

EVALUACION DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL



TEMA DE INVESTIGACIÓN:
EVALUACION DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS
EN EL RIO TIXCUCO, CIUDAD DE SAN MIGUEL

DOCENTE DIRECTOR:
MSc. BLANCA MIRIAN RAMOS DE ROSALES

PRESENTADO POR:
LIC. PEDRO ULISES NAVARRO VILLEGAS

PARA OPTAR AL GRADO DE:
MAESTRO EN GESTION AMBIENTAL

CIUDAD UNIVERSITARIA ORIENTAL, 2023
SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA.

**AUTORIDADES CENTRALES UNIVERSITARIAS
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR

Msc. JUAN ROSA QUINTANILLA

VICERRECTOR ACADEMICO

DOCTORA EVELYN BEATRIZ FARFÁN

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:

MAESTRO ROGER ARIAS

FISCAL:

LIC. CARLOS AMILCAR SERRANO RIVERA

**AUTORIDADES UNIVERSITARIA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

DECANO

MSC. CARLOS IVÁN HERNÁNDEZ FRANCO

VICEDECANO

DRA. NORMA AZUCENA FLORES RETANA

SECRETARIO

LIC. CARLOS DE JESÚS SÁNCHEZ

DIRECTOR DE ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Marta Del Carmen Villatoro de Guerrero

COORDINADORA DE LA MAESTRIA

Dra. Suleyma Estebana Canales de Cubías

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO DE LA FACULTAD

Maestro Jorge Pastor Fuentes Cabrerías

COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADO DE LA ESCUELA

Dra. Suleyma Estebana Canales de Cubías

MIEMBROS DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

PENDIENTE

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR

DOCENTE DIRECTOR

Mcs. Blanca Mirian Ramos De Rosales

AGRADECIMIENTOS

A DIOS TODO PODEROSO

Por brindarme sabiduría y fortaleza en el logro de este objetivo propuesto

AL MAESTRO ASESOR

Maestra. Blanca Mirian Ramos

Quien con mucha Voluntad me brindo su colaboración en todas las actividades realizadas

ALOS MIEMBROS DEL JURADO

Maestro Guillermo Moya Turcios

Maestra Mixtli Sujeith Martinez Membreño

Por su apoyo y aporte en la culminación de este trabajo de investigación

A NUESTROS COMPAÑEROS DE TRABAJO

Por brindarme su experiencia y apoyo

A todas las personas que me brindaron su apoyo para la culminación de este trabajo de investigación. Mi más sincero agradecimiento

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO

Por iluminarme y darme la oportunidad de alcanzar esta meta trazada en mi vida

A MI MADRE

Hilda Gloria Villegas por su amor y infinito apoyo en esta formación

A MI ESPOSA

Sonia Orquídea Campos Rodríguez de Navarro por su amor y comprensión

A MIS HIJOS

Keiry Yasmin Navarro Campos

Orquídea Sucely Navarro Campos

Pedro Ulises Navarro Campos

Por ser la causa de la culminación de mi estudio

A MIS HERMANAS

Erika Yesenia Navarro Villegas

Irma Gloria Navarro Villegas (Q.E.P.D)

Por su amor fraternal y apoyo incondicional

A MIS FAMILIARES Y AMIGOS

Que me apoyaron en la culminación de este estudio mis más sinceros agradecimientos

índice

Introducción	14
Capítulo I: Planteamiento del Problema.....	15
1.1 Descripción del Problema	15
1.2 Antecedentes.....	15
1.3 Enunciado del Problema	17
1.4 Justificación de la Investigación	17
1.5 Objetivos.....	17
1.5.1 Objetivo General	17
1.5.2 Objetivos Específicos	18
1.6 Limitaciones	18
1.7 Delimitaciones	18
1.8 Alcances	18
Capítulo II: Marco Teórico	19
2.1 El Agua	19
2.2 Distribución del Agua en la Hidrósfera.....	21
2.3 Propiedades del Agua	22
2.3.1 Propiedades Físicas del Agua	22
2.3.2 Propiedades Químicas del Agua	22
2.4 Ciclo Hidrológico	23
2.5 Tipos de Agua en el Mundo.....	25

2.6	Calidad del Agua	37
2.6.1	Factores que Afectan la Calidad del Agua	37
2.6.2	Parámetros Físicos.....	38
2.6.3	Parámetros Químicos	39
2.6.4	Parámetros Biológicos	42
2.7	Contaminación del Agua	42
2.7.1	Causas de la Contaminación del Agua	43
2.7.2	Consecuencias de la Contaminación del Agua	45
2.7.3	Soluciones a la Contaminación del Agua.....	46
2.8	Relación Agua y Salud	47
2.9	Sustancias Tóxicas que Afectan la Calidad del Agua	48
2.9.1	Propiedades Químicas, Efectos Sobre la Salud y Ambientales del Mercurio	48
2.9.2	Propiedades Químicas, Efectos Sobre la Salud y Ambientales del Cadmio	52
2.9.3	Propiedades Químicas, Efectos Sobre la Salud y Ambientales del Plomo.....	55
2.9.4	Propiedades Químicas, Efectos Sobre la Salud y Ambientales del Arsénico	58
2.10	Río Tixcuco	61
Capítulo III: Sistema de Hipótesis		62
3.1	Hipótesis de Investigación	62
3.2	Hipótesis Nula	62
3.3	Hipótesis Alternativas	62
Capítulo IV: Diseño Metodológico		62
4.1	Ubicación del Estudio	62

4.2	Tipo de Investigación	65
4.3	Diseño de investigación	66
4.4	Unidad de Análisis.....	66
4.5	Variables	66
4.6	Operacionalización de Variables	67
4.7	Tipo de Muestreo.....	69
4.8	Tamaño de la Muestra	69
4.9	Temporalidad del Muestreo.....	69
4.10	Tratamiento de Muestras.....	69
4.11	Técnicas e instrumentos.....	69
4.12	Procedimiento.....	71
a)	71
	71
b)	71
Capítulo V: Presentación de Resultados		73
5.1	Tabulación, Análisis e Interpretación de Datos	73
5.2	Prueba de Hipótesis	76
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones		78
6.1	Conclusiones	78
6.2	Recomendaciones	78

Bibliografía80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras 2.1	17.
Figura 2.2.....	19.
Figura 2.3.....	23.
Figura 2.4.....	24.
Figura 2.5.....	25.
Figura 2.6.....	26.
Figura 2.7.....	27.
Figura 2.8.....	28.
Figura 2.9.....	29.
Figura 2.10.....	33.
Figura 2.11.....	34.
Figura 2.12.....	35.
Figura 2.13.....	41.
Figura 2.14.....	47.
Figura 2.15.....	52.
Figura 2.16.....	55.
Figura 4.1.....	61.
Figura 4.2.....	61.
Figura 4.3.....	62.

Figura 4.4.....63.
Figura 4.5.....69.
Figura 4.6.....70.
Figura 4.7.....71.
Figura 5.1.....72.
Figura 5.2.....73.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.....30-31
Tabla 2.2.....32
Tabla 4.1.....65-66
Tabla 5.1.....74
Tabla 5.2.....74-75
Tabla 5.3.....75

RESUMEN

La investigación Evaluación de metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, ciudad de San Miguel. Se realizó con el objetivo de evaluar los metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, ciudad de San Miguel. Se hicieron dos muestreos en época seca en Colonia las Águilas, se recogió agua del río que fue envasada, preservada y trasladada hacia el Laboratorio Físico Químico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador para su respectivo análisis. Se evaluaron las concentraciones de cuatro metales pesados Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Mercurio (Hg) y Arsénico (As) por muestra. Para el Cd, Pb y Hg se aplicó en método fotométrico y el As método calorimétrico. Los resultados obtenidos en la primera muestra fueron: As 0.02mg/L, Cd 0.013mg /L, Hg 0.04 mg/L y Pb 0.78mg/L y en la segunda: As 0.2mg/L, Cd. no se realizó por falta de reactivo, Hg no detectado y Pb 0.754mg/L. Los resultados obtenidos se compararon con los valores en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales. El metal pesado que sobrepasa la norma en los dos muestreos es el Plomo ya que según la norma su valor es 0.5mg/l, pero esa diferencia no es significativa y el As sobrepasa en un muestreo. Cuando se realizó la investigación se determinó que las aguas del río Tixcuco están contaminadas por la presencia de Pb y As, metales que afectan la calidad del agua, la flora y fauna del río y sirve como vehículo de transmisión de enfermedades a otras especies cercanas al cuerpo de agua. Aunque el Cd y Hg no sobrepasaron la norma, pero hay presencia de ellos que un futuro podrían aumentar su concentración si no descontamina el río y por la coloración del agua presenta gran turbidez.

Palabras claves: metales pesados, aguas residuales, concentración, contaminación, calidad del agua.

SUMMARY

The investigation Evaluation of heavy metals in wastewater discharged in the Tixcuco river, city of San Miguel. It was carried out with the objective of evaluating heavy metals in wastewater discharged into the Tixcuco River, city of San Miguel. Two samples were taken in the dry season in Colonia las Águilas, water was collected from the river that was bottled, preserved and transferred to the Physical Chemical Water Laboratory of the Faculty of Chemistry and Pharmacy of the University of El Salvador (UES) for its respective analysis. The concentrations of four heavy metals Cadmium (Cd), Lead (Pb), Mercury (Hg) and Arsenic (As) were evaluated per sample. For Cd, Pb and Hg, the photometric method was applied, and the calorimetric method was used for As. The results obtained in the first sample were: As 0.02mg/L, Cd 0.013mg/L, Hg 0.04 mg/L and Pb 0.78mg/L and in the second: As 0.2mg/L, Cd. was not carried out due to lack of reagent, Hg not detected and Pb 0.754mg/L. The results obtained were compared with the values in the Salvadoran Technical Regulation RTS 13.05.01:18 Water. Sewage water. The heavy metal that exceeds the standard in both samples is Lead since according to the standard its value is 0.5mg/l, but this difference is not significant and As exceeds in one sampling. When the investigation was carried out, it was determined that the waters of the Tixcuco River are contaminated by the presence of Pb and As, metals that affect the quality of the water, the flora and fauna of the river and serve as a vehicle for transmitting diseases to other species near the river. Water body. Although Cd and Hg did not exceed the norm, there is a presence of them that could increase their concentration in the future if it does not decontaminate the river and due to the color of the water it presents great turbidity.

Keywords: heavy metals, wastewater, concentration, pollution, water quality.

Introducción

El estudio realizado es de gran importancia ya que en él se evaluaron los metales pesados que presentan un alto grado de toxicidad, para la flora y fauna, que habita en el río Tixcuco de la ciudad de San Miguel. El desarrollo de la ciudad con el crecimiento poblacional ha elevado el comercio y los negocios, han generado caudales de aguas residuales que son descargadas en el río Tixcuco cada día en mayores volúmenes afectando directamente al cuerpo de agua. El grado de contaminación que los cuerpos de agua han alcanzado es tal que amenaza la vida de los seres vivos la fauna. Esta investigación es de tipo descriptiva, experimental, según su ubicación en el tiempo se clasificó como transversal, según su enfoque se clasificó como cuantitativa, y según el lugar la investigación se clasificó como de campo.

La estructura de la presente investigación es la siguiente: el capítulo 1: Planteamiento del problema comprende: descripción del problema, antecedente del problema, enunciado del problema, justificación, objetivo general y específicos, delimitaciones. En el capítulo 2: marco teórico, se aborda la teoría necesaria para fundamentar la investigación. En el capítulo 3: metodología de la investigación que comprende: tipo de investigación, unidades de análisis, tipo de muestreo, tamaño de muestra, temporalidad del muestreo, tratamiento de las muestras, variables, definición de variables, indicadores, instrumentos de medición utilizados, técnicas y procedimientos. En el capítulo 4: análisis y discusión de resultados que incluye datos obtenidos, la comparación de los datos con la norma. En el capítulo 5: conclusiones y recomendaciones. En el capítulo 6: Fuentes de información consultadas y Anexos.

Capítulo I: Planteamiento del Problema

1.1 Descripción del Problema

Los habitantes de la ciudad de San Miguel generan una gran cantidad de desechos, por lo que la Alcaldía de San Miguel retiró desechos sólidos en un tramo de 300 metros de la quebrada Tixcuco, más de 10 toneladas de basura y ripio fueron extraídas de un tramo del cauce, sacaron botellas, ramas de palmeras, partes de vehículos, aparatos eléctricos y ripio. El paso de las aguas de color rojo, por la sangre de las reses, provenientes del rastro municipal, perjudican a los habitantes de colonias aledañas.

Las aguas residuales generadas de la ciudad de San Miguel que se descargan en el río Tixcuco deben de tener cierta concentración de metales. Dicho río está localizado media cuadra al costado oriente del rastro municipal de San Miguel su recorrido es de aproximadamente 2000 metros pasando por la Colonia las Águilas, aumentando su caudal hasta su desembocadura que es el río Grande de San Miguel, esto genera una disminución en la calidad ambiental del agua.

No se cuentan con investigaciones en el río Tixcuco relacionadas con este estudio y es una preocupación para la población de las aguas abajo del río Grande ya que éstas sirve para usos diarios en la agricultura, ganadería, recreación, etc.

1.2 Antecedentes

Hasta la fecha no se han encontrado estudios relacionados con el tema. Pero a nivel regional se encuentra:

Rafael C. Cartagena en (2006), realizó el estudio Metales Pesados en Zonas Mineras de la Cuenca del Río Grande de San Miguel con el objetivo de explorar la presencia de metales pesados en los sedimentos de los ríos de esa región. La toma de muestras se realizó en varios sitios y se determinó la presencia de Bario, Cobalto, Cromo, Molibdeno, Cobre, Niquel, Plomo,

Estroncio, Zinc, Mercurio, Cadmio. Concluyó que la presencia de metales pesados en los ríos de la zona minera de la cuenca del río Grande de San Miguel tiene su origen en la extracción de materiales de la corteza terrestre, a través de los pozos mineros como acción inherente e inevitable de la actividad minera (Cartagena, 2006).

El Servicio Hidrológico Nacional (SHN) del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) realizó una evaluación de la calidad de agua del Río Grande de San Miguel en el mes de noviembre del año 2003 y marzo del año 2004, aplicando la metodología estandarizada para monitoreo de aguas superficiales. evaluar la calidad de agua del río se aplicó el Índice de Calidad General (ICA). Recolectaron muestras físicoquímicas, Bacteriológicas, Biológicas y Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO₅). Para el mes de noviembre el ICA clasifica los cuatro sitios estudiados como de calidad “Regular”, lo que indica en estos lugares representan una amenaza para el contacto humano y no existen condiciones para el desarrollo de vida acuática y marzo del 2004 se presenta un deterioro mayor de la calidad de las aguas del río. (SNET), 2004)

Olga Esquivel en 1997 realizó un estudio titulado Investigación de la Contaminación del Río Lempa y sus Afluentes, Ríos Suquiapa, Acelhuate y Quezalapa. FUSADES/FIAES. El estudio tuvo como objetivo establecer los niveles de contaminación en las estaciones secas y lluviosa en 12 puntos de muestreos; cinco ubicados en el cauce del Río Lempa, dos en el Río Suquiapa, uno en el Río Acelhuate, tres en el Río Quezalapa y uno de un manantial en el cantón San Martín. Los resultados revelaron la presencia de contaminantes metálicos fuera de los valores permitidos por la norma, estos fueron: Mercurio, Hierro, Boro, Arsénico y Potasio.

Además, se encontraron contaminantes orgánicos provenientes del uso de pesticidas, los

herbicidas Las mayores concentraciones de contaminantes orgánicos, fueron encontrados principalmente a inicios de la época lluviosa. (Esquivel, 2007)

1.3 Enunciado del Problema

¿Existe diferencia significativa en la concentración de los de metales pesados en aguas residuales descargadas en el rio Tixcuco, Ciudad de San Miguel y los establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua? Aguas Residuales?

1.4 Justificación de la Investigación

El estudio es de gran relevancia social porque el rio atraviesa a la comunidad y es el inicio para futuras investigaciones.

El estudio fue porque permitió conocer que las descargas de aguas residuales que hacen su recorrido en el rio Tixcuco contienen metales pesados, se estableció la magnitud de este punto es un foco de contaminación química. Además, con los resultados obtenidos del estudio se verificó que las concentraciones son mayores a la que establece el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales en algunos metales, aunque estadísticamente la diferencia no es significativa,

La investigación es relevante porque se conoció la calidad del agua de ese río que se descargan en el río Grande y que es utilizado para pastoreo y para la agricultura

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Evaluar los metales pesados en aguas residuales descargadas en el rio Tixcuco, ciudad de San Miguel

1.5.2 *Objetivos Específicos*

Identificar la presencia de metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, ciudad de San Miguel.

Determinar las concentraciones de metales pesados encontradas en las aguas residuales que se descargan en el río Tixcuco.

Comparar los niveles de concentración de metales pesados encontrados en la descarga principal de las aguas residuales en el río Tixcuco con los valores establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales.

1.6 Limitaciones

Falta de equipo para realizar la investigación, debido a ello las muestras fueron trasladadas hasta un laboratorio para su análisis. Debido a la complejidad del estudio ya que, en estos meses, se da la época seca y al realizar los análisis en el laboratorio los resultados en esta época son certeros y confiables ya que no hay interferencia de la lluvia que los pueda diluir

1.7 Delimitaciones

Espacial: Colonia las Águilas en la ciudad de San Miguel

Temporal los muestreos se realizaron en los meses de noviembre 2019 a enero 2020

Teórica: metales pesados, concentraciones.

1.8 Alcances

Análisis de metales pesados en las aguas del río Tixcuco, para evaluar si sus concentraciones ocasionan daño en la flora y la fauna de este sitio.

Divulgación a la comunidad los resultados de la investigación, para que conozcan la calidad del agua.

Capítulo II: Marco Teórico

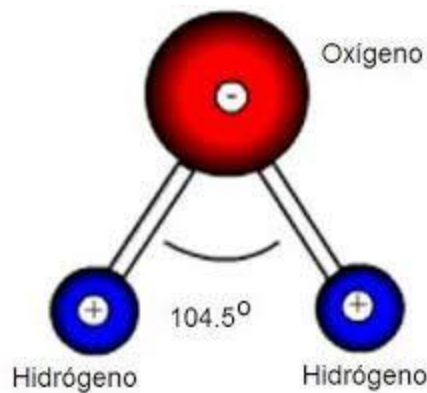
2.1 El Agua

El agua es una sustancia líquida desprovista de olor, sabor y color, que existe en estado más o menos puro en la naturaleza y cubre un porcentaje importante (71%) de la superficie del planeta Tierra. Además, es una sustancia bastante común en el sistema solar y el universo, aunque en forma de vapor (su forma gaseosa) o de hielo (su forma sólida).

Una molécula de agua contiene únicamente dos elementos un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno (H_2O), enlazados covalentemente como se ilustra en la figura 2.1. Se descubrió en 1782 por Henry Cavendish, pues desde épocas antiguas el agua se pensaba como un elemento. Se trata del solvente universal, pues la mayoría de las sustancias pueden disolverse en ella (Stodocu, 2019)

Figura 2.1

Molécula del agua



(Salgado, s.f)

El agua es indispensable para la vida como la conocemos, y en su interior tuvieron lugar las primeras formas de vida del mundo. También ha ocupado un lugar central en el imaginario de las civilizaciones humanas, por lo general atribuida a alguna deidad o como el mítico diluvio con que los dioses arrasan a las culturas descarriadas. También se la consideró uno de los cuatro elementos de la naturaleza. (Stodocu, 2019)

Los seres vivos no podrían vivir sin agua, sin el vital líquido no existiría la vida sobre la planta que habitamos. En el caso de los seres humanos, el agua constituye el 70 por ciento de nuestro cuerpo y la utilizamos todos los días, durante toda la vida.

Todos los seres vivos dependen del agua para vivir, pero unos la necesitan más que otros. En los ríos, lagos y humedales existe una gran diversidad de seres vivos que solo pueden encontrarse donde abunda el agua.

Muchas de las especies que abundan en el agua tienen importancia económica, a través de la pesca o por otros muchos y variados usos, como la artesanía. De la corteza de los sauces, árboles característicos de las riberas, se ha obtenido desde hace mucho tiempo una sustancia, la salicina, que es el origen natural del ácido acetil salicílico. A pesar de esto, hoy día hay muchas de las utilidades del río que están por descubrirse, especialmente en lo que se refiere a los usos medicinales de las algas y de otras plantas.

El agua no sólo es importante para la vida silvestre y el consumo doméstico. La industria, agricultura, producción de energía y otras muchas actividades necesitan este líquido. Nuestro planeta es rico en agua, tres cuartas partes de su superficie están cubiertas por ella, pero la mayoría de los seres vivos, incluidas las personas, necesitamos agua dulce y ésta es más escasa.

El agua dulce representa sólo el uno por ciento del agua de nuestro planeta, el resto es salada (96%) o está congelada (3%). Además, el agua dulce no se reparte por igual, hay zonas

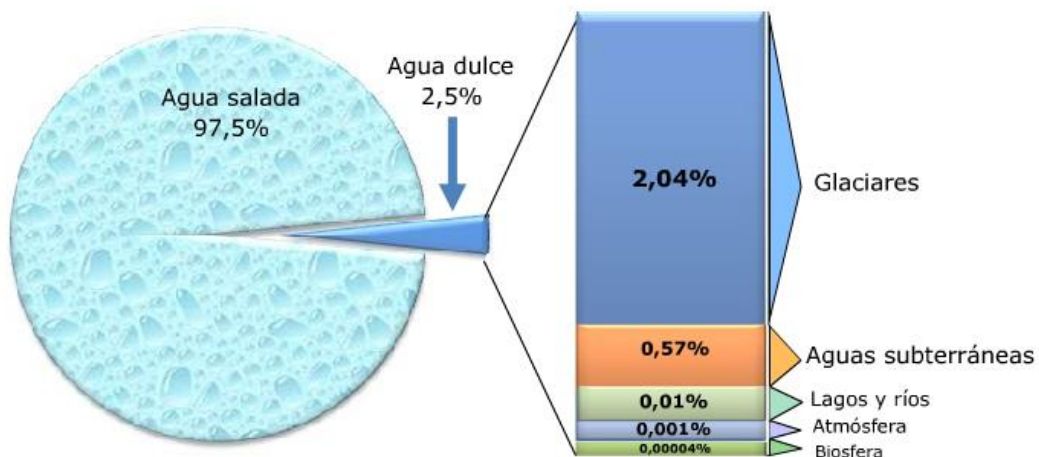
donde es muy abundante y otras donde es un bien extremadamente escaso. Si el hombre continúa contaminándola, destruyendo las cuencas y los bosques, la cantidad de agua dulce disponible va a disminuir.

2.2 Distribución del Agua en la Hidrósfera

La hidrosfera incluye los océanos, mares, ríos, lagos, agua subterránea, el hielo y la nieve. La Tierra es el único planeta del Sistema Solar en el que está presente de manera continuada el agua líquida, que cubre aproximadamente dos terceras partes de la superficie terrestre, con una profundidad promedio de 3,5 km, lo que representa el 97% del total de agua del planeta. El agua dulce representa 3% del total y de esta cantidad aproximadamente 98% está congelada, de allí que solo se tenga acceso al 0,06% de toda el agua del planeta como se ilustra en la figura 2.2 (Ruiz, 2014)

Figura 2.2

Distribución del agua en la hidrósfera



(EcuRed T. d., 2020)

2.3 Propiedades del Agua

El agua, un elemento vital para la vida en nuestro planeta, cuenta con propiedades únicas que la convierten en una sustancia esencial y preciada. Entre ellas están (Iagua, 2017)

2.3.1 *Propiedades Físicas del Agua*

El agua es la única sustancia que se puede encontrar en los tres estados de la materia de forma natural en la Tierra. Estos estados del agua son: líquido (agua), sólido (hielo) y gaseoso (vapor de agua). Cuando se encuentra en su forma sólida, el hielo, es menos denso que en su estado líquido, lo que hace que flote.

El agua carece de color, sabor y olor. Su punto de congelación se sitúa a 0°C, su punto de ebullición es a 100°C a nivel del mar. El agua en nuestro planeta está en constante cambio y movimiento, pasando por diferentes estados y procesos como el ciclo del agua.

El agua posee un alto índice específico de calor, lo que significa que puede absorber grandes cantidades de calor antes de que aumente su temperatura. Esto la convierte en un eficiente enfriador en la industria y ayuda a regular el cambio de temperatura del aire durante las estaciones del año.

El agua posee una alta tensión superficial, lo que la hace pegajosa y elástica, lo que le permite unirse en gotas en lugar de dispersarse y le proporciona la capacidad de acción capilar, es decir, desplazarse a través de las raíces de las plantas y los vasos sanguíneos y disolver sustancias (Iagua, 2017)

2.3.2 *Propiedades Químicas del Agua*

La fórmula química del agua es H₂O, compuesta por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. La molécula del agua tiene una carga eléctrica positiva en un extremo y negativa

en el otro, lo que hace que las moléculas de agua tiendan a unirse entre sí debido a la atracción de las cargas opuestas.

El agua es conocida como el solvente universal debido a su capacidad para disolver más sustancias que cualquier otro líquido y, además, contiene valiosos minerales y nutrientes.

El potencial de hidrógeno (pH) mide la acidez o alcalinidad de una solución. El agua pura tiene un pH neutro de 7, lo que significa que no es ácida ni básica.

Otras propiedades químicas del agua incluyen:

Reacciona con óxidos ácidos (compuestos químicos binarios que resultan de la combinación de un elemento no metálico con el oxígeno).

Reacciona con óxidos básicos (combinación de un elemento metálico con el oxígeno).

Reacciona con metales.

Reacciona con no metales.

Se combina con sales para formar hidratos (Iagua, 2017)

2.4 Ciclo Hidrológico

Es el proceso de transformación y circulación del agua en la Tierra. Consiste en el traslado del agua de un lugar a otro, cambiando de estado físico: pasando de estado líquido a gaseoso o sólido, o de estado gaseoso a líquido, según las condiciones ambientales.

En la Tierra, el agua se encuentra distribuida en los mares, ríos o lagos en estado líquido; en los glaciares de los polos y las montañas en estado sólido, y en las nubes, en estado gaseoso. Dependiendo de la fase del proceso, el agua se encontrará en un lugar u otro. A continuación, explicaremos de forma esquemática y con imágenes ilustrativas cómo circula el agua en cada una de sus etapas.

El ciclo del agua comienza con la evaporación como se ilustra en la figura 2.3. La evaporación ocurre cuando el sol calienta la superficie de las aguas de los ríos, lagos, lagunas, mares y océanos. El agua, entonces, se transforma en vapor y sube a la atmósfera, donde tendrá lugar la siguiente fase: la condensación.

La siguiente etapa del ciclo del agua es la condensación. Durante esta fase, el vapor de agua que ha subido a la atmósfera gracias a la evaporación, se concentra en gotas que formarán nubes y neblina. Una vez allí, el agua pasará a su estado líquido nuevamente, lo que nos lleva al próximo paso: la precipitación.

La precipitación es el tercer paso en el ciclo del agua. Tiene lugar cuando el agua condensada de la atmósfera desciende a la superficie en forma de pequeñas gotas.

En las regiones más frías del planeta, sin embargo, el agua pasa del estado líquido al sólido (solidificación) y se precipita como nieve o granizo. Posteriormente, cuando se produce el deshielo, el agua volverá el estado líquido en un proceso conocido como fusión.

La cuarta etapa del ciclo del agua es la infiltración. Se conoce como infiltración el proceso en el cual el agua que ha caído en la superficie terrestre como consecuencia de las precipitaciones penetra en el suelo. Una parte es aprovechada por la naturaleza y los seres vivos, mientras que la otra se incorpora a las aguas subterráneas. (Coelho, 2019)

Figura 2.3*Ciclo hidrológico*

<http://bitly.ws/L7GF>

2.5 Tipos de Agua en el Mundo

Para diferenciar los tipos de agua se toman en cuenta las siguientes características: su lugar de origen, su consistencia, su composición, y el tratamiento que reciben. Entre ellos están: (Edenagua, 2021)

- Agua dulce. Está presente en los ríos, en los lagos, debajo de la tierra, e incluso en el agua que se genera del derretimiento de la nieve o del hielo, como se ilustra en figura 2.4. Su característica principal es que contiene mínimas cantidades de sales disueltas, de ahí su gran diferencia con el agua de mar. Sin embargo, sí cuenta con una gran presencia de minerales y sedimentos. Estas aguas son los ecosistemas acuáticos más importantes del planeta, ya que además de albergar a un gran porcentaje de la fauna marina, también es la única fuente de agua apta para el consumo humano.

Figura 2.4

Agua dulce



<http://bitly.ws/LY37>

- Agua salada, tiene una gran cantidad de sales minerales disueltas en su composición. Principalmente cloro y sodio. Cuando ambos se combinan forman el cloruro de sodio. Pero no solo el agua de mar, es considerada como agua salada, como se ilustra en la figura 2.5. El agua que resulta de los deshielos, de la evaporación y de las erupciones volcánicas, también entran en esta categoría. Además de caracterizarse por su sabor salado, presenta un olor producido por la descomposición de materia orgánica.

Figura 2.5

Agua salada



<https://acortar.link/Q8HI0J>

- Agua salobre resulta de la mezcla del agua de las lluvias que pasan por un río hasta encontrarse con el agua de los océanos. Además, suele presentar una gran cantidad de minerales y sales, como se ilustra en la figura 2.6. No es apta para el consumo humano o para el uso ganadero, sí puede volverse potable por un proceso de desalinización, el cual es mucho más sencillo en este caso que cuando se usa con el agua de mar.

Figura 2.6

Agua salobre



<https://acortar.link/2z4IME>

- Agua dura, contiene muchas sales y minerales en su composición, como la presencia de carbonato de calcio (Ca) o sales de magnesio. Es común para muchas casas de playa o campo, recibir este tipo de agua, ya que las aguas subterráneas son más propensas a mostrar estas características. En el cabezal de las duchas, los bordes de electrodomésticos, el agua dura suele generar calcificaciones blanquecinas alrededor de ellos, las cuales reducen el tiempo de vida de aparatos eléctricos, y hasta pueden obstruir tus tuberías.
- Agua blanda, es lo opuesto al agua dura. Esto quiere decir que este tipo de agua tiene una baja presencia de sales de calcio y magnesio en su composición. Suele proceder de lugares con arenisca o rocas sedimentarias, con un bajo nivel de sales y minerales. Se

utiliza más en centrales hidroeléctricas y en distintos procesos industriales, ya que facilita los procesos con los químicos. No genera calcificaciones.

- Aguas grises, es agua usada; no es del todo potable, ni tampoco residual. Este tipo de agua presenta un aspecto turbio, debido a que contiene sustancias jabonosas, procedentes de las duchas o los lavaderos. Al ser agua con desechos como pasta dental, sedimentos sólidos, jabón, entre otros, es derivada al desagüe.
- Aguas negras, están totalmente contaminadas, son aguas residuales que derivan sobre todo de los inodoros, por los que presentan desechos orgánicos como orinas, heces, entre otros, como se ilustra en la figura 2.7. Este tipo de agua definitivamente es el que circula por el sistema de desagüe.

Figura 2.7

Aguas negras



<http://bitly.ws/LXZI>

- Agua destilada, tiene un bajo nivel de minerales, es el punto neutral en el que no hay ni mucho ni poco: simplemente no hay. Está libre de cualquier contaminante y al mismo tiempo, libre de cualquier mineral que el cuerpo necesita para nutrirse, no es apta para el consumo de las personas. Su uso es para las industrias y los laboratorios, debido al tratamiento especial por el que ha tenido que pasar para llegar a su estado máximo de pureza.
- Agua potable, es apta para las personas debe ser insípida, incolora, inodora y libre de contaminantes. Antes de llegar a los hogares pasa por un tratamiento previo de diferentes etapas que la vuelven apta para el consumo humano, como se ilustra en la figura 2.8. El problema radica en que las tuberías suelen ser viejas o no cuentan con el mantenimiento adecuado. Cuando sale de la planta potabilizadora, cruza todos los kilómetros de tuberías, llega arrastrando bacterias, sedimentos, metales pesados y otros contaminantes que se encuentran a lo largo de la red de tuberías.

Figura 2.8

Agua potable



<https://acortar.link/0aITUa>

- Agua Residual: agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes resultante de cualquier uso, las cuales son de dos

tipos: ordinario y especial. (MARN, Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18. Diario Oficial de El Salvador, 2019)

- Agua residual de tipo ordinario: agua residual generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares.
- Agua residual de tipo especial: agua residual generada por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario.
- Agua residual mixta: combinación de aguas residuales de tipo ordinario con aguas residuales de tipo especial, o la combinación de aguas residuales de tipo especial, pero de distintos sectores productivos, como se ilustra en la figura 2.9.
- Agua residual tratada: agua residual que ha sido sometida a un proceso de tratamiento y que cumple con los límites permisibles de los parámetros de calidad requeridos por la normativa vigente para descargarse o reusarse.

Figura 2.9

Agua residual



<https://acortar.link/9oLhlc>

Las aguas residuales de tipo especial, previo a su vertido al medio receptor, deben cumplir con los límites de parámetros específicos establecidos en tabla 2.1. del RTS.

Tabla 2.1

Límites permisibles de parámetros específicos de calidad de aguas de tipo especial para vertidos a medio receptor

No	Parámetro	Unidad	Límite permisible
1	Antimonio	mg/L	0.30
2	Aluminio	mg/L	5
3	Arsénico	mg/L	0.1
4	Bario	mg/L	5
5	Berilio	mg/L	0.5
6	Boro	mg/L	3
7	Cadmio	mg/L	0.1
8	Cianuro total	mg/L	0.5
9	Cloruro	mg/L	100
10	Cobalto	mg/L	0.5
11	Cobre	mg/L	3
12	Color real*	m-1	11-9-7
13	Compuestos fenólicos sintéticos	mg/L	5
14	Cromo hexavalente	mg/L	0.5
15	Fosfatos	mg/L	40
16	Fosforo total	mg/L	15
17	Fluoruros	mg/L	5
18	Herbicidas totales	mg/L	0.1
19	Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	mg/L	Reportar
20	Hierro	mg/L	10
21	Litio	mg/L	2
22	Manganeso	mg/L	2

23	Mercurio	mg/L	0.01
24	Níquel	mg/L	3
25	Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	30
26	Nitritos (N-NO ₂)	mg/L	1
27	Nitrógeno amoniacal	mg/L	20
28	Nitrógeno total	mg/L	50
29	Organoclorados	mg/L	0.05
30	Organofosforados y carbamatos	mg/L	0.25
31	Plata	mg/L	1
32	Plomo	mg/L	0.5
33	Selenio	mg/L	0.05
34	Sulfitos	mg/L	3
35	Sulfatos	mg/L	2 000
36	Sulfuros	mg/L	25
37	Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	5
38	Turbiedad	NTU	Reportar
39	Vanadio	mg/L	1
40	Zinc	mg/L	5
41	Ga-67 (Galio-67)	Bq/L	Reportar
42	I-131 (Yodo-131)	Bq/L	Reportar
43	P-32 (Fosforo-32)	Bq/L	Reportar
44	Tc-99m (Tecnecio-99 metaestable)	Bq/L	Reportar
45	TI-201 (Talio-201)	Bq/L	Reportar

Modificada de (MARN, Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18. Diario Oficial de El Salvador, 2019)

*Estos valores corresponden a las longitudes de onda de las frecuencias de 436 nm, 525 nm y 620 nm relativas a adsorción de la luz, respectivamente.

Las aguas residuales de tipo ordinario, previo a ser vertidas al medio receptor, deben cumplir con las disposiciones de la Ley de Medio Ambiente y sus Reglamentos, además debe cumplir los límites permisibles establecidos en la tabla 2.2 del RTS.

Tabla 2.2

Límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor

Parámetro	Unidad	Límite permisible
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	60
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	60
Sólidos Sedimentables (SS)	mL/L	1
Aceites y Grasas	mg/L	20
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidades de pH	6.0 - 9.0
Coliformes fecales	NMP/100 mL	Reportar
Caudal (Q)	m ³ /día	Reportar
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Reportar

Modificada de (MARN, Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18. Diario Oficial de El Salvador, 2019)

- Agua atmosférica es el agua contenida en la atmósfera de nuestro planeta (en forma de vapor, nubes y pequeños cristales de hielo) representa alrededor de 0.0009 por ciento de toda el agua del planeta esa proporción tan pequeña de agua está en el centro de los procesos que determinan el clima, el ciclo hidrológico, la química atmosférica y el desarrollo de la vida, como se ilustra en la figura 2.10. La forma principal del agua atmosférica es el vapor de agua (humedad). Aunque no sea tan visible como las formas

líquidas o sólidas (nubes, neblinas, lluvia, nieve, granizo), el vapor de agua está siempre presente en la atmósfera, incluso en los desiertos (Arroyo, 2007)

Figura 2.10

Agua atmosférica



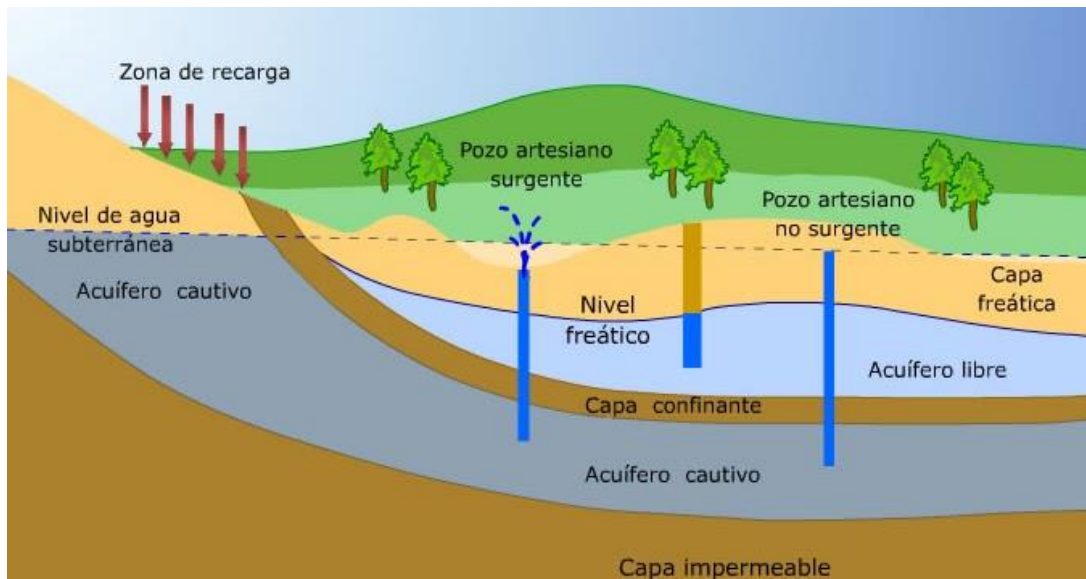
<https://acortar.link/9oLhlc>

- Aguas superficiales son aquellas que se encuentran sobre la superficie del suelo. Esta se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas (Carcauca, 2021). Dentro de las aguas superficiales se distinguen los siguientes tipos: aguas superficiales continentales comprende todas las aguas quietas o corrientes en la superficie del suelo, aguas de transición formadas por masas de agua superficial próximas a la desembocadura de los ríos que son parcialmente salinas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, pero que reciben una notable influencia de flujos de agua dulce, aguas costeras situadas hacia tierra desde una línea cuya totalidad de puntos se encuentra a una distancia de una milla náutica mar adentro desde el punto más próximo de la línea de base que sirve para medir la anchura de las aguas territoriales y que se extienden, en su caso, hasta el límite exterior de las aguas de transición, como se ilustra en la figura 2.11. (Zarza, sf)

Figura 2.11*Aguas superficiales*

<https://acortar.link/9oLhlc>

- Agua subterránea es recargada con agua de lluvia, agua proveniente de nieve derretida o de agua que se infiltra desde el fondo de lagos, ríos, y otros cuerpos de agua superficial. Los acuíferos también pueden recargarse cuando hay fugas en sistemas de distribución de agua (por ejemplo, cañerías) y cuando se riegan cultivos con demasiada agua. El agua subterránea se puede encontrar en casi todos los lugares, como se ilustra en la figura 2.12. El nivel freático puede ser profundo o superficial, dependiendo de varios factores, como las características físicas de la región, las condiciones meteorológicas y las tasas de explotación y recarga, lluvias intensas pueden incrementar la recarga y causar una elevación del nivel freático. Así mismo, durante una temporada seca extensa el nivel freático puede descender (Igrac, sf)

Figura 2.12*Agua subterránea*

<https://acortar.link/9oLhlc>

2.6 Calidad del Agua

Es un factor que incide directamente en la salud de los ecosistemas y el bienestar humano: de ella depende la biodiversidad, la calidad de los alimentos, las actividades económicas, etc. Es un factor influyente en la determinación de la pobreza o riqueza de un país. La calidad del agua se define por su uso final. Así, el agua para el recreo, la pesca, la bebida o como hábitat para organismos acuáticos requiere de mayores niveles de pureza, mientras que, para obtener energía hidráulica, las normas de calidad son mucho menos importantes. (EcuRed, sf)

2.6.1 Factores que Afectan la Calidad del Agua

El aumento de la población, la urbanización, el vertido de nuevos patógenos y productos químicos procedentes de las industrias y especies invasoras son factores que contribuyen al deterioro de la calidad del agua en todo el mundo, además, el cambio climático. El aumento de

las temperaturas y los cambios en los patrones hidrológicos (sequías e inundaciones) afectan a la calidad del agua y agravan su contaminación por sedimentos, nutrientes, carbono orgánico disuelto, agentes patógenos, pesticidas, etc. Además, el aumento del nivel del mar provoca la salinización de aguas subterráneas y estuarios, reduciendo la disponibilidad de agua dulce para consumo humano y para los ecosistemas en las zonas costeras. (EcuRed, sf)

2.6.2 Parámetros Físicos

Los parámetros físicos más importantes son: (Setapht, sf)

- a) El color: es una propiedad muy importante debido a que afecta a la estética del agua. Sus principales efectos están relacionados con la falta de transparencia. Las sustancias que afectan directamente al color pueden ser de origen vegetal tales como ácidos húmicos, turba, plancton, o debido a ciertos metales como el hierro, el manganeso o el cobre.
- b) Olor: no supone un indicativo de que existan sustancias peligrosas en el agua. En el agua para consumo no debe haber ningún olor. Algunos olores pueden deberse al ácido sulfhídrico, el cloro o a fenoles principalmente.
- c) Turbidez: cuando existe presencia de sustancias suspendidas en el agua podrían suponer una mala calidad o la presencia de arena o arcilla. Es un factor ambiental de gran importancia, ya que afecta a la penetración de la luz y su aspecto estético, suponiendo un obstáculo en la desinfección o incluso provocando un olor o gusto no aptos para el consumo.
- d) Sólidos en suspensión: hace referencia a las sustancias suspendidas en el agua y que no están en ella de forma natural. Cuando existen sólidos en suspensión, suelen afectar a otros parámetros como la turbidez o el color.

- e) Temperatura: es un parámetro importante debido a los efectos que puede tener en la solubilidad del oxígeno, la velocidad del metabolismo o las reacciones químicas y bioquímicas. Cuando las temperaturas son muy elevadas pueden suponer una putrefacción del agua o alteraciones en valores de la demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o el oxígeno disuelto.

2.6.3 *Parámetros Químicos*

Entre ellos están: (Setapht, sf)

- a) Sólidos disueltos: todos los elementos que no son ni agua ni gases y que pueden estar en forma disuelta o en suspensión, presentándose como sólidos volátiles o no volátiles. Los sólidos disueltos influyen en la salinidad o la conductividad.
- b) Conductividad: determina la capacidad que tiene el agua de transportar la corriente eléctrica y, dependiendo de las especies iónicas, la conductividad variará llegando a influir en este proceso la temperatura a la que se encuentra el agua.
- c) Radiactividad: puede ser originada por elementos naturales como el uranio, el actinio o el torio, y por productos de descomposición. Estos últimos pueden proceder tanto de fuentes naturales como de actividades humanas como, por ejemplo, la extracción de minerales. La mayoría de los compuestos radiactivos tienen baja solubilidad en el agua y no suponen unos altos niveles de radiactividad.
- d) PH: es un parámetro importante en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales. Suele aplicarse en el ámbito de las aguas residuales y naturales. Se puede producir alcalinidad y suele elevar el PH del agua por encima de los valores adecuados. Además, la acidez proporciona un descenso de este. Ambos, controlan la capacidad de taponamiento del agua y puede regularse mediante el sistema carbonato.

- e) Materia orgánica: es posible encontrarla de forma disuelta en partículas y pueden diferenciarse dos grupos dependiendo de su biodegradabilidad. Para realizar su medición se utilizan los parámetros de demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- f) Demanda química de oxígeno (DQO): evalúa la cantidad de oxígeno que es consumido por cuerpos reductores que están presentes en el agua, pero sin que intervengan organismos vivos. Ayuda a determinar el contenido de materia orgánica oxidable que es biodegradable.
- g) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): hace referencia a la cantidad de oxígeno que se necesita para descomponer la materia orgánica para la acción bioquímica aerobia. Facilita averiguar qué cantidad de materia orgánica es biodegradable.
- h) Nitrógeno y derivados: en el agua natural se pueden encontrar compuestos inorgánicos nitrogenados que contienen nitrógeno amínico o amídico que suelen provenir de la disolución de rocas. También minerales, descomposición de vegetales, animales, procesos industriales e incluso de fertilizantes o abonos. Todos deben tenerse en cuenta de cara al proceso hídrico.
- i) Fósforo y derivados: no es común encontrarlos en la naturaleza, pero otros compuestos como ortofosfatos, metafosfatos, polifosfatos, pirofosfatos o fosfatos unidos de manera orgánica si son más comunes en aguas residuales y naturales. El fósforo está considerado un macronutriente esencial porque es acumulado por una gran variedad de organismos vivos.

- j) Hidrocarburos: es una serie de compuestos cuya característica común es presentar en su estructura átomos de carbono y de hidrógeno. Pueden distinguirse dos grupos, los derivados del petróleo y los aromáticos policíclicos que son cancerígenos.
- k) Detergentes: son sustancias que tienen grandes propiedades de limpieza y están compuestas por surfactantes y minerales, las cuales son las más comunes porque reducen la tensión superficial del agua.
- l) Cloro y cloruros: es un gas amarillo-verdoso altamente soluble en agua. El cloro reacciona fácilmente con sustancias nitrogenadas y cuando permanece en agua tras su tratamiento, se convierte en cloro residual. Los cloruros pueden producir un sabor desagradable o corrosión en las canalizaciones y depósitos.
- m) Fenoles: pueden afectar a las especies piscícolas por toxicidad directa a los organismos vivos del medio acuático que les sirven como alimento. También pueden disminuir la cantidad de oxígeno disponible.
- n) Metales: aquí se agrupan los compuestos constituidos por los diferentes elementos metálicos. Así que las características de los mismos dependen del metal que esté incorporado. Los compuestos formados por Mercurio o Cadmio son los más comunes y los que mayores efectos pueden ocasionar. El mercurio es muy tóxico, mientras que el cadmio se presenta en forma divalente. Los sulfuros, carbonatos e hidróxidos de cadmio pueden presentar una baja solubilidad. Mientras que los iones de cadmio disminuyen el incremento del PH y son muy tóxicos cuando se presentan de forma acumulativa.
- o) Pesticidas: pueden clasificarse en función de sus características químicas o su uso como los herbicidas o fungicidas. La toxicidad de los pesticidas en el agua depende de la

naturaleza y las especies que viven en él. Los herbicidas son menos tóxicos que los insecticidas, mientras que los fosforados son peores para el ser humano.

2.6.4 Parámetros Biológicos

Se refiere a la presencia de microorganismos patógenos de diferentes tipos: bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tífus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños. Normalmente estos microorganismos llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas y animales. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua.

Los parámetros microbiológicos más comunes son: coliformes totales, estreptococos fecales, coliformes fecales. (Recursos Hídricos, 2017)

2.7 Contaminación del Agua

La contaminación del agua o contaminación hídrica es la presencia de componentes químicos, tóxicos o microorganismos en el agua, que alteran sus propiedades naturales y la vuelven inservible, es decir, no apta para su consumo ni para albergar vida, y que puede afectar el suelo y otros cauces de agua.

Los componentes tóxicos del agua contaminada pueden ser diversos: microbios, metales pesados, sedimentos, bacterias, desechos orgánicos, sustancias radioactivas o fluidos industriales con sustancias químicas, como se ilustra en la figura 2,13. Los componentes tóxicos llegan al agua, tanto por el vertido directo de desechos al agua como por la contaminación de los suelos que terminan depositando las sustancias contaminantes en las napas subterráneas.

Figura 2.13*Contaminación del agua*

<https://acortar.link/uH14RN>

Dependiendo del tipo y del grado de contaminación, es decir, de la densidad de ciertos agentes contaminantes que pueden estar presentes en el agua, puede ser tratada y potabilizada a través de procesos de separación de componentes, como precipitación, filtración y desinfección de las impurezas.

En ocasiones algunas fuentes hídricas que solían estar muy contaminadas, luego de ser tratadas y recuperadas, volvieron a albergar vida animal y vegetal (aunque no son aptas para el consumo humano), además de dejar de ser un riesgo para los suelos y demás afluentes de agua cercanos. (Equipo editorial, Etecé, 2017)

2.7.1 Causas de la Contaminación del Agua

Las principales causas de la contaminación del agua son:

- a) La deforestación indiscriminada. El suelo y la vegetación cumplen la función de drenar el agua que proviene de la lluvia o de inundaciones. Las plantas ayudan a contener el agua para que no arrase con el terreno y las distintas capas del suelo filtran el agua de manera

lenta y natural. La tala indiscriminada deja desprotegidos los suelos que se vuelven infértiles e incapaces de filtrar el agua de manera adecuada.

- b) La basura y las aguas residuales. Las ciudades concentran altos niveles de contaminación ambiental, tanto del suelo, del aire como del agua. En zonas de grandes urbes y alrededores en las que la excesiva contaminación del suelo, que proviene de las industrias, los desagües de las cloacas, de los residuos no procesados y de la basura, impactan en la calidad del agua.
- c) Las actividades agrícola-ganaderas. La industria de la agricultura y de la ganadería implican un uso desmesurado de agua potable, que es un recurso natural limitado, y contribuyen a la degradación del suelo. La agricultura intensiva emplea grandes cantidades de fertilizantes químicos que afectan los suelos y las aguas subterráneas lo que provoca daños irreversibles. La ganadería intensiva requiere de grandes cantidades de agua potable. Además, genera desmesuradas cantidades de desechos orgánicos consecuencia de las grandes poblaciones de animales hacinados y sus restos que son vertidos en cauces de agua y no pueden ser procesados de manera natural.
- d) La pesca indiscriminada. La industria pesquera es una de las causas de contaminación de los océanos, tanto por la cantidad de plásticos producto de las redes y herramientas de pesca masiva, como por la matanza indiscriminada de animales que terminan por desestabilizar los ecosistemas acuáticos. Los buques pesqueros emplean sistemas de redes que son capaces de capturar una gran cantidad de animales marinos, no solo los que tienen intención de cazar.
- e) La explotación petrolera. La contaminación de agua por petróleo es provocada por los derrames accidentales durante su extracción que termina arrasando con la vida del

ecosistema acuático y terrestre, con el agravado de su efecto residual durante muchos años. Además, hay riesgo de contaminación por derrames durante su traslado y la producción de derivados, como la conversión a gas natural comprimido que contamina el aire, y por la contaminación del producto final destinado al uso masivo de combustibles para transportes y maquinarias industriales. (Equipo editorial, Etecé, 2017)

- f) Sustancias químicas inorgánicas. Se trata de ácidos, sales o metales tóxicos, como el Mercurio o el Plomo, cuya presencia en el agua en grandes cantidades pueden causar graves daños en los ecosistemas acuáticos, reduciendo la biodiversidad. Proviene de los vertidos domésticos, agrícolas e industriales, que pueden contener distintos compuestos químicos. En ocasiones, son liberados directamente a la atmósfera e incorporados por la lluvia. Puede darse la circunstancia de que este tipo de contaminantes se acumulen en la cadena alimentaria, generando que los depredadores consuman presas contaminadas. De este modo, los seres humanos pueden quedar expuestos a contaminantes químicos al comer pescado o marisco contaminado, beber agua o practicar actividades recreativas. La contaminación química también puede repercutir negativamente en el rendimiento de actividades productivas como la agricultura o la ganadería, en las que el agua es un elemento esencial. (Aguas residuales, 2015)

2.7.2 Consecuencias de la Contaminación del Agua

El agua contaminada genera consecuencias negativas para los ecosistemas y, en muchos casos, los daños son irreversibles. El agua es un recurso natural esencial para la vida de todos los seres vivos del planeta, animales y vegetales. La escasez de agua potable, debido a la explotación de este recurso natural por parte de las industrias y de la negligencia del humano sumada a la creciente contaminación, está afectando cada vez a más especies animales, humanos y no

humanos, que no tienen acceso a este recurso clave para la vida. Entre las principales consecuencias del agua contaminada se encuentran:

- a) Incremento de la pobreza y deterioro de la calidad de vida en las sociedades humanas ante la falta de agua potable, recurso esencial para la higiene alimentaria y la salud.
- b) Incremento de alimentos tóxicos que provienen de fuentes contaminadas, como la pesca, la ganadería y la agricultura, que pueden perjudicar la salud de las personas.
- c) Aumento de personas que padecen enfermedades por ingerir agua contaminada, como el cólera, el botulismo o la hepatitis A.
- d) Deterioro de la biodiversidad debido al daño de los suelos que se vuelven infértiles y no son aptos para la vegetación que sirve de alimento para diversas especies animales. Además, el agua tóxica perjudica a plantas y animales y a toda la vida acuática. La mayoría de los daños son irreversibles, como la destrucción de un ecosistema o la extinción de especies completas. (Equipo editorial, Etecé, 2017)

2.7.3 Soluciones a la Contaminación del Agua

Algunas posibles soluciones que contribuyen a dejar de contaminar el agua son:

- Reducir el uso de químicos fertilizantes para los monocultivos.
- Tratar y depurar las aguas residuales para que no resulten tóxicas para el resto de los cauces hídricos o el suelo.
- Limitar el uso de plásticos y reciclarlos siempre que sea posible.
- Reducir el consumo de animales y derivados, además de fomentar el consumo de vegetales agro ecológicos, sin pesticidas.

- Concientizar sobre el uso adecuado de los recursos naturales, desde la importancia de su obtención hasta el impacto posterior al consumo del producto final manufacturado con esos recursos naturales.
- Concientizar sobre la diferencia de la basura y de los residuos reciclables, además de incorporar el hábito de hacer compost.
- Intensificar las legislaciones pertinentes al cuidado de los recursos y, en especial, del adecuado tratamiento de los desechos a fin de evitar la contaminación.
- Proponer e implementar nuevas estrategias de producción y de consumo más amigables con el medio ambiente. (Equipo editorial, Etecé, 2017)

2.8 Relación Agua y Salud

La relación entre el agua y la salud es muy estrecha; aproximadamente cada año mueren 842,000 personas en el mundo, como consecuencia de la calidad insalubre del agua de consumo, de un saneamiento inadecuado y/o una higiene deficiente. Entre las principales enfermedades transmitidas por el agua se encuentran: diarrea, gastroenteritis, fiebre tifoidea, cólera y hepatitis viral. Además, cuando el agua está contaminada químicamente también genera diversas enfermedades de la piel. En otras ocasiones se detecta en el agua la presencia de metales pesados, tales como Mercurio, Níquel, Cobre, Plomo y/o Cromo que pueden generar enfermedades crónicas muy graves si sobrepasan determinados límites.

Existen enfermedades que se generan por la proliferación de mosquitos que se desarrollan en pantanos, ciénegas y encharcamientos y que son vectores de enfermedades como paludismo, dengue, zika y chikungunya, entre otras.

Tener acceso a agua potable y a un saneamiento adecuado, es determinante para hacer una diferencia en la salud de las personas. Estas prácticas se reflejan en buena medida, en una baja incidencia de las enfermedades anteriormente mencionadas. (Agua.org, 2017)

2.9 Sustancias Tóxicas que Afectan la Calidad del Agua

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua destacamos mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo.

El incremento de concentración en las aguas de estos compuestos se debe principalmente a contaminación puntual de origen industrial o minero. Los lixiviados de vertederos o vertidos de aguas residuales pueden ser asimismo una fuente de contaminación. En algunos casos existen aguas que sufren un proceso de enriquecimiento natural en metales pesados al atravesar acuíferos formados por rocas que los contienen en su composición. (Facsa, 2017)

2.9.1 Propiedades Químicas, Efectos Sobre la Salud y Ambientales del Mercurio

Elemento químico, símbolo Hg, número atómico 80 y peso atómico 200.59. es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente (punto de fusión -38.4°C o -37.46°F); ebulle a 357°C (675.05°F) a presión atmosférica. Es un metal noble, soluble únicamente en soluciones oxidantes. El Hg sólido es tan suave como el plomo. El metal y sus compuestos son muy tóxicos. El Hg forma soluciones llamadas amalgamas con algunos metales (por ejemplo, oro, plata, platino, uranio, cobre, plomo, sodio y potasio).

El Hg metálico se usa en interruptores eléctricos como material líquido de contacto, como fluido de trabajo en bombas de difusión en técnicas de vacío, en la fabricación de rectificadores de vapor de mercurio, termómetros, barómetros, tacómetros y termostatos y en la manufactura de lámparas de vapor de mercurio. Se utiliza en amalgamas de plata para empastes

de dientes. Los electrodos normales de calomel son importantes en electroquímica; se usan como electrodos de referencia en la medición de potenciales, en titulaciones potenciométricas y en la celda normal de Weston.

El Hg se encuentra comúnmente como su sulfuro HgS, con frecuencia como rojo de cinabrio y con menos abundancia como metalcinabrio negro. Un mineral menos común es el cloruro de mercurio(I). A veces los minerales de mercurio contienen gotas pequeñas de mercurio metálico.

La tensión superficial de mercurio líquido es de 484 dinas/cm, seis veces mayor que la del agua en contacto con el aire. El Hg no puede mojar ninguna superficie con la cual esté en contacto, como se ilustra en la figura 2.14. En aire seco el mercurio metálico no se oxida, pero después de una larga exposición al aire húmedo, el metal se cubre con una película delgada de óxido. No se disuelve en ácido clorhídrico libre de aire o en ácido sulfúrico diluido, pero sí en ácidos oxidantes (ácido nítrico, ácido sulfúrico concentrado y agua regia).

Figura 2.14

Mercurio



<https://acortar.link/uH14RN>

Efectos del Hg sobre la salud. Es un elemento que puede ser encontrado de forma natural en el medio ambiente. Puede ser encontrado en forma de metal, como sales de Mercurio o como Mercurio orgánico. El Hg metálico es usado en una variedad de productos de las casas, como barómetros, termómetros, bombillas fluorescentes. El Hg en estos mecanismos está atrapado y usualmente no causa ningún problema de salud. Cuando un termómetro se rompe una exposición significativamente alta al Hg ocurre a través de la respiración, esto ocurrirá por un periodo de tiempo corto mientras este se evapora. Esto puede causar efectos dañinos, como daño a los nervios, al cerebro y riñones, irritación de los pulmones, irritación de los ojos, reacciones en la piel, vómitos y diarreas.

El Hg no es encontrado de forma natural en los alimentos, pero este puede aparecer en la comida, así como ser expandido en las cadenas alimentarias por pequeños organismos que son consumidos por los humanos, por ejemplo, a través de los peces. Las concentraciones de Hg en los peces usualmente exceden en gran medida las concentraciones en el agua donde viven. Los productos de la cría de ganado pueden también contener eminentes cantidades de Hg. El Hg no es comúnmente encontrado en plantas, pero este puede entrar en los cuerpos humanos a través de vegetales y otros cultivos. El Hg tiene un número de efectos sobre los humanos, que pueden ser todos simplificados en las siguientes principalmente:

- Daño al sistema nervioso
- Daño a las funciones del cerebro
- Daño al ADN y cromosomas
- Reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, y dolor de cabeza
- Efectos negativos en la reproducción, daño en el espermatozoides, defectos de nacimientos y abortos

- El daño a las funciones del cerebro puede causar la degradación de la habilidad para aprender, cambios en la personalidad, temblores, cambios en la visión, sordera, incoordinación de músculos y pérdida de la memoria. Daño en el cromosoma y es conocido que causa mongolismo.

Efectos ambientales del Hg. Entra en el ambiente como resultado de la ruptura de minerales de rocas y suelos a través de la exposición al viento y agua. La liberación de Hg desde fuentes naturales ha permanecido en el mismo nivel a través de los años. Todavía las concentraciones de Mercurio en el medioambiente están creciendo; esto es debido a la actividad humana. La mayoría del Hg liberado por las actividades humanas es liberada al aire, a través de la quema de productos fósiles, minería, fundiciones y combustión de residuos sólidos. Algunas formas de actividades humanas liberan Hg directamente al suelo o al agua, por ejemplo, la aplicación de fertilizantes en la agricultura y los vertidos de aguas residuales industriales. Todo el Hg que es liberado al ambiente eventualmente terminará en suelos o aguas superficiales.

Aguas superficiales ácidas pueden contener significantes cantidades de Hg. Cuando los valores de pH están entre cinco y siete, las concentraciones de Hg en el agua se incrementarán debido a la movilización del Hg en el suelo. Ha alcanzado las aguas superficiales o suelos los microorganismos pueden convertirlo en metil mercurio, una substancia que puede ser absorbida rápidamente por la mayoría de los organismos y es conocido que daña al sistema nervioso. Los peces son organismos que absorben gran cantidad de metil mercurio de agua surficial cada día. Como consecuencia, el metil mercurio puede acumularse en peces y en las cadenas alimenticias de las que forman parte.

Los efectos del Hg en los animales son daño en los riñones, trastornos en el estómago, daño en los intestinos, fallos en la reproducción y alteración del ADN. (Lenntech, sf)

2.9.2 *Propiedades Químicas, Efectos Sobre la Salud y Ambientales del Cadmio*

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48. Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado. Su peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20°C (68°F). Su punto de fusión de 320.9°C (610°F) y de ebullición de 765°C (1410°F). Hay ocho isótopos estables en la naturaleza y se han descrito once radioisótopos inestables de tipo artificial.

El Cd es miembro del grupo IIb (zinc, cadmio y mercurio) en la tabla periódica, y presenta propiedades químicas intermedias entre las del zinc metálico en soluciones ácidas de sulfato. El Cd es divalente en todos sus compuestos estables y su ion es incoloro. En el pasado, un uso comercial importante del cadmio fue como cubierta electrodepositada sobre hierro o acero para protegerlos contra la corrosión.

La segunda aplicación es en baterías de níquel-cadmio y la tercera como reactivo químico y pigmento. Por su gran capacidad de absorber neutrones, en especial el isótopo 113, se usa en barras de control y recubrimiento de reactores nucleares.

Efectos del Cd sobre la salud. Puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre. Este siempre ocurre en combinación con el Zinc. El Cd también consiste en las industrias como inevitable subproducto del Zinc, plomo y cobre extracciones. Después de ser aplicado este entra en el ambiente mayormente a través del suelo, porque es encontrado en estiércoles y pesticidas.

La toma por los humanos de Cd tiene lugar mayormente a través de la comida como se ilustra en la figura 2.15. Los alimentos que son ricos en Cd pueden en gran medida incrementar la concentración de Cd en los humanos. Ejemplos son patés, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas. Una exposición a niveles significativamente altas ocurre cuando la gente

fuma. El humo del tabaco lo transporta a los pulmones. La sangre lo transportará al resto del cuerpo donde puede incrementar los efectos por potenciación del Cd que está ya presente por comer comida rico en Cd. Otra alta exposición puede ocurrir con gente que vive cerca de los vertederos de residuos peligrosos o fábricas que liberan Cd en el aire y gente que trabaja en las industrias de refinerías del metal.

Cuando la gente respira el Cd este puede dañar severamente los pulmones. Esto puede incluso causar la muerte. El Cd primero es transportado hacia el hígado por la sangre. Allí es unido a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones. El Cd se acumula en los riñones, donde causa un daño en el mecanismo de filtración.

Esto causa la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo y el consecuente daño de los riñones. Lleva bastante tiempo antes de que el Cadmio que ha sido acumulado en los riñones sea excretado del cuerpo humano.

Otros efectos sobre la salud que pueden ser causados por el Cadmio son: diarreas, dolor de estómago y vómitos severos, fractura de huesos, fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad, daño al sistema nervioso central, al sistema inmune, desordenes psicológicos, posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.

Efectos ambientales del Cd. De forma natural grandes cantidades de Cd son liberadas al ambiente, sobre 25.000 toneladas al año. La mitad de este Cd es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto Cd es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación. Las aguas residuales con Cd procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son por ejemplo la producción de Zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. El Cd de las corrientes residuales pueden también entrar en el aire a

través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles. Debido a las regulaciones sólo una pequeña cantidad de Cd entra ahora en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias. El Cd puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido por el lodo. Este lodo rico en Cd puede contaminar las aguas superficiales y los suelos.

El Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando el Cadmio está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso, y la toma a través de la comida puede incrementar. Los suelos que son ácidos aumentan la toma de Cadmio por las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. El Cadmio puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden tener grandes cantidades de Cadmio en sus riñones debido a esto.

(Lenntech, sf)

Figura 2.15

El Cadmio



(Chema Lizarralde, Henar de Pedro, 2022)

2.9.3 Propiedades Químicas, Efectos Sobre la Salud y Ambientales del Plomo

Elemento químico, Pb, número atómico 82 y peso atómico 207.19. Es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11.4 s 16°C (61°F)), de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad, se funde a 327.4°C (621.3°F) y hierve a 1725°C (3164°F). Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. El plomo forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. Industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo. El plomo forma aleaciones con muchos metales y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones. Todas las aleaciones formadas con estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio tienen importancia industrial.

Los compuestos del plomo son tóxicos y han producido envenenamiento de trabajadores por su uso inadecuado y por una exposición excesiva a los mismos. Sin embargo, en la actualidad el envenenamiento por plomo es raro en virtud de la aplicación industrial de controles modernos, tanto de higiene como relacionados con la ingeniería. El mayor peligro proviene de la inhalación de vapor o de polvo.

En el caso de los compuestos organoplúmbicos, la absorción a través de la piel puede llegar a ser significativa. Algunos de los síntomas de envenenamiento por plomo son dolores de cabeza, vértigo e insomnio. En los casos agudos, por lo común se presenta estupor, el cual progresa hasta el coma y termina en la muerte. El control médico de los empleados que se encuentren relacionados con el uso de plomo comprende pruebas clínicas de los niveles de este elemento en la sangre y en la orina. Con un control de este tipo y la aplicación apropiada de

control de ingeniería, el envenenamiento industrial causado por el plomo puede evitarse por completo.

El Pb rara vez se encuentra en su estado elemental, el mineral más común es el sulfuro, la galeana, los otros minerales de importancia comercial son el carbonato, cerusita, y el sulfato, anglesita, que son mucho más raros. También se encuentra plomo en varios minerales de uranio y de torio, ya que proviene directamente de la desintegración radiactiva (decaimiento radiactivo). Durante mucho tiempo se ha empleado como pantalla protectora para las máquinas de rayos X y en las aplicaciones como blindaje contra la radiación.

Efectos del Plomo sobre la salud. Es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%). Las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes de Pb. El humo de los cigarrillos también contiene pequeñas cantidades de este metal.

El Plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Este es el porqué de los sistemas de tratamiento de aguas públicas son ahora requeridos llevar a cabo un ajuste de pH en agua que sirve para el uso del agua potable. Puede causar varios efectos no deseados, como se ilustra en la figura 2.16 como son: perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones, abortos y abortos sutiles, perturbación del sistema nervioso, daño al cerebro, disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma, de las habilidades de aprendizaje de los niños, perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.

Figura 2.16*Efectos del Plomo en la Salud*

<https://acortar.link/UQ7wLQ>

Efectos ambientales del Plomo ocurre de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas en el ambiente son el resultado de las actividades humanas.

Debido a la aplicación del plomo en gasolinas un ciclo no natural del Pb tiene lugar. En los motores de los coches es quemado, eso genera sales de Plomo (cloruros, bromuros, óxidos)

Estas sales de Plomo entran en el ambiente a través de los tubos de escape de los coches. Las partículas grandes precipitarán en el suelo o la superficie de aguas, las pequeñas partículas viajarán largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva.

Este ciclo es causado por la producción humana está mucho más extendido que el ciclo natural del plomo. Otras actividades humanas, como la combustión del petróleo, procesos industriales, combustión de residuos sólidos, también contribuyen. Puede terminar en el agua y suelos a través de la corrosión de las tuberías de Pb en los sistemas de transportes y a través de la

corrosión de pinturas que contienen Plomo. Se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento por Plomo. Los efectos sobre la salud de los crustáceos puede tener lugar incluso cuando sólo hay pequeñas concentraciones de Plomo presente.

Las funciones en el fitoplancton pueden ser perturbados cuando interfiere con el Plomo. El fitoplancton es una fuente importante de producción de oxígeno en mares y muchos grandes animales marinos lo comen. Este es el porqué nosotros ahora empezamos a preguntarnos si la contaminación por Plomo puede influir en los balances globales. Las funciones del suelo son perturbadas por la intervención del Plomo, especialmente cerca de las autopistas y tierras de cultivos, donde concentraciones extremas pueden estar presente. Los organismos del suelo también sufren envenenamiento por Plomo.

Es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias. (Lenntech, sf)

2.9.4 Propiedades Químicas, Efectos Sobre la Salud y Ambientales del Arsénico

Elemento químico, cuyo símbolo es As y su número atómico, 33. El arsénico se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza (cerca de 5×10^{-4} % de la corteza terrestre). Es uno de los 22 elementos conocidos que se componen de un solo nucleido estable, $^{75}33\text{As}$; el peso atómico es de 74.922.

Se conocen otros 17 nucleidos radiactivos de As. Se le encuentra natural como mineral de cobalto, aunque por lo general está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn. El arsénico elemental tiene pocos usos. Es uno de los pocos minerales disponibles con un 99.9999+ % de pureza. En el estado sólido se ha empleado ampliamente en los materiales láser GaAs y como agente acelerador en la manufactura de varios

aparatos. El arseniato de hidrógeno se emplea en medicina, así como otros compuestos de arsénico. La mayor parte de la aplicación medicinal de los compuestos de arsénico se basa en su naturaleza tóxica.

Efectos del Arsénico sobre la salud, es uno de los elementos más tóxicos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de Arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al a través de la comida, agua y aire. La exposición puede también ocurrir a través del contacto con la piel con suelo o agua que contenga Arsénico.

Los niveles en la comida son bastante bajos, no es añadido debido a su toxicidad, pero los niveles de Arsénico en peces y mariscos puede ser alta, porque los peces absorben As del agua donde viven. El As inorgánico pueden ser un peligro para la salud humana. La exposición al As puede ser más alta para la gente que trabaja con él, para gente que bebe significantes cantidades de vino, para gente que vive en casas que contienen conservantes de la madera y gente que viven en granjas donde el As de los pesticidas ha sido aplicados en el pasado.

La exposición al Arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones.

La toma de significantes cantidades de As inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente las posibilidades de desarrollo de cáncer de piel, pulmón, hígado, linfa. A exposiciones muy altas de As inorgánico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres, exposiciones a

dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores de estómago.

Efectos ambientales del Arsénico, puede ser encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Esto ocurre en el suelo y minerales y puede entrar en el aire, agua y tierra a través de las tormentas de polvo y las aguas de escorrentía. Es un componente que es extremadamente duro de convertir en productos soluble en agua o volátil. Debido a las actividades humanas, mayormente a través de la minería y las fundiciones, naturalmente el Arsénico inmóvil se ha movilizado también y puede ahora ser encontrado en muchos lugares donde ellos no existían de forma natural. El ciclo del As ha sido ampliado como consecuencia de la interferencia humana y debido a esto, grandes cantidades de Arsénico terminan en el ambiente y en organismos vivos.

El Arsénico es mayoritariamente emitido por las industrias productoras de cobre, pero también durante la producción de plomo y zinc y en la agricultura. Este no puede ser destruido una vez que este ha entrado en el ambiente, así que las cantidades que se han añadido pueden esparcirse y causar efectos sobre la salud de los humanos y los animales en muchas localizaciones sobre la tierra.

Las plantas absorben As bastante fácil, así que alto rango de concentraciones pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso Arsénico inorgánico que está actualmente presente en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces. Esto es mayormente causado por la acumulación de Arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas.

Las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de Arsénico y morirán como resultado del envenenamiento por Arsénico como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos. (Lenntech, sf)

2.10 Río Tixcuco

La Quebrada Tixcuco pertenece a San Miguel en El Salvador. Está clasificado como: Hidrográfico (Rio intermitente). Está situada cerca de la Colonia Belén y de la localidad Colonia Zapata.

Información geográfica de Quebrada Tixcuco

Latitud: 13.4736111

Longitud: -88.1594444

(Tutiempo.net, s.f)

También abarca la residencial Jardines de Bolonia y colonia Las Águilas. Para evitar inundaciones, la alcaldía municipal trata de limpiar un tramo tres o cuatro veces al año, en especial cuando las aguas servidas provenientes del rastro municipal son evacuadas por este cause que desemboca en el río Grande. El paso de las aguas de color rojo, por la sangre de las reces, provenientes del rastro municipal, perjudican a los habitantes de estas colonias; sin embargo, considera que el mayor daño lo ocasionan los propios habitantes. (Avila, Iliana, 2018).

Capítulo III: Sistema de Hipótesis

3.1 Hipótesis de Investigación

Si existe diferencia significativa en la concentración de los de metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, Ciudad de San Miguel y los establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales.

3.2 Hipótesis Nula

No existe diferencia en la concentración de los de metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, Ciudad de San Miguel y los establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales.

3.3 Hipótesis Alternativas

Ha1: La concentración de metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, Ciudad de San Miguel son mayores a las establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales.

Ha2: La concentración de metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, Ciudad de San Miguel son menores a las establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales.

Capítulo IV: Diseño Metodológico

4.1 Ubicación del Estudio

El estudio se realizó en la ciudad de San Miguel como se ilustra en la figura 4.1

Figura 4.1

Ubicación del estudio



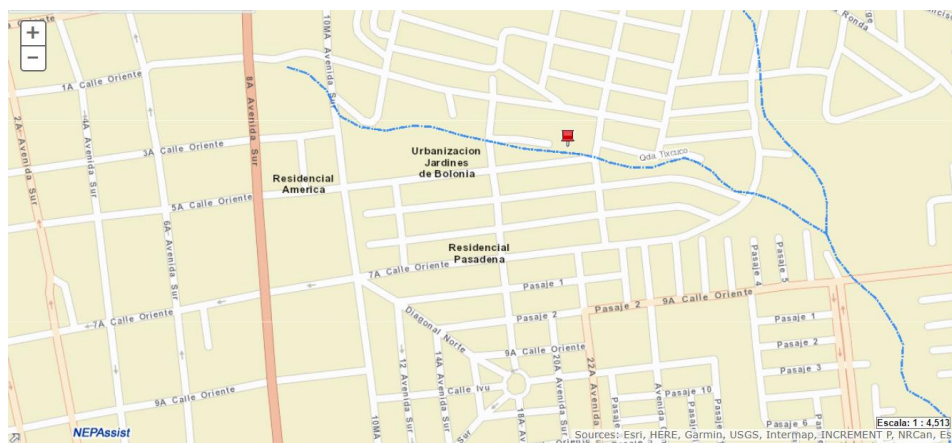
a) <https://bit.ly/3luiRXY>

b) <https://bit.ly/3JEbIfp>

El río Tixcuco está ubicado en la ciudad de San Miguel, al sur del Estadio Juan Francisco Barraza, latitud: 13.4736 y longitud: -88.1594 como se ilustra e la figura 4.2

Figura 4.2

Coordenadas del Rio Tixcuco

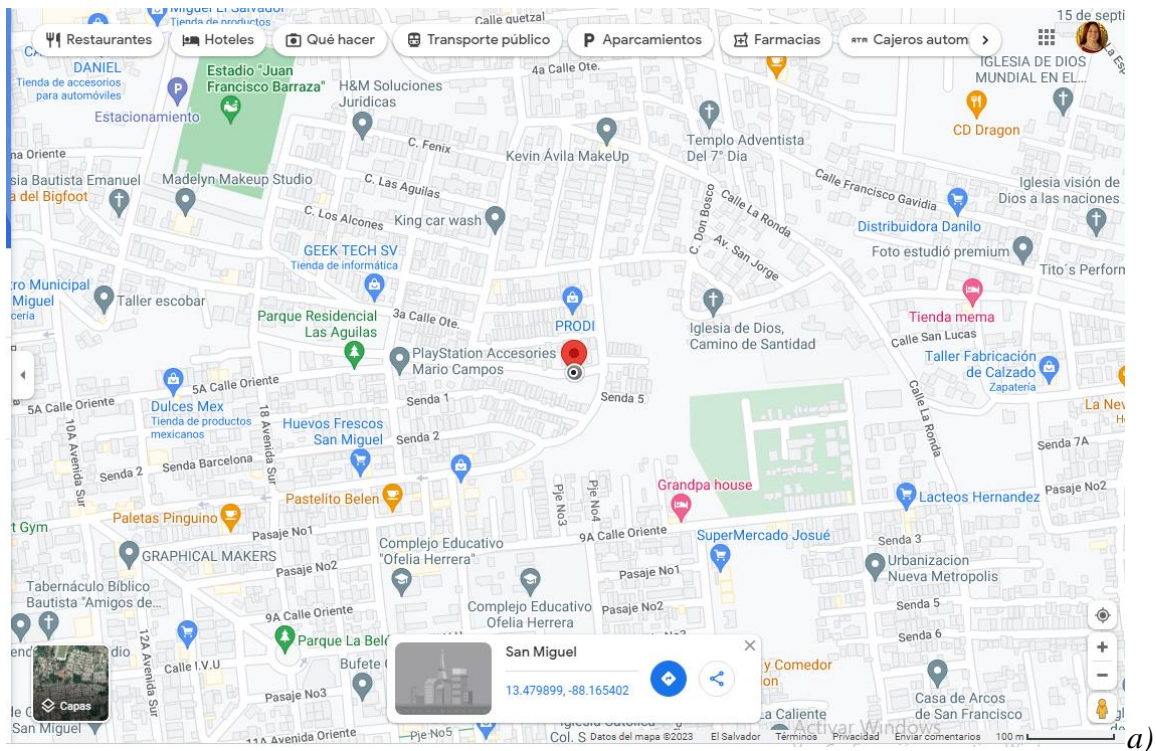


<https://bit.ly/3kwm7BD>

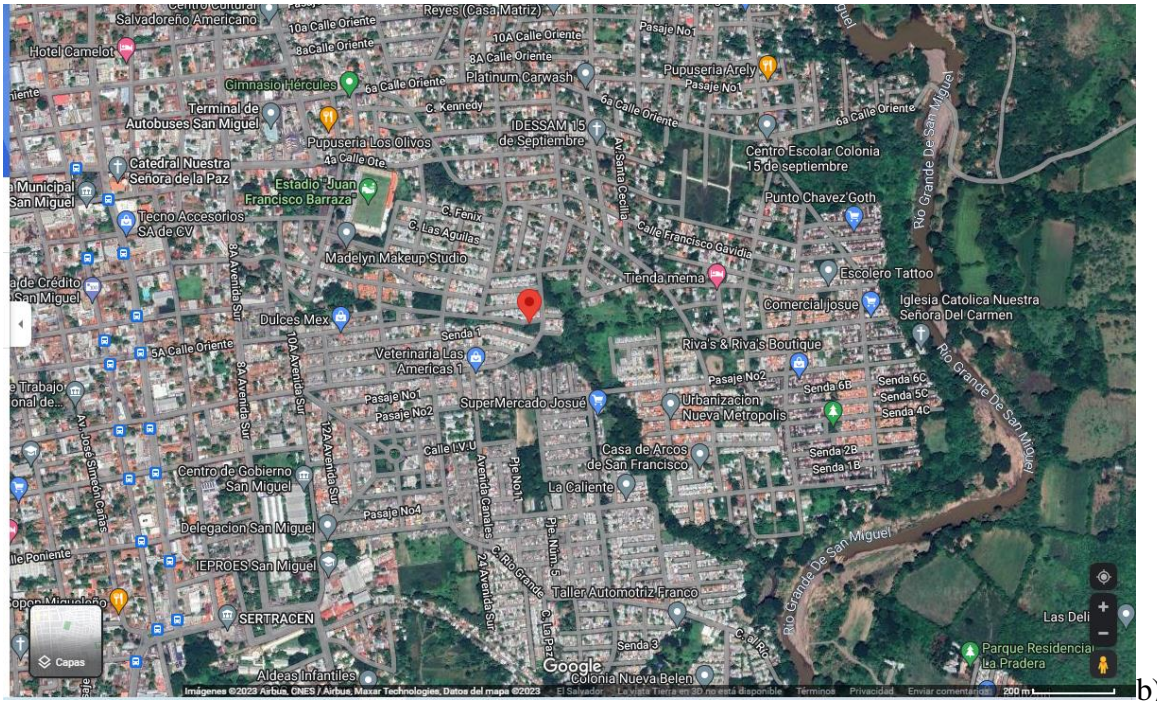
Las muestras fueron tomadas en las siguientes coordenadas: $13^{\circ}28'47.6''N$ $88^{\circ}09'55.5''W$ como se ilustra en la figura 4.3 a y b

Figura 4.4a y b

Coordenadas de Toma de Muestras 1(a) y 2 (b)



<https://bit.ly/405ZVgZ>



<https://bit.ly/3ID81q1>

4.2 Tipo de Investigación

Según su enfoque se clasifico como cuantitativo ya que su objetivo fue cuantificar los niveles de concentración de metales pesado en el rio Tixcuco.

Según su alcance como exploratorio, descriptiva y correlacional. Es exploratoria ya que consistió en estudiar un tema que no cuenta con antecedentes para ese río, convirtiendo así a esta investigación en un antecedente para futuros investigadores; es descriptiva ya que se buscó establecer, enfocándose únicamente en conocer los niveles de concentración de metales pesados; es correlacional ya que su finalidad fue determinar la relación entre las concentraciones de metales pesados muestreados y las establecidas en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales.

Según su ubicación en el tiempo se clasificó como transversal ya que se midió valores de concentración de metales pesados en un tiempo determinado.

Según el lugar la investigación se clasificó como de campo ya que se tomaron las muestras en el lugar dónde surge el fenómeno, es decir, en el entorno natural.

4.3 Diseño de investigación

Es experimental de tipo transversal porque la recolección de muestras se realizó en un periodo corto.

4.4 Unidad de Análisis

Concentración de metales pesados

4.5 Variables

Variable independiente:

El tiempo de realización de la medición

Variable dependiente:

Las concentraciones de cadmio, plomo, mercurio y arsénico

Las variables intervinientes

La época del año

Tipo de vertido que se descargue al río y cantidad

Definición de variables

Tiempo: es el lapso donde se realizaron las muestras; noviembre de 3/ 2019 primera toma de la muestra y eEnero16/2020 la segunda toma de la muestra.

Metales Pesados Es la cantidad en mg/l de concentración de arsénico, plomo, cadmio y mercurio contenidos en el agua del río Tixcuco en el momento de la toma de muestra2.

4.6 Operacionalización de Variables

Tabla 4.1

Operacionalización de variables

Tema: Evaluación de metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, ciudad de San Miguel.							
Enunciado del problema: ¿Existe diferencia en la concentración de los de metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, Ciudad de San Miguel y los establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales?							
Objetivo General: Evaluar los metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, ciudad de San Miguel							
Hipótesis de investigación: Si existe diferencia en la concentración de los de metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, Ciudad de San Miguel y los establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales.							
Objetivos Específicos	Hipótesis Alternativas	Unidades de análisis	Variables	Definición conceptual	Operalización de variables.	Técnicas Utilizadas	Instrumentos Utilizados
Identificar la presencia de metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, ciudad de San Miguel.	Ha1: La concentración de los de metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, Ciudad de San Miguel y son mayores a los establecidos	Concentración de metales pesados	Variable independiente: Tiempo de realización del muestreo	Es el lapso donde se realizaron las muestras; del 3/ noviembre de 2019	Se recogieron muestras de aguas residuales en dos lugares, en diferentes épocas del año y fueron trasladadas al Laboratorio	Observación Experimentación El laboratorio utilizó las técnicas	Computadora Cámara fotográfica Recipientes herméticos Calculadora Teléfono Beaker

en el río Tixcuco. Comparar los niveles de concentración de metales pesados encontrados en la descarga principal de las aguas residuales en el río Tixcuco con los valores establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales.	dos en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales. Ha2: La concentración de los de metales pesados en aguas residuales descargadas en el río Tixcuco, Ciudad de San Miguel y son menores a los establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales.	ntraciones de cadmio, plomo, mercurio y arsénico	segunda toma de la muestra Es la cantidad en mg/l de concentración de arsénico, plomo, cadmio y mercurio contenidos en el agua del río Tixcuco en el momento de la toma de muestra	Fisicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de San Salvador	Colorimétrico Fotométrico Ion Selectivo Fotométrico	Botellas plásticas Hielera
--	--	--	--	---	---	----------------------------

4.7 Tipo de Muestreo

El muestreo realizado fue no probabilístico, por conveniencia (juicio sesgado). Se seleccionaron dos puntos representativos del sector donde el río hace su recorrido es en la Colonia las Águilas. Se realizaron dos muestras de aguas residuales del sector.

4.8 Tamaño de la Muestra

Se seleccionaron metales pesados concentraciones de las siguientes sustancias químicas: sustancias de tipo inorgánicas de alto riesgo para la salud como el Mercurio, Plomo, Arsénico y Cadmio; comparándose los resultados con en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales

4.9 Temporalidad del Muestreo

El muestreo se realizó en la época seca durante los meses de noviembre de 2019 y febrero del 2020

4.10 Tratamiento de Muestras

Las muestras se extrajeron de dos sectores del río Tixcuco y fueron trasladadas al laboratorio Físicoquímicos de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la UES

4.11 Técnicas e instrumentos

Las técnicas utilizadas para el desarrollo de la investigación fueron

Técnica documental y de campo

Para esta investigación se utilizó la técnica documental para sustentar la parte teórica del trabajo, con la cual se plantearon las hipótesis, así como las bases para poder hacer el análisis de los datos que se obtuvieron, la técnica de campo es la que confrontó los valores de concentraciones de metales pesados con los establecidos en el reglamento reglamento . además,

por la observación directa se deduce que los factores físicos como el color, olor están modificados en el río en estudio.

Experimentación

Se extrajeron las muestras de agua de forma directa las cuales fueron analizadas por el Laboratorio Físicoquímico de Aguas.

Laboratorio

Para cada metal se utilizó una técnica diferente. Como se ilustra en tabla 4.2

Tabla 4.2

Métodos de Análisis de Muestras

Parámetros	Método análisis
Arsénico	Colorimétrico
Cadmio	Fotométrico
Mercurio	Ion Selectivo
Plomo	Fotométrico

Análisis numérico y estadístico

Técnica con la cual se determinó si existía o no diferencia entre los valores medidos y el establecido por el Reglamento de Aguas Residuales, además para conocer si esta diferencia era significativa o no, se utilizó la prueba estadística t-student

Los instrumentos para la recolección y traslado de las muestras fueron: botellas plásticas, recipientes herméticos, beaker, hielera.

Medios materiales: memoria USB, computadora, cámara fotográfica, teléfono, papel, calculadora.

4.12 Procedimiento

- a) Se eligieron dos puntos del rio Tixcuco para realizar la toma de muestras como se muestra en la figura 4.5 a y b

Figura 4.5 a y b

Lugares de toma de muestras. a) Primera muestra b) segunda muestra



- b) Se esterilizaron los instrumentos utilizados en el muestreo para evitar impurezas. Se recolecto agua en un balde y luego se llenó un frasco de 1000ml.
- c) Se realizaron dos tomas de muestras de agua en el rio la primera muestra se realizó en noviembre 2019 como se ilustra en la figura 4.6 y la segunda muestra se realizó en febrero 2020 como se ilustra en la figura 4.7

Figura 4.6.

Recolección de Agua para Primera Muestra



Figura 4.7.

Recolección de Agua para Segunda Muestra



- d) Las muestras fueron trasladadas al Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la UES.


Capítulo V: Presentación de Resultados

5.1 Tabulación, Análisis e Interpretación de Datos

Los resultados de los análisis de concentración de metales pesados realizados por el Laboratorio Físicoquímico de Agua para la primera muestra se ilustran en la figura 5.1 y para la segunda muestra figura 5.2

Figura 5.1

Análisis de Concentración de Metales Pesados Primera Muestra



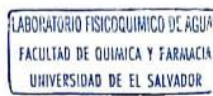
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS


CODIGO Nº 39-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: PEDRO ULISES NAVARRO VILLEGAS. CARRETERA AL CUCO, KILOMETRO 144. SAN MIGUEL.					Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUAS RESIDUALES.					Nº DE MUESTRAS: 1
Lugar de toma de muestra: RIO TIXCUCO. SAN MIGUEL.					
Fecha de elaboración del informe: MIÉRCOLES, 27 DE NOVIEMBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 26 DE NOVIEMBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: 26 Y 27 DE NOVIEMBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Reglamento Técnico Salvadoreño 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Arsénico	Colorimétrico	39-01	-----	0.02 mg/L	0.1 mg/L
Cadmio	Fotométrico			0.013 mg/L	0.1 mg/L
Mercurio	Ion Selectivo			0.004 mg/L	0.01 mg/L
Plomo	Fotométrico			0.78 mg/L	0.5 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					


Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.


NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
 - Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
 - El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas_sjz_lfqqa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 28 NOV 2019




 Lic. Rosa Miran Rivas de Lara
 Analista


 Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
 Jefe del Laboratorio y Analista


 Lic. María del Carmen Pardo Martínez
 Analista

FIN DEL REPORTE

ad

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfq_ues@yahoo.com

Nota: en las aguas residuales del río Tixcuco hay presencia de los metales pesado Arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomo. Para los primeros tres el valor de concentración es menor al establecido en el RTS 13.05.01:18, solamente el Plomo sobrepasa el valor establecido.

Figura 5.2

Análisis de Concentración de Metales Pesados Segunda Muestra





F - 09

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FISCOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 03-20		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: PEDRO ULISES NAVARRO VILLEGAS. CARRETERA AL CUCO, KILOMETRO 144. SAN MIGUEL.					Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA DE RIO.					N° DE MUESTRAS: 1
Lugar de toma de muestra: RIO TIXCUCO. SAN MIGUEL					
Fecha de elaboración del informe: VIERNES, 14 DE FEBRERO DE 2020.					
Fecha de recepción de muestra: 06 DE FEBRERO DE 2020.			Fecha de Análisis: DEL 06 AL 14 DE FEBRERO DE 2020.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Reglamento Técnico Salvadoreño 13.05.01:18 Agua. Aguas Residuales
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Arsénico	Colorimétrico	03-20	-----	0.2 mg/L	0.1 mg/L
Mercurio	Ion Selectivo			NO DETECTADO	0.01 mg/L
Piomo	Fotométrico			0.754 mg/L	0.5 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.					
NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio. - Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio. - El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sgc.lfqa@gmail.com					
FECHA DE ENTREGA: <u>20 FEB 2020</u>					
 Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras Jefe del Laboratorio y Analista					
FIN DEL REPORTE					

Nota: en las aguas residuales del rio Tixcuco hay presencia de los metales pesado Arsénico, y Plomo, pero los valores encontrados son mayores a los establecidos en el RTS 13.05.01:18.

De la información de la figura 5.1 y 5.2 se elaboró la tabla 5.1

Tabla 5.1*Concentración Metales Pesados Medidos y los Establecidos por el RTS 13.05.01:18*

Metal	Primera Muestra Noviembre 2019	Segunda Muestra Febrero 2020	RTS 13.05.01:18
Arsénico	0.02 mg/L	0.2 mg/L	0.1 mg/L
Cadmio	0.013 mg/L	-	0.1 mg/L
Mercurio	0.004 mg/L	No detectado	0.01 mg/L
Plomo	0.78 mg/L	0.754 mg/L	0.5 mg/L

Nota: el valor de la concentración de los metales pesados varía en cada muestra, ese resultado podría deberse a que no se realizó en el mismo lugar y por el tipo de vertido que tenía el río. En la segunda muestra las concentraciones son mayores a los establecidos, para el Arsénico su valor es el doble y el Plomo se mantiene con la misma magnitud.

5.2 Prueba de Hipótesis

Para el Cadmio y el Mercurio no se realizó la prueba estadística por que no se detectaron en la muestra dos. Los valores de concentración de los metales pesados Arsénico y Plomo obtenidos eran diferentes a RTS por eso se realizó la prueba estadística T-student. Los resultados se ilustran en las tablas 5.2 y 5.3

Tabla 5.2*Prueba T para el Arsénico*

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	0.11	0.1
Varianza	0.0162	0
Observaciones	2	2
Varianza agrupada	0.0081	

Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	2
Estadístico t	0.111111111
P(T<=t) una cola	0.460836978
Valor crítico de t (una cola)	2.91998558
P(T<=t) dos colas	0.921673955
Valor crítico de t (dos colas)	4.30265273

Análisis: aunque los datos son diferentes y en la muestra dos su valor se duplicó, estadísticamente la diferencia no es significativa. Para el Arsénico se acepta la hipótesis nula verificándose que no hay diferencia entre los valores medidos y establecidos en el RTS 13.05.01:18..

Tabla 5.3

Prueba T para el Plomo

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	0.767	0.5
Varianza	0.000338	0
Observaciones	2	2
Varianza agrupada	0.000169	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	20.53846154	
P(T<=t) una cola	0.001181118	
Valor crítico de t (una cola)	2.91998558	
P(T<=t) dos colas	0.002362236	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30265273	

Análisis: los valores de las concentración son diferentes en las dos muestras y su valor es mayor al establecido en el reglamento y estadísticamente la diferencia es significativa. Para el Plomo se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa 1 que indica que los valores medidos son mayores a los establecidos en RTS 13.05.01:18.

Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

La calidad del agua fluye en el río es de muy mala calidad ya que se observa muy oscura, que contiene muchos residuos, presenta malos olores debido a la descomposición de materia orgánica, se está convirtiendo en un foco de contaminación en la ciudad de San Miguel.

Las concentraciones de los metales pesados de tipo inorgánicas como el mercurio, cadmio, arsénico representan un alto riesgo para salud y el medio ambiente, aunque, no superan valores los límites máximos permisibles por el reglamento a excepción del As que una muestra lo duplica, siempre generan un daño adverso ya que son acumulables en los organismos.

Los valores en la concentración del Plomo en el río Tixcuco son muy altos, siendo una situación preocupante porque esto afecta la flora y fauna del río y sirve como vehículo de transmisión de enfermedades a otras especies que habitan el cuerpo de agua o los que viven cerca del río.

6.2 Recomendaciones

Es necesario continuar la investigación sobre la calidad del agua del Río Tixcuco para conocer que componentes químicos están alterando la calidad del agua en modalidad de monitoreos especialmente para los metales Mercurio y Plomo por ser nefrotóxicos.

Es importante que se apliquen métodos de eliminación de componentes químicos de tipo natural en este río para eliminar todos los componentes que pueda afectar la flora y la fauna de este río.

Se debe dar tratamiento primario a el agua antes de ser descargada al río.

Debe iniciarse una gestión para diseñar y ejecutar un sistema de depuración del agua de tal forma que permita disminuir o eliminar las concentraciones de metales tóxicos.

Crear pilas de captación de aguas residuales para posteriormente darles tratamiento adecuados y después del tratamiento descargarlos al río.

Bibliografía

(SNET). (septiembre de 2004). *Servicio Nacional De Estudios Territoriales*.

<http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/icasanmiguel.pdf>

Agua.org. (30 de agosto de 2017). <https://agua.org.mx/actualidad/agua-la-salud/>

Aguas residuales. (20 de noviembre de 2015).

[https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/sustancias-contaminantes-y-sus-efectos-en-la-calidad-del-](https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/sustancias-contaminantes-y-sus-efectos-en-la-calidad-del-agua#:~:text=Se%20trata%20de%20%C3%A1cidos%2C%20sales,ecosistemas%20acu%C3%A1ticos%2C%20reduciendo%20la%20biodiversidad.)

[agua#:~:text=Se%20trata%20de%20%C3%A1cidos%2C%20sales,ecosistemas%20acu%C3%A1ticos%2C%20reduciendo%20la%20biodiversidad.](https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/sustancias-contaminantes-y-sus-efectos-en-la-calidad-del-agua#:~:text=Se%20trata%20de%20%C3%A1cidos%2C%20sales,ecosistemas%20acu%C3%A1ticos%2C%20reduciendo%20la%20biodiversidad.)

Arroyo, A. M. (julio-septiembre de 2007). El agua en la atmósfera. *Ciencia*, 58(3), 36-44.

<https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/ediciones-anteriores/77-vol-58-num-3-julio-septiembre-2007/agua/117-el-agua-en-la-atmosfera>

Avila, I. (11 de abril de 2018). Alcaldía de San Miguel limpia quebrada Tixcuco. *El Diario de Hoy*. Retrieved 2019 de septiembre de 18.

Avila, Iliana. (11 de abril de 2018). elsalvador.com:

<https://historico.elsalvador.com/historico/470060/alcaldia-de-san-miguel-limpia-quebrada-tixcuco.html>

Carcauca. (19 de marzo de 2021).

<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=337de1a259ad4e1abad811c0d6188c1a>

Cartagena, R. C. (2006). <http://www.adessantamarta.sv/>.

<http://www.adessantamarta.sv/docs/investigaciones/articulo%20metales%20pesados.pdf>

Chema Lizarralde, Henar de Pedro. (12 de junio de 2022). *20minutos.es*. Retrieved 14 de agosto de 2023, from <https://www.20minutos.es/noticia/5012279/0/el-cadmio-un-metal-pesado-que-asimilamos-a-traves-de-la-comida-y-que-puede-ser-mortal/>

EcuRed. (sf). *EcuRed*. https://www.ecured.cu/Calidad_del_agua

EcuRed, T. d. (20 de Agosto de 2020). *1. Hidrosfera. Origen y distribución.*

https://www.cienciasfera.com/materiales/biologiageologia/cienciatierra/tema02/1_hidrosfera_origen_y_distribucion.html

Edenagua. (5 de mayo de 2021). <https://www.edenagua.com/tipos-de-agua-cuantos-hay-y-que-significan/>

EDUCANDO. (11 de Octubre de 2019). *El agua: Recurso vital para la vida.*

<http://www.educando.edu.do/docentes/un-ciudadano-ejemplar/el-agua-recurso-vital-para-la-vida/>

Equipo editorial, Etecé. (2 de mayo de 2017). *Enciclopedia Humanidades*. Retrieved 2 de agosto de 2023, from <https://humanidades.com/contaminacion-del-agua/>

Esquivel, O. (2007). Universidad Católica José Simeón Cañas, San Sañador.

<http://www2.uca.edu.sv/investigacion/fiaes/fiaes1.html>

Facsa. (23 de enero de 2017). <https://www.facsa.com/metales-pesados/>

Flores, E. (7 de febrero de 2015). *Composicion quimica de las aguas naturales.*

http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf

Iagua. (16 de mayo de 2017). *Iagua*.

<https://www.iagua.es/noticias/mexico/conagua/17/05/16/propiedades-agua>

Igrac. (sf). <https://www.un-igrac.org/es/es/que-es-agua-subterranea>

igrac.org. (9 de Agosto de 2020). <https://www.un-igrac.org/es/que-es-agua-subterranea>

Lenntech. (sf). <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/hg.htm>

MARN. (enero de 2016). <http://rcc.marn.gob.sv/handle/123456789/193>

MARN. (2 de mayo de 2019). Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18. Diario Oficial de El Salvador. (79), pág. 21.

file:///C:/Users/admin/Downloads/TOMO%20No.%20423%20DE%20FECHA%20%20DE%20MAYO%20DE%202019%20NUMERO%2079.%20ACUERDO%20No.%20130%20%20REGLAMENTO%20TECNICO%20SALVADOREN%CC%83O_.pdf

Recursos Hídricos. (2017). <http://www.recursoshidricos.gov.ar/web/index.php/nuestra-funcion/2017-03-23-14-12-06/calidad-de-agua>

Ruiz, D. (30 de Enero de 2014). *La hidrosfera y su Distribucion* .

<https://prezi.com/wrdm5sx2cxgx/la-hidrosfera-y-su-distribucion/>

Salgado, S. (s.f).

<https://i.pining.com/originals/b4/09/63/b40963b4d50a895f4a3d8c6244980c5e.jpg>

Setapht. (sf). <https://www.setapht.com/blog/parametros-de-calidad-del-agua-potable/>

Silva, J. (10 de julio de 2008). *Scielo.*

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652008000200020

Stodocu. (2019). <https://www.stodocu.com/pe/document/universidad-nacional-federico-villarreal/topografia-i/agua-bioquimica-nota-14/5741849>

Tutiempo.net. (s.f). <https://tierra.tutiempo.net/el-salvador/quebrada-tixcuco-es009089.html>

Zarza, L. F. (sf). *Iagua.* <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-superficiales>