

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA



Calidad de agua purificada en despachadoras automáticas de Torreón, Coahuila

Por:

Mariana Lizbeth Espinosa Sánchez

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

Calidad de agua purificada en despachadoras automáticas de Torreón, Coahuila

Por:

Mariana Lizbeth Espinosa Sánchez

TESIS

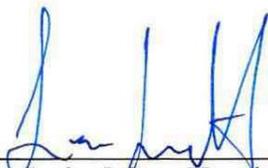
Tesis que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobado por:


Dr. Ricardo Israel Ramírez Gottfried
Presidente


Ph.D. Vicente de Paul Alvarez Reyna
Vocal


Dr. Isaías López Hernández
Vocal


M.C. Armando Nahle Martínez
Vocal Suplente


M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

Calidad de agua purificada en despachadoras automáticas de Torreón, Coahuila

Por:

Mariana Lizbeth Espinosa Sánchez

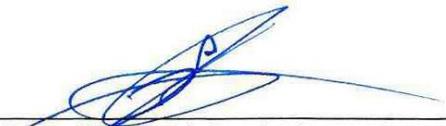
TESIS

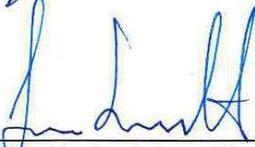
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

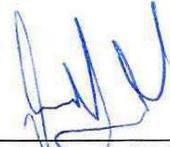
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

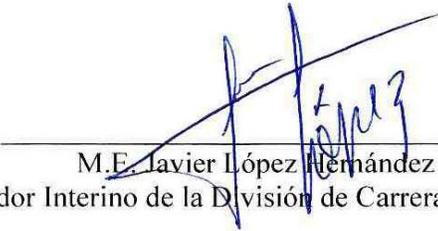
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Ricardo Israel Ramírez Gottfried
Asesor principal


Ph.D. Vicente de Paul Alvarez Reyna
Coasesor


Dr. Isaías López Hernández
Coasesor


M.C. Armando Nahle Martínez
Coasesor


M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2024

AGRADECIMIENTOS

Mi externa gratitud a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi alma mater, por darme la oportunidad de poder decir que soy orgullosamente butre, dejando una gran huella, y gratos recuerdos que se irán conmigo. Sin embargo, la dirijo especialmente a mi asesor principal, el Dr. Ricardo Israel Ramírez Gottfried, por instruirme y permitirme continuar con mi trabajo de investigación y en la culminación de mi carrera.

Por otro lado, al personal de los Laboratorios de suelos, y riego, a las Ing. Ma. de Lourdes Ortiz Pérez e Ing. Norma Lidia Rangel Carrillo; y, a mis asesores, Dr. Isaías López Hernández, PhD. Vicente de Paul Alvarez Reyna y M.C. Armando Nahle Martínez, por auxiliarme durante mi trabajo para llevarlo a cabo de la mejor manera.

A todos mis profesores de la carrera, los cuales valoro su esfuerzo por incentivar mi aprendizaje y desarrollo como profesional, especialmente al Dr. José Luis Reyes Carrillo, porque sus enseñanzas fueron un gran aporte para mi formación.

Amplio agradecimiento a mi madre, que la amo, ¡gracias por tu apoyo inconmensurable, y ser un gran símbolo de protección en todos los aspectos”.

DEDICATORIA

Con gratitud, dedico este trabajo a mi asesor el Dr. Ricardo Israel Ramírez Gottfried, por su orientación.

Las protagonistas de este parabién, son mi madre, por asistirme, proveerme y sustentarme, y Valentina, mi hermana, por acompañarme siempre, y sacarme una sonrisa todos los días.

Mis mascotas, Pablito y Alfonsina, por ser el motor de vida que necesito continuamente.

A toda mi familia.... a tía Oralia, por consentirme y preocuparse por mí siempre, así como a mi hermano Félix y a Janny, por sus consejos y su ejemplo de resiliencia.

Mi prima Karla, por la empatía que me brindan sus pláticas, sin olvidar a mi amiga Lizeth y Ashley, que siempre están cuando lo necesito. Me alegra saber que cuento con todo su apoyo.

Por último, a mis amigas de la universidad Jessica, Yazmín, Hannia y Karla, por darme la grata y divertida experiencia universitaria, al acompañarme y alegrarme en aquellos días trasnochados de estrés y desmotivación.

En fin, a todos los mencionados, por concederme sentir lo que es ser apreciada...

Resumen

El acceso al agua potable segura es crucial para la vida humana, sin embargo, más de mil millones de personas carecen de este recurso en todo el mundo. La contaminación del agua, especialmente con metales pesados como cadmio, plomo y arsénico, representa una seria amenaza para la salud pública, pudiendo ocasionar problemas respiratorios y cáncer. A pesar de los avances en el tratamiento del agua, persisten problemas de contaminación, lo que ha impulsado el aumento en el consumo de agua embotellada, especialmente en regiones como México. En esta investigación se evaluaron parámetros como el pH, turbidez, conductividad eléctrica, etc., así como la presencia de metales pesados, con el objetivo de determinar la calidad del agua para consumo humano. Dentro de la legislación mexicana, como la NOM-127-SSA1-2021, establece normativas para garantizar la calidad del agua potable y regular su distribución. Sin embargo, investigaciones en la región de Torreón, Coahuila, revelan altos niveles de cadmio, plomo y arsénico en muestras de agua embotellada, sugiriendo deficiencias en las condiciones para la demostración de su calidad. Es esencial mejorar estos procesos para garantizar un suministro seguro y accesible de agua para la población. Se destaca la importancia de abordar los problemas de contaminación del agua y mejorar los procesos de purificación, así como cumplir con los estándares de calidad establecidos. En resumen, se requiere una mejora significativa en los procesos de purificación y en la implementación de medidas para asegurar un suministro seguro de agua para la población de la región de Torreón, Coahuila.

Palabras clave: Arsénico, Agua purificada, Plomo, Cadmio, Salud

Abstract

Access to safe drinking water is crucial for human life, yet more than a billion people worldwide lack this resource. Water contamination, especially with heavy metals such as cadmium, lead, and arsenic, represents a serious threat to public health, potentially causing respiratory problems and cancer. Despite advances in water treatment, contamination problems persist, which has driven an increase in the consumption of bottled water, especially in regions such as Mexico. This research evaluated parameters such as pH, turbidity, electrical conductivity, etc., as well as the presence of heavy metals, with the aim of determining the quality of water for human consumption. Within Mexican legislation, such as NOM-127-SSA1-2021, regulations are established to guarantee the quality of drinking water and regulate its distribution. However, research in the Torreón region, Coahuila, reveals high levels of cadmium, lead and arsenic in bottled water samples, suggesting deficiencies in the conditions for demonstrating its quality. Improving these processes is essential to ensure a safe and accessible supply of water for the population. The importance of addressing water contamination problems and improving purification processes, as well as meeting established quality standards, is highlighted. In summary, a significant improvement in purification processes and the implementation of measures is required to ensure a safe supply of water for the population of the Torreón region, Coahuila.

Key words: Arsenic, Purified water, Lead, Cadmium, Health

Índice general

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
1. Calidad del agua.....	3
2. Problemática	3
2.1 Contaminación del agua y riesgos a la salud	3
3. Procesos de purificación del agua.....	5
3.1 Osmosis Inversa	5
3.2 Ozonización	6
4. Contaminantes de origen fisicoquímico	6
4.1 Metales pesados	6
4.1.1 Plomo.....	7
4.1.2 Cadmio.....	8
4.1.3 Arsénico	8
4.1.4 Cobre.....	9
4.2 Conductividad eléctrica	9
4.3 pH y alcalinidad	10
4.4 Oxígeno disuelto	11
4.5 Turbidez	12
4.9 Minerales	12
5. Legislación Nacional aplicable	14
5.1 Normas Oficiales Mexicanas (NOM) relacionadas	14

5.1.1 NOM-127-SSA1-2021.....	14
5.1.2 NOM-179-SSA1-2020.....	14
5.1.3 NOM-201-SSA1-2015.....	14
5.1.4 NOM-117-SSA1-1994,.....	15
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
1. Descripción del proyecto – Muestreo y determinación.....	16
Figura 1. 1 Coordenadas, despachadoras de agua purificada seleccionadas	16
Figura 1. 2 Mapa Satelital, despachadoras de agua purificada seleccionadas	17
2. Procedimientos.....	18
2.2 Determinación de $Ca^{++} + Mg^{++}$	18
2.4 Determinación de carbonatos y bicarbonatos	19
2.4.1 Carbonatos (CO_3^{-2}).....	19
2.4.2 Bicarbonatos (HCO_3^{-2})	19
2.5 Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE).....	19
2.6 Determinación de sulfatos	19
2.7 Determinación de cloruros.....	20
2.8 Determinación de Oxígeno Disuelto (OD)	20
2.9 Medición de turbidez.....	20
2.10 Determinación de cadmio, plomo y cobre	20
2.11 Determinación de arsénico	21
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
Tabla 1. Resultados comparativos con NOM-127-SSA1-2021.....	21
Contenido sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, carbonatos y bicarbonatos en agua purificada.	21
Tabla 2. Resultados comparativos con NOM-127-SSA1-2021.....	23
Valores de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y turbidez.	23
Tabla 3. Metales pesados. Contenido de cobre, plomo, cadmio y arsénico. Tabla 2. Resultados comparativos con NOM-127-SSA1-2021.....	23

Valores de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y turbidez.	23
Tabla 3. Metales pesados. Contenido de cobre, plomo, cadmio y arsénico.	25
CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN	27
REFERENCIAS	28

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados comparativos con NOM-127-SSA1-2021.	21
Tabla 2. Resultados comparativos con NOM-127-SSA1-2021.	23
Tabla 3. Metales pesados. Contenido de cobre, plomo, cadmio y arsénico. Tabla 4. Resultados comparativos con NOM-127-SSA1-2021.	23

Índice de figuras

Figura 1. 1 Coordenadas, despachadoras de agua purificada seleccionadas.....	16
Figura 1. 2 Mapa Satelital, despachadoras de agua purificada seleccionadas	17

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El agua es un compuesto bien conocido por sus propiedades físicas y químicas, es esencial para la vida, todos los seres vivos necesitamos de agua. Sin embargo, para que esta sea apropiada para consumo humano debe cumplir con ciertos criterios (Jiménez, Castillejos *et al.*, 2018). Debe estar libre de patógenos, de productos químicos peligrosos, sabrosa, incolora e inodora y, por tanto, apta para beber (Kamalapriya, Mani *et al.*, 2023). El agua se obtiene de numerosas fuentes y, en su estado bruto, puede contener una variedad de contaminantes, como elementos o compuestos químicos tóxicos, compuestos radiológicos y contaminantes físicos (Levin, Villanueva *et al.*, 2024). Más del 50 % del cuerpo humano es agua; la calidad del agua embotellada que se consume es vital para el mantenimiento de la salud. Por lo general, las plantas purificadoras de agua toman precauciones para evitar la contaminación del líquido vital de forma directa, pero en ocasiones no se percatan que la calidad del agua puede verse afectada de una forma indirecta (Loor, Wilson *et al.*, 2020). Aunque el acceso al agua es de gran importancia para los seres humanos, es posible que no sea posible (incluso en los países desarrollados) debido a fluctuaciones estacionales o falta de suministro. Sin embargo, el problema es motivo de gran preocupación en los países subdesarrollados (WHO, 2020).

La disparidad en la disponibilidad, confiabilidad y calidad del agua entre los países desarrollados y los subdesarrollados es notable. En todo el mundo, casi mil millones de personas (más de una décima parte de la población mundial) carecen de acceso a agua potable. Por ejemplo, aproximadamente 780 millones de personas beben agua de fuentes “no mejoradas”: un pozo excavado sin protección, un manantial o un río contaminado. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor de dos millones. Las muertes por año pueden atribuirse al agua contaminada (WHO, 2023b).

En México, el consumo de agua embotellada purificada continúa aumentando constantemente debido a la preocupación del público sobre la posibilidad de encontrar contaminantes microbianos y químicos en el agua del grifo (Ante, Bogale *et al.*, 2023). Como indica la INEGI (2018), el porcentaje de hogares que compran agua embotellada aumentó cinco puntos porcentuales en los últimos años, pasando del 70,8 % en 2015 al 76,3 % en 2017, considerando el precio, y su impacto sobre el medio ambiente, es de gran importancia que el agua purificada, sea accesible, y su contenido sea seguro de consumir para la población.

Los pozos de agua privados no tienen requisitos de ser probados o monitoreados para garantizar la calidad del agua potable y, sin embargo, quienes reciben su agua potable primaria de suministros privados con mayor frecuencia confían en que el agua potable del grifo es segura (Gholson, Boellstorff *et al.*, 2018). La contaminación química del agua potable es un gran motivo de preocupación para la salud pública. Los análisis químicos se utilizan para monitorear sustancias químicas seleccionadas (Lundqvist & Oskarsson, 2024).

El objetivo de esta investigación, está enfocado en las características fisicoquímicas del agua de una fracción de plantas despachadoras de agua purificada pertenecientes a la región de Torreón, Coahuila. Además, se considera realizar un análisis de los mismos, para determinar su calidad, realizando una evaluación mediante una serie de experimentos, con el fin de verificar si cumplen con los estándares de calidad a nivel Nacional permitidos, para uso y consumo humano.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. Calidad del agua

Se puede entender como la combinación de sus características físico-químicas y biológicas, las cuales determinan su aptitud para diversos usos. Es importante recordar que el concepto de "agua pura" no existe en la naturaleza, ya que siempre estará compuesta por una variedad de sustancias en mayor o menor medida. Se considera que se encuentra en buenas condiciones, cuando sus características son adecuadas conforme su fin. Por ejemplo, no es lo mismo evaluar la calidad de agua para uso agrícola que para beber. Conocer bien estas propiedades es esencial para evitar efectos negativos en quien lo consume (Parra, 2002).

“Para garantizar que el agua cumpla con los requisitos adecuados para estos diversos usos, el control de su calidad se basa en un marco normativo y legal, que establece límites y parámetros que determinan su idoneidad. Estos límites pueden ser deseables, tolerables o estrictamente imperativos, y se acompañan de guías orientadoras para asegurar la calidad del agua en todas sus aplicaciones” (Parra, 2002).

Según los resultados obtenidos de Bados and Yhomara (2022), sobre la determinación del nivel de desconocimiento de los habitantes sobre la calidad del agua, el 25 % tiene un nivel de desconocimiento bajo, mientras que el 45 % tiene un nivel de desconocimiento medio y el 30 % restante indica un desconocimiento alto; este último grupo desconoce tanto el concepto de calidad del agua como las características del agua que consumen a diario, lo que indica una falta de información crucial para una adecuada valoración del recurso hídrico en la comunidad.

2. Problemática

2.1 Contaminación del agua y riesgos a la salud

La presencia acumulada de ciertos contaminantes químicos en el agua potable, representa un riesgo significativo para la salud humana, ya que la exposición continua a estas sustancias puede ocasionar efectos adversos. La ingesta de agua contaminada con compuestos químicos peligrosos puede tener consecuencias graves, afectando diversos sistemas del organismo y aumentando la probabilidad de desarrollar enfermedades relacionadas con la toxicidad de estos contaminantes. (WHO, 2017). La escasez de agua potable de calidad es un desafío global que, a pesar de su gravedad, no ha recibido la atención adecuada en muchas partes del mundo (Misra & Paunikar, 2023). En este contexto, de Zini and Gutterres (2021), surge la necesidad de identificar los contaminantes químicos presentes

en el agua potable, así como establecer cuáles son las prioridades en su control y monitoreo. Es crucial comprender los riesgos que estos contaminantes representan para la salud pública, ya que su presencia en el agua puede tener efectos nocivos a largo plazo en la población, afectando su bienestar y calidad de vida.

Diversos estudios como el de Siddique, Kubwabo *et al.* (2016); (Yin, Wu *et al.*, 2019), sugieren una posible correlación entre la presencia de contaminantes ambientales y la incidencia de cáncer, lo que resalta la importancia de monitorear y controlar los factores ambientales que podrían contribuir a su aparición.

Asimismo, la inestabilidad estructural de los sistemas de distribución de agua puede ocasionar interrupciones en su funcionamiento, lo que afecta la continuidad del servicio. Además, la antigüedad de las infraestructuras y un mantenimiento inadecuado contribuyen de manera significativa a la deterioración de la calidad del agua. En este sentido, una desinfección deficiente también representa un factor crítico, ya que puede permitir la presencia de microorganismos patógenos que comprometen la seguridad del agua consumida por la población (Adesakin, Oyewale *et al.*, 2020).

Autores como, Willis, Goldfarb *et al.* (2019), aluden que una proporción significativa de las enfermedades transmisibles a nivel global está vinculada al consumo de agua potable contaminada. La ingestión de agua no apta para el consumo humano genera altos índices de morbilidad y mortalidad a nivel mundial, afectando particularmente a los países con ingresos bajos y medios, donde el acceso a fuentes de agua segura y servicios de saneamiento es limitado.

El consumo de agua que contiene niveles elevados de metales pesados puede ocasionar una serie de problemas de salud, que van desde dificultades respiratorias hasta el desarrollo de diversos tipos de cáncer. Por ello, el monitoreo y la medición constante de estos metales en el agua potable son fundamentales para evaluar los riesgos potenciales para la salud pública, así como para garantizar la seguridad del suministro de agua destinado al consumo humano (Kamani, Mirzaei *et al.*, 2017). En este contexto, Turdi and Yang (2016), refiere que, la exposición a oligoelementos críticos como el cadmio, cromo, arsénico y plomo, puede generar efectos adversos severos en el organismo, afectando diversos sistemas y aumentando el riesgo de enfermedades crónicas, ya que poseen una toxicidad biológica considerable, constituyendo una amenaza importante para la salud humana.

Cuando las concentraciones de elementos como cromo (Cr), cobre (Cu) y zinc (Zn) en el agua exceden los límites recomendados, puede presentar efectos como daño cerebral, cefaleas, afecciones hepáticas, etc., que si bien, no son cancerígenos, es indiscutible su adversidad. Además, la exposición al arsénico, tanto a corto como a largo plazo, puede ocasionar una amplia gama de problemas de salud. Entre estos sí incluyen efectos cancerígenos, como el cáncer hepático, así como alteraciones en la piel, el sistema respiratorio, el sistema cardiovascular, el tracto gastrointestinal y los sistemas hematológico, renal, neurológico, de desarrollo (Kamani *et al.*, 2017).

En relación a lo anterior mencionado, Daud, Nafees *et al.* (2017) dice que los problemas en la salud desarrollados, en su gran mayoría, van dependiendo de la naturaleza de los contaminantes, ya que la ingesta de agua potable contaminada representa una de las principales causas de enfermedades, siendo responsable de hasta el 80 % en los países en desarrollo.

3. Procesos de purificación del agua

Además de los contaminantes presentes en el agua, los aspectos estéticos de su calidad, como el olor, el sabor (por ejemplo, amargo, salado o metálico) y su apariencia o color, desempeñan un papel importante. Aunque estas características no representan un riesgo significativo para la salud pública, pueden desalentar el consumo de agua potable. Actualmente, se emplean a nivel global tecnologías convencionales y avanzadas para el tratamiento del agua. Sin embargo, las limitaciones inherentes a estas tecnologías, junto con su distribución desigual en distintas regiones del mundo, (Palansooriya, Yang *et al.*, 2020). De situaciones como esta, nace la urgencia del desarrollo de métodos de purificación innovadores que sean ambientalmente sostenibles y económicamente accesibles, permitiendo superar las deficiencias.

3.1 Ósmosis Inversa

La ósmosis implica el paso de sustancias en estado líquido con diferentes densidades dentro de una membrana con semi-permeabilidad, permitiendo el equilibrio de concentraciones. Por su parte, la ósmosis inversa, desarrollada en 1959, constituye uno de los métodos más avanzados y efectivos para la purificación de agua, el cual pertenece a la categoría de filtración con flujo cruzado, caracterizado por la capacidad de eliminar tanto compuestos orgánicos disueltos como sales. A diferencia de otros métodos de purificación, como el intercambio iónico o el uso de carbón

activado, la ósmosis inversa utiliza un método de acción basado en la presión que impulsa que el agua atraviese la membrana (Muñoz Guerrero, 2016).

3.2 Ozonización

Muñoz Guerrero (2016) apunta que, para garantizar que el agua destinada al envasado alcance los estándares de pureza requeridos, es necesario someterla a su descontaminación. Inicialmente, el agua se almacena en una cisterna o tanque, donde se aplica hipoclorito de sodio a el rango de 3-4 partes por millón. Dicho tratamiento, tiene como propósito prevenir la proliferación de microorganismos durante un período mínimo de dos horas. Una vez concluida esta etapa, el agua es impulsada mediante bombas hacia filtros de granillo como grava, que se encargan de retener las partículas que se encuentran suspendidas. Posteriormente, el agua pasa por un filtro de carbón activado, diseñado para eliminar olores y sabores derivados de la materia orgánica y del cloro residual. A continuación, el líquido atraviesa filtros pulidores compuestos por compartimientos sintéticos que poseen perforaciones diminutas, los cuales eliminan cualquier partícula residual de carbón que pueda permanecer en el agua. Finalmente, el agua está expuesta a una lámpara ultravioleta que ralentiza la reproducción de los microorganismos resistentes a las etapas previas, garantizando una correcta potabilización.

4. Contaminantes de origen fisicoquímico

4.1 Metales pesados

Fuentes como Avendaño Vásquez (2012) apuntan que los metales, caracterizados por su alta capacidad para conducir electricidad, suelen intervenir en las reacciones químicas bajo la forma de cationes, es decir, iones con carga positiva. Estos elementos tienen un origen natural, resultado de la meteorización de minerales que se depositaron en el ambiente debido a la actividad volcánica. Sin embargo, su presencia en el medio puede convertirse en un factor de riesgo ambiental significativo si no se controlan adecuadamente. Entre los metales más comunes que se encuentran en el entorno están el plomo, zinc, manganeso, calcio y potasio, los cuales suelen detectarse en aguas superficiales en sus formas iónicas. Por otro lado, los metales de origen artificial presentan un peligro aún mayor, ya que generalmente se generan mediante reacciones nucleares inducidas por actividades humanas y, en muchos casos, poseen propiedades radiactivas, lo que los convierte en una amenaza potencial tanto para la calidad del agua como para la salud ambiental.

Según el Lenntech (2024d), los metales pesados representan una de las categorías más peligrosas de contaminantes. Se caracterizan por tener una densidad superior a 5 g/cm^3 , lo que les da el nombre de "pesados". A diferencia de otros compuestos, los metales pesados no pueden descomponerse en elementos menos dañinos debido a que no son biodegradables. La única estrategia que tienen los organismos para mitigar los efectos nocivos de estos metales es almacenarlos en sus tejidos corporales, en un estado que no genere perjuicio. Si bien estos metales son perjudiciales en concentraciones altas, algunos microorganismos los requieren en cantidades pequeñas, ya que son esenciales para su metabolismo y a menudo forman parte de las estructuras de las enzimas necesarias para dicha función.

Como comenta Rojas (2018), los efectos nocivos asociados a los metales pesados no suelen ser detectables de forma inmediata, sino que se evidencian principalmente a mediano y largo plazo. Su eliminación resulta compleja, ya que estos elementos son absorbidos por los organismos y acumulados en sus células y tejidos. Esta bioacumulación puede provocar el desarrollo de diversas patologías con el tiempo, representando un riesgo significativo para la salud.

El cadmio, arsénico y plomo son metales pesados que representan un riesgo significativo debido a su potencial contaminante y tóxico, afectando negativamente a los seres humanos, las plantas y los animales. Sus efectos nocivos no solo impactan a las generaciones actuales, sino que también pueden repercutir en las futuras. En particular, el cadmio ha sido clasificado como un carcinógeno de tipo 1 para los seres humanos por La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés). Este elemento se encuentra en el agua con una amplia biodisponibilidad, como CdCO_3 , el cual posee una elevada toxicidad y representan un peligro grave para la salud humana (Manhualaya, 2019).

4.1.1 Plomo

Es un elemento químico metálico que está naturalmente en la litosfera. Sin embargo, su uso intensivo y su exposición en diversas actividades humanas, ha llevado a que sea considerado una sustancia altamente contaminante para el medio ambiente, debido a su persistencia y los riesgos que representa para los ecosistemas y la salud humana (WHO, 2023a).

4.1.2 Cadmio

Gonzales Poveda and Osorio Fernández (2014), menciona que, es clasificado como un elemento químico altamente contaminante y ubicado en el grupo IIB de la tabla periódica. Este metal se encuentra de forma natural en la corteza terrestre, generalmente asociado con otros minerales como cobre, plomo y zinc. Su obtención se realiza principalmente como subproducto de procesos metalúrgicos relacionados con el plomo y el zinc. Además, el desgaste de rocas fosfóricas contribuye a su manifestación en las matrices ambientales, especialmente en concentraciones menores, que suelen oscilar entre el 0.1 % y el 0.3 % en minerales de zinc. Es ampliamente utilizado en la industria química y manufacturera, pero su manejo inadecuado y la liberación de residuos fisicoquímicos al entorno lo convierten en un contaminante ambiental significativo. Su incorporación a productos de uso doméstico e industrial, como fertilizantes, exacerba su liberación continua al medio externo, incrementando su impacto negativo en los ecosistemas y la salud humana. Por estas razones, es reconocido como una de las principales sustancias responsables de la degradación de las condiciones adecuadas del medio ambiente.

4.1.3 Arsénico

Es un elemento químico ampliamente distribuido en la corteza terrestre, donde generalmente se encuentra en formas como sulfuros de arsénico, arseniuros y arseniatos metálicos. En el agua destinada al consumo humano, la principal fuente de este elemento proviene de la disolución de minerales de origen natural. La principal vía de exposición para la población general es la oral, a través de los alimentos. En ciertas regiones, especialmente las aguas subterráneas, pueden contener concentraciones elevadas de arsénico. Además, altos niveles de contenido de arsénico suelen estar directamente relacionadas con la profundidad de los pozos, (WHO, 2017).

“La intoxicación crónica por arsénico (As) relacionada con la exposición prolongada a través del agua potable es un problema mundial” (Ahmad, van der Wens *et al.*, 2020). No se ha encontrado evidencia de que el arsénico sea un elemento esencial para el ser humano. Sin embargo, es reconocido como un contaminante significativo del agua potable debido a su capacidad comprobada de inducir cáncer en las personas a través de su consumo. Estudios epidemiológicos han proporcionado pruebas contundentes que establecen una relación causal entre la ingesta de altos niveles de arsénico en el agua y el desarrollo de cáncer en diversos órganos, particularmente en la piel, la vejiga y los pulmones (WHO, 2017).

De este hallazgo sobresale la importancia de su monitoreo y control en fuentes de agua destinadas al consumo humano.

La toxicidad y reactividad del arsénico inorgánico trivalente son considerablemente mayores en comparación con su forma pentavalente, lo que ha llevado a la hipótesis generalizada de que el trivalente es la forma principal responsable de su acción cancerígena. Sin embargo, persisten incertidumbres y debates sobre los mecanismos exactos de esta acción cancerígena y sobre la naturaleza de la relación dosis-respuesta en niveles de exposición bajos. Según La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (CIIC) clasifica los compuestos inorgánicos de arsénico en el Grupo 1, indicando que son cancerígenos para los seres humanos, basándose en evidencias suficientes de su capacidad para inducir cáncer en humanos y en pruebas limitadas en experimentación animal (WHO, 2017).

4.1.4 Cobre

La exposición a niveles elevados de cobre durante un periodo igual o superior a 14 días puede generar efectos adversos significativos en la salud. En el caso de niños menores de un año, esta condición podría ocasionar daño irreversible en órganos vitales como los riñones y el hígado. En los adultos, la presencia de concentraciones altas de cobre en el agua puede provocar alteraciones en el sistema digestivo, manifestándose a través de síntomas como náuseas, vómitos, diarrea y calambres abdominales (Dozier, McFarland *et al.*, 2006).

4.2 Conductividad eléctrica

Se considera como su capacidad para transmitir electricidad, calor o sonido. En el caso de la electricidad, esta se genera por el movimiento de partículas cargadas, las cuales responden a las fuerzas ejercidas por un campo eléctrico aplicado. En la mayoría de los sólidos, la corriente eléctrica es producto del flujo continuo de electrones, un fenómeno conocido como conducción electrónica. El agua, por su naturaleza, actúa como un semiconductor de electricidad. Su conductividad varía en función de la cantidad de sustancias disueltas, ya que estas incrementan la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica. Este proceso depende, en gran medida, de la disponibilidad de electrones para participar en el transporte de carga. Por su parte, los metales son excelentes conductores eléctricos debido a la abundancia de electrones libres que pueden ser fácilmente activados hacia estados energéticos disponibles. En este sentido, la medición de la

conductividad del agua puede utilizarse como un indicador indirecto de la concentración de metales disueltos en ella (Lenntech, 2024a).

Esta técnica resulta particularmente útil para evaluar la calidad del agua en sistemas como las despachadoras automáticas, donde es fundamental asegurar que el contenido de metales disueltos cumpla con los estándares establecidos para el consumo humano bajo la normativa correspondiente.

4.3 pH y alcalinidad

Se consideran parámetros estrechamente relacionados, ya que el pH juega un papel fundamental en numerosos procesos químicos que ocurren en el agua. Determinadas reacciones, como las del cloro, solo se llevan a cabo dentro de un rango específico de pH, generalmente entre 6.5 y 8. El pH se utiliza como un indicador de la acidez o alcalinidad de una sustancia y se determina por la concentración de iones de hidrógeno libres (H^+) presentes en ella. La acidez es una propiedad clave del agua, ya que esta tiene la capacidad de disolver la mayoría de los iones, mientras que el pH permite evaluar el equilibrio entre los protones (H^+) y los iones hidroxilo (OH^-); cuando ambas concentraciones son iguales, el agua se considera neutra, con un pH cercano a 7 (Lenntech, 2024c). Este equilibrio es crucial para mantener las condiciones óptimas en aplicaciones como las despachadoras automáticas de agua, donde la estabilidad del pH influye directamente en la eficacia de los procesos de desinfección y en la calidad final del producto destinado al consumo humano.

Las características físicas, biológicas y químicas del agua potable son de vital importancia, ya que incluso ligeras variaciones en estos parámetros pueden repercutir significativamente en la salud humana. Entre estos, el pH destaca como un factor esencial, ya que influye de manera determinante en la calidad del agua y en los niveles de contaminación presentes en los cuerpos hídricos. El pH no solo condiciona la interacción química del agua con otras sustancias, sino que también afecta los procesos biológicos y la estabilidad de los contaminantes (Jonnalagadda & Mhere, 2001), lo que subraya su relevancia en la gestión y monitoreo de la calidad del agua, como en las despachadoras automáticas de agua en Torreón, Coahuila. Sin embargo, el pH del agua potable no tiene ningún efecto directo en los seres humanos.

4.4 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) se refiere a la cantidad de oxígeno presente en el agua en forma disuelta. Este oxígeno puede ingresar al agua a través de diversos mecanismos, como la difusión desde el aire circundante, la aireación generada por el movimiento del agua en cascadas o rápidos, y como subproducto de la fotosíntesis realizada por organismos acuáticos. Para garantizar un entorno saludable para la vida acuática, las concentraciones totales de gases disueltos en el agua no deben superar el 110 %. Valores por encima de este límite pueden ser dañinos para los organismos acuáticos. Por ejemplo, los peces expuestos a aguas con exceso de gases disueltos pueden desarrollar la "enfermedad de la burbuja de gas", aunque este fenómeno es poco común. Esta afección ocurre cuando burbujas o émbolos bloquean el flujo sanguíneo en los vasos, lo que puede provocar la muerte. Además, es posible observar burbujas externas, conocidas como enfisema, en las aletas, la piel u otros tejidos de los peces. En términos de calidad del agua para consumo humano, un nivel elevado de oxígeno disuelto es beneficioso, ya que contribuye a mejorar el sabor del agua potable (Lenntech, 2024b).

Este parámetro es especialmente relevante en sistemas de tratamiento y distribución de agua, como las despachadoras automáticas, que buscan ofrecer agua de alta calidad en localidades como Torreón, Coahuila.

El OD es un componente esencial para mantener una calidad adecuada del agua, ya que es indispensable para sustentar la vida en los ecosistemas acuáticos. Los procesos de purificación natural en los cuerpos de agua requieren niveles óptimos de oxígeno para apoyar la supervivencia de los organismos aeróbicos. Cuando los niveles de OD descienden por debajo de 5.0 mg/L, los organismos acuáticos comienzan a experimentar estrés, y este aumenta a medida que la concentración de oxígeno disminuye aún más. Si los niveles de oxígeno se mantienen entre 1 y 2 mg/L durante algunas horas, pueden ocurrir mortandades masivas de peces. Además de su impacto biológico, el oxígeno influye significativamente en otros indicadores de calidad del agua, incluyendo parámetros bioquímicos y características estéticas como el olor, la transparencia y el sabor. Por esta razón, el oxígeno disuelto se considera uno de los indicadores más robustos y representativos de la calidad del agua (Lenntech, 2024b).

En el contexto de las despachadoras automáticas en Coahuila, garantizar niveles adecuados de OD es fundamental para ofrecer agua potable segura y de alta calidad para el consumo humano.

4.5 Turbidez

La turbiedad es una propiedad del agua que se refiere a su capacidad para dispersar un haz de luz. Este fenómeno suele originarse por la presencia de partículas suspendidas, tales como arcilla proveniente de la erosión del suelo, algas o proliferaciones bacterianas. La turbiedad actúa como un indicador indirecto de la concentración de partículas presentes en un líquido. Su medición se basa en el efecto de dispersión que estas partículas generan al interactuar con la luz, un proceso que depende del número, tamaño y forma de las partículas en suspensión (Morales Osorio, 2019). En el encuadre de la calidad del agua, especialmente en despachadoras de agua potable, controlar la turbiedad es esencial, ya que este parámetro no solo afecta la apariencia del agua, sino que también influye en la eficacia de los procesos de desinfección y tratamiento, lo que lo convierte en un indicador clave para garantizar la seguridad de su potabilidad.

4.9 Minerales

“La presencia de calcio (Ca), Magnesio (Mg), carbonatos (CO_3^{-2}) y bicarbonatos (HCO_3^{-2}), etc., representa la dureza del agua, es decir, la concentración de sales contenidas en una muestra de agua. La dureza del agua está determinada por la concentración de cationes multivalentes, predominantemente calcio y magnesio. El agua dura se define como aquella que tiene una mayor concentración de carbonato de calcio (CaCO_3) que el agua blanda” (Willis *et al.*, 2019). En términos de Bouchard-Mercier, Rudkowska *et al.* (2013) diversos factores afectan los resultados relacionados con la calidad del agua, entre ellos, la variabilidad de las características demográficas y sociales de las poblaciones a nivel global, las diferencias en los sistemas de salud pública y los métodos utilizados para el tratamiento del agua. Estas influyen significativamente en los estándares de calidad, la percepción del riesgo y la eficacia de las estrategias implementadas para garantizar agua potable segura.

Estas consideraciones son cruciales para adaptar las tecnologías y los protocolos de tratamiento a las necesidades específicas de la comunidad local.

Union (2019), sugiere que, recomienda establecer concentraciones mínimas de calcio, magnesio o sólidos disueltos totales en aguas que han pasado por procesos de ablandamiento o desmineralización, teniendo en cuenta las características del agua de entrada a estos sistemas, debido a que el agua destinada al consumo humano no debe presentar características agresivas ni

corrosivas, especialmente cuando ha sido sometida a procesos de tratamiento como desmineralización, ablandamiento, tratamientos con membranas o mediante ósmosis inversa. Comenta que ya es posible considerar la reintroducción de dichas sales, como calcio y magnesio, para bajar los riesgos potenciales para la salud y reducir la corrosión o agresividad del agua. Incluso, se puede contribuir a mejorar el sabor del agua tratada.

Como lo comenta Kozisek (2020), se ha comprobado empíricamente, que tanto las concentraciones excesivamente bajas como muy altas de calcio (Ca) y magnesio (Mg), así como la dureza total del agua potable, son factores que contribuyen a problemas como la corrosión, la formación de incrustaciones y alteraciones en el sabor del agua. Además, una considerable cantidad de estudios científicos realizados en las últimas seis décadas ha señalado que los desequilibrios en los niveles de estos minerales en el agua pueden estar relacionados con diversos problemas de salud. Un ejemplo destacado es que el consumo de agua con niveles bajos de magnesio (Mg) está asociado con un aumento significativo en el riesgo de mortalidad cardiovascular.

Mantener un balance adecuado de estos minerales en el agua, es sustancial para prevenir problemas en la calidad del agua.

Se dice que, puede ser menos aceptada el agua con concentraciones elevadas de calcio (Ca) y magnesio (Mg), ya que su sabor cambia, especialmente cuando estos niveles se combinan con un alto contenido de sólidos disueltos totales (TDS). Esta combinación podría adquirir e incrementar el riesgo de formación de cálculos renales y otros problemas, así como contribuir al desarrollo de condiciones como la artritis. No obstante, la carga asociada a estas afecciones es significativamente menor en comparación con los riesgos de mortalidad por enfermedades cardiovasculares relacionados con el consumo de agua con bajas concentraciones de Ca y Mg. Cabe destacar que existe evidencia que sugiere que el calcio puede desempeñar un papel protector contra ciertos tipos de cálculos renales, ya que contribuye a reducir la excreción urinaria de oxalato, uno de los componentes principales de estas formaciones (Curhan, Willett *et al.*, 1993).

Como ocurre en pacientes con diagnóstico de diabetes, dicha circunstancia, podría generar complicaciones, especialmente en individuos con un elevado riesgo de padecer disfunción renal (Bykowska-Derda, Sychala *et al.*, 2023).

“El agua con niveles altos de Ca es susceptible de causar incrustaciones, y el agua con niveles muy altos de Mg, junto con niveles altos de sulfato, causa diarrea transitoria” (Rosborg & Kozisek, 2019).

Teniendo en cuenta la información referente al cobre, se considera que debe existir un equilibrio adecuado de minerales, ya que al saber que su contenido afecta en el sabor, podría incluso involucrar pérdidas económicas por la posible menor aceptabilidad de la población que la consume.

5. Legislación Nacional aplicable

5.1 Normas Oficiales Mexicanas (NOM) relacionadas

5.1.1 NOM-127-SSA1-2021. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.

La NOM-127-SSA1-2021, indica que es necesario establecer y mantener actualizados los límites permisibles en términos de sus características físicas, químicas, microbiológicas y radiológicas. Esto asegura la preservación de la calidad del agua que se distribuye a los usuarios a través de los sistemas de abastecimiento, ya sean de gestión pública o privada (SSA1, 2021).

5.1.2 NOM-179-SSA1-2020. Agua para uso y consumo humano. Control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua.

Sin importar si su fuente es superficial o subterránea, el agua destinada al uso y consumo humano, debe someterse a procesos de potabilización para minimizar los riesgos a la salud de la población. Este tratamiento es fundamental para prevenir enfermedades infecciosas, parasitarias y aquellas asociadas a la ingesta de sustancias tóxicas presentes en el agua. El control sanitario del agua debe implementarse bajo un enfoque basado en riesgos, priorizando un esquema integral de caracterización y monitoreo de parámetros clave. Este proceso debe iniciar con la identificación de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del recurso hídrico, garantizando así su calidad y seguridad para su uso y consumo correspondiente (SSA1, 2020).

5.1.3 NOM-201-SSA1-2015, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.

“Establece las características y especificaciones sanitarias que deben cumplir el agua y el hielo para consumo humano que se comercialice preenvasado o a granel y los establecimientos que se dediquen al proceso o importación de dichos productos” (SSA1, 2015).

5.1.4 NOM-117-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

La presente norma, la NOM-117-SSA1-1994, que regula los métodos de análisis basados en la espectrometría de absorción atómica, utilizados para cuantificar la presencia de metales como cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, bebidas, agua potable y agua purificada. Estos procedimientos garantizan la precisión en la identificación y medición de estos elementos, asegurando el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad en productos destinados al consumo humano (SSA1, 1994).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo, fue llevado a cabo en el laboratorio del Departamento de Riego y Drenaje, así como en el Laboratorio de Suelos, pertenecientes a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, (UAAAN-UL). (25.555145137979462, -103.37463573580972), ubicada en la ciudad de Torreón, Coahuila, México.

1. Descripción del proyecto – Muestreo y determinación

Consistía, en realizar muestreo de agua purificada perteneciente a diferentes plantas despachadoras de ubicadas en la ciudad de Torreón, Coahuila. Debido a lo cual, se solicitó a través del Portal de Transparencia del Municipio de Torreón, la información de las plantas despachadoras automáticas de agua purificada existentes; en correspondencia, dicho municipio proporcionó una enlistado, la mayoría con giro de “Comercio al por menor de agua purificadas”.

Aleatoriamente, se recopilaron las plantas que contasen con el mismo giro, de las cuales se seleccionaron como 20 puntos de muestreo en la ciudad (Figura 1), donde se realizó el recorrido de recolección el día 9 de marzo del año 2024, de los cuales, 4 no se encontraban en funcionamiento, por lo que la recopilación, finalizó con un total de 16 muestras representativas de agua purificada, conteniendo un volumen de 1L cada una.

PURIFICADORAS		
No.	Coordenadas	
	Y	X
1	2,897,625.9567	1,881,053.0557
2	2,903,610.5500	1,876,515.3152
3	2,898,377.4028	1,875,703.5687
4	2,901,771.7946	1,872,283.9681
5	2,899,183.1948	1,870,344.3560
6	2,898,869.6138	1,870,012.9911
7	2,899,058.9524	1,869,701.8787
8	2,895,362.2332	1,867,100.3254
9	2,895,252.8424	1,868,398.2038
10	2,895,755.2185	1,869,065.4292
11	2,895,991.2810	1,869,881.3256
12	2,896,502.8082	1,871,421.9341
13	2,895,963.2629	1,872,062.4863
14	2,895,890.1964	1,872,457.7210
15	2,896,071.1233	1,875,169.4012
16	2,893,678.1975	1,876,293.3273
17	2,893,046.1363	1,876,802.3933
18	2,895,134.1124	1,878,663.5571
19	2,896,371.6648	1,878,464.6084
20	2,896,817.0273	1,881,995.6795

Figura 1. 1 Coordenadas, despachadoras de agua purificada seleccionadas

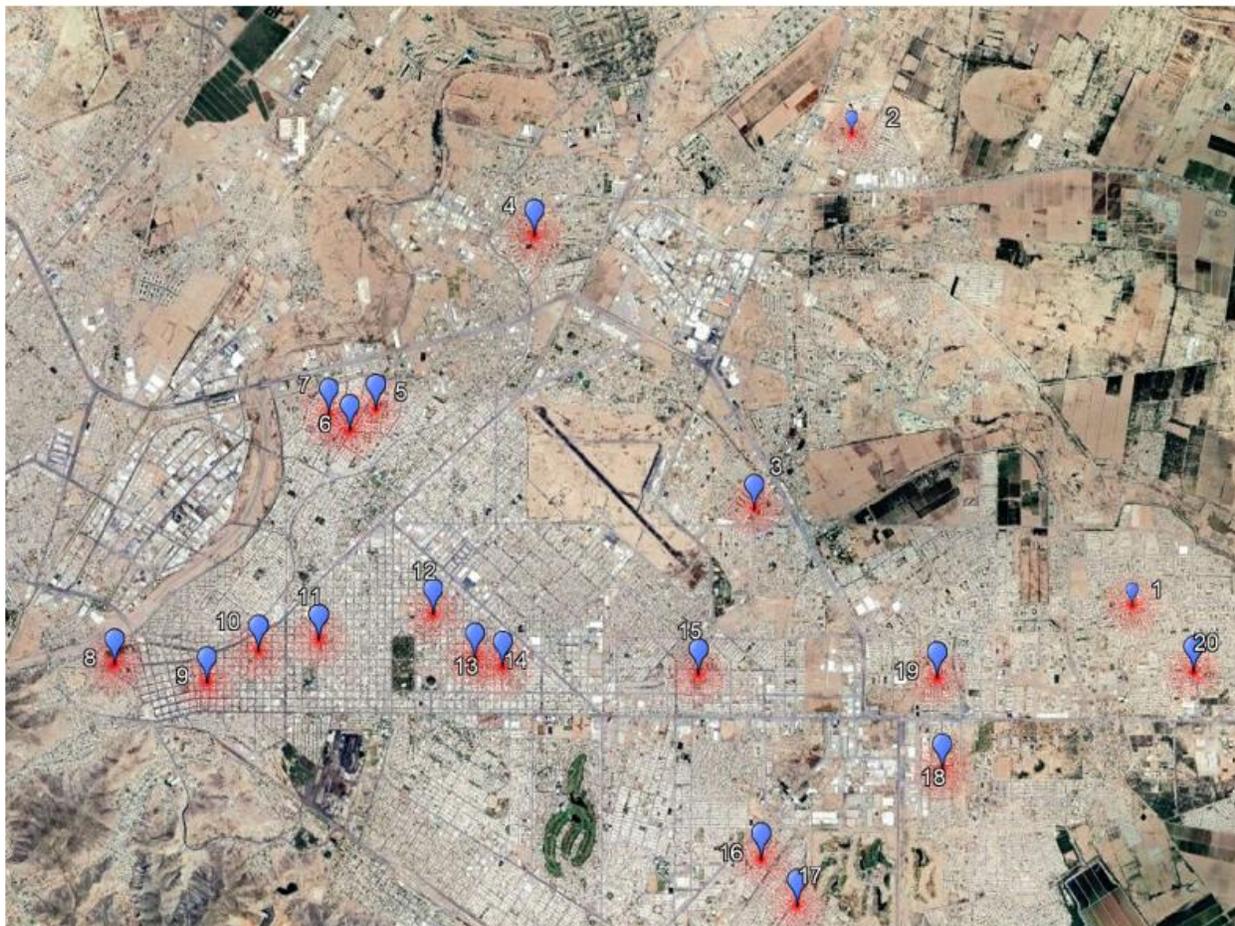


Figura 1. 2 Mapa Satelital, despachadoras de agua purificada seleccionadas

Posteriormente, se les efectuó una serie de metodologías con el objetivo de evaluar un total de 14 parámetros, que, más adelante, serán representados. Asimismo, se sometieron a única repetición.

- pH
- Turbidez
- Oxígeno disuelto (OD)
- Calcio (Ca)
- Magnesio (Mg)
- Carbonatos (CO_3^-)
- Bicarbonatos (HCO_3^-)
- Conductividad eléctrica (CE)
- Sulfatos (SO_4)

- Cloruros (Cl)
- Arsénico (As)
- Plomo (Pb)
- Cadmio (Cd)
- Cobre (Cu)

De modo que, fuesen útiles para la evaluación de su calidad para consumo humano.

2. Procedimientos

2.1 Determinación de calcio y magnesio

2.2 Determinación de $Ca^{++} + Mg^{++}$

En un matraz de 125 ml., se colocó 5 ml. de la muestra. Agregando 5 ml. de agua destilada, un mililitro de solución buffer, una gota de Negro de Eriocromo T (ENT), para agitar y por último titular con la solución de EDTA 0.02 N. Observándose el cambio de color de rojo vino a azul, se registra el volumen empleado para la titulación.

$$\frac{meq}{lto} Ca^{++} + Mg^{++} = \frac{ml EDTA \times N \times 1000}{ml muestra}$$

2.3 Determinación de Ca^{++}

En un matraz de 125 ml., colocar 5 ml. de la muestra. Agregar 5 ml de agua destilada, 5 gotas de dietilditiocarbamato de sodio al 10, 5 gotas de NaOH 4 N, una pizca de murexida, agitar y por último titular con la solución de EDTA 0.02 N. Se registró el volumen con el que se tituló.

$$\frac{meq}{lto} Ca^{++} = \frac{ml EDTA \times N \times 1000}{ml muestra}$$

$$Ca^{++} + Mg^{++} = X$$

$$meq/LtoMg^{++} = X - Ca^{++}$$

2.4 Determinación de carbonatos y bicarbonatos

2.4.1 Carbonatos (CO_3^{-2})

En un matraz Erlenmeyer de 25ml, vaciar la muestra de 5ml de agua, junto a 5ml de agua destilada, luego, se agregaron 3 gotas de fenolftaleína. Finalmente, se tituló con H_2SO_4 0.01 N, hasta decoloración de la muestra.

Nota. (Si al agregar el indicador, la muestra queda incolora, esto indica que no hay presencia de carbonatos). Si toma un color rosado, se continúa con el siguiente paso.

2.4.2 Bicarbonatos (HCO_3^{-2})

Al matraz que contiene la muestra ya decolorada, agregarle 3 gotas de anaranjado de metilo y se tituló con H_2SO_4 0.01 N, hasta que la muestra que era amarilla tome un color naranja. Con el volumen empleado que se registró, aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{meq/ltoCO}_3^{-2} = \frac{(\text{volumen empleado del \text{Ácido Sulfúrico}})(N)(1000)}{\text{ml. de la muestra empleados en la determinación}}$$

$$\text{HCO}_3^{-2} = \frac{(\text{volumen empleado del \text{Ácido Sulfúrico}})(N)(1000)}{\text{ml. de la muestra empleados en la determinación}}$$

2.5 Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE)

Para dichas determinaciones, se realizaron con equipos potenciómetros portátiles marca Thermo Scientific, para el pH, fue realizada con el modelo Orion 420 A, y, en el caso de la CE, con el equipo Orion Star A212, introduciendo el electrodo directamente a los recipientes de las muestras de agua recolectadas.

2.6 Determinación de sulfatos

Tomando en cuenta que se empleó el método ASTM D 516-90, fue posible operar con cualquier espectrofotómetro que se pueda operar a 420 nanómetros de longitud de onda, con celdas de 1 cm. En este caso, se utilizó un fotómetro, SO 118 MERCK, en el que se trabaja con una longitud de onda de 405nm.

2.7 Determinación de cloruros

Se tomaron 5ml de muestra de agua en un matraz de 125ml y añadir 5ml de agua destilada, luego, se agregaron 3 gotas de cromato de potasio, y, finalmente, se tituló con nitrato de plata 0.01N hasta un cambio de color amarillo a rojo ladrillo.

Cálculos

$$\frac{meq}{lt} de Cl^{-} = \frac{(V AgNO_3)(N AgNO_3)1000}{ml muestra}$$

Donde: 1000 es el factor de conversión

V AgNO₃= Volumen del gasto de Nitrato de plata para titular los cloruros.

N AgNO₃= Normalidad del Nitrato de plata.

ml muestra= mililitros de muestra de agua tomados para la determinación.

2.8 Determinación de Oxígeno Disuelto (OD)

El procedimiento fue realizado con el fotómetro multiparamétrico, modelo HI 83 200, marca HANNA, con una adaptación del método Winkler modificado del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (18ª edición). (APHA, 1992).

2.9 Medición de turbidez

Para la medición de este parámetro, fue usado el Turbidímetro 2100P de la marca (HACH, 2014). Previamente calibrado específicamente para su uso, siguiendo la metodología dentro de su manual de uso.

2.10 Determinación de cadmio, plomo y cobre

Para la determinación de la concentración de estos metales en muestras de agua purificada, fueron realizadas con la espectrofotometría de Absorción Atómica, “Tiene por finalidad medir la cantidad de luz de la longitud de onda resonante la cual se absorbe cuando la luz pasa a través de una nube electrónica del átomo en análisis” (Calderón D. & Aponte Huamán, 2014); que consiste en tomar 100ml del agua de muestra, añadiéndosele 5 gotas de ácido nítrico, y permitir que, con el uso de placas de calentamiento, se precipite hasta llegar a 25ml de volumen de la muestra. Posteriormente, se permite que su temperatura se encuentre en condiciones normales (25°C), para realizar la medición correspondiente con el equipo de la marca Perkin-Elmer, modelo 2380.

La espectroscopia de absorción atómica, es utilizada con el fin de analizar cuantitativamente, los elementos químicos. Fundamentada en la propiedad de los átomos, que una vez experimentan energía, se dirigen a mayores niveles de energía para después, disminuir, como resultado se absorbe o despiden energía en forma de luz (Rojas, 2018).

2.11 Determinación de arsénico

Para el cálculo del contenido de arsénico en las muestras, se utilizó el equipo Digital arsenator marca *Palintest*, siguiendo las instrucciones de acuerdo al manual.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No. muestra	SO ₄	Cl	Ca	Mg	CO ₃	HCO ₃
unidades	Abs	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	0.05	0.20	0.24	0.16	0	0.20
2	0.09	0.16	0.4	0.32	0	0.36
3	0.06	0.16	0.04	0.04	0	0.36
4	0.06	0.24	0.08	0.08	0	1.8
5	0.05	0.10	0.48	0.32	0	0.28
6	0.04	0.12	0.4	0.48	0	0.24
7	0.07	0.24	0.24	0.8	0	0.32
8	0.05	0.24	0.4	0.8	0	0.4
9	0.03	0.36	0.24	0.4	0	0.36
10	0.54	0.92	2.4	1.12	0.4	3.08
11	0.03	0.24	0.08	0.16	0	0.20
12	0.21	0.56	0.08	0.32	0	1
13	0.05	0.28	0.24	0.08	0	0.4
14	0.05	0.24	0.16	0.16	0	0.24
15	0.06	0.20	0.24	0.08	0	0.20
16	0.06	0.24	0.16	0.16	0	0.4
LMP NOM						
127	400mg/L	1.50mg/L	20mg/L	10mg/L	-----	-----

Tabla 1. Resultados comparativos con NOM-127-SSA1-2021.

Contenido sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, carbonatos y bicarbonatos en agua purificada.

VALORES	
	Mínimo
	Máximo

De acuerdo con los valores obtenidos en el análisis, destaca particularmente la muestra número 10, ya que presentó los niveles más altos en todos los parámetros evaluados. Este hecho es relevante porque fue la única muestra que reveló la presencia de carbonatos y bicarbonatos, los cuales son sales capaces de elevar el pH de una solución a medida que aumenta su concentración, lo que en este caso influye en el pH del agua destinada al consumo humano.

Como se mencionó con anterioridad, solo una muestra contiene carbonatos, coincidiendo con Baccaro, Degorgue *et al.* (2006), donde tuvieron 0 mg/L en carbonatos. Es importante recalcar que, aunque los valores obtenidos para esta muestra son máximos en comparación con las demás, ninguno excede los límites establecidos por la NOM-127-SSA1-2021., (SSA1, 2021), que lo que indica que el agua analizada cumple con los estándares de calidad para consumo humano.

En el caso del Mg, se obtuvieron resultados un tanto similares a los del trabajo de Jiménez *et al.* (2018), donde se analizó agua purificada de fuentes fijas y de pipas abastecedoras. Sus valores oscilaron desde dos extremos, de 0.48-1.68mg/L, hasta llegar incluso a 0 mg/L. En cuanto a los bicarbonatos, la más alta contó con 3mg/L.

Sin embargo, también se observó que las variaciones más significativas en los valores mínimos se distribuyen entre las distintas muestras analizadas, lo que refleja una diversidad en las características químicas del agua entre los puntos de muestreo. Esto podría estar relacionado con factores como la fuente de abastecimiento, los procesos de tratamiento aplicados o incluso las condiciones de almacenamiento en las despachadoras automáticas.

No. muestra	pH	CE	OD	Turbidez	VALORES	
unidades	unidades de pH	$\mu\text{S/cm}$	mg/L	NTU		
1	5.91	10.54	9.8	0.18		Mínimo
2	5.84	16.96	10	0.84		Máximo
3	6.24	25.88	10	0.09		
4	7.82	175.1	10	0.23		
5	5.80	13.62	9.1	0.1		
6	5.00	4.64	10	0.15		
7	6.18	58.52	10	0.13		
8	6.53	29	9.3	0.08		
9	6.93	39.87	10	0.13		
10	7.92	515.6	10	0.27		
11	6.50	19.16	10	0.18		
12	7.37	248.9	10	0.24		
13	6.26	34.69	10	0.18		
14	6.46	9.176	10	0.25		
15	6.84	13.28	10	0.14		
16	6.63	15.53	10	0.1		
} LMP NOM 127 6.5-8.5 2500$\mu\text{S/cm}$ $\geq 4 \text{ mg/L}$ 3 NTU						

Tabla 2. Resultados comparativos con NOM-127-SSA1-2021. Ahora bien, en relación al análisis del pH, se observó que las muestras 1, 2, 5 y 6 presentaron valores de potencial de hidrógeno por debajo del rango permitido. Las cifras resultantes del presente trabajo, rondan 5-7.92, a diferencia de las reportadas por Márquez, González *et al.* (2015), las cuales rondan entre 6.71-8.2. Sin embargo, según la literatura revisada, el pH del agua potable no tiene un impacto directo en la salud humana, siempre y cuando se mantenga dentro de límites razonables.

Esto implica que, aunque los valores detectados estén por debajo del rango establecido, no representan un riesgo inmediato para el consumo humano. Por lo tanto, estas muestras pueden considerarse seguras desde el punto de vista del pH, ya que no generan efectos adversos significativos en la salud.

En cuanto a otros parámetros analizados, como la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto (OD) y la turbidez, los valores registrados se mantuvieron dentro de límites normales y no excedieron los límites máximos permitidos (LMP). La conductividad eléctrica, que está directamente

relacionada con la concentración de sólidos disueltos en el agua, mostró resultados consistentes, indicando que no hay un exceso de sales o contaminantes iónicos en las muestras analizadas.

El oxígeno disuelto, aunque presentó algunos valores marcados como máximos, no representa un riesgo, ya que se encuentra dentro del intervalo considerado adecuado para el agua potable, según lo estipulado por la normativa. Es importante mencionar que el límite permisible del OD establece que debe ser igual o mayor a 4 NTU para garantizar condiciones óptimas para el consumo humano y evitar efectos negativos en la calidad organoléptica del agua. Asimismo, los valores de turbidez no superaron los límites establecidos, indicando que la claridad del agua y la cantidad de partículas suspendidas se encuentran en niveles aceptables.

En resumen, aunque algunas muestras presentaron desviaciones en el pH hacia valores menores, esto no compromete la calidad del agua para el consumo humano. Los parámetros adicionales, como la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la turbidez, se mantuvieron dentro de los estándares normativos, asegurando así que el agua analizada en estas despachadoras automáticas cumple con los requisitos de calidad necesarios para su distribución y consumo en Torreón, Coahuila. Sin embargo, es fundamental continuar con el monitoreo periódico para garantizar que estos indicadores permanezcan dentro de los límites establecidos y prevenir cualquier posible alteración en la calidad del agua.

No. muestra	Cu	Pb	Cd	As	VALORES	
Unidades	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		Mínimo
1	0.01	0.05	0.075	0.022		Máximo
2	0.01	0.03	0.076	0		
3	0.01	0.02	0.072	0		
4	0.01	0.02	0.083	0.003		
5	0.01	0.03	0.090	0		
6	0.01	0.03	0.075	0.007		
7	0.01	0.04	0.088	0.005		
8	0.01	0.02	0.085	0.012		
9	0.01	0.03	0.088	0.015		
10	0.01	0.03	0.074	0.013		
11	0.00	0.03	0.086	0.008		
12	0.01	0.03	0.093	0.006		
13	0.01	0.04	0.090	0		
14	0.01	0.04	0.085	0.013		
15	0.00	0.04	0.086	0.009		
16	0.01	0.05	0.093	0.003		
LMP NOM 127	2mg/L	0.01mg/L	0.005 mg/L	0.025mg/L		

Tabla 3. Metales pesados. Contenido de cobre, plomo, cadmio y arsénico.

Por otro lado, el arsénico (As) en las muestras de agua estudiadas, se identificaron varias con niveles nulos, específicamente las muestras 2, 3, 5 y 13. Sin embargo, la muestra 1 presentó una concentración notablemente elevada de 0.022 mg/L, acercándose peligrosamente al Límite Máximo Permissible (LMP) establecido por la normativa nacional vigente (SSA1, 2021), que regula los valores aceptables de arsénico para garantizar la seguridad del agua potable. No obstante, la muestra 10, aunque destacó previamente por valores elevados en otros parámetros, en el caso específico del arsénico se mantuvo dentro del rango permitido.

En cuanto a los niveles de plomo (Pb), los resultados reflejan una variabilidad significativa entre las muestras, con concentraciones que, en varios casos, superaron el LMP. Este hallazgo es preocupante, dado que el plomo es un metal pesado conocido por sus efectos tóxicos acumulativos en la salud humana, especialmente en sistemas neurológicos y en el desarrollo infantil.

Por su parte, el cadmio (Cd) mostró un comportamiento uniforme en las muestras analizadas, pero también presentó concentraciones elevadas en algunos casos, lo cual resalta la necesidad de un monitoreo riguroso de este contaminante debido a su capacidad para causar daños renales y óseos en exposiciones prolongadas.

Finalmente, los análisis de cobre (Cu) indicaron niveles notablemente bajos en la mayoría de las muestras de agua purificada. Exceptuando las muestras 11 y 15, que no presentaron ninguna concentración detectable de cobre (0 mg/L), las demás exhibieron tan solo valores mínimos de 0.01 mg/L, muy por debajo de lo establecido. Si bien esto sugiere una ausencia de riesgos asociados al exceso de cobre, que puede provocar efectos gastrointestinales o daño hepático en altas concentraciones, también podría indicar una posible pérdida de los beneficios protectores que este mineral podría ofrecer en cantidades adecuadas.

En resumen, estos resultados reflejan la importancia de implementar un control estricto y continuo sobre la calidad del agua en las despachadoras automáticas de Torreón, Coahuila, especialmente en lo que respecta a metales pesados como el arsénico, el plomo y el cadmio, que tienen implicaciones graves para la salud humana. Además, los bajos niveles de cobre acentúa lo necesario que es garantizar un balance adecuado de los componentes minerales en el agua potable, considerando tanto la seguridad como la calidad organoléptica del producto final.

CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN

La muestra #10 destaca entre las demás, debido a sus valores máximos en varios parámetros, especialmente por la presencia de carbonatos y bicarbonatos, los cuales, aunque incrementan el pH del agua, se mantienen dentro de los límites establecidos por la NOM-127-SSA1-2021. En cambio, el análisis del pH muestra que algunas muestras, específicamente las 1, 2, 5 y 6, presentan niveles por debajo del rango permitido. Sin embargo, es importante señalar que, aunque el pH por debajo de los valores recomendados podría no ser ideal desde el punto de vista físico, no representa un peligro inmediato. En cuanto a otros parámetros, como la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la turbidez, los resultados fueron satisfactorios, con valores que se mantuvieron dentro de los límites aceptables, lo que indica una calidad de agua estable y segura.

En comparación con el objetivo, es necesario recalcar como sugerencia la mejoría de procesos que se llevan a cabo para procesar el agua, y las condiciones en las que se abastece la población, por lo que se puede determinar, que la calidad del agua de la región de la comarca lagunera, es rica en metales pesados, lo cual es un factor muy preocupante para los habitantes que la consumen.

En general, el agua purificada de las plantas despachadoras de Torreón Coahuila, cuenta con una calidad regular en la mayoría de parámetros, salvo a los metales pesados. Es fundamental continuar con la vigilancia y el análisis periódico de los principales contaminantes, para garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad, y contribuir a la prevención de posibles problemas de salud a largo plazo.

REFERENCIAS

- Adesakin, T. A., Oyewale, A. T., Bayero, U., Mohammed, A. N., Aduwo, I. A., Ahmed, P. Z., . . . Barje, I. B. (2020). Assessment of bacteriological quality and physico-chemical parameters of domestic water sources in Samaru community, Zaria, Northwest Nigeria. *Heliyon*, *6*(8), e04773. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04773
- Ahmad, A., van der Wens, P., Baken, K., de Waal, L., Bhattacharya, P., & Stuyfzand, P. (2020). Arsenic reduction to < 1 µg/L in Dutch drinking water. *Environment International*, *134*, 9. doi:10.1016/j.envint.2019.105253
- Ante, A. A., Bogale, G. A., & Adem, B. M. (2023). Bacteriological and physicochemical quality of drinking water and associated risk factors in Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, *9*(1), 15. doi:10.1080/23311932.2023.2219473
- APHA. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater American Public Health Association*.
- Avendaño Vásquez, M. (2012). *Análisis de la calidad del agua procedente de la planta purificadora utilizada en el Hospital Nacional Pedro de Bethancourt de la Aldea San Felipe de Jesús, Antigua Guatemala*. (Informe de tesis, licenciatura), Universidad de San Carlos de Guatemala, Biblioteca Farmacia USAC. Retrieved from <https://www.biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF1368.pdf>
- Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picone, L., Zamuner, E., & Andreoli, Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata 5, 7.
- Bados, B., & Yhomara, J. (2022). *Determinación de la calidad de agua para consumo humano de las fuentes de abastecimiento de la localidad de Quillazú del distrito de Oxapampa, provincia de Oxapampa, región Pasco–2019*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Repositorio Institucional UNDAC. Retrieved from <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2873>
- Bouchard-Mercier, A., Rudkowska, I., Lemieux, S., Couture, P., & Vohl, M. C. (2013). The metabolic signature associated with the Western dietary pattern: a cross-sectional study. *Nutrition Journal*, *12*, 9. doi:10.1186/1475-2891-12-158
- Bykowska-Derda, A., Spychala, M., Czlapka-Matysik, M., Sojka, M., Bykowski, J., & Ptak, M. (2023). The Relationship between Mortality from Cardiovascular Diseases and Total Drinking Water Hardness: Systematic Review with Meta-Analysis. *12*(17), 3255.
- Calderón D., I., & Aponte Huamán, M. (2014). *Validación de un método de análisis por espectroscopía de absorción atómica para minerales de plomo en el laboratorio del Grupo Glencore Unidad Minera Santander-Trevali*. (Experimental comparativa), Universidad Nacional del Centro del Perú, Renati Registro Internacional de Investigación. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3720>
- Curhan, G., C., Willett, C., W., Rimm, B., & Stampfer, M. (1993). A Prospective Study of Dietary Calcium and Other Nutrients and the Risk of Symptomatic Kidney Stones. *The New England Journal of Medicine*, *328* No.12, 833-838. doi:<https://doi.org/10.1056/NEJM199303253281203>
- Daud, M. K., Nafees, M., Ali, S., Rizwan, M., Bajwa, R. A., Shakoob, M. B., . . . Zhu, S. J. (2017). Drinking Water Quality Status and Contamination in Pakistan. *Biomed Research International*, *2017*, 18. doi:10.1155/2017/7908183
- Dozier, M. C., McFarland, M. L., & Lesikar, B. J. (2006). *Problemas del agua potable: El cobre: Cooperative de Texas Extensión, El Sistema Universitario Texas A & M*.
- Gholson, D. M., Boellstorff, D. E., Cummings, S. R., Wagner, K. L., & Dozier, M. C. (2018). Consumer water quality evaluation of private and public drinking water sources. *Journal of Water and Health*, *16*(3), 369-379. doi:10.2166/wh.2018.206
- Gonzales Poveda, L. A., & Osorio Fernández, J. (2014). Determinación espectrofotométrica por absorción atómica de la concentración de cadmio y arsénico en aguas de consumo humano de la comunidad urbana de Chuquitanta-distrito de San Martín de Porres.

- HACH. (2014). Turbidímetro portátil modelo 2100.
- INEGI. (2018). Cerca de la mitad de los hogares realizan algún tipo de separación o clasificación de la basura: módulo de hogares y medio ambiente (Spanish). Retrieved 4, mayo 2024
http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/GrfiaMdoAmte/MOHO MA2018_06.pdf
- Jiménez, C. H., Castillejos, G. R., González, R. I. A., & Cano, E. G. J. B. (2018). Análisis fisicoquímico y microbiológico de agua purificada en Reynosa, Tamaulipas. *20*(1), 41-46.
- Jonnalagadda, S., & Mhere, G. (2001). *Water Quality of the Odzi River in the Eastern Highlands of Zimbabwe*. (Vol. 35).
- Kamalapriya, V., Mani, R., Venkatesh, V., Kunhikannan, S., & Ganesh, V. S. (2023). The Role of Low Mineral Water Consumption in Reducing the Mineral Density of Bones and Teeth: A Narrative Review. *Cureus Journal of Medical Science*, *15*(11). doi:10.7759/cureus.49119
- Kamani, H., Mirzaei, N., Ghadepoori, M., & Bazrafshan, E. (2017). Concentration and ecological risk of heavy metal in street dusts of Eslamshahr, Iran. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, *24*, 1-10. doi:DOI:10.1080/10807039.2017.1403282
- Kozisek, F. (2020). Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, *112*, 8. doi:10.1016/j.yrtph.2020.104589
- Lenntech. (2024a). Water conductivity. *Water treatment solutions*. Retrieved from <https://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua.htm>
- Lenntech. (2024b). Water treatment solutions. *Why is important the oxygen dissolved in water*. Retrieved from https://www.lenntech.es/periodic/water/oxygen/why_the_oxygen_dissolved_is_important.htm#:~:text=El%20Ox%C3%ADgeno%20disuelto%20adecuando%20es,las%20formas%20de%20vida%20aer%C3%B3bica
- Lenntech. (2024c). Water treatment solutions. *pH y alcalinidad*. Retrieved from <https://www.lenntech.es/ph-y-alcinidad.htm>
- Lenntech. (2024d). Water treatment solutions. *Metales pesados*. Retrieved from <https://www.lenntech.es/metales-pesados.htm>
- Levin, R., Villanueva, C. M., Beene, D., Cradock, A. L., Donat-Vargas, C., Lewis, J., . . . Deziel, N. C. (2024). US drinking water quality: exposure risk profiles for seven legacy and emerging contaminants. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, *34*(1), 3-22. doi:10.1038/s41370-023-00597-z
- Loor, E. A. G., Wilson, J. V. C., Zambrano, H. Y. L., & Mosquera, R. A. C. J. D. d. I. C. (2020). Plantas purificadoras: Realidad del agua embotellada en Ecuador. In (Vol. 6, pp. 692-705).
- Lundqvist, J., & Oskarsson, A. (2024). Effect-based methods in cultured cells-Valuable tools for detection of chemical hazards in drinking water. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Water*, *14*. doi:10.1002/wat2.1730
- Manhualaya, M., E. (2019). *Determinación de cadmio, arsénico y plomo por espectrofotometría de absorción atómica en aguas de pozo de Castillo Grande-Tingo María*. (Posgrado), Universidad Nacional Mayor de San Marcos Repositorio Institucional. Retrieved from <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/d37fe740-03b9-490d-9275-304ed6c4dae0/content>
- Márquez, L. V., González, M. R., Bayter, Y. O., & Sarabia, A. B. C. (2015). Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA)*, *3*, 27-35.

- Misra, P., & Paunikar, V. M. (2023). Healthy Drinking Water as a Necessity in Developing Countries Like India: A Narrative review. *Cureus Journal of Medical Science*, 15(10), 11. doi:10.7759/cureus.47247
- Morales Osorio, J., A. (2019). *Determinación del poder coagulante de la sábila para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano—Oxapampa-2018*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Escuela de formación profesional de Ingeniería Ambiental. Retrieved from http://45.177.23.200/bitstream/undac/1422/1/T026_70495263_T.pdf
- Muñoz Guerrero, V. (2016). *Cloruros en aguas embotelladas para consumo humano*. Universidad Alas Peruanas, Retrieved from <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/1226>
- Palansooriya, K. N., Yang, Y., Tsang, Y. F., Sarkar, B., Hou, D., Cao, X., . . . Ok, Y. S. (2020). Occurrence of contaminants in drinking water sources and the potential of biochar for water quality improvement: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(6), 549-611. doi:10.1080/10643389.2019.1629803
- Parra, J. A. P. (2002). *Acueductos y alcantarillados*: Universidad Nacional de Colombia.
- Rojas, A., K. (2018). *Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca—octubre 2017*. (Experimental), Universidad Norbert Wiener, Repositorio UWiener. Retrieved from <https://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/20.500.13053/1854>
- Rosborg, I., & Kozisek, F. (2019). *Drinking Water Minerals and Mineral Balance* (Springer Ed. 2nd ed.).
- Siddique, S., Kubwabo, C., & Shelley, A., H. (2016). A review of the role of emerging environmental contaminants in the development of breast cancer in women. *Emerging contaminants*, 2(4), 204-219. doi:<https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.12.003>
- NOM-117-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica., (1994).
- NOM-201-SSA1-2015, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias., (2015).
- NOM-179-SSA1-2020. Agua para uso y consumo humano. Control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua., (2020).
- NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua., (2021).
- Turdi, M., & Yang, L. (2016). Trace Elements Contamination and Human Health Risk Assessment in Drinking Water from the Agricultural and Pastoral Areas of Bay County, Xinjiang, China. 13(10), 938. <https://www.mdpi.com/1660-4601/13/10/938>
- Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the quality of water intended for human consumption (recast), (2019).
- WHO. (2017). *Guidelines for drinking-water quality: :Fourth edition incorporating the first addendum* ISBN. United Nations Department of Economic and Social Affairs Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- WHO. (2020). *Water quality and health strategy 2013-2020*. WHO (World Health Organization) Retrieved from https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/water-quality-and-health-strategy-2013-202088cf62a6-739c-40a1-aead-868b4e06a08e.pdf?sfvrsn=6a2c774c_1&download=true
- WHO. (2023a). *Lead poisoning and health*. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- WHO. (2023b). *Water Quality and Health Strategy* Retrieved from https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/water-safety-and-quality/23_who_aquatownwsp_web2.pdf?sfvrsn=bf5f919d_4

- Willis, S., Goldfarb, d., s., Thomas, K., & Bultitude, M. (2019). Water to prevent kidney stones: tap vs bottled; soft vs hard – does it matter? *BJU International*, 124, 905-906.
doi:<https://doi.org/10.1111/bju.14871>
- Yin, J., Wu, X., Li, S., Li, C., & Guo, Z. (2019). Impact of environmental factors on gastric cancer: A review of the scientific evidence, human prevention and adaptation. *Journal of Environmental Sciences*.
doi:<https://doi:10.1016/j.jes.2019.09.025>
- Zini, L. B., & Gutterres, M. (2021). Chemical contaminants in Brazilian drinking water: a systematic review. *Journal of Water and Health*, 19(3), 351-369. doi:10.2166/wh.2021.264