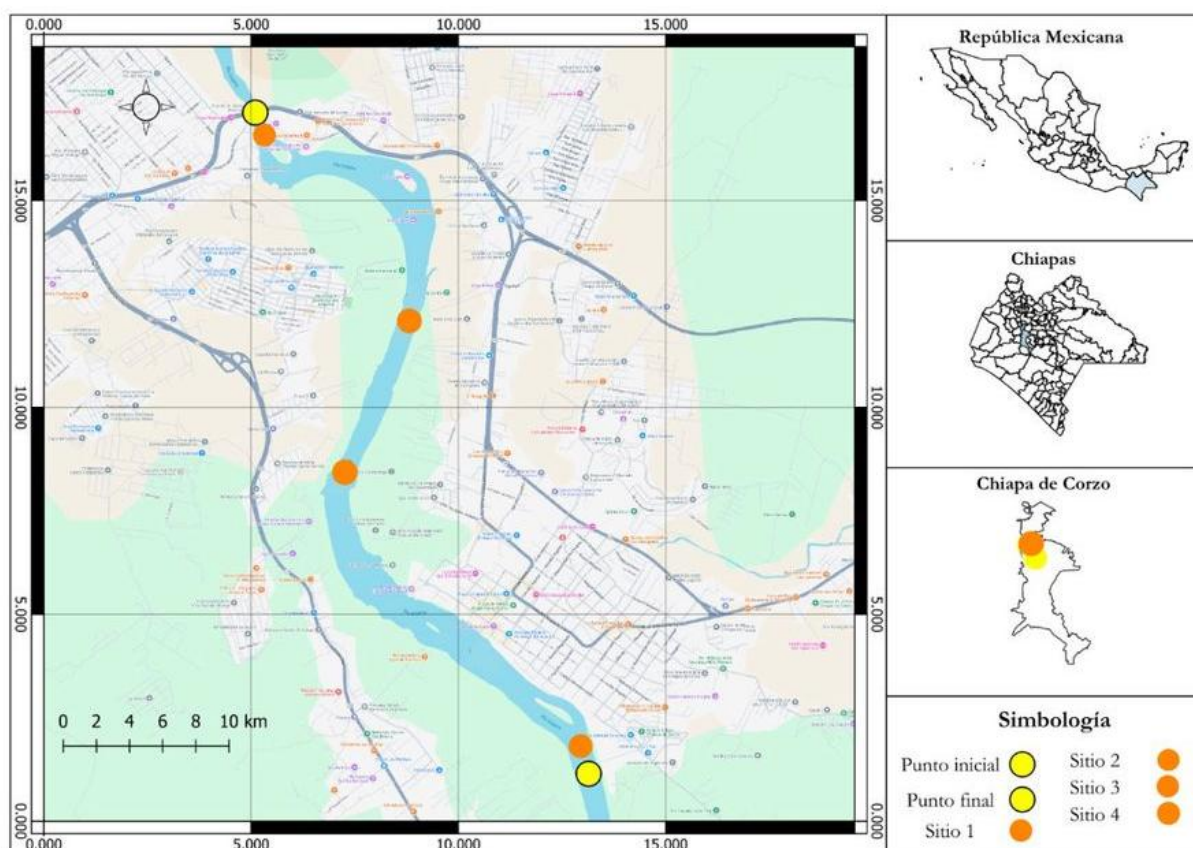


Figura 5. Ubicación de los puntos del tramo a muestrear.

Fuente: Andrade, 2025.

Dichos muestreos se realizarán en la época de lluvia y estiaje del año 2025, en las coordenadas que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Ubicación de cada uno de los puntos de muestreo.

Puntos	Coordenadas geográficas
1	16° 40' 59.5" N; 93° 5' 56.4" O
2	16° 41' 42.3" N; 93° 7' 5.9" O
3	16° 42' 49.7" N; 93° 6' 48.6" O
4	16° 43' 54.1" N; 93° 8' 6.4" O

Fuente: Hernández, 2025.

Tabla 2. Distancia entre los puntos de muestreo.

Puntos	Distancia (metros)
1-2	1891.2 m
2-3	1871.1 m
3-4	1736.9 m

Fuente: Hernández, 2025.

7.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CON LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Tabla 3. Materiales necesarios para realizar los muestreos.

Cantidad	Material
-	Fichas de campo, tabla portapapeles, bolígrafo
500ml	Piseta con agua destilada y papel
1	Canasta y bolsas de basura

Fuente: Hernández, 2025.

Tabla 4. Equipos necesarios para realizar los muestreos.

Equipo
Equipo de protección personal (bata, guantes, cubrebocas, ropa adecuada).
Medidor de bolsillo combo (temperatura, pH, conductividad, TDS) (Intervalo alto) “HANNA” HI98129.
GPS
Celular (para fotografiar)

Fuente: Hernández, 2025.

El uso de cada equipo de protección (Tabla 4) es de suma importancia, para garantizar tanto la calidad de la muestra como la seguridad del personal que realiza el muestreo.

Se llevó a cabo el muestreo en temporada de estiaje en el mes de marzo y en septiembre se realizó para lluvias. En cada uno de los cuatro sitios, se hicieron observaciones, se identificaron las condiciones climáticas de cada uno y se registraron en la hoja de campo. Cabe recalcar, que todos los parámetros fueron tomados *in situ* con el medidor de bolsillo “HANNA” HI98129. Tras cada medida se lavaron los electrodos con agua destilada para asegurar la calidad de los resultados.



Figura 6. Registro de observaciones durante el monitoreo.
Fuente: Hernández, 2025



Figura 7. Toma de monitoreo en estiaje
Fuente: Hernández, 2025



Figura 8. Toma de monitoreo en temporada de lluvias.
Fuente: Hernández, 2025.

8. RESULTADOS

Los datos correspondientes a la caracterización se registraron en la Tabla 5. Del mismo modo, se presentan por temporada y por el punto de muestreo.

Tabla 5. Caracterización fisicoquímica del agua en temporada de estiaje y lluvia, Rio Grijalva, Chiapas.

Parámetro	Punto de muestreo								LMP establecidos NOM-127- SSA1-2021.
	1		2		3		4		
	Estiaje	Lluvia	Estiaje	Lluvia	Estiaje	Luvia	Estiaje	Lluvia	
Temperatura (°C)	29.8	26.4	29.2	25.2	26.2	25.14	27.4	26.6	No mayor a 35°C
pH (Unidades de pH)	8.18	7.25	7.64	7.03	7.56	7.23	7.71	7.19	6.5-8.5
Conductividad Eléctrica (μS/cm)	438	451	474	449	432	507	421	449	1500 (NMX- AA-093- SCFI-2000).
SDT (mg/L)	220	225	237	214	216	280	225	224	1000 mg/L.

Fuente: Hernández, 2025.

En los siguientes gráficos, se puede apreciar el comportamiento de cada parámetro respecto a la época (de lluvias o estiaje):

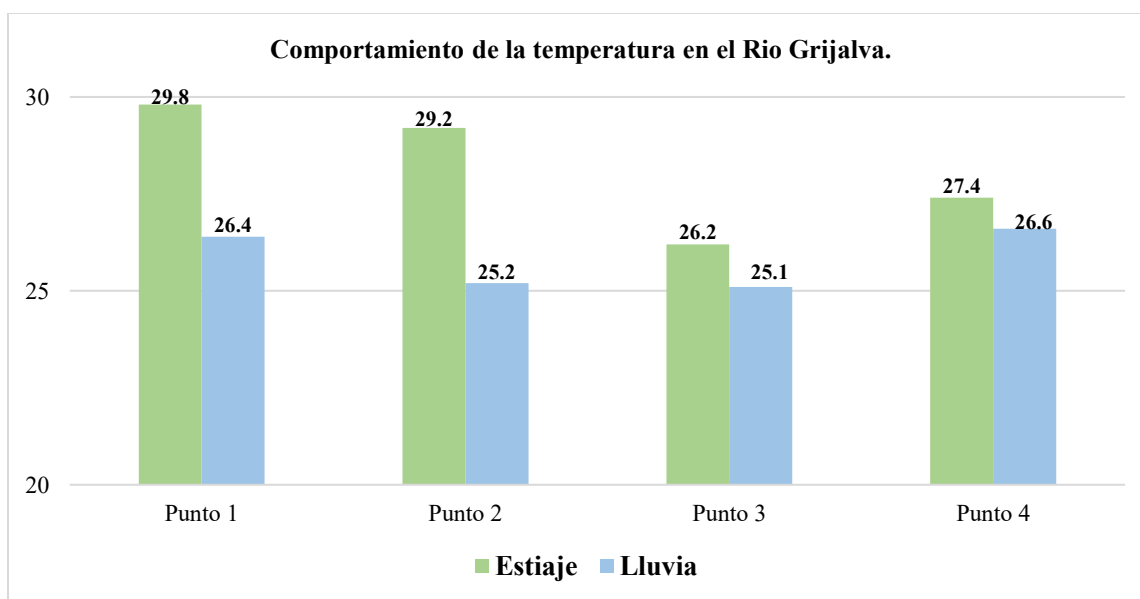


Gráfico 1. Análisis del comportamiento de la temperatura del agua en el Rio Grijalva en dos temporadas.

Fuente: Hernández, 2025.

En el **gráfico 1** se observa que en la temporada de estiaje las temperaturas son más elevadas, con valores que oscilan entre 26.2°C y 29.8°C, mientras que en la temporada de lluvias registraron temperaturas ligeramente menores, entre 25.1°C y 26.6°C. El punto con la temperatura más alta fue el **Punto 1 (29.8°C en estiaje)** y el valor más bajo correspondió al **Punto 3 (25.1°C en lluvias)**.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, que establece los límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano, la temperatura no cuenta con un límite máximo específico. Sin embargo, se reconoce que temperaturas elevadas pueden alterar las características organolépticas del agua (sabor, olor y color), además de afectar la eficiencia de los procesos de desinfección (Secretaría de Salud, 2021). En este sentido, los valores registrados no representan un riesgo directo para la salud, pero temperaturas cercanas a los 30 °C podrían favorecer el crecimiento de microorganismos y disminuir la concentración de oxígeno disuelto, lo cual repercute en la calidad ambiental del río.

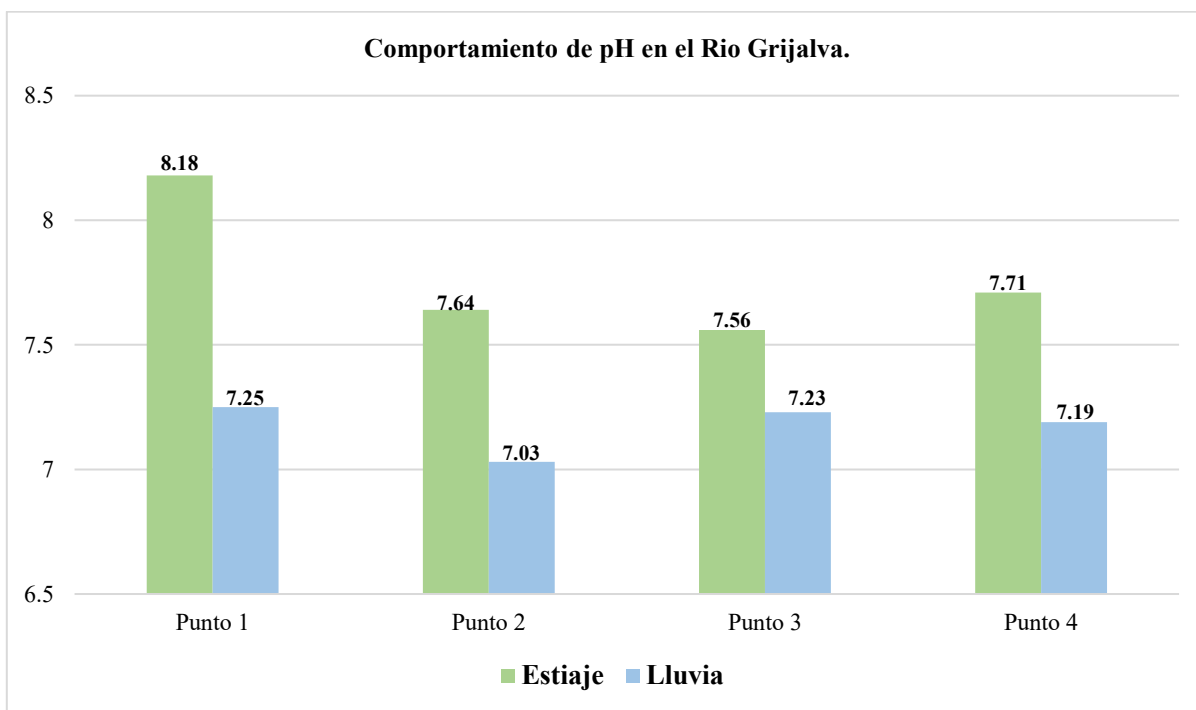


Gráfico 2. Análisis del comportamiento del pH en el Rio Grijalva en dos temporadas.

Fuente: Hernández, 2025.

Los valores oscilan entre **7.03 y 8.18**, manteniéndose dentro del rango neutro a ligeramente alcalino. Durante la temporada de estiaje se registraron los valores más altos (7.56-8.18), mientras que en lluvias el pH disminuyó ligeramente (7.03-7.25).

De acuerdo con la NOM-127-SSAI-2021, los valores permisibles de pH para agua destinada a uso y consumo humano se encuentran entre 6.5 y 8.5, por lo que las mediciones se encuentran dentro del límite establecido. Este parámetro es importante, ya que influye en la solubilidad de metales, la actividad biológica y la eficacia de la desinfección del agua.

El valor del pH del agua, indica el nivel de acides o alcalinidad, por lo tanto, es considerado un indicador esencial, que permite determinar la idoneidad o no del agua para sus diferentes usos (Ávila y Bojórquez, 2020).

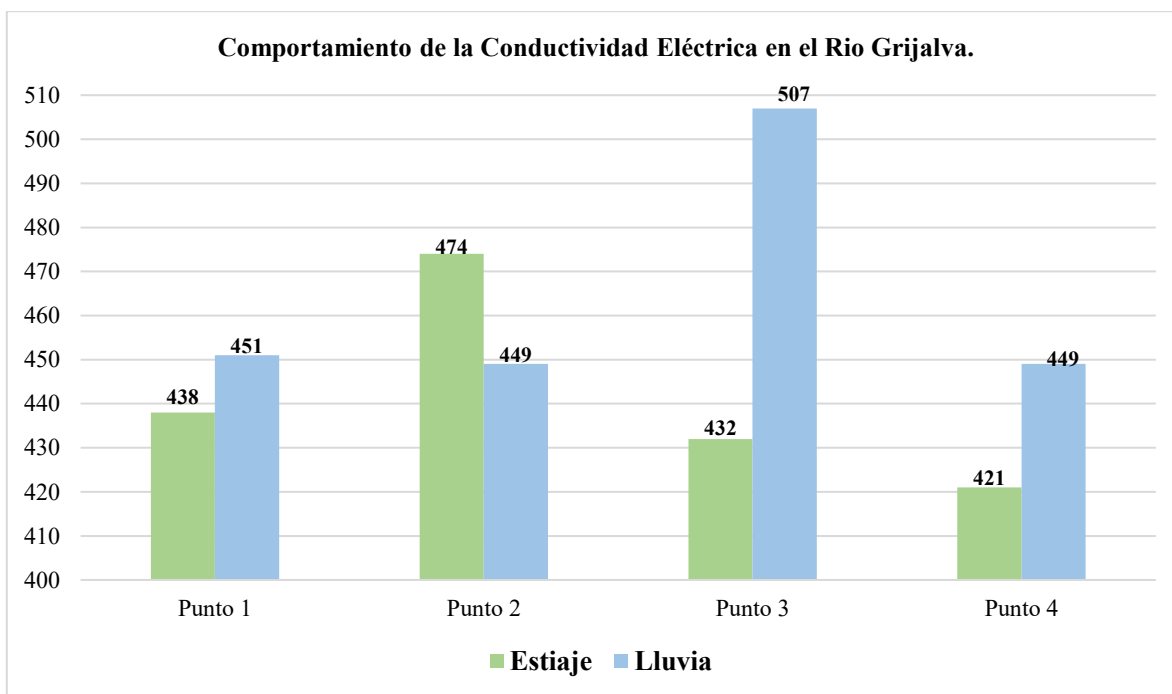


Gráfico 3. *Análisis del comportamiento de la Conductividad Eléctrica del agua en el Rio Grijalva en dos temporadas.*

Fuente: Hernández, 2025.

La conductividad eléctrica del agua proporciona una evaluación de la concentración total de iones disueltos en el agua, siendo una propiedad importante en este elemento que se toma como indicador del grado de mineralización del agua (Cedeño, 2020).

En el **gráfico 3** los valores variaron entre 421 y 474 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en estiaje, y entre 449 y 507 $\mu\text{S}/\text{cm}$

en lluvias, observándose un incremento durante la temporada de lluvias, principalmente en el **Punto 3 (507 $\mu\text{S/cm}$)**.

De acuerdo con la NOM-127-SSA1-2021, los valores de CE obtenidos se encuentran dentro del límite recomendado ($\leq 1000 \mu\text{S/cm}$) para agua destinada a consumo humano, indicando una baja mineralización y adecuada calidad química.

Asimismo, la NOM-001-SEMARNAT-2021 establece la conductividad eléctrica como un indicador indirecto de la presencia de contaminantes disueltos en descargas de aguas residuales, permitiendo evaluar el impacto de actividades antropogénicas sobre los cuerpos receptores. Los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos normales para ríos con bajo nivel de perturbación, aunque el incremento observado en temporada de lluvias (Punto 3) sugiere un mayor aporte de materia disuelta y sales, posiblemente por el escurrimiento superficial o aportes difusos.

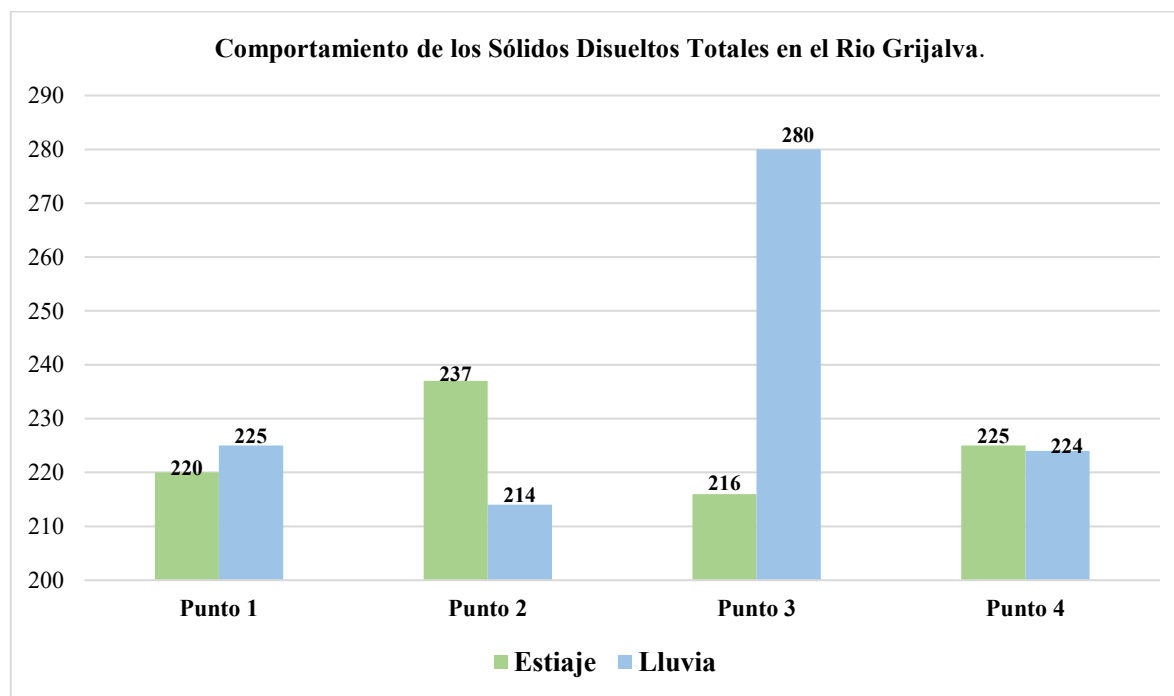


Gráfico 4. *Análisis del comportamiento de los Sólidos Disueltos Totales del agua en el Rio Grijalva en dos temporadas.*

Fuente: Hernández, 2025.

En este indicador Sólidos Disueltos Totales, básicamente es la suma de todos los minerales, metales y sales disueltos en el agua, siendo un buen indicador para la calidad del agua (García, 2015).

Durante la temporada de estiaje, los valores de SDT fueron relativamente constantes entre los puntos de muestreo, con un rango de **216 a 237 mg/L**. En contraste, en la temporada de lluvias se observa un incremento notable en el **Punto 3**, con un valor máximo de **280 mg/L**, mientras que los demás puntos se mantienen en un intervalo de **214 a 225 mg/L**. Este incremento en época de lluvias puede atribuirse al arrastre de materiales, sedimentos y contaminantes disueltos provenientes de la escorrentía superficial y de aportes difusos, fenómeno común en sistemas fluviales con alta variabilidad hidrológica.

Si bien los valores actuales de SDT no exceden los límites establecidos, el incremento observado en el Punto 3 durante la temporada de lluvias podría sugerir una mayor aportación de cargas contaminantes en ese sector, probablemente derivadas de actividades humanas o procesos erosivos en la cuenca.

9. CONCLUSIONES

El análisis integral de los parámetros físico-químicos de la calidad del agua en el tramo: Embarcadero de Chiapa de Corzo al Puente Belisario Domínguez del Río Grijalva, permitió identificar un comportamiento estacional definido y coherente con las condiciones climáticas propias de la región. Los resultados obtenidos reflejan que la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales se mantienen dentro de los límites establecidos por la NOM-127-SSA1-2021 para agua destinada a uso y consumo humano.

Durante la temporada de estiaje, la temperatura mostró valores más elevados, producto de la disminución del caudal, la mayor radiación solar y la menor cobertura nubosa, lo que favorece el calentamiento del agua. En contraste, durante la temporada de lluvias, se observó un ligero descenso de la temperatura debido al incremento del caudal y la mezcla de aguas superficiales. Este comportamiento natural no representa alteraciones térmicas significativas que pudieran comprometer la biota acuática o la oxigenación del sistema.

El pH se mantuvo dentro de un rango neutro a ligeramente alcalino, con pequeñas variaciones estacionales. En estiaje, los valores más altos indican una mayor concentración de carbonatos, mientras que, en lluvias, la dilución y la incorporación de materia orgánica generan un leve descenso. Estos valores evidencian un sistema químicamente equilibrado, con buena capacidad de amortiguamiento y sin indicios de contaminación ácida o alcalina.

Por su parte, la conductividad eléctrica presentó valores moderados y un incremento durante la época de lluvias, atribuible al arrastre de sales y nutrientes procedentes de suelos agrícolas y escorrentías superficiales. Aunque estos valores no superan los límites normativos, su incremento estacional sugiere la influencia de fuentes difusas de contaminación, que deben ser monitoreadas para evitar la degradación progresiva del río.

Finalmente, los sólidos disueltos totales, tuvieron una ligera variación estacional observada, principalmente en el Punto 3 durante la época de lluvias, refleja la influencia de los procesos naturales de escorrentía, erosión y aportes difusos provenientes de actividades agrícolas, urbanas o industriales. Este comportamiento pone de manifiesto la necesidad de fortalecer

las estrategias de manejo de la cuenca, especialmente durante los periodos de mayor precipitación, para evitar el incremento de cargas contaminantes disueltas.

En conjunto, los resultados permiten concluir que el Río Grijalva mantiene una buena calidad físico-química, propia de un cuerpo de agua natural con bajo impacto antrópico directo. Sin embargo, su extensión, la presión agrícola e industrial en la cuenca y la variabilidad climática podrían representar riesgos a mediano y largo plazo si no se implementan estrategias adecuadas de conservación y monitoreo.

Por ello, se recomienda:

- Mantener el monitoreo periódico de los parámetros físico-químicos, biológicos y microbiológicos del agua, especialmente durante las transiciones estacionales, para detectar oportunamente cambios en la calidad del recurso hídrico y aplicar medidas preventivas que aseguren su conservación.
- Fortalecer la gestión integrada de la cuenca, fomentando la colaboración entre autoridades, comunidades y sectores productivos para implementar medidas preventivas y correctivas ante descargas urbanas, agrícolas e industriales.
- Implementar prácticas agrícolas sostenibles, promoviendo el uso racional de fertilizantes y el manejo adecuado de residuos, con el fin de disminuir el aporte de nutrientes y sales al sistema fluvial.
- Promover programas de educación y sensibilización ambiental dirigidos a las comunidades ribereñas, para fomentar el cuidado y la conservación del río como fuente de vida, biodiversidad y abastecimiento.
- Realizar estudios complementarios sobre calidad biológica, índices de contaminación y dinámica de nutrientes, que permitan una evaluación integral del ecosistema y de su resiliencia ante presiones antrópicas.

En conclusión, de acuerdo a los resultados de esta investigación de la calidad fisicoquímica del agua, el Río Grijalva presenta actualmente una condición ambiental favorable, pero requiere de acciones continuas de conservación, monitoreo y manejo sostenible para garantizar la permanencia de su equilibrio ecológico y su disponibilidad como recurso hídrico estratégico para la región.

10. REFERENCIAS

- Advanced Purification Engineering Corp (APEC). (2013). *The Water Cycle: A Guide for Students*
<https://www.freedrinkingwater.com/blogs/news/resource-water-cycle-student-guide>
- Ávila, J. P. y Bojórquez, A. R. (2020). Importancia de la contaminación de los ríos y los impactos en el turismo. *XIV Congreso Virtual Internacional Turismo y Desarrollo*, 396-406.
<https://www.eumed.net/actas/20/turismo/25-importancia-de-la-contaminacion-de-los-rios-y-los-impactos-en-el-turismo.pdf>
- Boletín Estadístico y Geográfico. (2018). https://gisviewer.semarnat.gob.mx/bol/20_03/
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., y Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111-124.
- Cedeño, H. A. (2020). Análisis de los parámetros de calidad del agua del efluente del río muerto para su posible reutilización del Cantón Manta, Ecuador. *Polo conocimiento*, 42(5), 579-604.
- Colín A., Díez A. y Bernal L. A. (2014). Parámetros Físicoquímicos y Biológicos de la Calidad del Agua. En *Aplicaciones Electroquímicas al Tratamiento de Aguas Residuales*, Barrera C. E. (Editor). Reverté Ediciones S.A. de C.V., México, 348 pp.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2005). *Estadísticas del agua en México*.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). *Atlas Climático de México*. CONAGUA.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2020). *Informe sobre la calidad del agua en México 2020*.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2016). *Río Grijalva. Biodiversidad en Chiapas*.
<https://www.biodiversidad.gob.mx/region/grijalva>
- Cruz, L., & Ruiz, P. (2018). *Geografía física de Chiapas y su impacto en la hidrografía regional*. Universidad Autónoma de Chiapas.

- Das J. y Achayra B. C. (2003). Hydrology and Assesment of Lotic Water Quality in Cuttack City, India. *Water, Air and Soil Pollution*. Vol. 150, Núm. 1, pp. 163-175
- De Anda Valades, L. (2017). Normatividad para agua potable en México: De la gestión a la aplicación, del Agua.
- Díaz, E., Alvarado, A. R., y Camacho, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 14 (1), 78-97.
- Ecofronteras. (2019). Ocho reflexiones de la cuenca del río Grijalva. *Revista digital*. Vol. 23, núm. 65, pp. 22-25.
https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/2231/3/35856_Documento.pdf
- Egger E. A. (2003). El Ciclo Hidrológico: El Viaje del Agua a través del Tiempo. *Visionlearning*. Vol. EAS-2, Núm. 2.
- Escalona-Domenech, R. Y., Pérez-Salinas, J. L., & Aguilar, R. (2025). Calidad del agua para uso agrícola y consumo humano en el río Huixtla, Chiapas, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias Ambientales*, 16(1), 77–88.
- Estadística E Información Ambiental, D. G. (2018). Informe del Medio Ambiente.
<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html#tema4>
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170
- 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), 41–53.
- Foster S., Hirata R., Gomes D., D'Elia M., Paris M. (2003). Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Ediciones Mundi-Prensa Libros. Madrid, 128 pp.
- García, M. & López, R. (2017). "Monitoreo de la calidad fisicoquímica del río Grijalva." *Ecología Aplicada*.

- García, N. H. (2015). Operación de canales: Conceptos básicos. D.F, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Giménez, H. (2020). *Río Grijalva: ubicación, mapa, y todo lo que desconoce de él*. Conozcamos Todos los Ríos de Nuestro Planeta.
- <https://riosdelplaneta.com/rio-grijalva/>
- Global Water Partnership (GWP). (2021). Gestión integrada de los recursos hídricos: Guía para tomadores de decisiones.
- González, F., Vázquez, E., Aguilar, E., & Arriaga, J. (2022). Perspectivas de agua en México, propuesta para la seguridad hídrica. D.F., México: CERSHI.
- Graniel, C. E., & Carrillo, C. M. (2006). Calidad del agua del rio Zanatenco en el estado de Chiapas. *Ingeniería*, 10 (3), 35-42.
- Gutiérrez, V., Ayala, M. R., Zapata, E., Salvatierra, B., y Nazar, A. (2016). Acceso al agua para uso doméstico estudio de caso en Berriozábal, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17, 3593- 3605.
- Hernández, L., Chamizo, H., y Mora, D. (2011). Calidad del agua para consumo humano y salud: dos estudios de caso en Costa Rica. *Rev Costarr Salud Pública*, 20 (1), 21-26.
- Instituto Del Agua (2024). *Ciclo Hidrológico: La Fascinante Dinámica del Agua en la Hidrología*
- <https://institutodelagua.es/hidrologia/oque-e-ciclo-hidrologicohidrologia/>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2019). *Aguas subterráneas*. <https://www.gob.mx/imta/articulos/aguas-subterraneas>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Estudio ecológico de cuencas: El caso del Río Grijalva*. Ciudad de México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Compendio de información geográfica y ambiental del estado de Chiapas 2022.
- Loayza, A. (2017). *Análisis de la dosificación de coagulantes por efectos de la turbidez en el tratamiento de agua potable de la Planta de SEDAM Huancayo* (Tesis de pregrado).

Universidad continental, Huancayo, Perú.

- Martínez, A., Gómez, R., & Estrada, L. (2018). *Efectos climáticos y riesgo de inundaciones en la cuenca del río Grijalva*. Revista de Climatología Mexicana, 14(3), 45-57.
- Martínez, J., & López, S. (2017). *La influencia del relieve en el caudal y sedimentación del río Grijalva*. Estudios Hidrológicos de México, 15(2), 66-78.
- Moraima, F. y Guardado, R. (2020). *Evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICAsup) en el río Cabaña, Moa- Cuba*.
- Nieves, I., y Villegas, Y. A. (2017). Hacia una sociedad del conocimiento en materia de agua en México. *Derecho global. Estudios sobre derecho y justicia*, 2(5), 87-104.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). Guías para la Calidad del Agua Potable: Primer Apéndice a la Tercera Edición. World Health Organization, Vol. 1, Núm. 3, pp. 11-12
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M. N., Rodríguez, F., Alfayate, J.,(2005). Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química., Tercera edición, Thomson Editoriales Spain Paraninfo, S.A.
- Peña, A. (2007). Una perspectiva social de la problemática del agua. Investigaciones Geográficas, 62, 125- 137.
- Pérez, J. (2015). "Evaluación de la calidad del agua en el río Grijalva: Un enfoque integral." *Revista Mexicana de Ciencias del Agua*.
- Plascencia V. (2014). Características físico-bióticas de la cuenca del río Grijalva, En el libro Montañas, pueblos y agua. Dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva, 2014.
- Raschid, S. L. y Jayakody P. (2008). Drivers and Characteristics of Wastewater Agriculture in Developing Countries: Results from a Global Assessment, Research Report 127. International
- Ruiz, N. E. S., Escobar, Y. C., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2001). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2001-Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores nacionales*. Diario Oficial de la Federación.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2019). Diagnóstico ambiental del estado de Chiapas.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). *Informe de la situación del medio ambiente en México 2002*. SEMARNAT.
- Secretaría de Salud de Chiapas. (2020). "Informe sobre salud pública y calidad del agua en Chiapas."
- Secretaría de Salud. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo*. Diario Oficial de la Federación
- Secretaría de Salud. (2013). *Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA3-2013, Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Salud. (2020). *Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-2020, Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Salud. (2021). *Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*. Diario Oficial de la Federación.
- Soto, J., & Hernández, M. (2016). *El Cañón del Sumidero y el relieve del río Grijalva: una visión geológica*. Revista Mexicana de Geografía, 28(1), 45-60.
- Staff, I. (2023). Situación del agua en México. IMCO. <https://imco.org.mx/situacion-del-agua-en-mexico/>.
- Torres, F. J. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico* (tesis de maestría). Universidad de puerto rico recinto universitario de Mayagüez, Puerto Rico.
- UNEP-GEMS. (2007). *Water Quality Outlook*. UNEP-GEMS. Canadá.
- Villon, M. (2006). Hidrología. Revista Cartago. 16-17 Water Management Institute (IWMI). Colombo, Sri Lanka. <http://www.unwater.org/downloads/RR127.pdf>

11. ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Figura 9. Rio Grijalva en temporada de estiaje.

Fuente: Hernández, 2025.



Figura 10. Rio Grijalva en temporada de lluvias.

Fuente: Hernández, 2025.



Figura 11. Condiciones del Rio Grijalva en lluvias.

Fuente: Hernández, 2025.



Figura 12. Actividad de pesca por los habitantes de la zona.

Fuente: Hernández, 2025.



Figura 13. Embarcadero Chiapa de Corzo, Chiapas.

Fuente: Hernández, 2025.