



## INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

### IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA DE AGUA POTABLE EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS, CIUDAD UNIVERSITARIA.

REPORTE FINAL DE RESIDENCIA PROFESIONAL QUE PRESENTA:

DANIELA BALLINAS JUÁREZ

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

### INGENIERÍA QUÍMICA

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Agosto-Diciembre 2023



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco a Dios por llenarme de bendiciones y la guía necesaria para llegar hasta este punto.

A mis padres: Mi mamá, María Cleotilde. Por su amor, apoyo constante y sacrificios innumerables que han hecho posible mi educación y crecimiento personal. A mi papá, Jorge Alberto, aunque ya no esté físicamente, su presencia y enseñanzas perduran en mi corazón, ambos son mi fuente de inspiración.

A mi hermana, por ser mi compañera de vida y mejor amiga.

Agradezco de manera especial a la Dra. Daysi Escobar Castillejos por permitirme ser parte de este proyecto y por toda la dedicación, orientación y apoyo durante todo este proceso. Gracias por impulsarme a ser mejor cada día.

Agradezco de corazón a todas las personas que han formado parte de mi camino y han contribuido de alguna manera a la culminación de este proyecto. A todos mis amigos y compañeros que a lo largo de la carrera estuvieron para mí en todo momento, ustedes saben quiénes son.

## RESUMEN.

**Palabras clave:** Agua. Agua potable. Agua purificada. Calidad de agua. Potabilización. Proceso de purificación.

El acceso al agua limpia es un derecho humano, el suministro de agua apta y de calidad para el ser humano siempre ha sido una preocupación constante. De acuerdo con la Organización Mundial de Salud alrededor de 2 200 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de forma segura. El agua es el recurso básico más importante para la sobrevivencia y desarrollo de cualquier sociedad, donde la energía y alimentos son dependientes en gran medida del recurso hídrico, por la misma razón, el agua potable tiene una estrecha relación con la salud, el desarrollo y la pobreza. El proceso de conversión de agua cruda a agua potable se le denomina potabilización y consiste en un *stripping*<sup>1</sup> de los compuestos volátiles seguido de la precipitación de impurezas con floculantes, filtración y desinfección con cloro u ozono. (Barreto et al., 2015; Romero, 2018; Tzatchkov et al., 2023; UNICEF, 2019).

**Keywords:** Water. Drinking water. Purified water. Water quality. Purification. Purification process.

Access to clean water is a human right, the supply of suitable and quality water for human beings has always been a constant concern. According to the World Health Organization, around 2.2 billion people lack access to safely managed drinking water services. Water is the most important basic resource for the survival and development of any society, where energy and food are largely dependent on water resources. For the same reason, drinking water has a close relationship with health, development and poverty. The process of converting raw water to drinking water is called purification and consists of stripping the volatile compounds followed by precipitation of impurities with flocculants, filtration and disinfection with chlorine or ozone.

---

<sup>1</sup> Técnica para eliminar componentes volátiles en una mezcla haciendo burbujear una corriente de un gas o líquido químicamente no reactivo a través de la muestra.

## ÍNDICE.

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	3
3.	PROBLEMAS A RESOLVER.....	4
4.	OBJETIVOS.....	5
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
5.	JUSTIFICACIÓN.....	6
6.	MARCO TEÓRICO.....	7
6.1	GENERALIDADES DEL AGUA.....	7
6.2	ANTECEDENTES.....	8
6.3	SITUACIÓN ACTUAL EN MÉXICO Y EL MUNDO.....	10
6.4	PLANTA PURIFICADORA DE AGUA.....	11
	6.4.1 NORMATIVA APLICABLE EN LA CALIDAD DE AGUA.....	11
	6.4.2 PARÁMETROS DE MEDICIÓN IMPUESTOS EN EL AGUA PARA CONSUMO.....	14
	6.4.2.1 OLOR.....	14
	6.4.2.2 COLOR REAL EN ESCALA PLATINO-COBALTO.....	15
	6.4.2.4 COLOR APARENTE.....	15
	6.4.2.5 COLOR REAL.....	15
	6.4.2.6 TURBIEDAD.....	15
	6.4.2.7 PH.....	15
	6.4.2.8 ALCALINIDAD.....	16
	6.4.2.9 ALCALINIDAD TOTAL.....	16
	6.4.2.10 ALCALINIDAD DEL ANARANJADO DE METILO.....	16
	6.4.2.11 ALCALINIDAD FENOLFTALEÍNA.....	17
	6.4.2.12 DUREZA TOTAL.....	17
	6.4.2.13 DUREZA DE CALCIO.....	17
	6.4.2.14 DUREZA DE MAGNESIO.....	17
	6.4.2.15 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT).....	18
	6.4.2.16 CLORUROS.....	18
	6.4.2.17 SULFATOS.....	19
	6.4.2.18 COLIFORMES TOTALES.....	19

6.4.2.19 COLIFORMES FECALES.....	19
<b>7. PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>20</b>
7.1 OLOR.....	20
7.2 COLOR REAL EN ESCALA PLATINO-COBALTO. COLOR APARENTE. COLOR VERDADERO.....	21
7.3 TURBIEDAD.....	23
7.4 PH.....	24
7.5 ALCALINIDAD TOTAL. ALCALINIDAD FENOLFTALEÍNA. ALCALINIDAD ANARANJADO DE METILO.....	25
7.6 DUREZA TOTAL. DUREZA DEL CALCIO. DUREZA DE MAGNESIO. ....	27
7.7 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT).....	28
7.8 CLORUROS.....	30
7.9 SULFATOS.....	31
7.10 COLIFORMES TOTALES.....	33
7.11 CADMIO TOTAL.....	34
<b>8. RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>9. COMPETENCIAS DESARROLLADAS.....</b>	<b>40</b>
<b>10. FUENTES DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>41</b>
<b>11. ANEXOS.....</b>	<b>50</b>

## 1. INTRODUCCIÓN.

El aumento de la necesidad de agua potable y sus escases son resultado de la urbanización, el crecimiento de la población, el uso indebido de recursos naturales y los cambios climáticos. Estas variables han originado problemas globales sin precedentes y de carácter crítico.

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud dos de cada diez personas en el mundo no tienen acceso a agua potable y, 3.900 niños mueren cada día debido a enfermedades transmitidas por agua contaminada o falta de higiene. Según el Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, se prevé que esta preocupante situación empeore sustancialmente de aquí a 2050, cuando al menos una cuarta parte de la población de la Tierra vivirá en un país que sufrirá escasez crónica o recurrente de agua dulce (Lee et al., 2014, pp.17).

En México, durante el último siglo la disponibilidad anual de agua por habitante se ha reducido a 1/3 del total promedio considerado en 1960, es decir, la cantidad disponible pasó de 10 mil m<sup>3</sup> a 3.2 mil m<sup>3</sup> en 2020. El deterioro y explotación de los cuerpos de agua e incremento de las sequías, provocará que eventualmente esta cifra siga disminuyendo conforme el paso del tiempo (IMCO, 2023).

El suministro de agua potable es un problema que ha preocupado a la humanidad desde la antigüedad. El primer sistema de abastecimiento de agua potable del que se tiene registro se le atribuye a John Gibb en 1804, quién logró abastecer con agua filtrada a la ciudad de Glasgow en Escocia. En Inglaterra, durante el año de 1827, James Simpson construye un filtro de arena para tratar el agua potable y en 1855 después del brote de cólera más violento en Londres, John Snow con su hipótesis del surgimiento de la epidemia, desempeñó un papel fundamental en la importancia de la calidad del agua (Crespo, 2016; Cerda et al., 2007, pp. 332).

A pesar de la importancia que desempeña el agua en la salud y calidad de vida del ser humano, apenas hasta mediados del siglo XX se establecieron estándares internacionales para garantizar la seguridad del agua para consumo, regidos por la Organización Mundial de Salud; y no fue hasta 1983 que la misma OMS publicó la primera edición de "Guía para la calidad del agua potable" - conocido por su versión original en inglés como "Guidelines for drinking-water quality" - , cuyo objetivo principal es proteger la salud pública asociada con la calidad del agua. No obstante, que estos describen los

requisitos mínimos razonables que deben cumplir las prácticas de distribución y valores de referencia numéricos de los componentes en el agua. Para definir los límites obligatorios de cada país o región es preferible considerar sus propios indicadores de referencia en el contexto de sus condiciones propias. En México, la Secretaría de Salud, a través de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), es la entidad responsable de establecer y regular la calidad del agua para uso y consumo humano. (OMS, 2022; Jacobo, 2010).

El proceso de conversión de agua cruda en agua apta para consumo humano se le conoce como potabilización. El agua se denomina potable cuando su consumo es apto siempre y cuando cumpla con los parámetros establecidos, mientras que el agua purificada es aquella libre de impurezas, contaminantes, sales y minerales. “El tratamiento de purificación de agua es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda para que cumplan con características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, de acuerdo a la normatividad vigente” (Barreto et al., 2015). El procedimiento en este caso en específico consiste en un pre-tratamiento que precipita impurezas con floculantes como el cloro, seguido de la filtración con tres distintos tipos de filtro para después llegar al equipo de ósmosis inversa y finalizar con la adición de ozono para su desinfección y vida útil.

La investigación en curso busca implementar el sistema de purificación de agua dentro de Ciudad Universitaria en la Universidad Autónoma de Chiapas que va desde la fuente de obtención hasta su tratamiento y suministro para consumo, logrando proporcionar agua de calidad que cumpla con los parámetros impuestos por las regulaciones actuales regionales.

La implementación y puesta en marcha de una planta purificadora de agua es un proceso esencial para garantizar el abastecimiento de agua potable en distintas comunidades que enfrentan dificultades al momento de adquirirla. Este proyecto realizará un análisis detallado del procedimiento y los desafíos comunes al momento de operarla. Así como, las ventajas que trae consigo el establecimiento de una planta purificadora de agua.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.

La Universidad Autónoma de Chiapas es una Institución de Educación Superior pública y autónoma, socialmente responsable y con vocación de servicio; que forma de manera integral a profesionales competentes, críticos, éticos, con conciencia ciudadana y ambiental. La UNACH genera, divulga y aplica el conocimiento científico, tecnológico y humanístico; difunde la cultura y el arte, promueve el deporte y extiende sus servicios, vinculada con la sociedad en entornos locales, nacionales e internacionales; con personal calificado y programas educativos pertinentes y de calidad, para contribuir al desarrollo sustentable, al bienestar social, la cultura de paz, la democracia, la equidad y los derechos humanos.

La planta purificadora de agua de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) es un proyecto realizado y ejecutado bajo la dirección del Departamento de Empresas Universitarias de la institución (DEU). DEU genera e impulsa la Cultura Empresarial, coadyuva y facilita en forma integral la innovación y consolidación de las empresas y la realización exitosa de proyectos e ideas de negocios de la comunidad universitaria y público en general, a través de la asesoría, capacitación, tutorado y acompañamiento de excelente calidad Profesional e Institucional.

El producto final de la planta purificadora es conocido como “*AGUA UNACH*”. Este emprendimiento, tiene el compromiso de ofrecer a su comunidad agua de la mejor calidad posible, bajo los regímenes y estándares nacionales e internacionales de calidad. El proyecto es una oportunidad de generar innovación, además de fortalecer la colaboración multidisciplinaria, facilita y fomenta el progreso en la expansión tecnológica de prototipos, así como, alienta a los estudiantes a desarrollarse e involucrarse en la mejora de procesos y soporte de la planta.



### 3. PROBLEMAS A RESOLVER.

Es un derecho humano que todas las personas accedan a una cantidad suficiente de agua potable. El principal propósito común del desarrollo y conservación del medio ambiente se basa en fomentar las condiciones que beneficien el bienestar social y la calidad de vida. El consumo de agua contaminada e higiene están relacionados a la calidad de vida que llevan los consumidores, por lo tanto a su salud y precariedad. A largo plazo, la ingesta de agua no potable conlleva a la aparición de enfermedades que pueden afectar las capacidades de quienes la ingieren, lo que a su vez limita su desarrollo en el ámbito económico y social. (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 2012; SEMARNAT, 2019).

La planta purificadora de agua de la Universidad Autónoma de Chiapas, acaba de abrir sus puertas para comenzar con sus operaciones correspondientes, por lo que requiere de asistencia para su implementación y arranque. Se han registrado niveles irregulares de contaminantes en el producto final, como resultado de la falta de mantenimiento y atención de equipos. La purificadora es abastecida con agua proveniente del ojo de agua ubicado dentro de las instalaciones de Ciudad Universitaria, a tan solo unos metros de la misma planta. La calidad del agua cruda requiere de la misma atención que el agua producida regida por la NOM-201-SSA1-2015, por lo tanto, debe de seguir los parámetros de acuerdo a la NOM-127-SSA1-2021. Este problema afecta directamente a la salud de los consumidores y genera preocupaciones sobre la seguridad del agua.

La inexistencia de un manual de operaciones que priorice la seguridad e higiene en la planta, las condiciones de los trabajadores, la falta de medidas de precaución y equipo personal necesario adecuado, así como también, la ausencia de control y falta de los análisis que permitan conocer los indicadores de cada una de las variables a evaluar para el monitoreo regular del agua cruda y purificada, generan pérdidas económicas y materiales que impiden realizar una planeación correcta. Lo que demanda tiempo para la obtención de un producto libre de contaminantes, ocasionando retrasos en el proceso y programación prevista.

La problemática central de esta investigación es la pérdida de eficiencia y la disminución de la calidad del agua purificada. Se busca comprender las causas de estos problemas y proponer soluciones efectivas para mejorar el proceso de purificación.

## 4. OBJETIVOS.

### 4.1 Objetivo general.

- Garantizar la eliminación efectiva de contaminantes, microorganismos y sustancias no deseadas para transformar el agua cruda en agua de alta calidad, mediante procesos físicos y químicos con respecto a la normatividad vigente.

### 4.2 Objetivos específicos.

- Evaluar y comparar los parámetros fisicoquímicos del agua cruda proveniente del ojo de agua que abastece la Ciudad Universitaria, UNACH, con respecto a la normativa vigente.
- Elaborar el manual de control de calidad para cada uno de los procesos y actividades que se implementan en la planta potabilizadora. Así como, incorporar la señalética correspondiente para gestionar la certificación de dicha planta ante la COFEPRIS.
- Realizar el proceso de potabilización del agua cruda de la Ciudad Universitaria, UNACH.

## 5. JUSTIFICACIÓN.

El agua limpia y saneamiento es uno de los objetivos que forman parte de La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Sin embargo, en México, 12 millones de personas carecen de acceso al agua potable, una sexta parte de los mantos acuíferos que se reconocen a lo largo del país se encuentran sobreexplotados y el 80% de los cuerpos de agua presenta algún tipo de contaminación por descargas industriales. Debido a la pobre calidad del agua en la mayoría de las cuencas, México se posiciona en el primer lugar a nivel mundial en consumo de agua purificada, a raíz de que la población no cuenta con la garantía de que la red de distribución pública suministra agua potable de calidad. (Forbes, 2023; López et al., 2017, ONU, 2017).

El acceso al agua potable es importante como en cuestión de salud y de desarrollo para las comunidades. Se ha demostrado que las inversiones en abastecimiento de agua y saneamiento pueden generar un beneficio económico neto, debido a que involucran reducciones de los efectos adversos para la salud. Esta condición aplica para inversiones que van desde importantes infraestructuras de suministro de agua hasta el tratamiento del agua en el hogar. De igual manera, se ha demostrado que las intervenciones para mejorar el acceso al agua potable favorecen en particular a las personas con bajos recursos y marginadas. La potabilización correcta del agua puede ser una parte eficaz de las estrategias de alivio de la pobreza (OMS, 2022).

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de abordar estos desafíos y mejorar la eficiencia y calidad del agua producida por las plantas purificadoras. La evaluación del sistema de purificación de agua de la Universidad Autónoma de Chiapas es con el propósito de lograr la operación óptima de la planta. La resolución de este problema es crucial para salvaguardar la salud de la comunidad, ya que el suministro de agua contaminada puede tener consecuencias graves. Además, el estudio contribuirá al desarrollo de estrategias y tecnologías mejoradas en el ámbito de la potabilización del agua, beneficiando no solo a nuestra comunidad sino también sirviendo como referencia para otras plantas purificadoras que enfrentan desafíos similares.

Garantizando la eliminación efectiva de contaminantes, microorganismos y sustancias no deseadas para transformar el agua cruda en agua de alta calidad, mediante procesos físicos y químicos con respecto a la normatividad vigente.

## 6. MARCO TEÓRICO.

En esta sección se encuentra un análisis detallado sobre el estado actual de las plantas purificadoras, los desafíos comunes relacionados con la calidad del agua, los estándares de medición y la normativa vigente en México. Además, se examinan los diferentes procesos de purificación, detalles generales sobre la empresa en cuestión y se proporciona la base teórica que respalda la metodología y las herramientas que se utilizarán en este estudio.

### 6.1 Generalidades del agua.

El planeta Tierra, está cubierto por una superficie de 71% agua. No obstante, solo un 3.5% de la cantidad total corresponde al porcentaje de agua dulce y esto no garantiza el poder beberla con facilidad ya que, más de la mitad de ella se encuentra congelada en glaciares y casquetes polares, mientras que el resto se esconde en el subsuelo. Lo que corresponde que apenas tenemos acceso a un 0.025% de agua potable a nivel global. A partir de esta cifra, se estima que aproximadamente el 70% del agua dulce se destina a la agricultura, el agua en la industria absorbe una media del 20% del consumo mundial, lo que quiere decir que el consumo doméstico absorbe solamente el 10% restante (Baroni, et al., 2007; García, 2019).

En la naturaleza, el agua presenta diferentes contenidos de sales, minerales, gases y partículas. Sin embargo, algunos de estos contaminantes son generados de forma natural o derivados de actividades humanas, alterando sus características al punto de imposibilitar muchos de sus usos. Aunque los principales productos químicos presentes en el agua que acarrearán riesgo son el arsénico, los fluoruros y los nitratos, hay nuevos contaminantes, como determinados fármacos, plaguicidas, moléculas perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas, así como, microplásticos que también son peligrosos. En términos de calidad del agua, es importante considerar factores como la contaminación, la salinidad y la presencia de microorganismos patógenos. La purificación del agua es un proceso crucial para garantizar que el agua sea segura para el consumo humano y para proteger el medio ambiente (Barreto et al., 2015; OMS, 2023).

El agua cruda es el término atribuido al agua sin tratar, de origen superficial o subterráneo, que requiere tratamientos que garanticen que no transporta sustancias nocivas al organismo que puedan ocasionar daños a la salud. Una vez que esta ha pasado por un sistema de tratamiento se denomina agua potable, suministrada por la red pública

hacia los hogares, la cual garantiza que no existe riesgo significativo para la salud aún cuando se consume durante toda la vida, la cual puede ser empleada para todos los usos domésticos y de higiene (Camacho, 2011; OMS, 2006; Pacheco-Vega, 2015).

## **6.2 Antecedentes.**

La producción y consumo de agua embotellada, como la conocemos ahora, inició su despegue en el siglo XX, no obstante, tiene raíces históricas que se remontan a la Edad Media en Europa. A lo largo de los siglos XVIII y XIX esto se convirtió en una práctica lujosa en ciudades como Vichy en Francia, Baden-Baden en Alemania, Bath en Inglaterra y Montecatini en Italia, en donde la economía giraba alrededor de la venta de agua de manantial (López et al., 2017; Salzman, 2012).

El proceso de purificación de agua tiene raíces antiguas, por lo tanto, ha sido una preocupación desde tiempos remotos, en donde, se asociaba la relación entre la calidad del agua y la salud. Un ejemplo es que el agua clara se consideraba agua limpia, a diferencia de que las aguas turbias o pantanosas se asociaban a las fiebres. Civilizaciones antiguas, como los egipcios, griegos y romanos, desarrollaron métodos rudimentarios para mejorar la calidad del agua, como la filtración a través de arena y la ebullición. Alrededor del año 500 a. C. fue Hipócrates quien se planteó la hipótesis de que el agua limpia poseía ciertas cualidades curativas, por ello, empezó a purificar el agua para tratamientos médicos. Sin embargo, el primer intento por definir la calidad del agua se debe a un ingeniero romano, quien estableció sus características con base en la reacción del agua al hervirla, la forma en que los vegetales se cocían en ella y en los efectos estomacales que producía cuando se bebía. Los romanos solían utilizar el recurso proveniente de aguas subterránea, ríos y agua de escorrentía para su aprovisionamiento; ellos fueron los pioneros en la construcción de presas para el almacenamiento y retención artificial del agua (AQUAE, 2021; Condorchem, 2012; Barreto et al., 2015; LENNTECH, 2014; Lucena, 2023).

En la purificación de agua se establecieron regulaciones globales para guiar los procesos y parámetros adecuados tan solo apenas en 1983, a pesar de que el conocimiento del mecanismo se conoce desde hace siglos. La desinfección del agua se aplicó de acuerdo a dos normas básicas que se remontan al año 2000 a.C., donde se establecía que el agua debía exponerse a la luz solar y filtrarse con carbón vegetal. Así como, que el agua impura se purificaba hirviéndola y arrojando después un trozo de cobre siete veces antes de filtrarla.

Se han encontrado descripciones que se remontan a los pueblos antiguos sobre la ebullición del agua y su almacenamiento en jarras de plata (Lucena, 2023).

El primer filtro múltiple para el tratamiento de agua fue desarrollado en 1685 por el físico italiano Lu Antonio Porzo, estaba compuesto por una unidad de sedimentación y una unidad de filtración de arena. En 1746, el científico francés Joseph Amy recibió la primera patente de un diseño de filtro, que se aplicó en los hogares en 1750, los filtros estaban hechos de lana, esponjas y carbón de madera. Con la llegada de la Revolución Industrial y el crecimiento de las grandes ciudades en el año de 1760, surgió una mayor conciencia sobre la calidad del agua y la necesidad de abordar problemas de contaminación. Se implementaron sistemas de suministro de agua pública y se desarrollaron técnicas de tratamiento más avanzadas, como la filtración de carbón activado y la desinfección con cloro. En Escocia durante el año 1804 se realizó el primer intento para potabilizar agua, donde se construyó el primer sistema de suministro de agua potable, por John Gibb; El diseño utilizaba filtros de arena lentos para su purificación y de este estuvo a cargo Robert Thom, logrando en un período de tres años abastecer a la propia ciudad y transportar agua filtrada hasta la ciudad de Glasgow. En Inglaterra, durante el año de 1827 James Simpson construye un filtro de arena para tratar el agua potable y en 1855 después del brote de cólera más violento en Londres, John Snow con su hipótesis del surgimiento de la epidemia, desempeñó un papel fundamental en la importancia de la calidad del agua lo que tuvo un impacto duradero en la promoción de la purificación del agua y la mejora de las condiciones de saneamiento, lo que a su vez contribuyó a la salud pública y la prevención de enfermedades transmitidas por el agua. (AQUAE, 2021; Cerda et al., 2007; Lucena, 2023; Mendez, 2023).

Hacia el siglo XX los avances en la comprensión de la microbiología y la química del agua condujeron a mejoras significativas en los procesos de purificación. La introducción de la desinfección con cloro en la década de 1900 y el desarrollo de tecnologías de tratamiento más avanzadas, como la ósmosis inversa y la ultravioleta, han mejorado la eficacia y la seguridad del suministro de agua potable. A medida que aumentaba la conciencia sobre los riesgos para la salud asociados con el agua contaminada, se implementaron regulaciones y normativas para garantizar la calidad del agua potable. Organizaciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS) establecieron estándares de calidad del agua y directrices para el tratamiento y la distribución seguros del agua. En las últimas décadas, han surgido nuevas tecnologías y enfoques para mejorar el proceso

de purificación de agua. Esto incluye el uso de membranas de nano-filtración, tratamientos avanzados de oxidación, sistemas de purificación descentralizados y enfoques basados en la naturaleza, como la restauración de humedales y la infiltración de agua en el suelo. El proceso de purificación de agua ha evolucionado a lo largo de la historia, impulsado por avances científicos, preocupaciones de salud pública y avances tecnológicos. Hoy en día, sigue siendo un área de investigación y desarrollo activa a medida que se buscan soluciones innovadoras para garantizar un suministro seguro y sostenible de agua potable. (Lucena, 2023; Higiene Ambiental, 2018).

Un trabajo reciente que vale la pena mencionar enfocado a mejorar los procesos dentro de una purificadora es el de Ezzat, Moustafa, Fouda, El-Gamal y Mohammed (2017), en donde, se realizó la evaluación de seis plantas purificadoras de agua, durante un período de 11 meses. La evaluación llevada a cabo consideró el análisis de temperatura, conductividad eléctrica, pH, sólidos totales disueltos, turbiedad, dureza total, entre otros parámetros químicos y bacteriológicos. Los parámetros de campo fueron medidos en el sitio y comprobados en laboratorio. Las muestras se tomaron a la entrada y salida del proceso de purificación de acuerdo con los métodos estándar para el análisis de agua de la Organización Mundial de Salud, edición 2012. Los resultados de los parámetros medidos, indican que la turbiedad tenía una variación de 2 a 3 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) en las muestras tomadas a la entrada y una variación de 1 a 1.8 NTU en las muestras de salida. De las plantas evaluadas, en dos de ellas los valores de turbidez en la salida del proceso rebasaban los límites permisibles (1 NTU). Ante este parámetro se concluyó por medio de la metodología DMAIC que centra sus principios en definir, medir, analizar, mejorar y controlar, que la etapa de filtración no estaba funcionando correctamente y por ello aun a la salida del proceso se percibía turbidez y lo que conlleva a realizar mayores procesos purificación.

### **6.3 Situación actual en México y el Mundo.**

La Organización de las Naciones Unidas declaró en el año 2010 al agua y saneamiento como un derecho humano. Lo que es discordante de acuerdo a los datos de la Organización Mundial de Salud, en donde, se plantea que a lo largo del 2022 había en el mundo al menos 1 700 millones de personas que tomaban agua para consumo de fuentes contaminadas con heces. (OMS, 2023; UNESCO, 2016).

En México dentro del área metropolitana, el consumo promedio de agua potable es de 366 litros al día por persona, cifra que comparada con la cantidad mínima necesaria de acuerdo a la OMS, la excede en un 1830%; Aunque parezca poco, 20 litros es el suministro mínimo estimado diario de agua por persona que podría cubrir las necesidades básicas de higiene personal y de alimentos. Además, México se posiciona como el mayor consumidor de agua purificada embotellada en el mundo, a diferencia de algunos países industrializados, donde se presenta la garantía de sistemas de suministro de agua potable de calidad. En el censo del 2020, se registraron 16 mil plantas purificadoras a nivel nacional, sin contar con el número de plantas que operan de manera clandestina y no realizan su registro, las cuales abastecen en su mayoría a las personas de bajos recursos. Como lo explica Sandra López, especialista en Energía y Medio Ambiente del Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO): “Aunque el 93% de los hogares mexicanos tiene acceso a agua potable entubada, el 33,5% del total de viviendas no cuenta con suministro diario ni de calidad. Lo que obliga a que se gaste mucho dinero en la compra de agua purificada”, (Arrabatiel, 2022; INEGI et al., 2021; Montero et al., 2016; OMS, 2011; ONU-HABITAT, 2021).

#### **6.4 Planta purificadora de agua.**

Una planta purificadora es un sitio que cuenta con un sistema de purificación de agua y tiene el fin de proveer agua apta para consumo humano. El grado de tratamiento requerido para su purificación depende en gran medida del estado inicial con que entra el agua al proceso y de su procedencia. Sin embargo, cuando el agua no se encuentra completamente purificada puede ocasionar riesgos o enfermedades problemáticas a causa de virus, bacterias y parásitos, que incluso puede generar pérdidas de vida humana. (Berdonces, 2008; Cervantes, et al., 2016; UNICEF, 2019).

##### **6.4.1 Normativa aplicable en la calidad de agua.**

###### **Normas Oficiales Mexicanas (NOM).**

Las Normas Oficiales Mexicana son de carácter obligatorio y son elaboradas por las dependencias del Gobierno Federal. La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) se encarga de elaborar y emitir las NOM's relacionadas con la calidad del agua, las cuales establecen los criterios y requisitos que deben cumplir los sistemas de abastecimiento y los estándares de calidad del agua para garantizar la



salud de la población (Secretaría de economía, 2016). Las dos normas más importantes en el ámbito de purificación de agua son las siguientes:

**NOM-127-SSA1-2021.** Norma para agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad de agua; Esta normativa define los límites permisibles de contaminantes microbiológicos, físicos, químicos y organolépticos en el agua potable, así como los métodos de muestreo y análisis para su evaluación. Además, establece los requisitos para la operación y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua, así como para la vigilancia epidemiológica. Esta Norma garantiza que el agua potable cumpla con estándares de calidad que protejan la salud pública y promuevan el bienestar de la población. Dentro de la planta purificadora es fundamental considerar que el agua que se someterá al proceso de purificación debe cumplir de manera obligatoria con las especificaciones establecidas.

**NOM-201-SSA1-2015.** Norma para productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias; Esta norma establece los criterios para la calidad del agua destinada al consumo humano en sistemas de abastecimiento público y particular. Definiendo límites máximos permisibles de color, turbiedad, pH, coliformes totales, *Pseudomonas aeruginosa*, Enterococos fecales, Esporas de *Clostridium* sulfito reductores, una lista de 16 elementos de metales, metaloides y compuestos inorgánicos, además de una lista de cinco compuestos orgánicos sintéticos, así como los límites máximos para cloro, cloro residual libre, ozono y radiactividad.

### **Normas Mexicanas (NMX).**

Las Normas Mexicanas son de ámbito voluntario y son promovidas por la Secretaría de Economía y el sector privado, mediante los Organismos Nacionales de Normalización (ONN). La Comisión Nacional del Agua, a través del Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (COTEMARNAT); tiene a su cargo la elaboración de las Normas Mexicanas en materia de Análisis de Agua (CONAGUA, 2016; Secretaría de economía, 2016).

**NMX-AA-008-SCFI-2016.** Normatividad para el análisis de agua. Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Esta norma establece el método de prueba para la medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, en el intervalo de pH 0 a pH 14 y en un intervalo de temperatura de 0 °C a 50 °C.

Centro de Calidad Ambiental (1978). Norma Mexicana NMX-AA-60-1978. Análisis de agua.

Determinación de cadmio. Diario Oficial de la federación. De:  
<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa060.pdf>

**NMX-AA-034-SCFI-2015.** Análisis de agua. Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Esta normativa se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sólidos disueltos, así como la cantidad de materia orgánica contenida, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, en su caso, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.

**NMX-AA-036-SCFI-2001.** Análisis de agua. Determinación en acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Este método está basado en la medición de la acidez o alcalinidad en el agua por medio de una valoración de la muestra empleando como disolución valorante un álcali o un ácido según sea el caso de concentración perfectamente conocida.

**NMX-AA-038-SCFI-2001.** Análisis de agua. Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Esta norma mexicana establece el procedimiento para la determinación de la turbiedad en muestras de agua, en un intervalo de trabajo de 0,01 a 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT), pudiendo incrementar este intervalo, realizando diluciones de muestras con concentraciones mayores de 40 UNT.

**NMX-AA-045-SCFI-2001.** Análisis de agua. Determinación de color platino cobalto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Esta norma mexicana establece el método para la determinación de color aparente y/o verdadero, mediante su comparación visual con una escala estandarizada de platino-cobalto.

**NMX-AA-60-1981.** Análisis de agua. Determinación de cadmio. Esta norma mexicana establece el método colorimétrico para determinar cadmio en agua y es aplicable en aguas naturales y residuales, para un límite de detección de 0.01 mg/l.

**NMX-AA-072-SCFI-2001.** Análisis de agua. Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Esta norma mexicana especifica el procedimiento para determinación de dureza en agua por titulación.

**NMX-AA-073-SCFI-2001.** Análisis de agua. Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Esta normativa mexicana establece el método basado en una valoración con nitrato de plata utilizando como indicador cromato de potasio. La plata reacciona con los cloruros para formar un precipitado de cloruro de plata de color blanco.

**NMX-AA-074-SCFI-2014.** Análisis de agua. Medición del ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Esta normativa mexicana especifica la medición de ion sulfato precipitado con cloruro de bario, en un medio ácido, formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. Este método es aplicable en el intervalo de concentraciones de 1 mg/L a 40 mg/L de  $SO_4^{2-}$ .

**NMX-AA-083-1982.** Análisis de agua. Determinación de olor. Esta norma mexicana especifica el método para la determinación de olor en agua y un sistema para la clasificación de olores. Se realiza por dos o más analistas, en donde, uno hace diluciones y el otro determina las intensidades de olor.

**NOM-092-SSA1-1994.** Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Esta Norma Oficial Mexicana establece la técnica comúnmente utilizada para la investigación del contenido de microorganismos en alimentos, agua potable y agua purificada, por la cuenta de colonias en un medio sólido, incubado aeróbicamente.

## **6.4.2 Parámetros de medición impuestos en el agua para consumo.**

### **6.4.2.1 Olor.**

El olor en el agua se refiere a la presencia de olores perceptibles. El olor puede ser causado por la presencia de contaminantes, productos químicos, microorganismos o materia orgánica en descomposición. Los olores en el agua pueden ser percibidos como sulfurosos, a humedad, a tierra, a cloro, entre otros. Estos olores pueden ser indicativos de problemas de calidad del agua (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1982).

#### **6.4.2.1.1 Índice de intensidad de olor.**

El número de veces en que la muestra original es bipartida por adición de agua libre de olor, para obtener el mínimo olor perceptible (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1982).

#### **6.4.2.1.2 Número umbral de olor.**

La mayor dilución de la muestra con agua libre de olor, para obtener el mínimo olor perceptible (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1982).

#### **6.4.2.2 Color real en escala platino-cobalto.**

Este parámetro se basa en la medición del color verdadero y/o aparente en una muestra de agua natural, mediante su comparación visual con una escala estandarizada de platino-cobalto. La unidad platino-cobalto es la que se produce al disolver un mg de platino/L en forma de ion cloroplatinato. (Secretaría de Economía, 2001).

El color en el agua puede deberse a la presencia del contenido natural de metales o iones metálicos en disolución, humus o residuos orgánicos, plancton o desechos industriales. Por lo general se elimina el color para cualquier propósito de uso del agua. Es por ello, importante la determinación de color en aguas naturales.

#### **6.4.2.4 Color aparente.**

Es el color de la muestra debido a sustancias en forma disuelta y al proporcionado por sólidos suspendidos, este parámetro es muy poco reproducible ya que el comportamiento de los sólidos suspendidos es muy variable, se mide en la muestra agitada sin filtrar (Secretaría de Economía, 2001).

#### **6.4.2.5 Color real.**

Es el color de la muestra debido a sustancias en forma disuelta, se mide en la muestra filtrada o centrifugada (Secretaría de Economía, 2021).

#### **6.4.2.6 Turbiedad.**

La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica de una muestra, que indica la presencia de partículas suspendidas, ésta origina que al pasar un haz de luz a través de ella, la luz se disperse y se absorba en vez de transmitirse en línea recta. A pesar de que la turbidez se relaciona con los sólidos en suspensión, medir la turbidez no es lo mismo que medir los sólidos suspendidos totales (SST). La turbiedad de una suspensión de formacina de concentración específica se define como el equivalente a 40 unidades nefelométricas, su unidad de medida son las unidades nefelométricas de turbiedad (UNT), (HANNA, 2022; Secretaría de Economía).

#### **6.4.2.7 pH.**

El pH es el término usado para expresar la concentración de iones hidronio [H<sup>+</sup>] respecto a la concentración de iones hidroxilo [OH<sup>-</sup>], y consecuentemente, el grado de

alcalinidad o de acidez. La normativa indica que los límites máximos permisibles del pH deben de ser neutros, encontrarse dentro del rango 6.5 – 8.5. El pH se define en términos de la actividad relativa de los iones de hidrógeno en la disolución (Barreto, 2015; Secretaría de Economía, 2016).

$$pH = -\log a_H = -\log\left(\frac{m_H \gamma_H}{m^0}\right)$$

Donde:

$a_H$  = Actividad relativa del ión hidrógeno (en base molal)

$\gamma_H$  = Coeficiente de actividad molal del ión hidrógeno  $H^+$  a la molalidad  $m_H$

$m^0$  = Molalidad estándar

#### **6.4.2.8 Alcalinidad.**

La alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis generan el ión hidroxilo (OH<sup>-</sup>). La alcalinidad es una función del pH, una medida de la capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Se debe principalmente a la presencia de sustancias disueltas que neutralizan los ácidos, que está relacionada con que el agua contenga una cantidad equilibrada de dióxido de carbono. Los tres iones alcalinos primarios presentes en el agua que contribuyen a la alcalinidad son: los bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), los carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) y los hidróxidos (OH<sup>-</sup>), (HACH, 2019; Secretaría de economía, 2001).

#### **6.4.2.9 Alcalinidad total.**

La alcalinidad total es una medida de partes por millón de todos los álcalis (iones de carbonato, bicarbonato e hidróxido) presentes en una muestra. Por lo tanto, la alcalinidad total es una medida de la capacidad del agua para resistir cambios en el pH, en función de la cantidad de dióxido de carbono presente. Una medida de la alcalinidad total del medio es la cantidad de ácido fuerte que es necesario añadir a una muestra para llevar el pH a un valor predeterminado coincidente con el vire del naranja de metilo (HACH, 2019; Secretaría de economía, 2001).

#### **6.4.2.10 Alcalinidad del anaranjado de metilo.**

También conocida como alcalinidad M, es una medida de alcalinidad del agua con un pH de 4,5, que utiliza un indicador de base de naranja de metilo. Indica la alcalinidad total respecto a la combinación de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Es determinada mediante la titulación con ácido normalizado e indicador naranja de metilo. En esta titulación

hay dos puntos finales de pH, P y M, correspondientes a los indicadores de fenolftaleína y naranja de metilo, respectivamente. El punto final "P" está en un pH de 8,3 y el punto final "M" en un pH de 4,3. Ambos se expresan en unidades de cm<sup>3</sup> de ácido/cm<sup>3</sup> de muestra. Por lo tanto, representa la cantidad de ácido requerido, por volumen unitario de la muestra, para reducir el pH a 4,3, (Slb, 2014).

#### **6.4.2.11 Alcalinidad fenolftaleína.**

La alcalinidad de la fenolftaleína (alcalinidad P) se determina mediante valoración de ácido necesario para reducir un pH de 8,3 y se registra el hidróxido total y la mitad del carbonato presente. La alcalinidad de fenolftaleína es un subconjunto de la alcalinidad total (HACH, 2019).

#### **6.4.2.12 Dureza total.**

La dureza se entiende como la capacidad de un agua para precipitar al jabón y esto está basado en la presencia de sales de los iones calcio y magnesio, ésta es la responsable de la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías, lo que genera fallas y pérdidas de eficiencia en diferentes procesos industriales. La dureza total se expresa comúnmente en unidades de miligramos por litro (mg/L) o partes por millón (ppm) de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). La dureza del agua puede clasificarse en dureza temporal y dureza permanente; La dureza temporal se debe principalmente a la presencia de bicarbonatos de calcio y magnesio, que se pueden eliminar mediante ebullición del agua, mientras que la dureza permanente está asociada con los cloruros y sulfatos de calcio y magnesio, que no se eliminan mediante ebullición (Secretaría de Economía, 2001).

#### **6.4.2.13 Dureza de calcio.**

La dureza del calcio se refiere a la unidad de medida que señala qué cantidad de calcio se encuentra disuelto en el agua, en otras palabras, la concentración de iones de calcio (Ca<sup>2+</sup>) en el agua, su unidad de medida es partes por millón (ppm) e incluso miligramos sobre litro (mg/L) de carbonato de calcio (Chávez, 2022).

#### **6.4.2.14 Dureza de magnesio.**

La dureza de magnesio es una medida de la concentración de iones de magnesio (Mg<sup>2+</sup>) disueltos en el agua. Al igual que la dureza de calcio, la dureza de magnesio es una componente de la dureza total del agua, que también incluye otras sales minerales disueltas y junto con los iones de calcio, los iones de magnesio son los principales responsables de la dureza del agua (Chávez, 2022).

#### **6.4.2.15 Sólidos disueltos totales (SDT).**

Todas las aguas contienen sustancias disueltas en cantidades variables que dependen de su origen. El agua puede contener varios tipos de sólidos, entre ellos, sólidos disueltos y los sólidos suspendidos. Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua, un efluente o un proceso de varias formas. En plantas potabilizadoras, el análisis de los sólidos disueltos son importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento del agua. Los sólidos disueltos totales abarcan las sales, los minerales, los metales y cualquier otro compuesto orgánico o inorgánico que se encuentra disuelto en el agua. Es el material soluble constituido por materia inorgánica y orgánica que permanece como residuo después de evaporar y secar una muestra previamente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5  $\mu\text{m}$  a una temperatura de  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Carbotecnia, 2021; Secretaría de Economía, 2015).

##### **6.4.2.15.1 Sólidos Suspendidos Totales (SST).**

Es el material constituido por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5  $\mu\text{m}$  secado y llevado a masa constante a una temperatura de  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (Secretaría de Economía, 2015).

##### **6.4.2.15.2 Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).**

Son aquellos sólidos suspendidos que se volatilizan en la calcinación a  $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (Secretaría de Economía, 2015).

##### **6.4.2.15.3 Sólidos Totales (ST).**

Es el residuo que permanece en una cápsula después de evaporar y secar una muestra a una temperatura de  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (Secretaría de Economía, 2015).

##### **6.4.2.15.4 Sólidos Totales Volátiles (STV).**

Cantidad de materia orgánica e inorgánica que se volatiliza por el efecto de la calcinación a  $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (Secretaría de Economía, 2015).

#### **6.4.2.16 Cloruros.**

Los cloruros son aniones naturales derivados del cloruro de hidrógeno, son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación formal -1. Se asocia con sales como el cloruro de potasio y cloruro de sodio. El ión cloruro es uno de los iones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en aguas naturales, su presencia es necesaria en aguas potables. El sabor salado producido por la concentración de cloruros

es variable, conteniendo 25 mg Cl<sup>-</sup> /L, se puede detectar el sabor salado si el catión es sodio. Por otra parte, éste puede estar ausente en aguas conteniendo hasta 1g Cl<sup>-</sup> /L cuando los cationes que predominan son calcio y magnesio (Secretaría de Economía, 2001).

#### **6.4.2.17 Sulfatos.**

Los sulfatos  $SO_4^{2-}$  son sales de ácido sulfúrico que contiene un átomo de azufre y cuatro de oxígeno. Los sulfatos suelen ser sales solubles en agua, por lo que se distribuyen ampliamente en la naturaleza y pueden presentarse en las aguas naturales en un amplio intervalo de concentraciones. El origen de los sulfatos se debe fundamentalmente a los procesos de disolución de las tizas, existentes en el terreno, en el agua subterránea. El agua con concentraciones superiores entre 1000 - 1600 mg/litro de sulfatos produce diarrea durante la primera semana, después este efecto desaparece (Govern Illes Balears, 2019; Secretaría de Economía, 2014).

#### **6.4.2.18 Coliformes totales.**

Son un grupo de organismos que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas entre los 35° y 37° C. Dentro de este grupo se encuentran algunos microorganismos (*Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*, entre otros) que se encuentran normalmente en el suelo y en la vegetación, por lo cual no son indicadores efectivos de contaminación fecal; por esta razón, el grupo *Coliforme* es usado sólo como indicador de contaminación microbiológica en términos generales. Por ende, este parámetro es utilizado como indicador de la eficiencia de los tratamientos. Los coliformes totales se miden en unidades formadoras de colonias (UFC) y representan la suma de colonias en placa. (Barreto et al., 2015)

#### **6.4.2.19 Coliformes fecales.**

Es un subgrupo los coliformes totales que se identifican por la capacidad de fermentar la lactosa a temperaturas más elevadas, entre los 44° y 45° C, es decir, son termotolerantes. Sin embargo, ya no son considerados un indicador efectivo de contaminación por heces puesto que algunos de ellos, de origen no fecal, son también termotolerantes. (Barreto et al., 2015).



## 7. PROCEDIMIENTO.

### 7.1 Olor

La obtención de este parámetro se realiza de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-083-1982. En donde, se requiere de la dilución de la muestra de agua con agua inodora hasta alcanzar el olor mínimo perceptible. Este procedimiento requiere dos colaboradores: uno para diluir las muestras y otro para evaluar la intensidad del olor; Las muestras se examinan en orden ascendente de concentración del olor, aunque no siempre en una secuencia de diluciones consecutivas, sino hasta que se detecte el olor. Para ello, el analista selecciona la muestra con olor entre tres matraces, dos de los cuales contienen agua sin olor perceptible. El olor se evalúa sin considerar la presencia de materia suspendida o materiales inmiscibles en la muestra. Se reconoce que no existe un valor absoluto para el olor y que la prueba se utiliza únicamente como un medio de comparación. Además, la prueba se realiza a una temperatura de 40°C.

Este análisis se debe realizar en seguida debido a que el almacenamiento del agua da lugar a errores por la modificación de las características y la intensidad del olor. Las reacciones químicas, físicas y biológicas son factores en esta degradación. Se debe anotar la temperatura de las muestras en el momento de su recolección, este dato es útil cuando se relacionan los datos obtenidos en el laboratorio con las condiciones de campo.

Para el procedimiento, la dilución primaria deberá contener un mínimo de 12.5 cm<sup>3</sup> de muestra, si son necesarias diluciones mayores agregar agua libre de olor a la dilución primaria y usar estas diluciones subsecuentes en la evaluación. Para determinar el orden de magnitud de la intensidad de olor, la dilución de prueba debe hacerse transfiriendo con una pipeta 25 cm<sup>3</sup> la muestra a un matraz y diluirlo hasta un volumen total de 200 cm<sup>3</sup> con 175 cm<sup>3</sup> de agua libre de olor a 40° C. Mezclar vigorosamente rotando el matraz, quitar la tapa y llevar el matraz hacia la nariz, probar el olor inhalando normalmente, comparando con un matraz con agua libre de olor y notar si se detecta algún olor. Si no se detecta ninguno, preparar una dilución más baja sucesivamente, en matraces limpios hasta que se perciba algún olor, por lo general es conveniente hacer una serie de diluciones en un principio.

Anotar la dilución a que se obtuvieron los resultados e introducir blancos. Si se tiene alguna percepción de olor, vaciar los matraces con las diluciones y preparar dos blancos con agua libre de olor y una dilución a 200 cm<sup>3</sup> conteniendo la mitad de muestra de la

dilución donde se percibió el olor y repetir el procedimiento hasta que el analista detecte nuevamente el olor.

Para este caso de estudio y en este parámetro en particular, se usan características como: nada agradable, poco agradable y agradable para describir los resultados.

## **7.2 Color real en escala platino-cobalto. Color aparente. Color verdadero.**

El color real en escala platino-cobalto se adquiere de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-045-SCFI-2001. Este método depende de la apreciación visual del color de la muestra por el analista en comparación con una escala estandarizada. La percepción del color entre diferentes personas varía, por lo que se debe efectuar una selección del analista basada en su capacidad de apreciación del tono e intensidad del color. Para la obtención de este parámetro se requiere de una muestra mínima de 100 ml y dado que la actividad biológica puede cambiar las características de color de una muestra, la prueba se debe de realizar de inmediato, el tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 48 horas.

Se requiere de un comparador manual para tubos Nessler de 50 ml con escala de vidrios coloridos estandarizados equivalentes desde 2,5 a 100 Unidades Pt-Co ó comparador electrónico de color, además de una disolución madre de cloroplatinato de 500 unidades de color; Para ella, se pesa aproximadamente y con la mayor precisión posible 1,246 g de hexacloroplatinato de potasio que equivale a 0,500 g de platino metálico, y 1,000 g de cloruro de cobalto hexahidratado, el cual, es equivalente a 250 mg. Posteriormente, disolver en 500 ml de agua con 100 ml de ácido clorhídrico concentrado y aforar a 1 litro con agua destilada.

Para el procedimiento se preparan disoluciones intermedias en incrementos desde 2,5 a 100 unidades, como en la siguiente tabla. Estos estándares servirán para poder verificar el valor de la escala de vidrios coloridos.7.

<b>Mililitros de disolución estándar diluida a 50 ml con agua</b>	<b>Color en unidades platino-cobalto.</b>
<b>0,0</b>	0
<b>0,25</b>	2,5
<b>0,5</b>	5
<b>1,0</b>	10
<b>1,5</b>	15
<b>2,0</b>	20
<b>2,5</b>	25

3,0	30
3,5	35
4,0	40
4,5	45
5,0	50
6,0	60
7,0	70
8,0	80
9,0	90
10,0	100

Tabla. Preparación de la escala de color.

Para el color aparente se debe de medir previamente el pH de la muestra usando un potenciómetro debidamente calibrado, y determinar el color de la muestra, llenando un tubo Nessler hasta la marca de 50 ml, después, comparar con las disoluciones intermedias. Si el color excede de 70 unidades, diluir la muestra con agua destilada en proporciones conocidas hasta que el color sea menor de 70 y mayor de 20 Unidades Pt-Co.

Sin embargo para el color verdadero, se remueve la turbiedad por centrifugación o filtración de las muestras hasta que la muestra esté totalmente clara. Posterior a esto, comparar la muestra con agua para asegurar que la turbiedad ha sido removida. Si la muestra es clara, entonces siga el procedimiento para el color aparente.

El cálculo de las unidades de color se conoce mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Unidades de color Pt - Co} = A * FD$$

Donde:

*A = Color estimado de la muestra.*

*FD = Factor de dilución de la muestra.*

Reportar los resultados de la siguiente manera, recordando que el valor del pH debe reportarse junto con el valor del color verdadero o aparente.

<b>Unidades de Color Pt-Co</b>	<b>Redondear con una resolución de</b>
<b>1-50</b>	<b>1</b>
<b>51-100</b>	<b>5</b>
<b>101-250</b>	<b>10</b>
<b>251-500</b>	<b>20</b>

Tabla. Reporte de resultados Color Pt-Co

### 7.3 Turbiedad

La obtención de este parámetro se realiza en función a la Norma Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001. Este método se basa en la comparación entre la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas y la intensidad de luz dispersada por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones; a mayor dispersión de luz corresponde una mayor turbiedad. Las lecturas son realizadas empleando un turbidímetro calibrado con una suspensión de referencia de formacina preparada bajo condiciones específicas. El polímero de formacina es elegido como referencia debido a que es fácil de preparar y en cuanto a sus propiedades de dispersión de luz es más reproducible que otros como arcilla o agua turbia natural. La turbiedad de una suspensión de concentración específica de formacina se define como el equivalente a 40 UNT, esta suspensión tiene una turbiedad aproximada de 40 unidades Jackson si se determina en el turbidímetro de bujía, por lo tanto las unidades nefelométricas basadas en el empleo de formacina se aproximarán a las unidades del turbidímetro de bujía pero no serán idénticas.

La muestra debe de ser colectada en frascos de vidrio de boca ancha, cierre hermético y tapa inerte con un volumen mínimo de 100 ml. Se debe de analizar lo antes posible, en un periodo no mayor de 24 horas, aunque la determinación puede realizarse en el sitio de muestreo empleando un turbidímetro portátil.

Para la forma correcta de la toma de turbiedad se requiere de calibrar el turbidímetro, para ello se necesitan de 2 disoluciones para la solución patrón de formacina de 400 UNT. La disolución I, debe de estar conformada por 1,000 g de sulfato de hidracina aforada con agua a 100 ml y en el caso de la disolución II, se necesitan de 10,00 g de hexametilentetramina aforados a 100 ml de agua, ambos homogenizados correctamente. La suspensión se lleva a cabo mezclando en un matraz volumétrico de 100 ml, 5 ml de la disolución I y 5 ml de la disolución II, dejar en reposo 24 horas y aforar con agua (esta disolución posee una turbiedad de 400 UNT); Se preparan tres concentraciones diferentes de estándares para calibrar cada uno de los intervalos del equipo a partir de la suspensión de 400 UNT. Posteriormente, agitar perfectamente la suspensión para lograr perfecta homogeneidad y enjuagar las celdas dos veces con la suspensión patrón, después de la toma, la celda se debe de limpiar con agua destilada. Se registra y grafica el promedio de la lectura en UNT obtenida para cada disolución patrón contra los valores en UNT de turbiedad de cada suspensión patrón.

El análisis de la muestra comienza con enjuagar la celda dos veces con muestra para evitar errores por dilución. Leer la turbiedad de la muestra homogenizada contenida en la celda entre cada lectura, se recomienda tomar varias y verificar la calibración del turbidímetro cada vez que se cambie de intervalo de trabajo.

Para finalizar, calcular la turbiedad de la muestra original en base a la dilución realizada.

$$UNT = \frac{A * B}{C}$$

Donde:

*A = UNT encontradas en la muestra.*

*B = Volumen final (ml) de la dilución realizada.*

*C = Volumen (ml) de muestra tomada para la dilución.*

Reportar los resultados de la siguiente forma con la precisión correspondiente:

Margen de turbiedad UNT	Informes de cifra UNT más próxima
0 – 1,0	0,05
1 – 10	0,1
10 – 40	1
40 – 100	5
100 – 400	10
400 – 1000	50
>1000	100

Tabla. Reporte de resultados turbiedad.

#### 7.4 pH

La obtención del pH se hace de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016. Para la obtención de este parámetro se requiere de un recipiente de muestreo de al menos 500 ml, de vidrio de borosilicato con tapa impermeable, un pHmetro con sensor de temperatura y una resolución de 0,01 unidades.

El valor de pH depende de la temperatura debido al equilibrio de disociación, por lo tanto, la temperatura de la muestra siempre debe ser reportada en conjunto con el pH de la muestra. El pH puede cambiar rápidamente en la muestra de agua como resultado de procesos químicos, físicos o biológicos. Por esta razón, es recomendable medir el pH directamente del cuerpo de agua. Los resultados de las mediciones in-situ, frecuentemente muestran una baja incertidumbre de la medición.

Una vez que el equipo esta calibrado y verificado correctamente, se procede a realizar la medición de la muestra. Se sumerge el electrodo en la muestra, se agita levemente para esperar que la lectura de pH se estabilice, se deben de obtener y registrar al menos tres lecturas sucesivas independientes, entre cada medición enjuagar el electrodo de pH con agua destilada o desionizada y secar. La variación de las tres lecturas obtenidas no deberá desviarse más de 0,03 unidades de pH. En la expresión de resultados se reporta el valor promedio de pH de las tres mediciones de las lecturas independientes redondeando a una cifra decimal.

### **7.5 Alcalinidad total. Alcalinidad fenolftaleína. Alcalinidad anaranjado de metilo.**

La obtención de la alcalinidad se hace de acuerdo a la NMX-AA-036-SCFI-2001 con al menos 500 ml de muestra recolectados en frasco de vidrio hermético y conservado a una temperatura entre 0 °C a 4 °C. El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 24 horas.

Previo al método, es importante recalcar que la alcalinidad total se determina directamente a través de la titulación con un ácido estándar. Durante la titulación, se añade el ácido al agua de muestra hasta que se alcanza un punto de equivalencia, que se detecta utilizando un indicador de pH, como la fenolftaleína o el naranja de metilo, para ver un cambio de color. La alcalinidad fenolftaleína y la alcalinidad naranja de metilo no son parámetros de medición independientes en sí mismos, sino que son indicadores que se utilizan durante el proceso de titulación para determinar la alcalinidad total del agua. Durante la titulación, estos indicadores cambian de color en un determinado rango de pH, lo que permite identificar el punto final de la titulación cuando se ha neutralizado la alcalinidad presente en la muestra. La fenolftaleína cambia de incoloro a rosa cuando la alcalinidad ha sido neutralizada y el pH alcanza un valor cercano a 8.3 a 8.5. Por otro lado, el naranja de metilo cambia de amarillo a rojo cuando el pH es alrededor de 4.5 a 4.7.

El procedimiento comienza con la valoración de las disoluciones. Se requiere de la disolución de ácido sulfúrico a 0,02 N y del patrón primario de carbonato de sodio, secado a 105 °C, el cual, se debe pesar con la mayor precisión posible una cantidad aproximada de 0,0265 g. Se añaden cerca de 25 ml de agua y unas gotas de la disolución de naranja de metilo, valorar con el ácido hasta la variación de color del indicador (de canela a amarillo). Proceder a calcular la normalidad del ácido con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{A}{B * 53} (1\ 000)$$

Donde:

*N = Normalidad del ácido usado.*

*A = Gramos de carbonato de sodio.*

*B = ml de ácido utilizados.*

*53 = Gramos por equivalente de carbonato de sodio.*

El proceso continua con la valoración de la disolución del hidróxido de sodio a 0,02 N. Para pesar aproximadamente 0,102 g de biftalato de potasio secado a 105°C, y añadiendo cerca de 25 ml de agua, además de unas gotas de la disolución de fenolftaleína, para después, titular con la disolución de hidróxido de sodio hasta la variación de color del indicador (de incoloro a rosa). Calcular la normalidad del hidróxido con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{A}{B * 204,2} (1\ 000)$$

Donde:

*N = Normalidad del hidróxido de sodio.*

*A = Gramos de biftalato de potasio.*

*B = ml de hidróxido de sodio utilizados.*

*204,2 = Gramos por equivalente de carbonato biftalato de potasio.*

Para la obtención de la alcalinidad, se transfiere 100 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y adicionar 2 gotas de disolución indicadora de fenolftaleína; Con el propósito de titular la disolución valorada de ácido a 0,02 N hasta la variación de color de la fenolftaleína (de rosa a incoloro). Registrar los mililitros gastados (alcalinidad a la fenolftaleína) y adicionar 2 gotas de la disolución indicadora de naranja de metilo. Se continúa con la titulación hasta alcanzar el viraje del naranja de metilo (de canela a amarillo), alcalinidad total y se registran los volúmenes para ambos puntos finales.

La alcalinidad total como  $CaCO_3$  en  $mg/L$ , se calcula mediante tomando en cuenta el viraje de los indicadores siguiendo la próxima fórmula:

$$Alcalinidad\ total\ como\ CaCO_3\ en\ \frac{mg}{L} = \frac{AXN}{100} (50)(1\ 000)$$

Donde:

$A$  = Volumen total gastado de ácido en la titulación al viraje del anaranjado de metilo.

$N$  = Normalidad de la disolución del ácido.

100 = Volumen de la muestra en ml.

50 = Factor para convertir  $eq/L$  a  $mg\ CaCO_3/L$

1 000 = Factor para convertir ml a L.

### **7.6 Dureza total. Dureza del calcio. Dureza de magnesio.**

La obtención de la dureza en el agua se realiza de acuerdo a la NMX-AA-072-SCFI-2001. El método se basa en la formación de complejos por la sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético con los iones calcio y magnesio. Consiste en una valoración, empleando un indicador visual de punto final, el negro de eriocromo T, que es de color rojo en la presencia de calcio y magnesio, además de un viraje a azul cuando estos se encuentran acomplejados o ausentes. El complejo del EDTA con el calcio y el magnesio es más fuerte que el que estos iones forman con el negro de eriocromo T, de manera que la competencia por los iones se desplaza hacia la formación de los complejos con EDTA desapareciendo el color rojo de la disolución y tornándose azul.

La recolección de la muestra debe de ser homogénea y representativa, de aproximadamente 400 ml, es necesario acidificar la muestra con ácido nítrico hasta un  $pH \leq 2$  y mantener en refrigeración a  $4^\circ C$  hasta el momento de análisis. El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis recomendado es de seis meses.

El procedimiento para la obtención de la dureza en el agua comienza con un tratamiento previo. Si la muestra contiene partículas o materia orgánica, se recomienda llevar a cabo una digestión con ácido nítrico y ajustar posteriormente el pH de la disolución a un valor de 9, utilizando disolución de amoníaco. Posterior a esto, se lleva a cabo la titulación de las muestras: Colocando 50 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer y se añaden 1-2 ml de disolución amortiguadora (16,9 g de cloruro de amonio disueltos en 143 ml de amoníaco concentrado, para añadir 1,25 g de sal de magnesio de EDTA y diluir hasta 250 ml con agua.) para alcanzar un pH de 10,0. Consecuentemente, al añadir 0,2 g de indicador eriocromo negro T, la muestra se debe tornar color vino rojizo. Se titula con la disolución de EDTA 0,01 M (3,723 g de sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético dihidratada disueltos en agua y diluido en 1L) agitando continuamente hasta que



desaparezcan los últimos matices rojizos y añadir las últimas gotas con intervalos de 3 s a 5 s. En el punto final la muestra cambia de color rojizo a azul.

El cálculo de la dureza total se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Dureza total expresada como CaCO}_3 \text{ (mg/L)} = \frac{(A - B)(C)(1\ 000)}{D}$$

Donde:

*A = ml de EDTA gastados en la titulación de la muestra.*

*B = ml de EDTA gastados en la titulación del balnco (si fue utilizado).*

*C = mg de CaCO<sub>3</sub> equivalentes a 1 ml de EDTA*

*D = ml de la muestra.*

### **7.7 Sólidos disueltos totales (SDT).**

La obtención de este parámetro se hace de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. Después de la recolección de la muestra el tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 7 días, almacenadas a una temperatura de 4 °C ± 2 °C. Para el resultado de este indicador se necesita de un horno de secado, balanza analítica, mufla eléctrica, equipo de filtración al vacío y parrilla de calentamiento. Además de, cápsulas de evaporación de porcelana, desecador (o desecante con control de humedad), filtro de fibra de vidrio, los cuales, deberán de ser circulares, con una porosidad de 1,5 µm y crisoles Gooch. El único reactivo requerido para la toma de SDT es la disolución control; Para ello, se agrega la cantidad necesaria de cloruro de sodio, previamente secado a 105 °C ± 2 °C por 2 horas, carbonato de calcio, celulosa microcristalina, tierra de diatomáceas y almidón o caolín, de acuerdo a la concentración deseada de sólidos en las muestras de control, agregar agua y llevar al aforo de 1 000 ml. Esta disolución tiene una vida útil de máximo doce meses.

El procedimiento comienza con la preparación de cápsulas (a masa constante), las cuales se deben de introducir al horno a una temperatura de 105°C ± 2°C por un tiempo de 20 minutos, posteriormente se debe trasladar al desecador y dejar enfriar durante la misma cantidad de tiempo. Este método se repite hasta obtener una diferencia una diferencia ≤ 0,000 5 g en dos pesadas consecutivas, este valor es registrado como  $m_1$ . Es importante que el manejo de la cápsula durante el análisis se realice en todo momento con pinzas.

Para el dispositivo de filtración y/o soporte de secado, se utiliza el filtro de fibra de vidrio que se adapte al equipo de filtración, en el caso de utilizar el crisol Gooch se debe mojar el filtro con agua para asegurar que se adhiera perfectamente. Como con las cápsulas, el soporte de secado con el filtro se introduce al horno a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 20 min como mínimo, para después ser transferido a un desecador. Pesar el dispositivo de filtración y repetir el ciclo horno-desecador hasta obtener una diferencia  $\leq 0,0005\text{ g}$  en dos pesadas consecutivas, este valor es registrado como  $m_2$ .

Al realizar el análisis, la muestra debe de estar a temperatura ambiente y se debe de agitar para asegurar su homogenización total. Existen dos fórmulas para la obtención de SDT, la más simple requiere de la cantidad de sólidos totales y sólidos suspendidos totales.

Para la medición de sólidos totales se toma el volumen de la muestra de manera que el residuo seco sobre la cápsula se encuentre en un intervalo de masa de 2,5 mg a 200 mg. En seguida se coloca la muestra en una cápsula previamente puesta a masa constante y se evapora a sequedad en el horno de secado a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para finalizar se lleva al desecador y se deja enfriar por 20 minutos; Se repite el ciclo horno-desecador, hasta obtener una diferencia  $\leq 0,0005\text{ g}$  en dos pesadas consecutivas, el valor de la última masa obtenida se registra como  $m_3$ .

En el caso de la medición de sólidos suspendidos totales, es necesario agitar hasta homogenizar la muestra y de inmediato colocarlo a una probeta. Seguidamente, se filtra la muestra a través del filtro colocado en el crisol Gooch y se enjuaga la probeta con el volumen suficiente para que se puedan arrastrar los sólidos al momento de la filtración. Se introduce el crisol Gooch al horno a la temperatura previamente mencionada durante 1 hora. Posterior a esto, se lleva a masa constante y se registra como la masa obtenida  $m_6$ .

El cálculo de los sólidos disueltos totales (SDT) se obtiene de la siguiente manera:

$$SDT = (ST) - (SST)$$

Donde:

$$SDT = \text{Sólidos disueltos totales, en } \frac{mg}{L}$$

$$ST = \text{Sólidos totales, en } \frac{mg}{L}$$

$$SST = \text{Sólidos suspendidos totales, en } \frac{mg}{L}$$

O bien, los sólidos disueltos totales también se pueden calcular de esta forma. En la cápsula llevada previamente a masa constante  $m_1$ , filtrar una alícuota de la muestra a través de un filtro de fibra de vidrio en el crisol o dispositivo de filtrado. Verter la alícuota en una cápsula preparada y evaporar a sequedad en el horno de secado a  $105\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$  o evaporar casi a sequedad sin llegar a ebullición de la muestra. Después de esto, se introduce la cápsula con la muestra al horno a la misma temperatura durante al menos 1 hora y se pasa al desecador para llevar a masa constante. Se registra como la masa obtenida  $m_5$ .

$$SDT = \frac{(m_5 - m_1)}{V} * 1\,000\,000$$

Donde:

$m_1$  = Masa de la cápsula vacía, en g

$m_5$  = Masa de cápsula con el residuo seco de la muestra filtrada, en g

$V$  = Volumen de la muestra, en ml

### **7.8 Cloruros.**

Para los cloruros se sigue la Norma Mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001. La determinación de cloruros mediante este método implica una valoración con nitrato de plata, utilizando cromato de potasio como indicador; Los cloruros reaccionan con la plata para formar un precipitado de color blanco. A medida que se agotan los iones de cloruro en las proximidades del punto de equivalencia y comienza la precipitación del cromato. La formación de cromato de plata se identifica por el cambio de color de la disolución a anaranjado-rojizo, así como por la apariencia del precipitado.

La recolección para la muestra a estudiar puede ser simple o compuesta, de un volumen de 500 ml almacenado en un envase de vidrio o polietileno. Debe de preservarse a  $4^\circ\text{C}$  hasta su análisis. El tiempo máximo de almacenamiento es de una semana.

El procedimiento para la obtención de cloruros comienza con el acondicionamiento de la muestra. Para ello se requieren ajustar el pH entre 7 y 10 utilizando disoluciones de hidróxido de sodio o ácido sulfúrico a 0.1 N de 100 ml de muestra.

En seguida se realiza la valoración, en 100 ml de muestra acondicionada, se adiciona 1 ml de disolución indicadora de cromato de potasio (50,0 g de cromato de potasio disueltos en 500 mL de agua para añadir disolución patrón de nitrato de plata (0,014N) hasta que se produzca un precipitado rojo claro y filtrar la disolución para remover el

precipitado, hasta aforar a 1 L con agua). Valorar con la disolución patrón de nitrato de plata 0,014 N (5,0 g de cristales de nitrato de plata molidos y secados a 100°C durante 2 horas. Se pesa aproximadamente 2,4 g de los cristales pulverizados de nitrato de plata para disolverlos en aproximadamente 1 L. Continuar valorando contra la disolución patrón de cloruro de sodio 0,014N) hasta que el viraje sea de amarillo a naranja rojizo, manteniendo un criterio constante en el punto final. Para concluir, se titula un blanco con las muestras.

El cálculo de la concentración de iones de cloruro se hace mediante la siguiente fórmula:

$$Cl - mg/L = \frac{[(A - B)(N)(35,450)]}{ml \text{ de la muestra}}$$

Donde:

*A = ml de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración de la muestra.*

*B = ml de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración del blanco.*

*N = Normalidad del nitrato de plata.*

## 7.9 Sulfatos

El método específico para la obtención de este parámetro se realiza mediante la norma mexicana NMX-AA-074-SCFI-2014, donde el sulfato se precipita con cloruro de bario en un medio ácido, dando lugar a cristales de sulfato de bario de tamaño homogéneo. La concentración de masa del ion sulfato se determina mediante la comparación de la lectura con una curva de calibración analítica.

Para la obtención de este parámetro se debe de tomar una muestra de un volumen mínimo de 200 ml, el tiempo máximo de refrigeración de la muestra es de 28 días. La muestra debe de tener una conductividad máxima 5,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25° C y pH de 5,0 a pH 8,0. Es primordial la curva de calibración para el uso del espectrofotómetro a utilizarse a 420 nm y del fotómetro del filtro. Para la curva de calibración se emplea la disolución de referencia de concentración de masa de ion sulfato de  $\gamma(\text{SO}_4^{2-}) = 100 \text{ mg}/\text{L}$  de  $\text{SO}_4^{2-}$  (147,9 mg de sulfato de sodio anhidro y aforar con agua a 1 000 ml, consecuentemente, medir 10,4 ml de disolución de referencia valorada de ácido sulfúrico 0,0100 mol/L y llevar a un volumen de 100 ml con agua) preparar las disoluciones de calibración, según requiera, dentro del intervalo de concentración de masa de 0 mg/L a 40 mg/L de ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Se construye la curva

de calibración con un mínimo de 5 puntos además del blanco y dentro del intervalo mencionado.

El procedimiento comienza con la formación de turbiedad de sulfato de bario, en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, se coloca una muestra de 100 ml y se añaden 20 ml de reactivo buffer A (30 g de cloruro de magnesio, 5 g de acetato de sodio, 1,0 g de nitrato de potasio disueltos en 20 ml de ácido acético (99%) en 500 ml de agua destilada, hasta aforar a 1000 ml) o B [(requerida cuando las muestras de sulfatos tienen concentraciones menores a 10 mg/L  $SO_4^{2-}$ ) (30 g de cloruro de magnesio, 5 g de acetato de sodio, 1,0 g de nitrato de potasio, 0,111 g de sulfato de sodio disueltos en 20 ml de ácido acético (99%) en 500 ml de agua destilada y llevada a aforo a 1000 ml)] según sea el caso, hasta homogenizar completamente con ayuda de un agitador magnético.

Mientras la disolución se está agitando, añadir el contenido de una cucharilla medidora llena de cristales de cloruro de bario y empezar a medir el tiempo inmediatamente. Agitar durante un minuto a una velocidad constante. Una vez concluida la agitación vaciar a la celda y medir la turbiedad en unidades de absorbancia o UNT después de 5 min  $\pm$  0,5 minutos. Leer la absorbancia de las muestras y las disoluciones de referencia a 420 nm en una celda de 1 cm o mayor de longitud de paso óptico de luz. La corrección de color o turbiedad de la muestra es un factor importante a considerar, se realiza corriendo un blanco de la muestra sin agregar cloruro de bario y restarlo a la muestra que contiene color o turbiedad.

Para calcular la concentración de masa de  $\gamma(SO_4^{2-})$  expresada en mg/L de  $SO_4^{2-}$ , se utiliza la siguiente ecuación:

$$\gamma(SO_4^{2-}) = \frac{[\alpha(\lambda) - a]}{b}$$

Donde:

$b$  = La pendiente.

$a$  = La ordenada en el origen.

$\alpha(\lambda)$  = La absorbancia del ion sulfato a la longitud de onda  $\lambda$ .

Por lo tanto, si se usó la disolución buffer A, calcular la concentración de la muestra directamente, mientras que, si se usó la disolución buffer B, se debe restar la concentración del blanco, de la concentración de la muestra, esto debido a que la curva de calibración no

es un línea recta y por lo tanto no es equivalente a restar la absorbancia del blanco a la absorbancia de la muestra. Cuando se requiera, se multiplica por el factor de dilución.

### 7.10 Coliformes totales.

La obtención de este parámetro se realiza de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994. El fundamento de la técnica consiste en contar las colonias, que se desarrollan en el medio de elección después de un cierto tiempo y temperatura de incubación, presuponiendo que cada colonia proviene de un microorganismo de la muestra bajo estudio. La muestra a estudiar debe de estar preparada en base de la NOM-110-SSA1-1994, preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.

El procedimiento de este indicador comienza con la distribución de las cajas estériles, de manera que en la inoculación, la adición de medio de cultivo y homogenización, se puedan realizar cómoda y libremente. Se marcan las tapas de las cajas con los datos pertinentes, posterior a esto, se corre por duplicado. Después de inocular las diluciones de las muestras preparadas según la NOM-110-SSA1-1994, en las cajas Petri se agregan de 12 a 15 ml del medio preparado (para el medio de cultivo preparado se requiere de suspender los componentes del medio deshidratado en un litro de agua y hervir hasta la total disolución. Además de, esterilizar en autoclave a  $121 \pm 1,0^\circ \text{C}$ , durante 15 minutos. El pH final del medio debe ser  $7,0 \pm 0,2$  a  $25^\circ\text{C}$ ), mezclarlo mediante 6 movimientos de derecha a izquierda, 6 en el sentido de las manecillas del reloj, 6 en sentido contrario y 6 de atrás a adelante, sobre una superficie lisa y horizontal hasta lograr una completa incorporación del inóculo en el medio; cuidar que el medio no moje la cubierta de las cajas y dejar solidificar. De la misma manera, se debe de incluir una caja sin inóculo por cada lote de medio y diluyente preparado como testigo de esterilidad. El tiempo transcurrido desde el momento en que la muestra se incorpora al diluyente hasta que finalmente se adiciona el medio de cultivo a las cajas, no debe exceder de 20 minutos. Se prosigue incubando las cajas en posición invertida (con la tapa hacia abajo) por el tiempo y la temperatura que se requieran, de acuerdo al siguiente cuadro.

<b>Grupo Bacteriano</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo de Incubación</b>
<b>Termofílicos aerobios</b>	$55 \pm 2^\circ\text{C}$	$48 \pm 2 \text{ h}$
<b>Mesofílicos aerobios</b>	$35 \pm 2^\circ\text{C}$	$48 \pm 2 \text{ h}$
<b>Psicrotróficos</b>	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	3 - 5 días
<b>Psicrofílicos</b>	$5 \pm 2^\circ\text{C}$	7 - 10 días

Tabla. Tiempo de Incubación de acuerdo al grupo bacteriano.

Una vez que el tiempo de incubación se haya cumplido, se debe tomar lectura y seleccionar aquellas placas donde aparezcan entre 25 a 250 UFC; Contar todas las colonias desarrolladas en las placas (excepto las de mohos y levaduras), incluyendo las colonias puntiformes. Es posible hacer uso del microscopio para resolver los casos en los que no se pueden distinguir las colonias de las pequeñas partículas de alimento.

### 7.11 Cadmio total.

La obtención de cadmio total en el agua se realiza siguiendo el procedimiento impuesto por la Norma Mexicana NMX-AA-060-1981. El método se basa en la reacción del cadmio presente en el agua con la ditizona para dar un complejo de ditizonato de cadmio de color rojo, el cual se extrae con cloroformo y se cuantifica colorimétricamente a una longitud de onda de 515 nm. La muestra se debe coleccionar en frascos de polietileno y preservarse añadiendo ácido nítrico diluído 1:1 hasta neutralización, y adicionar un exceso de 5 ml de ácido nítrico concentrado por litro de muestra.

El primer paso para realizar el procedimiento de la obtención total de cadmio en la muestra de agua es preparar la curva de calibración con la solución patrón concentrada de cadmio (100 µg/ml) y diluida (a 2.5 µg/ml), que se requieren para el uso del espectrofotómetro. Se colocan en embudos de separación color ámbar de capacidad de 125 ml, los volúmenes de solución patrón diluida indicados en la tabla.

<b>Solución patrón diluida de cadmio µg/ml (ml)</b>	<b>Contenido de cadmio (mg)</b>
<b>0,1</b>	0,0000
<b>1,0</b>	0,0025
<b>2,0</b>	0,0050
<b>4,0</b>	0,0100
<b>6,0</b>	0,0150
<b>8,0</b>	0,0200
<b>10,0</b>	0,0250

Tabla. Volúmenes para la curva de calibración.

Inmediato a este paso, diluir entre 15 a 20 ml con agua, agregar 10 ml de solución de tartrato de sodio y potasio (disolución de 50 g de tartrato de sodio y potasio en 250 ml de agua, tratada para que se encuentre libre de impurezas de metales), además de 4.2 ml de hidróxido de sodio 6 N. Posterior a esto, tomar una alícuota de la muestra, que contenga de 25 a 200 µg de cadmio para colocarla en un vaso precipitado. Agregar 0.2 ml de ácido clorhídrico concentrado para precipitar la plata presente en la muestra, agitar y dejar reposar por 2 minutos. Filtrar si es necesario y realizar lavados, en donde se agreguen 5 ml de la solución de tartrato de sodio y potasio para después ajustar a un pH de 2 con ácido

clorhídrico concentrado. Transferir la solución a un embudo de separación y efectuar 3 extracciones con porciones de 5 ml de solución de ditizona en cloroformo, hasta que la capa de ditizona permanezca verde, se requiere de agitar en cada extracción y desechar los extractos. Lavar con porciones de 10 ml de cloroformo hasta que la capa orgánica permanezca incolora y lavar con una porción de 5 ml de tetracloruro de carbono. Se trasfiere la solución a un vaso precipitado y añaden 5 ml de tartrato de sodio y potasio, se ajusta el pH de la solución a 8.5 – 9, con hidróxido de amonio concentrado. Se agregan 5 ml de la solución de dimetil-glioxima (1 g de dimetil-glioxima en 100 ml de alcohol etílico al 95%) y se agita durante 30 segundos. Extraer 3 o más porciones de 10 ml de cloroformo hasta la desaparición de cualquier precipitado blanco de dimetil glioxima en exceso. Lavar la capa con 5 ml de tetracloruro de carbono, desechar y agregar 4.2 ml de hidróxido de sodio 6N al embudo y mezclar. Adicionar 5 ml de solución de ditizona II (disolución de 125 mg de cristales de ditizona en 50 ml de cloroformo) en tetracloruro de carbono y agitar vigorosamente. Secuencialmente, se transfiere la capa de tetracloruro de carbono a un embudo de separación limpio de color ámbar y se extrae la capa acuosa con una segunda porción de 5 ml de solución de ditizona II en tetracloruro de carbono. Continuar extrayendo con porciones de 3 ml de solución de ditizona II en tetracloruro de carbono hasta que los extractos orgánicos permanezcan incoloros o ligeramente amarillos. Para finalizar, se lava dos veces los extractos orgánicos con porciones de 10 ml de hidróxido de sodio 1N y 10 ml de agua, desechando la capa acuosa en cada paso.

Para obtener la determinación correcta se requiere de filtrar la solución roja del complejo de ditizonato de cadmio a través del papel filtro y colocar el filtrado en un matraz volumétrico de 25 ml, aforar con tetracloruro de carbono y mezclar bien. Previo a realizar el cálculo correspondiente se necesita de transferir una porción adecuada de la solución de tetracloruro de carbono a una celda de absorción de 1 cm, para poder obtener la absorbancia de esta solución dentro de los primeros 15 minutos siguientes a la extracción, a una longitud de onda de 515 nm usando tetracloruro de carbono puro como líquido de referencia. Así como, transferir una porción adecuada de cada solución final a una celda de absorción de 1 cm y medir su absorbancia a 515 nm y graficar los valores de absorbancia corregidos contra los  $\mu\text{g}$  de cadmio.

Las concentraciones de cadmio se calculan por medio de la siguiente fórmula:

*Cálculo directo*



$$\frac{mg}{L} \text{ de Cd} = \frac{A}{B} (1000)$$

*Cálculo por dilución*

$$\frac{mg}{L} \text{ de Cd} = \left[ \frac{A}{B} (1000) \right] * \left[ \frac{100}{C} \right]$$

Donde:

*A = Contenido de cadmio leído en la curva de calibración, en mg.*

*B = Volumen de la muestra, en ml.*

*C = Volumen de la alícuota, en ml.*

*1000 = Factor de conversión.*

*$\frac{100}{C}$  = Factor de dilución.*

## 8. RESULTADOS.

### INFORME DE ENSAYO PARA CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA PURIFICADORA

INFORME DE ENSAYO FISICOQUÍMICO.						
PARÁMETROS	RESULTADOS			CONDICIONES		
	AGUA CRUDA	AGUA PURIFICADA	UNIDADES	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	REFERENCIA	PROCEDIMIENTO DE ACUERDO A LA NORMA
Olor	Agradable	Agradable	-	Agradable	-	NMX-AA-083-1982
Sabor	Indeterminado	Agradable	-	Agradable	-	
Color real en escala platino-cobalto	3.00	0.00	Unidades	15	CRITERIO DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS	NMX-AA-045-SCFI-2001
Turbiedad	1.00	0.00	UTN	5	CRITERIO DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS	NMX-AA-038-SCFI-2001
pH	7.70	7.10	Unidades	6.5 - 8.5	CRITERIO DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS	NMX-AA-008-SCFI-2016
Alcalinidad total	373.00	30.50	ppm	300	CRITERIO DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad fenolftaleína	0.00	0.00	ppm	-	CRITERIO CONTROLADO	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad del anaranjado de metilo	373.00	30.50	ppm	-	CRITERIO CONTROLADO	NMX-AA-036-SCFI-2001
Cloro residual libre	0.00	0.00	ppm	0.1	CRITERIO DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS	NMX-AA-108-SCFI-2001
Cloro total	0.00	0.00	ppm	-	CRITERIO CONTROLADO	NMX-AA-108-SCFI-2001
Dureza total	397.50	10.00	ppm	200	CRITERIO DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza del calcio	237.50	5.00	ppm	-	CRITERIO CONTROLADO	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de magnesio	160.00	5.00	ppm	-	CRITERIO CONTROLADO	NMX-AA-072-SCFI-2001
Sólidos disueltos totales	879.00	62.00	ppm	500	CRITERIO DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS	NMX-AA-034-SCFI-2015

Cloruros	25.00	14.90	ppm	250	CRITERIO DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS	NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfatos	76.00	5.50	ppm	250	CRITERIO DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS	NMX-AA-074-SCFI-2014
Bicarbonato de sodio, como NaHCO <sub>3</sub>	0.00	17.22	ppm	-	CRITERIO SIN RESTRICCIONES	-
Bicarbonato de calcio, como Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	384.75	8.10	ppm	-	CRITERIO CONTROLADO	-
Bicarbonato de magnesio, como Mg(HCO) <sub>2</sub>	198.24	7.32	ppm	-	CRITERIO CONTROLADO	-
Cloruro de sodio, como NaCl	41.25	24.59	ppm	-	CRITERIO CONTROLADO	-
Sulfato de sodio, como Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	112.48	8.14	ppm	-	CRITERIO CONTROLADO	-
Sulfato de calcio, como CaSO <sub>4</sub>	0.00	0.00	ppm	-	CRITERIO CONTROLADO	-
Sulfato de magnesio, como MgSO <sub>4</sub>	29.47	0.00	ppm	-	CRITERIO CONTROLADO	-
Coliformes totales	4900.00	9.00	UFC/ml	100	CRITERIO DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS	NOM-092-SSA1-1994
Coliformes fecales	2400.00	<1.1	NMP/100ml	<1.1	CRITERIO DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS	NOM-112-SSA1-1994
Cloro libre	0.00	0.00	ppm	0.1	CRITERIO DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS	NMX-AA-108-SCFI-2001
Cloro total	0.00	0.00	ppm	-	CRITERIO CONTROLADO	NMX-AA-108-SCFI-2001

## 9. CONCLUSIONES

En resumen, el funcionamiento de una planta purificadora de agua es un proceso complejo y fundamental para asegurar la provisión de agua potable de alta calidad a la comunidad. A través de una combinación de tecnologías avanzadas, como la filtración, la desinfección y el tratamiento químico, estas plantas eliminan una amplia gama de contaminantes, incluidos los microorganismos patógenos, los metales pesados y los compuestos orgánicos, que pueden representar riesgos para la salud humana.

La operación eficiente de una planta purificadora implica una serie de etapas, desde la captación del agua cruda hasta la distribución del agua tratada a los consumidores finales. Cada paso del proceso requiere un monitoreo continuo y riguroso para garantizar que se cumplan los estándares de calidad del agua establecidos por las autoridades sanitarias y ambientales. Además, es esencial realizar pruebas periódicas y análisis de calidad del agua para identificar posibles problemas o riesgos emergentes y tomar medidas correctivas de manera oportuna.

Además de la tecnología y los procesos, el funcionamiento efectivo de una planta purificadora depende en gran medida del personal capacitado y comprometido que opera y mantiene las instalaciones. La formación adecuada del personal en prácticas de operación seguras, técnicas de mantenimiento preventivo y procedimientos de respuesta a emergencias es crucial para garantizar la seguridad y la eficiencia de la planta.

Asimismo, la participación activa y la colaboración con las comunidades locales son elementos clave para el éxito a largo plazo de una planta purificadora. La educación pública sobre la importancia del agua segura, la conservación de recursos y la prevención de la contaminación son aspectos fundamentales para promover una cultura de cuidado del agua y fomentar la participación ciudadana en la protección y gestión sostenible de los recursos hídricos.

En conclusión, el funcionamiento de una planta purificadora de agua es un proceso integral que requiere tecnología avanzada, gestión eficiente y participación comunitaria. Al garantizar la operación segura y confiable de estas instalaciones, podemos proteger la salud y el bienestar de las generaciones presentes y futuras, y promover un futuro sostenible para nuestro planeta.

## 9. COMPETENCIAS DESARROLLADAS.

- Conocimientos técnicos: Adquirir habilidades en operación y mantenimiento de equipos de purificación de agua, así como comprender los procesos de tratamiento y desinfección.
- Seguridad y salud ocupacional: Desarrollar competencias en prácticas seguras de trabajo, manejo de sustancias químicas peligrosas y procedimientos de emergencia para garantizar un entorno laboral seguro.
- Gestión del tiempo: Aprender a priorizar tareas y optimizar el uso del tiempo para cumplir con los programas de producción y los estándares de calidad del agua.
- Resolución de problemas: Desarrollar habilidades para identificar y resolver problemas operativos, como obstrucciones en los sistemas de filtración o fluctuaciones en la calidad del agua.
- Trabajo en equipo: Colaborar con colegas en diferentes departamentos para lograr objetivos comunes, como mantener la eficiencia de la planta y cumplir con los estándares regulatorios.
- Comunicación efectiva: Comunicarse de manera clara y precisa con el equipo de trabajo, supervisores y otros departamentos para informar sobre el progreso del trabajo, reportar incidentes y coordinar actividades.
- Adaptabilidad: Ser capaz de ajustarse a cambios en los procedimientos de trabajo, condiciones del entorno o requisitos regulatorios para garantizar el funcionamiento eficiente de la planta.
- Compromiso con la calidad: Desarrollar una mentalidad orientada a la excelencia y el cumplimiento de los estándares de calidad del agua, asegurando que el producto final cumpla con los requisitos de potabilidad y seguridad.

## 10. FUENTES DE INFORMACIÓN.

- Arratibel, A. (2022). ¿Por qué los mexicanos pagan más por agua embotellada que por agua potable? *EL PAÍS*. Recuperado 22 de noviembre de 2023, de [https://elpais.com/mexico/2023-09-08/por-que-los-mexicanos-pagan-mas-por-agua-embotellada-que-por-agua-potable.html?event=fa&event\\_log=fa&prod=SUSDIGCRART&o=cerrsus](https://elpais.com/mexico/2023-09-08/por-que-los-mexicanos-pagan-mas-por-agua-embotellada-que-por-agua-potable.html?event=fa&event_log=fa&prod=SUSDIGCRART&o=cerrsus)
- AQUAE. (2021, 23 agosto). *¿Quién inventó el filtro de agua?* AQUAE: Fundación. Recuperado 5 de enero de 2024, de <https://e.org/wiki/quien-invento-el-filtro-de-agua/#:~:text=A%20principios%20de%201800%2C%20el,la%20purificación%20de,%20agua%20potable.>
- Baroni, L.; Cenci, L.; Tettamanti, M.; Berati, M. (2007). «*Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems*». *European Journal of Clinical Nutrition* 61: 279-286. doi:10.1038/sj.ejcn.1602522.
- Barreto Tejada, Juan Alejandro. (2015). *Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. (1st ed.) [EBook]. Universidad Piloto de Colombia.
- Berdonces, J.L. (2008). La problemática del tratamiento del agua potable. *Medicina naturista*, 2(2), 69-75.
- Carabias J. y Landa R. (2004). *Agua, medio ambiente y sociedad*. México: Colegio de México.
- Carbotecnia. (2021). *Significado de los sólidos disueltos totales en agua (TDS)*. Recuperado 9 de enero de 2024, de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/solidos-disueltos-totales-tds/>

- Cerda L, J., & Valdivia C, G. (2007). *John Snow, la epidemia de cólera y el nacimiento de la epidemiología moderna*. *Revista Chilena de Infectología*, 331-334. 24(4). DOI: 10.4067/s0716-10182007000400014.
- Cervantes, G.E., Vázquez, V.S., Hurtado, S.R., Hernández, V. I. y Segura, E.I. (2016). Manual de operación y mantenimiento del sistema de captación de agua de lluvia de Cherán, Michoacán, 93.
- Chavez, M. (2022). *Dureza de calcio*. Orenda Technologies. Recuperado 14 de enero de 2024, de <https://blog.orendatech.com/es/entender-dureza-del-calcio#:~:text=La%20dureza%20del%20calcio%20es,otros%20minerales%20como%20el%20magnesio>.
- Condorchem. (2012). *Historia sobre el tratamiento de agua potable*. Condorchem Enviro Solutions: Smart ideas for wastewater & air treatment. Recuperado 5 de enero de 2024, de <https://condorchem.com/es/blog/historia-sobre-el-tratamiento-del-agua-potable/>
- Crespo, D. (2016) Manual de operación y mantenimiento para el sistema de desinfección de agua potable con hipoclorador (Tesis de pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- ELIKA. (2023). *Cadmio*. ELIKA: Seguridad Alimentaria. Recuperado 13 de enero de 2024, de <https://seguridadalimentaria.elika.eus/fichas-de-peligros/cadmio/>
- Ezzat, M.S., Moustafa, T.M., Fouda, A., El-Gamal, S.M. y Mohammed, A.I. (2017). Assessment of some drinking water purification plants efficiency at Great Cairo in Egypt. *Current Science International*,6(4), 761-776.
- Forbes. (2023). Existen 21 millones de personas sin acceso a agua potable en México; señala ONG. *Forbes México*. Recuperado 21 de noviembre de 2023, de <https://www.forbes.com.mx/existen-21-millones-de-personas-sin-acceso-a-agua-potable-en-mexico-senala-ong/>

García, S. (2019). Photoaquae: 11 datos interesantes sobre el agua. *National Geographic*.

Recuperado: 26 de septiembre de 2023, de:

[shttps://www.nationalgeographic.es/photoaquae/2019/03/11-datos-interesantes-sobre-el-agua](https://www.nationalgeographic.es/photoaquae/2019/03/11-datos-interesantes-sobre-el-agua)

Govern Illes Balears. (2019). *Salud ambiental: sulfatos*. Recuperado 16 de enero de 2024, de <https://www.caib.es/sites/salutambiental/es/sulfats-26202/>

Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; (2022). License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

HACH. (2019). *Alcalinidad*. HACH: Be Right. Recuperado 11 de enero de 2024, de <https://es.hach.com/parameters/alkalinity#:~:text=La%20alcalinidad%20total%20es%20una,resistir%20cambios%20en%20el%20pH.>

HANNA. (2022). *La guía completa para la medición de turbidez en el agua*. HANNA: Instruments. Recuperado 11 de enero de 2024, de <https://hannainst.com.mx/blog/la-guia-completa-para-la-medicion-de-turbidez-en-el-agua%EF%BF%BC/>

HIDROLIT. (2019). *¿Cuáles son las diferencias entre el agua potable y el agua purificada?* HIDROLIT. Recuperado 12 de noviembre de 2023, de <https://hidrolit.com.ar/blog/cuales-son-las-diferencias-entre-el-agua-potable-y-el-agua-purificada/>

Higiene Ambiental. (2018). *La historia del tratamiento del agua potable: Un camino hacia la mejora radical de la salud pública*. Recuperado 5 de enero de 2024, de <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/la-historia-del-tratamiento-del-agua-potable-un-camino-hacia-la-mejora-radical-de-la-salud-publica>

IMCO. (2023). *Situación del agua en México: Escasez o mala gestión*. IMCO: Centro De Investigación En Política Pública. Recuperado el 26 de septiembre de 2023, de <https://imco.org.mx/situacion-del-agua-en-mexico/>



INEGI & Plastic Thecnology: México. (2021). *COVID-19 redujo en 40 % las ventas de agua embotellada en México*. Plastic Thecnology: México. Recuperado 6 de enero de 2024, de <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/covid-19-redujo-en-40-las-ventas-de-agua-embotellada-en-mexicp>

Jacobo Marín, D. (2010). *El acceso al agua potable como derecho humano y su regulación en el régimen jurídico mexicano* [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <https://ninive.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/2386/LDE1AAP01001.pdf?se>

Lee, A., Elam, J. W., & Darling, S. B. (2014). Membrane materials for water purification: design, development, and application. Royal Society of Chemistry, 17-42. <https://doi.org/10.1039/C5W00159E>.

LENNTECH. (2014). *Historia del tratamiento del agua potable*. <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente [LGEEPA], Reformada, Diario Oficial de la Federación [DOF], 04 de Abril de 2012, (México).

López, C., Zambrano, L., Ruiz, R., Guzmán, M., Pérez, R., Sandoval, R., Hatch, G., Pineda, N., Pacheco-Vega, R., & Caldera, A. (2017). *El agua en México: Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica*. (Primera edición) [PDF]. Christian Denzin, Federico Taboada, Raúl Pacheco-Vega.

Lucena, P. (2023). Breve historia del tratamiento de agua. UNIVERSIDAD CESUMA. Recuperado el 04 de enero 2024, de <https://www.cesuma.mx/blog/breve-historia-del-tratamiento-de-agua.html>

Mejía-Mora, A. (2021). *PROPUESTA DE MEJORA PARA LA RECEPCIÓN DE AGUA POTABLE EN LA PLANTA PURIFICADORA SAN JERÓNIMO* [Tesis de maestría]. Universidad Veracruzana.

- Mendez, M., Walter. (2023). Historia del agua. *ERAS: Ente Regulador De Agua Y Saneamiento*.
- Montero, D. y Cardoso, J. (2016). *Agua embotellada y los contenedores de plástico ¿Qué tan confiables son?* Boletín de la Sociedad Química de México, 22-26.
- ONU. (2017). *Desarrollo sostenible. La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Recuperado 12 de octubre de 2023, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>.
- ONU-HABITAT. (2021). *Comprender las dimensiones del problema del agua*. ONU HABITAT. Recuperado 26 de noviembre de 2023, de [https://onuhabitat.org.mx/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua?fb\\_comment\\_id=1919706488040991\\_2396617700349865](https://onuhabitat.org.mx/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua?fb_comment_id=1919706488040991_2396617700349865)
- Organización de las Naciones Unidas. (2018). *Agua | Naciones Unidas*. Recuperado: 25 de Septiembre, 2023, de <https://www.un.org/es/global-issues/water#:~:text=2%20200%20millones%20de%20personas,potable%20gestio nados%20de%20forma%20segura>.
- Ortega-Gaucín, D. (2022). Contexto global: La seguridad hídrica en el mundo. En *Introducción a la seguridad hídrica* (1.ª ed., pp. 17-41). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/libros/2022/introduccion\\_seguridad\\_hidrica.pdf](https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/libros/2022/introduccion_seguridad_hidrica.pdf)
- Perevochtchikova M. 2016. "Problemática socioambiental de la disponibilidad y la gestión del agua superficial." Moncada Maya J. O. y López López A. (coords.). Geografía de México. Una reflexión espacial contemporánea. México: Instituto de Geografía, UNAM.

Tzatchkov, V. G., & Rodríguez-Varela, J. M. (2023). *Seguridad hídrica y sus metas*. En *Introducción a la seguridad hídrica* (1.<sup>a</sup> ed., pp. 3-14). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.  
[https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/libros/2022/introduccion\\_seguridad\\_hidrica.pdf](https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/libros/2022/introduccion_seguridad_hidrica.pdf)

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (1982). *Norma Mexicana NMX-AA-083-1982*. Análisis de agua. Determinación de olor. Dirección General de Normas. De: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166798/NMX-AA-083-1982.pdf>

Secretaría de Economía (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001*. Análisis de agua. – Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – (Cancela a la NMX-AA-036-1980). Diario Oficial de la federación. De: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166776/NMX-AA-036-SCFI-2001.pdf>

Secretaría de Economía (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001*. Análisis de agua. – Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – (Cancela a la NMX-AA-038-1981). Diario Oficial de la federación. De: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166777/NMX-AA-038-SCFI-2001.pdf>

Secretaría de Economía (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-045-SCFI-2001*. Análisis de agua. – Determinación de color platino cobalto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – (Cancela a la NMX-AA-045-1981). Diario Oficial de la federación. De: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166781/NMX-AA-045-SCFI-2001.pdf>

Secretaría de Economía (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001*. Análisis de agua. – Determinación dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – (Cancela a la NMX-AA-072-1981). Diario Oficial de la federación. De:

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166777/NMX-AA-038-SCFI-2001.pdf>

Secretaría de Economía (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001*. Análisis de agua. – Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – (Cancela a la NMX-AA-073-1981). Diario Oficial de la federación. De: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166789/NMX-AA-073-SCFI-2001.pdf>

Secretaría de Economía (2013). *Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI-2013*. Análisis de agua – medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-004-SCFI-2000). Diario Oficial de la Federación. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166763/NMX-AA-004-SCFI-2013.pdf>

Secretaría de Economía (2014). *Norma Mexicana NMX-AA-074-SCFI-2001*. Análisis de agua. – Medición del ión sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – (Cancela a la NMX-AA-074-1981). Diario Oficial de la federación. De: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166149/nmx-aa-074-scfi-2014.pdf>

Secretaría de Economía (2015). *Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015*. Análisis de agua. – Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – (Cancela a la NMX-AA-034-SCFI-2001). Diario Oficial de la federación. De: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>

Secretaría de Economía (2016). *Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016*. Análisis de agua. - Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- método de prueba - (cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2011). Diario Oficial de la

Federación. De: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf>

Secretaría de economía. (2016). *Normalización en México*. Gobierno de México. Recuperado 8 de enero de 2024, de [https://www.gob.mx/se/articulos/la-normalizacion-en-mexico-cuales-son-sus-funciones-y-beneficios-para-el-consumidor#:~:text=Las%20Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20\(NOM,Nacionales%20de%20Normalizaci%C3%B3n%20\(ONN\).](https://www.gob.mx/se/articulos/la-normalizacion-en-mexico-cuales-son-sus-funciones-y-beneficios-para-el-consumidor#:~:text=Las%20Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20(NOM,Nacionales%20de%20Normalizaci%C3%B3n%20(ONN).)

Secretaría de Economía. (2016). *Normalización en México*. Gobierno de México. Recuperado 8 de enero de 2024, de [https://www.gob.mx/se/articulos/la-normalizacion-en-mexico-cuales-son-sus-funciones-y-beneficios-para-el-consumidor#:~:text=Las%20Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20\(NOM,Nacionales%20de%20Normalizaci%C3%B3n%20\(ONN\).](https://www.gob.mx/se/articulos/la-normalizacion-en-mexico-cuales-son-sus-funciones-y-beneficios-para-el-consumidor#:~:text=Las%20Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20(NOM,Nacionales%20de%20Normalizaci%C3%B3n%20(ONN).)

Secretaría de Gobernación (1994). *Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994*. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Diario Oficial de la Federación. De: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4886029&fecha=12/12/1995#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4886029&fecha=12/12/1995#gsc.tab=0)

Secretaría de Salud de México. (2021). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2001, Salud Ambiental, Agua para uso y consumo humano - Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe Someterse el Agua para su Potabilización.

Secretaría de Salud de México. (2015). Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015, Salud Ambiental - Agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento público. Especificaciones sanitarias.

Slb. (2014). *Energy glossary: Alcalinidad al naranja de metilo*. Slb. Recuperado 11 de enero de 2024, de [https://glossary.slb.com/es/terms/m/methyl\\_orange\\_alkalinity](https://glossary.slb.com/es/terms/m/methyl_orange_alkalinity)

SEMARNAT. (2019). *Boletín Estadístico y Geográfico: Aguas subterráneas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado 23 de enero de 2024, de [https://gisviewer.semarnat.gob.mx/bol/05\\_2102/#:~:text=En%20M%C3%A9xico%20se%20reconocen%20653,de%20evaluaci%C3%B3n%20manejo%20y%20administraci%C3%B3n.&text=Se%20estima%20que%20anualmente%20se,para%20los%20distintos%20usos%20consuntivos](https://gisviewer.semarnat.gob.mx/bol/05_2102/#:~:text=En%20M%C3%A9xico%20se%20reconocen%20653,de%20evaluaci%C3%B3n%20manejo%20y%20administraci%C3%B3n.&text=Se%20estima%20que%20anualmente%20se,para%20los%20distintos%20usos%20consuntivos)

Salzman J. 2012. *Drinking Water: A History*. New York, USA: The Overlook Press.

Unesco (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). (2019). *The United Nations world water development report 2019: leaving no one behind*. Paris: United Nations World Water Assessment Programme (WWAP)/Unesco. 186 pp. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306>

Unesco. (2016). *PHI-VIII Seguridad hídrica, propuestas a los retos locales, regionales y globales (2014- 2021)*. Paris, Francia: Unesco/División de Ciencias del Agua (SC/HYD).

UNICEF. (2019). *Informe sobre las desigualdades.: 1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso a agua potable*. UNICEF, Para Cada Infancia. Recuperado: 25 de septiembre, 2023, de <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3->

## 11. ANEXOS.



**CERTIFICADO**  
FOLIO : 3BB0A954 -BA53 -4F4C -885A -BBF3FCB69915

PARA ACREDITAR QUE

**Daniela Ballinas Juárez**

COMPLETÓ Y APROBÓ EL CURSO

**Potabilización del agua**

PRESENTANDO A LA FECHA UN AVANCE DE 100% Y UN PUNTAJE DE 10.

FECHA Y HORA DE TÉRMINO : 15 OCT 2023 - 10:17 PM

EQUIVALENTE A 40 HORAS AL 100%.

Para verificar la autenticidad de este documento escanea el código QR o dirígete a:  
<https://capacitateparaempleo.org/verifica/8364c658-1bda-4693-b51f-1f66dde6b4f3bb0a954-ba53-4f4c-885a-bbf3fcb69915>

