



**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: 10 de Junio de 2024

C. Krystel Velázquez Escalante

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería ambiental

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

“Monitoreo de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y sólidos

disueltos totales en un tramo del Río Grijalva”

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. José Manuel Gómez Ramos

Dr. Rubén Alejandro Vázquez Sánchez

M.C. Ulises González Vázquez

**Firmas:**

Ccp. Expediente

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**INFORME TÉCNICO**

**MONITOREO DE LOS PARÁMETROS DE TEMPERATURA,  
PH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, OXÍGENO DISUELTO Y  
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN UN TRAMO DEL RÍO  
GRIJALVA.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTA:**

**KRYSTEL VELÁZQUEZ ESCALANTE**

**DIRECTOR:**

**M.C. ULISES GONZÁLEZ VÁZQUEZ**

**CODIRECTORES:**

**DR. RUBÉN ALEJANDRO VÁZQUEZ SÁNCHEZ**

**DR. JOSÉ MANUEL GÓMEZ RAMOS**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; A JUNIO DE 2024.**



## Agradecimientos

A mi Madre Adelina, por ser la amiga y compañera que me ha ayudado a crecer, por respetando mis decisiones, por su apoyo en todo momento y por brindaron fuerza en los momentos de flaqueza, ánimo en los momentos de decaimiento y amor en todo momento.

A mi Hermano Alexis, por acompañarme en este duro camino, por apoyarme desde el principio hasta el final, por su paciencia, por sus cuidados y amor.

A mi hermana Greysi, por estar presente en cada paso de mi vida, por su apoyo, sus ánimos, su cariño, sus consejos y enseñanzas.

A mi familia Escalante, especialmente a Sandra, Jesús, José, Rodulfa, Maria, Hilda, Francisco, Hilevany, Lupita y Carmelo por confiar en mí, por brindarme siempre su amor, por celebrar conmigo mis logros y enseñarme a ser una buena persona.

A mi sobrina Maythe, por vivir conmigo toda esta tapa, por apoyarme, escucharme, aguantarme, por todo el amor que siempre me brinda y por su confianza.

A mi sobrino Alexander por ser una motivación, por brindarme cariño y felicidad.

A mi director M.C. Ulises González, por ser parte fundamental de este trabajo, por su paciencia, comprensión, por sus enseñanzas, confianza y por ser un ángel que pudo guiarme a salir adelante, muchas gracias por sus múltiples palabras de aliento, cuando más las necesite.

A mis codirectores Dr. Rubén Vázquez y Dr. José Gómez por el apoyo incondicional, por sus paciencia y confianza durante la realización del trabajo.

A mis amigos de la carrera: Cesar Ginez, Cesar Ramos, Angela, Alexis, Eduardo, Karla, Magdalena, Andrea, Jenifer, Nayeli, Duran, Wiliam, Alejandro y Kevin por una amistad hermosa y entrañable.

A mis amigos Fabiola, David y Estefanía, por sus cariño, comprensión y apoyo incondicional.

## Índice

1. Introducción.....	1
2. Planteamiento del problema .....	5
4. Objetivos .....	11
5. Marco teórico.....	12
5.1. Agua.....	12
5.2. Calidad del agua .....	13
5.3. Calidad del agua para distintos usos.....	14
5.4. Deterioro de la calidad del agua .....	15
5.5. Aguas residuales.....	16
5.6. Problemas ocasionados por las aguas residuales.....	18
5.7. Ciclo del agua .....	19
5.8. Agua en la sociedad.....	21
5.9. Agua de consumo humano .....	23
5.10. El agua en México .....	24
5.11. Agua en Chiapas .....	27
5.12. Monitoreo .....	29
5.13. Parámetros.....	30
5.14. Color.....	31
5.15. Turbiedad.....	32
5.16. Temperatura .....	32
5.17. pH.....	33
5.18. Conductividad eléctrica .....	33
5.19. Sólidos disueltos totales.....	33
5.20. Oxígeno disuelto.....	34

5.21. Marco normativo legal de la calidad del agua.....	34
6. Materiales y métodos .....	39
6.1. Área de estudio .....	39
6.1.1. Delimitación del área de puntos de muestreo .....	40
6.2. Materiales y métodos para caracterizar los parámetros.....	41
7. Resultados .....	45
8. Conclusiones .....	52
9. REFERENCIAS .....	54
10. Anexos .....	59

#### Tablas

<b>Tabla 1. Materiales utilizados para llevar a cabo el muestreo, 2023.</b> .....	41
<b>Tabla 2. Equipo necesario para la realización del muestreo, 2023.</b> .....	42
<b>Tabla 3. Análisis del cumplimiento de la potencia de hidrógeno (pH) aplicando la NMX-AA-008-SCFI-2016.</b> .....	46
<b>Tabla 4. Análisis del cumplimiento del oxígeno disuelto (OD) aplicando la NMX-AA-012-SCFI-2009.</b> .....	46
<b>Tabla 5. Análisis del cumplimiento de sólidos disueltos totales (TDS) aplicando la NMX-AA-034-SCFI-2015.</b> .....	47
<i>Tabla 6. Análisis del cumplimiento de conductividad eléctrica (CE) aplicando la NMX-AA-093-SCFI-2000.</i> .....	48
<i>Tabla 7. Análisis del cumplimiento de temperatura aplicando la NMX-AA-007-SCFI-2013.</i> .....	49

#### Imágenes

<b>Ilustración 1. Límites para clasificar la calidad del agua, 2007.</b> .....	14
<b>Ilustración 2. Ciclo hidrológico, 2009.</b> .....	20
<b>Ilustración 3. Cuenca del Río Grijalva, 2006.</b> .....	39
<b>Ilustración 4. Delimitación del tramo de puntos de muestreo, 2024.</b> .....	40
<b>Ilustración 5. Materiales y equipo para el muestreo, 2023.</b> .....	42

<b>Ilustración 6. Preparación de los materiales y los equipos, 2023.....</b>	<b>43</b>
<b>Ilustración 7. Toma de muestra en el Río Salado del municipio Venustiano Carranza, 2023. ....</b>	<b>44</b>
<b>Ilustración 8. Toma de muestra en el Río Grijalva. Municipio de Chiapilla, 2023. ....</b>	<b>44</b>
<b>Ilustración 9. Mapa de ubicación de puntos de muestreo. ....</b>	<b>45</b>
<b>Ilustración 10. Mapa de la hidrografía del Río Grijalva.....</b>	<b>50</b>
<b>Ilustración 11. Mapa de relieve del Río Grijalva. ....</b>	<b>51</b>

## 1. Introducción

El agua dio origen a la vida y la mantiene, regula el clima del planeta, esculpe y permite la existencia de los ecosistemas y de la humanidad. Evaluar la contaminación de los suministros de agua constituye una de las principales obligaciones de los profesionales de la salud pública (Martínez, Fonseca, Ortega, y García, 2009, p.35).

La contaminación del agua es un problema a escala mundial, no solo afecta a unos cuantos, por tal motivo es tarea de todos contribuir a cuidar este gran recurso con el que contamos todos nosotros y que nos es mucha utilidad tanto para nuestra existencia como para realizar muchas de nuestras actividades diarias (Guadarrama, Kido, Roldan, y Salas, 2016, p.1).

Martínez, Fonseca, Ortega, y García (2009) mencionan: El agua es indispensable, no tiene sustituto y no se conoce forma de vida que prescindiera de ella: bosques, ciudades, polos, zonas industriales, pastizales, plantíos, bebés, bacterias, ballenas, aviones y cohetes, todos, de una manera u otra, necesitan el agua.

A medida que la humanidad continuó su desarrollo, las descargas de aguas residuales domésticas e industriales empezaron a contaminar los recursos hídricos, a deteriorar los ecosistemas, etc. Fue así como se hizo necesario implementar los sistemas de tratamiento de aguas residuales (Sierra, 2010, p.28).

La importancia que ha cobrado la calidad del agua ha permitido evidenciar que entre los factores o agentes que causan su contaminación los agentes patógenos, desechos que requieren oxígeno, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, nutrientes vegetales que ocasionan crecimiento excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido, sustancias radioactivas y el calor. “Calidad del agua” es un término usado para expresar apropiadamente el sustento del uso del agua para varios procesos (Martínez *et al.*, 2009).

El agua circula naturalmente a través de los océanos, la atmósfera, lagos y ríos, glaciares y aguas subterráneas. El aire y el agua son los elementos físicos más móviles que tiene el sistema Tierra, y su movilidad permite operar el ciclo del agua. La circulación constante del agua desde los océanos a la atmósfera (evaporación), desde la atmósfera a la Tierra o de regreso a los océanos (precipitación) y desde la Tierra a los océanos y atmósfera (evaporación y escorrentía) puede ser llamada el ciclo planetario del agua, y existen muchos subciclos regionales y locales (Sierra, 2011).

En su composición del agua que está formada por moléculas discretas de tres átomos pequeños, dos átomos de Hidrógeno unidos a un átomo de Oxígeno formando un ángulo de unos  $105^\circ$ . La unión entre átomos es fuerte, como corresponde a su enlace covalente. Su geometría angular es la responsable del momento dipolar, lo que hace de ella una molécula polar. A esto añadimos la posibilidad de establecer enlaces intermoleculares por puentes de hidrógeno. (Carbajal, y González, 2003, p.67).

México tiene una disparidad geográfica entre la disponibilidad de agua y la distribución de la población y sus actividades económicas: en el norte, centro y noroeste del país, que ocupan el 78% del territorio, habita el 77% de la población y se genera el 83% del PIB, aunque únicamente se tiene el 33% del agua renovable; mientras tanto, en el sureste, que ocupa el 22% del territorio, habita el 23% de la población y se genera el 17% del PIB, se cuenta con el 67% del agua renovable (González, Vázquez, Aguilar, Y Arriaga, 2022, p.6).

La gestión del agua es un proceso que se apoya en el conjunto de principios, políticas, actos, recursos, instrumentos, normas formales y no formales, bienes, recursos, derechos, atribuciones y responsabilidades, mediante el cual el Estado, los usuarios y la sociedad promueven coordinadamente, en forma sustentable, el control y manejo de este recurso en beneficio de los seres humanos y su medio social, económico y ambiental (Breña, y Breña, 2007, p.64).

El uso eficiente, la gestión efectiva y la conservación de los recursos hídricos son factores determinantes para el desarrollo social y económico del país. De su aprovechamiento adecuado dependen, en muchos sentidos, aspectos prioritarios como la seguridad alimentaria, la salud pública, la seguridad energética, la protección de los ecosistemas, el combate a la pobreza, las actividades productivas, la equidad de género, así como la igualdad de oportunidades para la población (González *et al.*, 2022, p.5).

La contaminación de las aguas superficiales por las descargas agrícolas, industriales, municipales y domésticas es un asunto de gran preocupación. La importancia de este tema es el resultado de la ubicuidad de los compuestos genotóxicos en el ambiente, así como también de la necesidad de identificar las fuentes de contaminación de manera que sea posible poner en práctica medidas para controlarlos y reducirlos al mínimo (Valencia, Sánchez, Ortiz, y Gómez, 2007, p.35).

El tratamiento de los datos obtenidos en el monitoreo suele ser una tarea dispendiosa y en muchas ocasiones de difícil entendimiento para los diferentes actores involucrados en el proceso de la valoración de la calidad, pues en la actualidad los valores obtenidos deben permitir resolver diferentes tipos de conflictos como el uso del agua y la integridad ecológica de los sistemas acuáticos, los cuales involucran también aspectos socioeconómicos (Fernández y Solano, 2005, p.173).

El pH es una medida de la acidez o basicidad de una solución. El pH es la concentración de iones o cationes hidrógeno  $[H^+]$  presentes en determinada sustancia. La sigla significa "potencial de hidrógeno" (Pari, 2017, p.32).

La implementación de nuevas metodologías que involucren más de dos parámetros para la valoración de la calidad del agua toma cada vez más importancia, los índices de calidad del agua engloban varios parámetros en su mayoría físico químicos y en algunos casos microbiológicos que permiten reducir la información a una expresión sencilla, conocida como: índices de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación del agua (ICO) (Fernández y Solano, 2005, p.173).

El pH se mide entre 0 a 14 en solución acuosa, siendo acidas las soluciones con pH menores de 7 y básicamente las mayores de 7. El pH igual a 7 indica la neutralidad de una sustancia. Las aguas naturales pueden tener pH ácido debido al  $\text{SO}_2$  y  $\text{CO}_2$  disueltos en la atmósfera,  $\text{CO}_3$  de los suelos calizos, porque provienen de los seres vivos o por el ácido sulfúrico procedente de algunos minerales. Las aguas contaminadas con zonas de descargas industriales pueden tener un pH muy ácido (Parí, 2017, p.32).

Los parámetros físico-químicos 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 señalan 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, Pérez, Gonzáles, Rodríguez, y Alfayate, 2005).

## 2. Planteamiento del problema

Los ecosistemas acuáticos son ecológicamente importantes y son uno de los ambientes más productivos del mundo al poseer alta diversidad biológica. Dichos ambientes brindan diferentes “servicios ecosistémicos”, desde suministro de agua dulce, alimentos y materiales de construcción; hasta el control de crecidas, recarga de aguas subterráneas y la mitigación al cambio climático. Sin embargo, en numerosas regiones del mundo disminuye la superficie de los humedales y aumenta su degradación, por lo que los servicios ecosistémicos que estos ambientes proporcionan se ven afectados (Pinto, Estrella y Gennari, 2017, p.20).

La crisis ecológica es la suma de problemas interrelacionados de sobrepoblación, escasez de recursos y contaminación. Fundamentalmente este es un problema más sutil, una crisis del espíritu humano, relacionado con la forma en que percibimos el mundo y nuestro lugar en él. La crisis del espíritu humano se manifiesta dentro de nuestro estilo de vida materialista y nuestra visión de los humanos como un ente aparte de la naturaleza e inmune a sus leyes (Valencia *et al.*, 2007, p.35).

El tema del agua es un tema complejo y de interés colectivo, principalmente cuando las fuentes de agua, como los ríos, lagos y acuíferos presentan condiciones preocupantes porque son sobreexplotados, se están contaminando y son apropiados por intereses particulares en desventaja para poblaciones tradicionales asentadas en los territorios de interés económico. Además de que históricamente se identifica un aumento en los requerimientos de agua, en cantidad y calidad, por el crecimiento de la población para realizar las actividades humanas y procurar un medio ambiente sano para todos los seres vivos (CNDH, 2018, p.14).

La contaminación del agua, la eutrofización, los cambios hidrológicos en el uso de la tierra son unos de los principales problemas que afectan la salud e integridad de los ecosistemas acuáticos generando su conservación un desafío. Esto ha llevado a que los ecosistemas acuáticos sean un foco de interés

por parte de los investigadores a nivel mundial convirtiéndose en uno de los campos de frontera disciplinares más dinámico de las ciencias (Pinto *et al.*, 2017, p.20).

La contaminación del agua se ha convertido en un problema grave a nivel mundial. Se estima que cerca del 40% de la población mundial no tiene acceso a servicios de saneamiento adecuados y el mayor impacto lo sufren aquellos países en vías de desarrollo, que descargan cerca del 90% de sus aguas residuales sin ningún tratamiento a los ríos, lagos y zonas costeras, contaminando así sus fuentes de abasto (Olguín, González, Sánchez, Zamora, y Owen, 2010, p.179).

Los ríos han sido utilizados como sumideros para los desechos urbanos. Gracias a los volúmenes de agua que transportan y al movimiento de las mismas, los ríos son capaces de regenerarse por sí mismos, neutralizando los efectos de las grandes cantidades de aguas residuales industriales, domésticas, agrícolas, etc. Que reciben. Sin embargo, frecuentemente las descargas de agua contaminada superan la capacidad de auto regeneración y los ríos se deterioran, lo cual conlleva a la pérdida del oxígeno disuelto en el agua, la desaparición de insectos y peces y la consecuente destrucción del ecosistema fluvial por la interrupción de las cadenas alimenticias (Chiriboga, 2010, p.1).

Las aguas naturales van a contener en su seno una amplia variedad de sustancias o especies químicas, a causa fundamentalmente de la gran capacidad disolvente y reactiva del agua, que ya se ha comentado, y de su potencial erosivo. La presencia de seres vivos, y de microorganismos en particular, también va a afectar a la naturaleza y concentración de las especies presentes. Así, en la composición de las aguas naturales van a influir una serie de variables, como son: el tipo de agua de que se trate (marina, lacustre, superficial, subterránea, hielo, lluvia), el tipo de terreno en el que se encuentre o atraviese, la temperatura y presión del medio, la época del año (Orozco *et al.*, 2005, p.41).

En México, desde el siglo pasado, la demanda de agua ha crecido de manera muy significativa, dado que a lo largo de las décadas la población rural ha emigrado a las ciudades en busca de oportunidades.

En 1950, sólo el 42.68% era población urbana y en contraste, en el 2005, el 76.53% de la población se registró dentro de esta categoría (Olguín, González, Sánchez, Zamora, y Owen, 2010, p.179).

La disponibilidad de agua es elemental para la vida y el desenvolvimiento económico de cualquier región del mundo. Por ello, los recursos disponibles deben repartirse entre numerosos usuarios, teniendo en cuenta las necesidades del medio ambiente. Durante muchos años, todos los recursos eran considerados disponibles para cualquier uso antrópico, sin tener en consideración la calidad o las necesidades para los usos ambientales (Huanca, Butrón, Supo, y Supo, 2020, p.89).

La relación entre el agua, la vida y los derechos humanos en el mundo moderno y posmoderno obligan a cuestionar el modelo de desarrollo y los estilos de vida fomentados por el mismo. Considerar el agua como una mercancía o desde la perspectiva utilitarista, no permite entenderla como un elemento esencial para la vida, indispensable en los ecosistemas y para sostener todas las actividades humanas. Es necesario tener presente que los ríos, manantiales y lagos constituyen parte del patrimonio cultural de comunidades tradicionales. Mientras que los cuerpos de agua y el agua misma han sido históricamente base de asentamientos humanos y fuente de expresión en formas organizativas y de gestión de recursos comunes en los territorios (CNDH, 2018, p.18).

### 3. Justificación

La calidad del agua se relaciona de forma directa con la vida de las poblaciones rurales, especialmente en lugares donde el abastecimiento se realiza de forma directa de los escurrimientos superficiales o donde se depende del recurso hídrico para actividades de pesca y recreación. La calidad de agua es relevante, para determinar su uso, además de que es un indicador del manejo y de la contaminación. Las variables de calidad de agua permiten tener una visión de un momento determinado, y sirven como línea base para observar los cambios o tendencias en las cuencas. A nivel mundial las cuencas experimentan un declive en su calidad de agua, debido a sus niveles de sedimentación, sales y nutrientes. La combinación de varios factores biofísicos, sociales y ambientales genera un alto grado de vulnerabilidad a los desastres ocasionados por eventos como deslizamientos e inundaciones, además en la región hay gran interés por los recursos mineros, actividad que puede causar daños irreversibles al medio ambiente (Musálem, Laino, Bello, González y Ramírez, 2018, p.56).

Donde el agua no es desviada de sus fuentes de manera artificial, los escurrimientos superficiales y subterráneos que descargan hacia el mar o hacia la parte baja de una cuenca interna, constituyen el escurrimiento conocido como natural o virgen. Antes de que el hombre alterara el equilibrio ecológico para satisfacer sus necesidades, el escurrimiento virgen sustentaba a ecosistemas (por ello, la naturaleza puede ser visualizada como el primer y natural usuario del agua). Hasta el siglo XIX el aprovechamiento creciente del agua por el hombre con la consecuente reducción gradual de los escurrimientos naturales, en general, no causó daños graves al ambiente. Sin embargo, en el transcurso del siglo XX la derivación del agua para diversos usos creció de modo acelerado, especialmente durante su segunda mitad al grado de que ahora existen porciones importantes de la superficie continental del planeta, en las cuales el ambiente ha sufrido daños graves; en caso extremo, irreparables (García, 2015). En el Estado de Chiapas se ocupa el segundo lugar en biodiversidad nacional y uno de los primeros lugares en cuencas hidrológicas, la contaminación desafortunadamente es un factor común en estas

cuencas y subcuencas, las autoridades competentes en materia ambiental dedicadas al monitoreo de estas, cuentan con poco personal para dedicarle el tiempo a este importante trabajo (Torres, 2011, p.7).

Para las autoridades del estado de Chiapas, el establecimiento de suministros de agua adecuados, higiénicos y seguros son de gran importancia. Sin embargo, las fuentes de agua se han contaminado debido al aumento de la actividad industrial, agrícola y al desarrollo urbano que han tenido sus ciudades importantes (Graniel y Carrillo, 2006, p.36).

La utilización de los recursos hidráulicos por el hombre está ligada a su existencia misma, ya que el agua es indispensable para la vida. La historia registra que aun las civilizaciones más antiguas buscaron sus asentamientos cerca de una corriente de agua, un manantial o un lago de agua dulce y conforme fue creciendo su población y tecnología ocuparon áreas cada vez más alejadas de estos abastecimientos llevándola por medio de canales o acueductos, o bien, perforando pozos en los mismos asentamientos y que se desarrollaron gracias a la disponibilidad del agua. En la actualidad, el crecimiento desmedido de la población, el manejo irresponsable del agua, la alteración del equilibrio hidrológico y las condiciones climatológicas han causado graves daños al ambiente, manifestándose de diversas formas y en nuestro caso en una consecuente reducción gradual o incremento excesivo de la disponibilidad del agua que hay en los ríos y lagos de donde el hombre deriva artificialmente el vital líquido para satisfacer sus necesidades personales (uso doméstico), para la producción de alimentos (uso agropecuario) y para el desarrollo de procesos económicos (uso industrial) (García, 2006).

Además, se debe tener en cuenta que el agua constituye más de tres cuartas partes de la superficie terrestre; su volumen se distribuye en 97 % en el mar; del restante 3 %, el agua freática representa el 22 % y el 77 % es hielo, esto deja apenas el 1 % del total de agua dulce en el ciclo hidrológico, del que aproximadamente la mitad se encuentra en ríos, lagos y marismas. Por lo que es de suma importancia tomar conciencia de que solo una fracción de los escurrimientos naturales, superficiales y subterráneos

debe ser aprovechada por el hombre, ya que además de los requerimientos del ambiente, existen limitaciones de índole técnica que reducen aún más la proporción de los escurrimientos naturales aprovechables. Por lo que respecta a los escurrimientos naturales de una cuenca, cuya infraestructura de regulación ha sido plenamente desarrollada, en la mayoría de los casos no supera el 70 %, a la que hay que reducir los requerimientos del ambiente para determinar la cantidad de agua que puede destinarse a los diversos usos humanos (González, Ramírez, Gómez, Parra, Díaz, y Musalem, 2014).

Por otra parte, en nuestro país con bases en los estudios que ha realizado la Comisión Nacional del Agua, se ha detectado que, en diversas regiones, entidades federativas y localidades del país, los volúmenes de agua concesionados superan el escurrimiento y la recarga de los acuíferos, situación que genera escasez del recurso, conflictos entre los usuarios y diversos efectos perjudiciales. En estos días es de suma importancia la evaluación de los recursos hídricos mediante un balance hidráulico de las diferentes cuencas hidrográficas en que se divide el país o de alguna cuenca específica junto con un estudio completo y detallado cuyos resultados permitan un aprovechamiento, distribución y administración del agua y de esta forma ubicar las corrientes que producen inundaciones, las zonas favorables para la explotación del recurso, así como estimar el potencial hídrico para evitar una sobreexplotación en una determinada región (Guentzel, Partilla, Keith y Keith, 2007).

## 4. Objetivos

### Objetivo general

Caracterizar parámetros físicos de Temperatura, pH, Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto y Sólidos disueltos totales en un tramo del Río Grijalva, Chiapas.

### Objetivos generales

- Delimitar la caracterización de los parámetros en un tramo del Río Grijalva, Chiapas.
- Caracterizar los parámetros de Temperatura, pH, Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto y Sólidos disueltos totales.
- Elaborar mapa de muestreo, hidrográfico y curvas de nivel en los puntos de muestreo.

## 5. Marco teórico

### 5.1. Agua

El agua cubre más del 70 % de la superficie del planeta; se la encuentra en océanos, lagos, ríos; en el aire, en el suelo. Es la fuente y el sustento de la vida, contribuye a regular el clima del mundo y con su fuerza formidable modela la Tierra. Posee propiedades únicas que la hacen esencial para la vida. Es un material flexible: un solvente extraordinario, un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos; tiene una gran capacidad calorífica y tiene la propiedad de expandirse cuando se congela. Con su movimiento puede modelar el paisaje y afectar el clima. El agua es esencial para la vida y para el desarrollo de las sociedades. Posee propiedades únicas. En este trabajo se describen: la composición de las aguas naturales; la calidad de agua para los diferentes usos y su deterioro y los parámetros físico-químicos y biológicos usados como indicadores de calidad. Por último, se resalta la importancia de la representatividad del muestreo y la calidad de las mediciones químicas para que los resultados obtenidos permitan conclusiones válidas (Fernández, 2012, p.147).

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta. Los seres humanos dependemos de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales. En las últimas décadas, con la finalidad de producir más alimentos y energía, así como de dotar del servicio de agua potable a una población cada vez más numerosa, la demanda por el líquido ha crecido significativamente. Otro problema importante relacionado con la posibilidad de utilizar el agua es su grado de contaminación, ya que si no tiene la calidad adecuada puede agravar el problema de la escasez. Las aguas de los cuerpos superficiales y subterráneos se contaminan por las descargas sin tratamiento previo, de aguas municipales e industriales, así como por los arrastres que provienen de las zonas que practican actividades agrícolas y pecuarias (SEMARNAT, 2012, p.258).

## 5.2. Calidad del agua

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. 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%. El ICA 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. El ICA es un indicador compuesto que integra información de varios parámetros de calidad del agua y presenta diferentes metodologías según su autor. Este índice es una herramienta matemática para la calidad y puede ser utilizado 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 (Castro, Almeida, Ferrer, y Díaz, 2014, p.112-114).

LÍMITES EMPLEADOS PARA CLASIFICAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL PAÍS CON EL MÉTODO DEL ICA Y DE LA MATERIA ORGÁNICA					
Escala	ICA	ICA compactado	ICA modificado	Con valores de DBO de 0 hasta más de 120	Con valores de DQO de 0 a más de 200
	Clasificación usada entre 1990 a 1999	Usado entre 2000-2001	Usado 2001	2002-2003	2002-2003
95-100	excelente	buena	excelente	excelente	excelente
90-95				buena calidad	
85-89	aceptable				buena calidad
80-84			aceptable		
70-79	levemente contaminada	media		aceptable	aceptable
60-69	contaminada		requiere tratamiento mayor		
50-59					contaminada
40-49	fuertemente contaminada	mala	sólo para uso industrial y agrícola		
33-39				contaminada	
30-32					
23-29					
20-22			altamente contaminada	fuertemente contaminada	
16-19					
10-15					fuertemente contaminada
0-9					

*Ilustración 1. Límites para clasificar la calidad del agua, 2007.*

### 5.3. Calidad del agua para distintos usos

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. Cuando se considera la distribución del agua entre los distintos usuarios, la agricultura aparece como el sector de mayor demanda. Las dos terceras partes de los recursos hídricos se destinan al uso agrícola, con una demanda creciente para el turismo, usos urbanos e industriales, compitiendo por un acceso a un recurso cada vez menos disponible. Normalmente los recursos hídricos se obtienen de aguas superficiales o de aguas subterráneas. El uso de unas u otras depende de muchos factores, inicialmente de la disponibilidad de cada recurso.

Normalmente las aguas superficiales ofrecen cantidades mayores de agua a corto plazo, mientras que las subterráneas son un recurso más constante, al menos, a mediano plazo. 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. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), casi la cuarta parte de las camas disponibles en los hospitales del mundo están ocupadas por enfermos cuyas dolencias se deben a la insalubridad del agua (Fernández, 2012, p.150).

#### **5.4. 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, la destrucción de zonas pantanosas, 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 la reserva de proteínas de los peces; 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 hierro reducido, flúor, arsénico y sales a las aguas subterráneas, reduciendo su uso como agua de bebida. Las erupciones

volcánicas y sus consiguientes torrentes de lava, las inundaciones y sequías pueden provocar un deterioro local y regional del ambiente acuático. No obstante, cualquiera de estos eventos, impacta menos que cualquier actividad desarrollada por el hombre (Fernández, 2012, p.151).

### **5.5. Aguas residuales**

Por aguas residuales se entiende 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. De manera específica, las aguas residuales domésticas 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 y similares. 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. En virtud de la diversidad de contaminantes que se pueden presentar en las aguas residuales, la forma de tratarlos es también muy amplia, por ende, las técnicas que se utilizan en estos procesos son diversas, éstas se clasifican según su operación, en convencionales y alternativas (Díaz, Alvarado y Camacho, 2012, p.81).

El agua es uno de los recursos naturales que forma parte del desarrollo de cualquier país; es el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida. Su disponibilidad es paulatinamente menor debido a su contaminación por diversos medios, incluyendo a los mantos acuíferos, lo cual representa un desequilibrio ambiental, económico y social. Se considera que el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas. Las aguas residuales se definen como 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 (Romero, Colín, Sánchez y Ortiz, 2009, p.158).

Las aguas residuales de uso doméstico son aquellas que provienen de las actividades del hombre en su rutina diaria, las cuales son recolectadas en los sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al ambiente. Las aguas residuales domésticas son flujos de agua conformados por la combinación de las excretas eliminadas por la población incluyendo heces y orina que son provenientes de viviendas o instalaciones comerciales privadas o públicas. Se denominan también aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial por haber sido utilizadas en procesos de transformación y limpieza, por lo que estas aguas resultantes no sirven para el usuario directo e incluso, en ocasiones las aguas están formadas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado incluyendo al agua lluvia y las infiltraciones del terreno. Se ha comprobado que estas aguas se encuentran compuestas por aguas fecales, además de aguas de lavado y limpieza. Por lo que, se puede asimilar que estas aguas contienen gérmenes patógenos, materia orgánica, sólidos, detergentes, nitrógeno y fósforo, además de otros, pero en una menor proporción. el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en distintas actividades. Las proteínas son los compuestos que se

encuentra en mayor cantidad, seguidos de los carbohidratos y las grasas. Además, están presentes compuestos surfactantes, fenoles, aceites, pesticidas y otros compuestos menos comunes, como metales pesados, compuestos organoclorados, etc. Los principales ensayos para determinar la carga orgánica de un desagüe son: la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno, estas aguas contienen gérmenes patógenos que pueden afectar el sistema digestivo del ser humano (Osorio, Carrillo, Negrete, Llor y Riera, 2021, pp.231-233).

## **5.6. 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 gran mayoría de los residuos son descargados en ríos, lagos, mares y, por ende, en los suelos, llegando a los pozos sépticos y los rellenos sanitarios, todo esto provoca un incremento de riesgos sanitarios para todos. 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, p.401).

“A continuación, se hace mención de algunos otros efectos que producen las aguas residuales” (Ávila Sánchez & Bojórquez Vargas, 2020):

- **Malos olores:** Debido a los compuestos que contienen se generan gases que provocan los malos olores.

- **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 aguas contaminadas provoca enfermedades mortales y muy dañinas para el cuerpo.
- **Modificación de apariencia:** Al consumir aguas contaminadas provoca en mujeres embarazadas que los productos que están en sus vientres sufran de modificaciones en su apariencia y alteraciones en su ADN.

Otro de los problemas que se presentan son en temas de salud, debido a que estas aguas contienen demasiados químicos al estar en contacto con los seres humanos pueden provocar efectos nocivos para la salud. Cada año millones de personas son afectadas por enfermedades que pueden llegar a ser mortíferas si no son tratadas a tiempo y dañan a toda clase de personas, no distinguen posición económica, siendo las poblaciones más vulnerables quienes pagan las consecuencias por el poco o nulo tratamiento de aguas negras. 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 (Ávila y Bojórquez, 2020, p.402).

### 5.7. Ciclo del agua

El ciclo hidrológico (Figura 1) supone un movimiento o transferencia de masas de agua de forma continua como consecuencia de un flujo energético. Se trata de un conjunto de procesos simultáneos interrelacionados. A pesar de ello, por motivos didácticos, se suele asumir que comienza en los océanos con la evaporación del agua. El calor del sol aporta la energía necesaria para romper los enlaces que mantienen unidas las moléculas de agua. Este proceso de cambio de estado de fase líquida a gas (vapor de agua) se denomina evaporación. Cuando la humedad relativa del aire es del 100% (punto de saturación) comienza la condensación, proceso por el cual el vapor de agua del aire se transforma en

agua líquida dando lugar a la formación de nubes. Estas nubes en determinadas condiciones de presión y temperatura originan precipitaciones. en forma de nieve y acumularse en los glaciares. Sufusión, junto con el resto de precipitaciones da lugar al agua superficial y subterránea. Una parte del agua superficial fluye hasta el mar. Otra parte se infiltra en el terreno y el resto, se evapora. El agua que se infiltra, atraviesa una zona no saturada, donde puede evapotranspirarse por acción de las plantas o fluir hasta el acuífero (zona saturada). Debido a las fuerzas de presión y de gravedad, el agua subterránea se mueve de zonas de mayor a menor potencial hidráulico. Además, mantiene una estrecha relación con el agua superficial siendo sus aportaciones en muchos casos imprescindibles para mantener el caudal de los ríos. El ser humano es un agente activo del ciclo. El hombre ha intervenido en el ciclo del agua y lo ha logrado adaptar a sus necesidades. La construcción de grandes presas, la sobreexplotación de los acuíferos, la promoción de la condensación y posterior precipitación del agua o la depuración de la misma, ejemplifican este hecho. El final del ciclo hidrológico en la mayor parte de los libros de texto es el mar. Si bien cabe destacar que el ciclo, como su nombre indica, no tiene inicio ni fin, sino que es una sucesión de procesos y movimientos que sufre el agua (De Miguel, Lado, Martínez, Leal, y García, 2009, p.78).



*Ilustración 2. Ciclo hidrológico, 2009.*

## 5.8. 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. Cuando se considera la distribución del agua entre los distintos usuarios, la agricultura aparece como el sector de mayor demanda. Las dos terceras partes de los recursos hídricos se destinan al uso agrícola, con una demanda creciente para el turismo, usos urbanos e industriales, compitiendo por un acceso a un recurso cada vez menos disponible. Existen diversas áreas en el mundo donde la demanda de agua supera la oferta. En ellas se apela a los recursos no convencionales, como por ejemplo el agua de lluvia, usada como recurso desde la época bíblica. Otra solución frecuente consiste en la desalinización del agua de mar o el tratamiento del agua residual. Otras soluciones son las aguas de escorrentía y el agua procedente del rocío o escarcha. 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 (p.153).

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. Este problema de nuestro tiempo corresponde a una cultura de corte capitalista en donde el crecimiento económico y la búsqueda incesante de las ganancias sobrepasa las preocupaciones ambientales y de bienestar social. 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 ámbito académico, no sólo las ciencias duras o las técnicas se han ocupado de asuntos ambientales, también las ciencias sociales se han preocupado por abordar este tipo de problemas, aportando elementos valiosos para ser integrados en la discusión y en la toma de decisiones en torno al ambiente y al futuro de la humanidad en este planeta. 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, p.126).

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, p.88).

## **5.9. 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, Chamizo, y Mora, 2011, p.22).

La calidad del agua de consumo humano constituye uno de los problemas más importantes en salud pública. Las enfermedades diarreicas son la segunda mayor causa de muerte de niños menores de cinco años (525000 niños menores de cinco años cada año). Una proporción significativa de las enfermedades diarreicas se puede prevenir mediante el acceso al agua potable y a servicios adecuados

de saneamiento e higiene. En todo el mundo se producen unos 1700 millones de casos de enfermedades diarreicas infantiles cada año. Las intervenciones destinadas a prevenir las enfermedades diarreicas, en particular el acceso al agua potable, el acceso a buenos sistemas de saneamiento y el lavado de las manos con jabón permiten reducir el riesgo de enfermedad diarreica. Entre las principales infecciones de transmisión feco-hídrica se encuentran fiebre tifoidea y paratifoidea, cólera, botulismo, campilobacteriosis, salmonelosis, hepatitis A, poliomielitis, criptosporidiosis, infección por rotavirus, etc. (Espigares y Espínola, 2020, p.1887).

### **5.10. El agua en México**

Nieves y Villegas (2016), mencionan en su artículo que, 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. Es preciso que México se convierta en una sociedad del conocimiento en materia de agua en México y que en aras de la democracia y del cuidado a un bien procomún, desarrollemos técnicas de inclusión para la generación de ciudadanos que estén en posibilidad de obtener información relevante en torno al recurso hídrico, de filtrar tal información y de obtener más y mejor conocimiento de la misma. 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. Es de suma relevancia 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. El caso actual mexicano presenta múltiples y diversas aristas. Hay que introspectar como sociedad el tema de los conflictos de interés que prevalecen en nuestras autoridades reguladoras, pero también es importante que a la par reflexionemos cómo fue que perdimos la calidad de sociedad del conocimiento en esta materia. Históricamente, los métodos propuestos por el paradigma tecnológico dominante del agua para afrontar el rápido crecimiento de

las necesidades humanas, especialmente en las áreas urbanas del mundo, han sido costosos e ineficientes. Debido a ello, según la Asociación Internacional de Recursos Acuáticos, los problemas en torno del agua seguirán siendo los mayores obstáculos para el desarrollo sostenible de la sociedad humana por varias décadas más. Es importante que la sociedad civil esté enterada de lo que ocurre en materia de agua en México y que actúe para proteger a ese recurso natural sin el cual no se puede vivir. Así de importante es que se regrese a los orígenes milenarios del cuidado del agua. Los ciudadanos tienen el deber cívico de pasar de una simple moral como estructura a una moral de contenido, que los lleve a la consecución de metas que engrandezcan y amparen los recursos naturales de México, especialmente tratándose del agua, pues ésta representa un bien insustituible y necesario para la perpetuidad de la especie humana y del medio ambiente (pp.90-92).

En el artículo “Retos de la información del agua en México para una mejor gestión”, Perevochtchikova (2013) nos menciona que la humanidad, a lo largo de su historia, ha tenido un interés especial en el agua por ser un recurso de vital importancia para la subsistencia personal, el uso directo e indirecto en diferentes actividades de la vida cotidiana y como factor de desarrollo; sin embargo, la relación Sociedad-Naturaleza ha sido acompañada por un proceso de extracción ilimitada, dejando de lado su función esencial en el mantenimiento de ecosistemas y el funcionamiento de ciclos naturales. Esta situación ha provocado un impacto ambiental a escala global, afectando el propio ciclo hídrico y los procesos climáticos relacionados en cuanto a cantidad, calidad, distribución espacial del recurso e intensidad de eventos. Hay que reconocer que existen múltiples trabajos a nivel mundial en relación al agua que se basan en el uso de datos primarios obtenidos de fuentes oficiales, informes técnicos y/o investigaciones académicas (desde los ángulos de funcionamiento físico, efectos sociales, económicos, políticos, etc.); sin embargo, sobre la problemática de la información per se casi no hay publicaciones, aunque es posible detectar la presencia de una constante crítica acerca de la calidad, cantidad, uso de los datos y el acceso a la información, ya que de estos factores depende el alcance que pueda tener

cualquier estudio. s, se puede determinar una lista de los principales focos de atención dentro de la problemática de la información del agua en México:

- La información del vital líquido es producida por una gran cantidad de instituciones gubernamentales, no gubernamentales y organismos internacionales.
- Es presentada a distintas escalas: internacional, regional, nacional, estatal y municipal.
- Se encuentra en fuentes dispersas; a menudo, es incongruente e ilógica al compararse unas con otras.
- Carece de protocolos para generarla; las metodologías varían.
- La de carácter gubernamental a menudo no está actualizada.
- Responde a objetivos distintos de diversos programas y acciones de política pública.
- Es heterogénea, inexacta, imprecisa y poco sistematizada.
- Es poco accesible.
- La información es poco utilizada por instancias gubernamentales.
- Es discontinua en el tiempo debido al cambio en los gobiernos a escalas federal y local (tres y seis años, respectivamente).
- La información existente no es exigida ni conocida por la sociedad

Para poder realizar estudios exactos, es indispensable contar con series de tiempo completas de las variables climáticas con base en datos instrumentales obtenidos de un monitoreo continuo de alta calidad que permitan contribuir con la evaluación histórica del clima, detectando la sobreposición de las fuerzas antrópicas sobre las variaciones naturales; no obstante, a nivel mundial hay todavía menos datos de los que se requieren para estos cálculos, con una porción aún más pequeña disponible en formato digital, la cual se caracteriza, además, por la problemática de inaccesibilidad, insuficiencia,

incompatibilidad, diferencias y fallas en calidad, discontinuidad, cambios de formato, escalas, etcétera (pp.43-44).

### **5.11. Agua en Chiapas**

Gutiérrez, Ayala, Zapata, Salvatierra, y Nazar (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, sobre todo de las mujeres (p.3594).

Una forma de acercarse a la problemática de la gestión del agua, es desde el enfoque de equidad de género, cuya importancia se fundamenta no sólo en el hecho de que las mujeres constituyen la mitad de la población mundial y son actoras esenciales en la gestión del recurso, sino también en el reconocimiento de que el manejo de los recursos hídricos está influenciado por las relaciones de poder. El acceso, uso y control del agua están determinados por las relaciones de género. Desde este enfoque se visualizan las diferencias en las prioridades que hombres y mujeres asignan al agua. Para las mujeres, debido a las funciones asignadas socialmente, existe una importante división de responsabilidades que se expresan en las actividades productivas y reproductivas asignadas por género. Ellas han sido las encargadas de la búsqueda y administración del agua para uso doméstico, razón por la cual tienen un importante conocimiento sobre su manejo y formas de preservarla en función de la salud de la familia y la reproducción familiar, aun cuando ocupan jornadas muy largas para su acarreo. El agua dentro del hogar es fundamental para las mujeres, puesto que la usan para procesar y preparar la comida, beber, bañarse, lavar, regar la huerta y dar de beber a los animales, sin permitirse desperdiciar una gota. La recogen, almacenan, protegen y controlan, sobre todo en su uso doméstico. La reciclan para lavar,

limpiar y regar, pero siempre tratando de maximizar su utilización. Las mujeres usan el recurso para uso doméstico, pero casi no intervienen en las decisiones acerca del uso del agua para riego, aunque la necesitan para los huertos caseros y garantizar la alimentación de subsistencia. Sin embargo, aun cuando la categoría de género es incluida en la gran mayoría de las políticas diferenciales, éstas se vacían de sentido y se despolitizan creando una supuesta inclusión que solo encubre la exclusión de facto y termina por justificarla. A pesar de los tratados, convenciones y acuerdos que hacen patente la prioridad de la equidad de género en la gestión y manejo del agua, se continúa con problemáticas como el poco reconocimiento y atención a la función y situación especial de las mujeres. Esta situación puede estar relacionada con que las comunidades rurales en Chiapas son más antiguas, ubicadas de forma cercana a fuentes de agua como manantiales, ojos de agua, ríos, entre otros, mientras que las poblaciones urbanas marginales que son de más reciente creación, y con rápido crecimiento poblacional, son asentamientos muchas veces irregulares, se ubican en zonas más alejadas del agua, por lo que requieren de mayor disposición y distribución del líquido. Son en estas poblaciones en donde se presenta el mayor problema de abastecimiento de agua para consumo doméstico. La jefatura de hogar, pero sobre todo las características de los y las jefas de hogar, además de las características de las localidades (rurales, urbano-marginales) influyen en el acceso al agua para uso doméstico. Desde la perspectiva de género, se observa que tienen mayores desventajas las mujeres cuando encabezan las familias, esto influye en el acceso al agua para uso doméstico, por lo que es importante considerar estas características a la hora de proponer políticas públicas y estrategias de abastecimiento. La mayor problemática de acceso al agua se encuentra en las comunidades urbano marginales, que generalmente son de reciente creación y están ubicadas en los cinturones de las ciudades, sin ninguna regulación y planeación urbana, sobre todo porque crecen indiscriminadamente y el municipio no logra cubrir los servicios necesarios. Además de la altura y características de los terrenos que dificultan llevar el agua de un lugar a otro, incrementando los gastos en la infraestructura necesaria. Mejorar el acceso del agua

para uso doméstico, se vería reflejado en el bienestar y salud de todos y todas las integrantes de las familias, por lo que es de suma importancia considerar el tipo de jefatura de hogar en las políticas hídricas. Existe una distribución desigual del acceso al agua, según el sexo del jefe de familia, el control de las fuentes de agua y los espacios de toma de decisiones, como los comités de agua comunitarios que también están generalmente en manos de los varones. Existen procesos hegemónicos patriarcales en donde los hombres son quienes distribuyen el agua y no consideran las necesidades de las mujeres, por lo que nuevamente surge la necesidad de reconocer e incorporar la visión y necesidades específicas de las mujeres, para garantizar el servicio y mejorar los procesos de distribución del recurso (Gutiérrez, Ayala, Zapata, Salvatierra, y Nazar, 2016).

### **5.12. 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, p.112).

Los autores Hernández, Medina, Tafolla, Herrerías, Escalante, Escalera, Hernández, y Domínguez (2020), mencionan que el monitoreo de la calidad del agua que involucra a diversas instancias (unidades académicas, gubernamentales, organismos no gubernamentales y la sociedad civil) es un proceso constructivo mediante el cual colaboran diferentes sectores de una comunidad para monitorear a un sistema acuático, dar seguimiento y responder a asuntos de interés público.

En los Estados Unidos y Canadá se ha utilizado con buenos resultados, en los cuales destaca el interés social para realizar el monitoreo biológico de la calidad del agua, con la premisa de que en casos de éxito los voluntarios son capaces de proporcionar datos de calidad, buenos para un nivel de uso específico, incluso en 1991 la EPA publicó una guía para voluntarios en un método de monitoreo lacustre.

Los Vigilantes Mundiales del Agua (GWW) en México, promueven el monitoreo comunitario participativo (MCP) de las características biológicas y fisicoquímicas del agua, realizando talleres de capacitación y reflexión a distintas comunidades, implementando técnicas básicas para monitorear y analizar la temperatura, pH, dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto y turbidez, flujo, sólidos suspendidos totales, contaminación fecal y biomonitoreo de macroinvertebrados (p.1).

### **5.13. 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, oxígeno disuelto, 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. En el contexto de esta investigación se tiene que Ecuador posee una amplia red hídrica con ríos de gran importancia. Sin embargo, muchos de estos recursos son contaminados por aguas residuales, desechos sólidos, contaminantes químicos del sector industrial, agroquímicos, y biosólidos agropecuarios que son vertidos hacia ríos, lagos, lagunas y mares.

#### **5.14. 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. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el  $Al^{+3}$  o el  $Fe^{+3}$ . Los coloides hidrofóbicos no reaccionan con el agua, pero los hidrofílicos sí; las sustancias que producen el color son hidrofílicas. Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea, el color de la muestra una vez que su turbidez ha sido removida y el color aparente que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales; sino también, el color debido al material suspendido. El color aparente se determina sobre la muestra original sin filtración o centrifugación previa. La unidad de color es el color producido por un mg/L de platino, en la forma de ion cloroplatinato, el color es expresado en unidades de la escala Pt-Co. La remoción del color es una función del tratamiento del agua y se practica para hacer un agua adecuada para usos generales o industriales”. 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, p.25).

### **5.15. 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. Está relacionado con el uso del suelo, tipo de suelos, cobertura del suelo, y periodos de muestreos, entre otros (Castro, *et al.*, 2014).

Actualmente, el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrica, U<sub>TN</sub>. Con este método se compara la intensidad de luz dispersada por la muestra con la intensidad de luz dispersada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones de medida. Entre mayor sea la intensidad de luz dispersada mayor será la turbiedad. Como suspensión estándar de referencia se usa una suspensión de un polímero de formalina, la cual es fácil de preparar y de mejores características reproducibles que otros materiales anteriormente usados como la arcilla. 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. Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua (Loayza, 2017, p.26).

### **5.16. Temperatura**

La temperatura 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. Las descargas de agua a altas temperaturas pueden causar daños a la flora y fauna de las aguas receptoras al interferir con la reproducción de las especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir

los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización. La temperatura es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía. 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, 2016).

### **5.17. pH**

Es el logaritmo base 10, de la actividad molar de los iones hidrógeno de una solución, indica la acidez o alcalinidad del agua. El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. 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).

### **5.18. Conductividad eléctrica**

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. Se debe tener en cuenta que las sales minerales son buenas conductoras y que las materias orgánicas y coloidales tienen poca conductividad (Torres, 2009).

### **5.19. Sólidos disueltos totales**

Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Los Sólidos Totales Disueltos (STD) constituyen una medida de la parte de sólidos en una muestra de agua que pasa a través de un poro nominal de 2,0  $\mu\text{m}$  (o menos) en condiciones específicas (Fernández, 2012).

## **5.20. Oxígeno disuelto**

El Oxígeno Disuelto 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. Otro factor que, además, puede afectar la cantidad de oxígeno que se disuelve en el agua es la temperatura. El agua fría guarda más oxígeno que la caliente (Torres, 2009).

## **5.21. 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. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

ALEJANDRO ERNESTO SVARCH PÉREZ, Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 30, fracción XIII, 13, apartado A, fracción I, 17 bis, fracciones II y III, 116, 118, fracción II y 119, fracción II de la Ley General de Salud; 38, fracción II, 40, fracción I, 43 y 47, fracción IV de la Ley Federal sobre

Metrología y Normalización; 28 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 209 a 213, 214, fracciones I, II, III y V, 215 a 225 y 227 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios; así como 3, fracciones I, incisos n), o) y s), y II, 10, fracción IV del Reglamento de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios.

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.

JOSÉ ALONSO NOVELO BAEZA, Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 3o, fracción XIII, 13, apartado A, fracción I, 17 bis, fracciones II y III, 116, 118, fracción II y 119, fracción II de la Ley General de Salud; 38, fracción II, 40, fracción I, 43 y 47, fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 209 a 213, 214, fracciones I, II, III y V, 215 a 225 y 227 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios y 3, fracciones I, incisos n, o y s, y II, así como 10, fracción IV del Reglamento de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios.

Esta Norma Oficial Mexicana (NOM) establece los requisitos y especificaciones que deberán observarse en las actividades de control de la calidad del agua para uso y consumo humano. Esta NOM

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.

ERNESTO ENRIQUEZ RUBIO, Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 3 fracciones XIV y XV, 13 Apartado A fracciones I, IV, V, IX y X, 17 bis, 116, 118 fracciones II, IV, V y VII, 119 fracción II, 122, 132, 194, 207, 393, 394, 395, 396 fracción I, 399 y demás aplicables de la Ley General de Salud; 38, 40 fracciones III, VII y XI, 41, 43, 46, 47 y 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 y 33 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 12 y 13 y demás aplicables del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios; 2, literal C fracción X del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud; 2 fracciones I y III, 7 y 12 fracción VI del Decreto Comisión Federal para la Protección de Riesgos Sanitarios, me permito ordenar la publicación en el **Diario Oficial de la Federación**, de la 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.

Esta Norma Oficial Mexicana (NOM) establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua, para preservar la calidad del agua para uso y consumo humano, así como los procedimientos sanitarios para su muestreo. Esta NOM es de observancia obligatoria en todo territorio nacional y es aplicable a todos los organismos

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-012-SSA3-2012.** Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados.

GERMAN ENRIQUE FAJARDO DOLCI, Subsecretario de Integración y Desarrollo del Sector Salud y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Innovación, Desarrollo, Tecnologías e Información en Salud, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4o. de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, 3o. fracción XI, 38 fracción II, 40 fracciones III y XI, 41, 43, 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 2o. fracción VII, 3o. fracciones I, II y IX, 13 apartado A fracciones I, II y IX, 45, 48, 78, 79, 81, 96, 98, 99, 100, 101, 102 y 103 de la Ley General de Salud; 28 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 3o., 4o., 5o., 22, 62, 78, 108, 115, 116 y 119 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud; 2o. apartado A fracción I, 8o. fracción V y 9o. fracción IV Bis del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud, me permito ordenar la publicación en el Diario Oficial de la Federación de la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SSA3-2012, Que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos.

Esta Norma Oficial Mexicana (NOM) establece los requisitos sanitarios de deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados para preservar su calidad.

**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.

EDUARDO GONZÁLEZ PIER, Subsecretario de Integración y Desarrollo del Sector Salud y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Innovación, Desarrollo, Tecnologías e Información en Salud, con fundamento en los artículos 39, de la Ley Orgánica de la Administración

Pública Federal; 4, de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 38, fracción II, 40, fracciones III y XI, 41, 43, y 47, fracción IV, de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28, del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 20, fracción V, 30, fracción XVIII, 60, fracción III, 13, apartado A, fracción I, 24, fracción III, 27, fracción X, 167, 168, fracciones I, II y III y 171, de la Ley General de Salud; 3, 4, 7, 9, fracción II, 10, 11, 12, fracción VIII y 13, de la Ley de Asistencia Social; 8, fracción V, 9, fracción IV Bis y 18, fracción III, del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud.

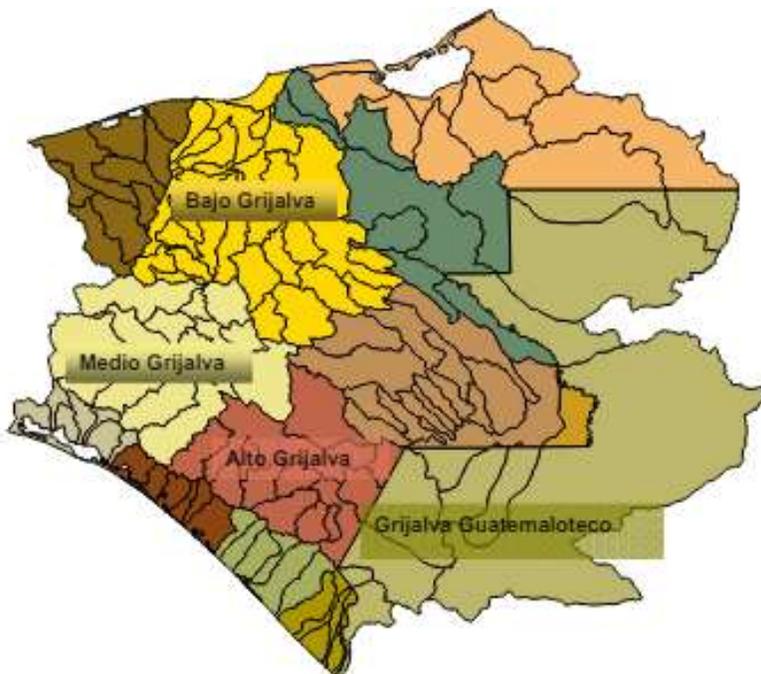
Esta Norma Oficial Mexicana (NOM) establece los procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en los sistemas de abastecimiento públicos y privados, incluyendo aspectos bacteriológicos y físico-químicos, así como criterios para manejo, preservación y transporte de muestreo.

## 6. Materiales y métodos

### 6.1. Área de estudio

La cuenca del Río Grijalva, se localiza en el sureste de México, es una cuenca transfronteriza que nace en Guatemala y cruza los Estados de Chiapas y Tabasco; las áreas propensas a inundaciones son las zonas adyacentes a los cauces y sus afluentes y efluentes. Existe una zona crítica de inundaciones hacia la parte centro-norte del Estado de Tabasco.

El Alto y Medio Grijalva se ubica en la Depresión Central de Chiapas, en el centro de este Estado, es una extensa zona semiplana bordeada por la Sierra Madre, los Altos y las Montañas del Norte de Chiapas. En el Bajo Grijalva se ubica la Sierra del Norte de Chiapas, son una serie de serranías separadas por alargados valles que bordean a los Altos y las Montañas del Oriente. La disposición de las montañas permite interceptar la humedad que cargan los vientos del Golfo de México, lo que propicia un clima húmedo con lluvias todo el año.



*Ilustración 3. Cuenca del Río Grijalva, 2006.*

Las condiciones del clima varían radicalmente conforme el Grijalva avanza río abajo, el Alto y Medio Grijalva tienen una precipitación media que oscila entre los 1200 y 1700 mm anuales, debido a que esta zona está ubicada entre dos barreras meteorológicas: las zonas montañosas del norte y costa de Chiapas, que bajo condiciones del efecto Föhn generan condiciones secas, sin embargo a través de Guatemala la influencia de ondas del este genera la mayor parte de la precipitación en estas dos cuencas, donde el 95% de la precipitación es de origen tropical.

En este caso, nuestra zona de estudio para el monitorio se ubica en la parte media del Río Grijalva, tomando 6 puntos de muestra, la ubicación de cada muestra fue en Venustiano Carranza (Río Salado), Chiapilla, Acala (Río Frío) y Chiapa de Corzo.

#### 6.1.1. Delimitación del área de puntos de muestreo

Se desarrollará la delimitación de puntos de muestreo para realizar la caracterización de los parámetros, desde una zona antropogénica, como es la presa Belisario Domínguez ubicado en el municipio de Venustiano Carranza, Chiapas (PI), delimitándola hasta la ubicación de la Planta de tratamiento de aguas residuales ciudad del agua, del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas (PF).



*Ilustración 4. Delimitación del tramo de puntos de muestreo, 2024.*

## 6.2. Materiales y métodos para caracterizar los parámetros

El día 23 de agosto del 2023, se llevó a cabo el monitoreo de agua en el Río Grijalva, siguiendo la NOM-001-SEMARNAT-2021 y NOM-002-ECOL-1996.

Para poder llevar a cabo el muestreo se requirieron los siguientes materiales y equipos:

**Tabla 1. Materiales utilizados para llevar a cabo el muestreo, 2023.**

<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIAL</b>
1	Bata
1	Cubrebocas
2	Guante
1	Cubeta (metal)
2	Marcador permanente
1	Cinta masking
1	Hielera
4	Botes de muestreo
1 Lt	Agua destilada
1 Lt	Etanol
1	Kleenex
1	Hoja de campo
1	Lapicero
1	Paquete de sanitas
1	Canasta

*Tabla 2. Equipo necesario para la realización del muestreo, 2023.*

CANTIDAD	EQUIPO
1	GPS
1	Medidor de bolsillo combo (pH/conductividad/TDS) (intervalo alto) HANNA HI98130
1	Medidor multiparamétrico(pH/ ORP/ CE/ TDS/ salinidad/OD/ presión/ temperatura) HANNA HI98194



*Ilustración 5. Materiales y equipo para el muestreo, 2023.*

El éxito de un análisis de aguas, depende en gran parte de las precauciones que se tengan en la toma de la misma y su forma de conservación para cada uno de los parámetros que se quieran determinar. Se debe tener una muestra que represente con exactitud el material de donde procede y evitar que se produzcan alteraciones en su composición antes que se realicen las pruebas correspondientes.

Para la realización del muestreo, se utilizaron medidas de seguridad para evitar la alteración de la muestra y se llevó un registro de los datos e información relevante del muestreo en la hoja de campo.



*Ilustración 6. Preparación de los materiales y los equipos, 2023.*

Antes de tomar la muestra se ubicará un punto en el área para tomar los parámetros con el equipo, se tomará una lectura en el ambiente y la otra en el agua, esto con el fin de poder identificar los parámetros físico-químicos del agua y del medio. En la recolección del agua a muestrear, se enjuagó el bote de muestreo con la misma agua a muestrear varias veces para así evitar cualquier residuo que pueda alterar la muestra. El recipiente se llena hasta la boca para evitar dejar aire en su interior.

Etiquetado del bote de muestreo con datos relevantes (fecha, hora y lugar).

Al término de la medición de los parámetros físico químicos, se lava la punta del equipo utilizado (medidor multiparamétrico HANNA HI98194) con agua destilada y su posterior limpieza con una toalla kleenex. Las muestras envasadas deben preservar en la hielera para evitar alteraciones.



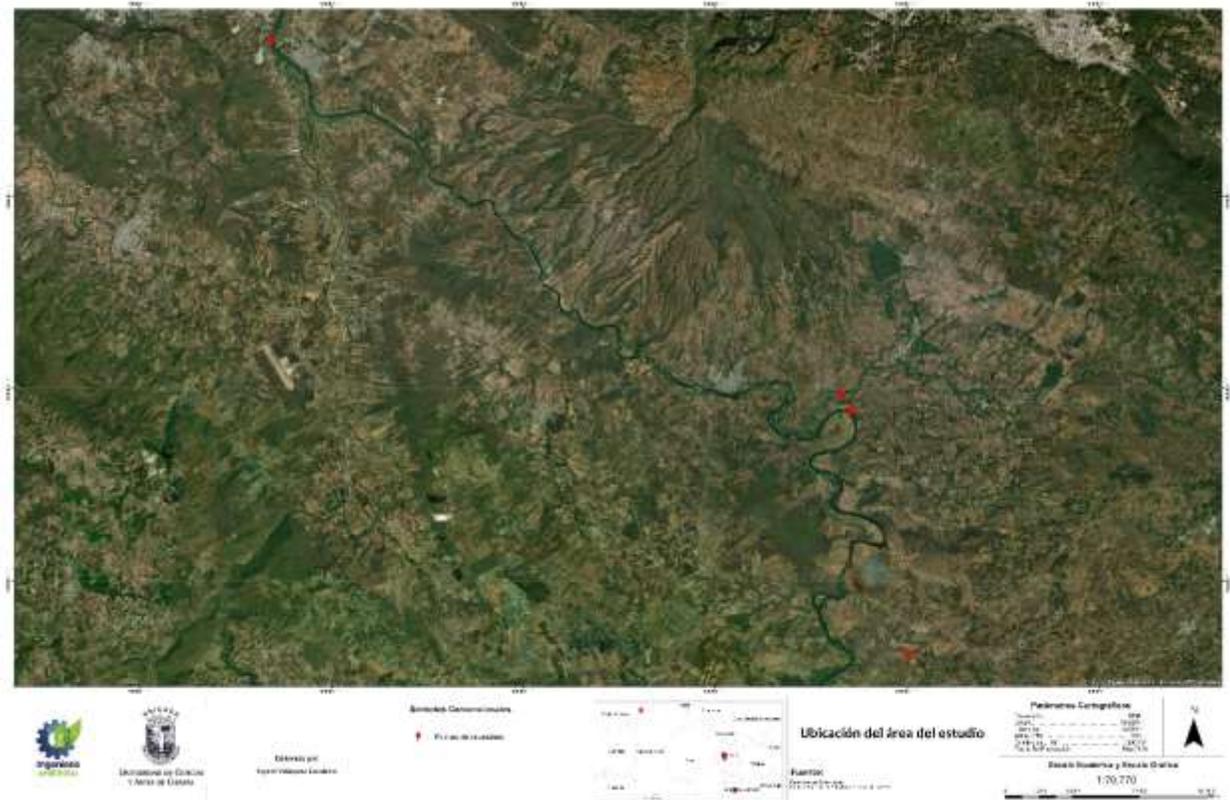
*Ilustración 7. Toma de muestra en el Río Salado del municipio Venustiano Carranza, 2023.*



*Ilustración 8. Toma de muestra en el Río Grijalva. Municipio de Chiapilla, 2023.*

## 7. Resultados

Para poder realizar el monitoreo de calidad de agua del Río Grijalva, se ubicaron los municipios de acuerdo a la delimitación del área de estudio donde incluye Chiapa de Corzo, Acala, Chiapilla, Venustiano Carranza, acotando a 4 puntos de muestreo, como se muestra en la siguiente ilustración:



*Ilustración 9. Mapa de ubicación de puntos de muestreo.*

En total se obtuvieron 5 parámetros físicos de cada uno de los 4 puntos muestreados, los cuales fueron: Potencia de hidrogeno (pH), oxígeno disuelto (OD), solidos disueltos (TDS), conductividad eléctrica (CE) y temperatura, las cuales fueron analizadas para el cumplimiento de los limites permisibles de acuerdo a las NMX.

**Tabla 3. Análisis del cumplimiento de la potencia de hidrógeno (pH) aplicando la NMX-AA-008-SCFI-2016.**

<b>Potencia de hidrogeno (pH) aplicando la NMX-AA-008-SCFI-2016</b>			
<b>Lugar</b>	<b>Resultado</b>	<b>Limite permisible</b>	<b>Cumplimiento</b>
Venustiano Carranza (Río Salado)	8.65	6.5 – 8.5	No cumple
Chiapilla	8.68	6.5 – 8.5	No cumple
Acala (Río Frío)	8.27	6.5 – 8.5	Cumple
Chiapa de Corzo	7.58	6.5 – 8.5	Cumple

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). Por lo tanto, en estos 4 puntos de muestreo se encontró un rango de 7.58 a 8.68 del pH, siendo un indicador promedio en este tipo de aguas, como es el de Ríos naturales.

**Tabla 4. Análisis del cumplimiento del oxígeno disuelto (OD) aplicando la NMX-AA-012-SCFI-2009.**

<b>Oxígeno Disuelto (OD) aplicando la norma NMX-AA-012-SCFI-2009</b>			
<b>Lugar</b>	<b>Resultado</b>	<b>Limite permisible</b>	<b>Cumplimiento</b>
Venustiano Carranza (Río Salado)	5.2 ppm	0.2 ppm	Cumple
Chiapilla	6.3 ppm	0.2 ppm	Cumple
Acala (Río Frío)	5.6 ppm	0.2 ppm	Cumple
Chiapa de Corzo	6.5 ppm	0.2 ppm	Cumple

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más asociados a la vida acuática, que se usa como indicador del grado de contaminación orgánica de la tasa de degradación de sustancias orgánicas e inorgánicas, susceptibles de ser oxidadas y la capacidad de autodepuración de corrientes superficiales (Huanca, *et al.*, 2020). De acuerdo al monitoreo *in situ* del OD, se encontró un rango de 5.2 a 6.5, considerándose óptimo.

**Tabla 5. Análisis del cumplimiento de sólidos disueltos totales (TDS) aplicando la NMX-AA-034-SCFI-2015.**

<b>Sólidos Disueltos Totales (TDS) aplicando la norma NMX-AA-034-SCFI-2015</b>			
<b>Lugar</b>	<b>Resultado</b>	<b>Limite permisible</b>	<b>Cumplimiento</b>
Venustiano Carranza (Río salado)	1224	1000.00 ppm	No cumple
Chiapilla	307	1000.00 ppm	Cumple
Acala (Río Frío)	228	1000.00 ppm	Cumple
Chiapa de Corzo	246	1000.00 ppm	Cumple

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).

Encontrando en los 4 puntos de muestreo un rango de 228 ppm a 1224 ppm.

*Tabla 6. Análisis del cumplimiento de conductividad eléctrica (CE) aplicando la NMX-AA-093-SCFI-2000.*

<b>Conductividad eléctrica (CE) aplicando la norma NMX-AA-093-SCFI-2000</b>			
<b>Lugar</b>	<b>Resultado</b>	<b>Limite permisible</b>	<b>Cumplimiento</b>
Venustiano Carranza (Río Salado)	2450	1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	No cumple
Chiapilla	522	1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Cumple
Acala (Río Frío)	456	1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Cumple
Chiapa de Corzo	493	1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Cumple

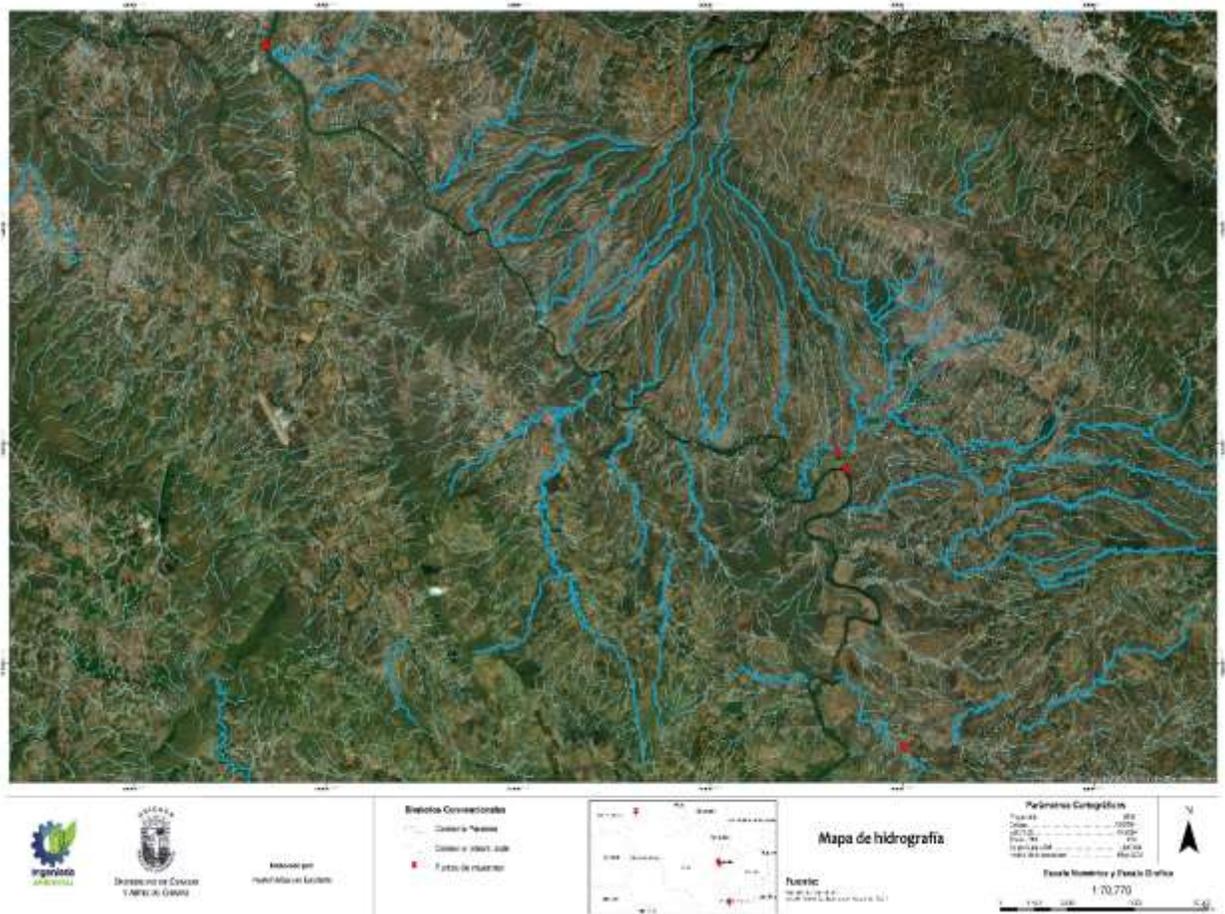
La conductividad eléctrica del agua proporciona una evaluación de la concentración total de iones disueltos en el agua, siendo una propiedad importante en este elemento que se toma como indicador del grado de mineralización del agua (Cedeño, 2020). De este indicador se encontró un rango de 456 a 2450.

**Tabla 7. Análisis del cumplimiento de temperatura aplicando la NMX-AA-007-SCFI-2013.**

Temperatura aplicando la NMX-AA-007-SCFI-2013			
Lugar	Resultado	Limite permisible	Cumplimiento
Venustiano Carranza (Río Salado)	30.96	0 °C - 45°C	Cumple
Chiapilla	23.1	0 °C - 45°C	Cumple
Acala (Río Frío)	27.6	0 °C - 45°C	Cumple
Chiapa de Corzo	27.3	0 °C - 45°C	Cumple

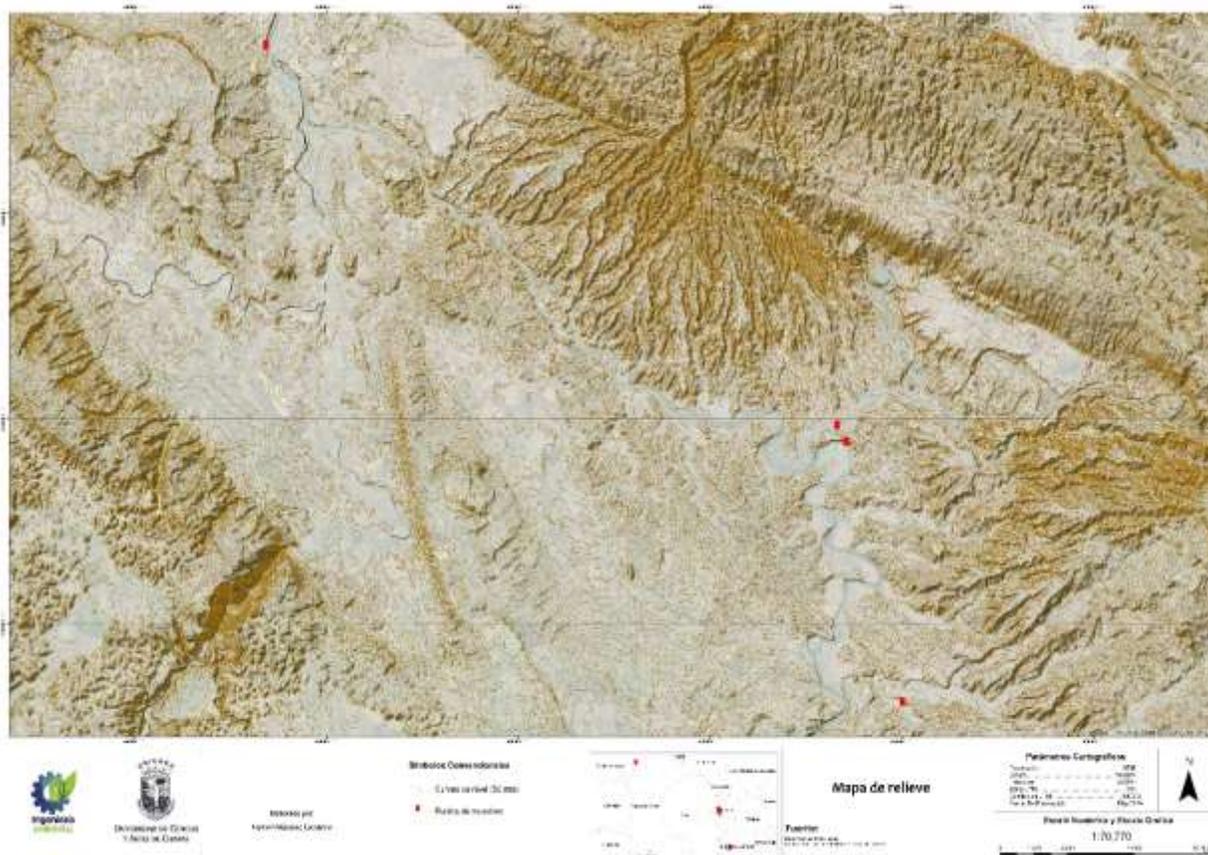
La temperatura del agua esta relacionada con la temperatura atmosférica, pero influyen igualmente otros factores tales como la altitud, el espesor y la duración de la cubierta nival, deshielo, etc. (Fernández, 2012). Dentro de este indicador de los 4 puntos de muestreo se encontró un rango de 23.1 °C a 30.96 °C.

De acuerdo al recorrido de campo y delimitación de puntos de muestreo, se desarrollaron 2 mapas donde se identifica curvas de nivel e hidrografía, siendo estos importantes y relevantes para identificar las ramificaciones perennes y no perennes que tienen confluencia con el Río Grijalva.



*Ilustración 10. Mapa de la hidrografía del Río Grijalva.*

Como se muestra en la ilustración 10, el mapa representa la cuenca hidrográfica del Río Grijalva y sus diferentes áreas de confluencias que pueden ser perennes o no perennes, asentando que es un territorio continental drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un río o que vierte sus aguas a una única agua endorreico, estos tipos de ríos es delimitada por las líneas de las cumbre o también llamadas divisoras de aguas (Peña, 2007). Siendo el Río Grijalva el principal productor de energía hidroeléctrica y el segundo más caudalosos de México.



***Ilustración 11. Mapa de relieve del Río Grijalva.***

En la ilustración 11 se observa una representación de la superficie del Río Grijalva donde permite visualizar de manera simultánea las áreas planas y empinadas, así como crestas y valles en conjunto a la curva de nivel que une los puntos que tienen idéntica altitud, donde plasma el relieve del terreno de manera muy detallada y se aprecia los elementos naturales, artificiales y los cursos de aguas superficiales (Jaya, 2017).

## 8. Conclusiones

De acuerdo a la información recabada en campo *in situ* permite conocer los resultados de la caracterización de parámetros en el tramo del Río Grijalva, para referenciarlos con las Normas aplicables, dentro de la legislación ambiental de nuestro país.

Como se puede observar en las tablas anteriores, se tomaron como base 5 parámetros para llevar a cabo este monitoreo.

En el caso del pH, dentro de los 4 puntos, se obtuvo un rango mínimo de 7.58 a un máximo de 8.68, siendo que en la norma NMX-AA-008-SCFI-2016, delimita de 6.5 a 8.5 como permisible, siendo Venustiano Carranza y Chiapilla los que no cumplen, como observación y de acuerdo a otros autores, cuando existen alteraciones antropogénicas puede haber una variación del pH, connotando que estos 2 puntos son los más cercanos a la presa hidroeléctrica de Belisario Domínguez, siendo un factor de alteración, ya que las compuertas se abren por periodos. Sumando que el indicador pH tiende a alterarse por las diferentes temperaturas, ya que las moléculas tienden a separarse en sus elementos Hidrogeno y Oxígeno. Al aumentar la proporción de moléculas descompuestas se produce más Hidrogeno, por lo consiguiente altera al pH (Ávila y Bojórquez, 2020).

En el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD), se observa que, dentro de los 4 puntos, se obtuvo un rango mínimo 5.2 a un máximo de 6.5, siendo que en la NMX-AA-012-SCFI-2009, delimita a 0.2 ppm, esto nos indica que todos los puntos en los municipios se encuentran en óptimas condiciones, de acuerdo a Huanca, *et al.* (2020) este proceso como es la difusión entre la atmosfera y el agua, oxigenación por el flujo del agua sobre las rocas y otros detritos, la agitación del agua por la corriente, el viento y la fotosíntesis de plantas acuáticas genera el oxígeno gaseoso en las aguas.

Para el caso de los Sólidos Disueltos Totales (TDS), se observa que, dentro de los 4 puntos, se obtuvo un rango mínimo de 228 a un máximo de 1224, siendo NMX-AA-034-SCFI-2015, se delimita a 1000.00 ppm, por lo tanto, el municipio de Venustiano Carranza (Río Salado) no logra cumplir este

parámetro al tener 1224 ppm, este punto de muestreo de este municipio puede ser afectado debido a que se encuentra cerca de la presa hidroeléctrica de Belisario Domínguez, ya que sufre cambios drásticos por apertura y cierre de las compuertas. De acuerdo a García (2015), hace referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial o residual; Esto puede perjudicar la salud de ese cuerpo de agua, ya que las concentraciones de TDS demasiado altas o demasiado bajas pueden limitar el crecimiento de las plantas acuáticas y provocar la muerte de muchos organismos marinos, también el agua con grandes cantidades de TDS tiene mal sabor para los consumidores y puede ser inadecuada para bañarse o para limpiar.

En el caso de la Conductividad Eléctrica (CE), se obtuvo un rango mínimo de 456 a un máximo de 2450, lo que la NMX-AA-093-SCFI-2000 limita a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , siendo el punto de muestreo dentro del municipio de Venustiano Carranza (Río Salado) uno de los más altos al obtener 2450  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , debido a este rango no cumple con el límite permisible, de acuerdo a Cedeño (2020), al superar los valores paramétricos de conductividad puede afectar negativamente al sabor del agua y potenciar problemas asociados al agua dura, corrosiva o incrustante. Se puede contribuir por la alteración de la apertura periódica de las compuertas de la presa hidrológica de Belisario Domínguez.

Dentro del parámetro de Temperatura se obtuvo un rango mínimo de 23.1 a un máximo de 30.96, siendo que la NMX-AA-007-SCFI-2013 delimita 0°C a 45°C, con base a este rango se puede concretar que todos los puntos de muestreo de los municipios cumplen con este límite, cabe mencionar que los resultados de la temperatura pueden verse alterado por la diferencia de horarios que se tomó en cada punto.

## 9. REFERENCIAS

- 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. Obtenido de <https://www.eumed.net/actas/20/turismo/25-importancia-de-la-contaminacion-de-los-rios-y-los-impactos-en-el-turismo.pdf>.
- Breña, A. F., y Breña, J. A. (2007). Disponibilidad de agua en el futuro de México. *Academia mexicana de ciencia*, 58, 64-71.
- Carbajal, A., y González, M. (2003). *Funciones biológicas del agua en relación con sus características físicas y químicas*. Barcelona, España: Academia Española de Gastronomía.
- 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.
- Chiriboga, C. A. (2010). Propuesta de un sistema de monitoreo para la caracterización de las aguas residuales que recepta el río Tahuando. (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte.
- Comisión Nacional de Derechos Humanos [CNDH]. (2018). Estudio sobre protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos. D.F. México: UNAM.
- De Anda Valades, L. (2017). Normatividad para agua potable en México: De la gestión a la aplicación 31 de Marzo del 2019, de iAgua Sitio web: <https://www.iagua.es/blogs/luis-anda-valades/normatividad-aplicable-agua-potable-mexico-gestion-aplicacion>
- De Miguel, A., Lado, J. J., Martínez, V., Leal, M., y García, R. (2009). El ciclo hidrológico: experiencias prácticas para su comprensión. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(1), 78-85.

- 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.
- Espigares, E. y Espínola, J. M. (2020). Calidad de las aguas para consumo humano y principales riesgos sanitarios. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 20 (30), 1887-1895.
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170.
- Formaggio, L. F. (2021). Geociencias, hidrogeología-hidrología. *Revista Ciencias de la Tierra*,
- Samboni, N. E., Carvajal, Y., y Carlos, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación*, 27(3), 172-181.
- García, C. (2006). Dimensiones para la autogestión de la comunidad. *Sociedad Hoy*, (10), 85-108.
- García, N. H. (2015). Operación de canales: Conceptos básicos. D.F, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- González, F., Vázquez, E., Aguilar, E., Y Arriaga, J. (2022). Perspectivas de agua en México, propuesta para la seguridad hídrica. D.F., México: CERSHI.
- González, M., Ramírez, N., Gómez, E., Parra, M. R., Díaz, B. M., y Musalem, K. (2014). Vulnerabilidad ambiental y social. Perspectivas Sección: Investigación para la restauración de bosques en la Sierra Madre de Chiapas. *Investigación ambiental*, 6 (2) 89-108.
- Grael, C. E., y Carrillo, C. M. (2006). Calidad del agua del río Zanatenco en el estado de Chiapas. *Ingeniería*, 10 (3), 35-42.
- Guadarrama, R., Kido, J., Roldan, G., y Salas, M. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1-10.
- Guentzel, J., Partilla, E., Keith, K. M., y Keith, E. O. (2007). Mercury transport and bioaccumulation in riverbank communities of the Alvarado Lagoon System, Veracruz State, Mexico. *Science of The Total Environment*, 388 (1-3), 316-324.

- 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.
- Hernández, R., Medina, M., Tafolla, D., Herrerías, Y., Escalante, L., Escalera, L. H, Hernández, F., y Domínguez, O. (2020). Reintroducción de *Zoogoneticus tequila* en los manantiales de Teuchitlán, Jalisco: primera fase. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología. Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. NE002. Ciudad de México.
- Huanca, J. W., Butrón, S. B., Supo, L. A., y Supo, F. (2020). Evaluación y monitoreo de la calidad ambiental del agua en el proyecto sistema de riego Canal N, provincia de Melgar – Puno, Perú. *Ciencia & Desarrollo*, 19, 26 (1) 88-96.
- Jaya, F. E. (2017). *Estudio de los sólidos suspendidos en el agua del río Tabacay y su vinculación con la cobertura vegetal y usos del suelo en la microcuenca* (Tesis pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Jiménez, B. E. (2007). Información y calidad del agua en México. *Trayectorias*, 9 (24), 45-56.
- 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., Fonseca, K., Ortega, J., y García, C. (2009). Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. *Química Viva*, 8(1), 35-47.
- Musálem, K., Laino, R., Bello, R., González, M., y Ramírez, N. (2018). Calidad de agua del río Grijalva en la frontera de Chiapas y Tabasco. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5 (13), :55-64.
- 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.

- Olguín, E. J., González, R. E., Sánchez, G., Zamora, J. E., y Owen, T. (2010). Contaminación de ríos urbanos: El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México. *Latinoam Biotechnol Amb Alga*, 1(2), 178-190.
- Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M. N., Rodríguez, F., y Alfayate, J. (2005). Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Madrid, España: Editoriales Spain Paraninfo, S.A.
- Osorio, M. A., Carrillo, W. E., Negrete, J. H., Loor, X. A., y Riera, E. J. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del conocimiento*, 6 (3), 228-245.
- Pari, D. C. (2017). *Efectos de los relaves mineros en la calidad del agua del río ananea – puno* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Peña, A. (2007). Una perspectiva social de la problemática del agua. *Investigaciones Geográficas*, 62, 125-137.
- Perevochtchikova, M. (2013). Retos de la información del agua en México para una mejor gestión. *Revista internacional de estadística y geografía*, 4(1), 42-57.
- Pinto, M., Estrella, J., y Gennari, A. (2017). Agua y sociedad. Buenos Aires, Argentina: Lajouane,
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, S., y Ortiz, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25 (3), 157-167.
- Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. [SEMARNAT]. (2012). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. D.F. México: SEMARNAT.
- Sierra, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. Bogotá, Colombia: Universidad de Medellín.
- 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.

Torres, F. V. (2011). *Sistema de monitoreo de la calidad del agua del río Sabinal con dispositivos móviles* (tesis de pregrado). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Valencia, R., Sánchez, J., Ortiz, E., y Gómez, J. L. (2007). La contaminación de los ríos, otro punto de vista. Primera parte. *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, 5(1), 35-49.

## **10. Anexos**