



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

Tesis



“Evaluación de riesgo a la ingesta de contaminantes en
agua consumida en regiones de Puebla y Veracruz”

PRESENTA:

MIGUEL CRUZ FLANDEZ

CON NÚMERO DE CONTROL

17TE0397

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

CLAVE DEL PROGRAMA ACADÉMICO

IAL-2010-219

DIRECTOR (A) DE TESIS:

DR. HIRAM ALEJANDRO WALL MARTINEZ

“ La Juventud de hoy, Tecnología del Mañana”

TEZIUTLÁN, PUEBLA, MAYO 2022



PRELIMINARES

Agradecimientos

A Dios por ser ese guía espiritual que ha estado conmigo en los momentos difíciles y a su vez en los momentos de felicidad absoluta, quien ha sido ese amigo incondicional que me motiva de manera espiritual a ser la mejor versión de mí mismo y a cumplir mis más grandes sueños en esta vida.

A mis padres Paulina Flandez y Marcelino Cruz, que, con todo su amor, cariño y comprensión, me han brindado la oportunidad para salir adelante y de cumplir mis sueños de niño, quienes, con sus consejos y amor, son mi más grande impulso para salir adelante, estoy profundamente agradecido y feliz por tenerlos como padres.

A mis hermanos Diana, Abraham, Paola y Karla, les agradezco profundamente por apoyarme incondicionalmente en los momentos difíciles, brindarme su cariño, por los consejos y sobre todo por creer en mí. GRACIAS HERMANOS LOS QUIERO MUCHO.

A mi asesor el Dr. Hiram Alejandro Wall Martínez por brindarme sus conocimientos y apoyarme en la realización de este proyecto y a todos mis maestros que durante la carrera me apoyaron y transmitieron sus conocimientos

Resumen

El estudio sobre la evaluación de riesgo a la ingesta de contaminantes presentes en agua consumida en regiones de Puebla y Veracruz, se realizó debido a que el consumo de agua contaminada es un gran dilema a nivel mundial, ya que muchas de las enfermedades diarreicas son producidas por el consumo de agua de una calidad dudosa en especial en los países en subdesarrollados o en vías de desarrollo, el objetivo del estudio es identificar los principales agentes contaminantes presentes en el agua consumida en regiones de Puebla y Veracruz.

Los datos obtenidos en esta investigación se analizaron con la ayuda del programa @RISK, que es una herramienta estadística que nos permite mediante una simulación estudiar el comportamiento de los resultados y de esta forma predecir qué sucederá con la población expuesta a este tipo de contaminantes. Dentro de los resultados que se obtuvieron resalta la prueba microbiológica para determinar coliformes totales y fecales mediante el número más probable en 100 ml de muestra en tubos múltiples, en donde de las 5 muestras de agua analizadas en esta región se observó que 3 de ellas resultaron positivas para coliformes totales y fecales, las cuales fueron agua de garrafón marca local Teziutlán, agua de río y el agua de la llave de Teziutlán, lo que supone un riesgo considerable a la población por el consumo de agua con agentes contaminantes. En conclusión, si se logró identificar la presencia de agentes contaminantes en estas aguas, en especial microbiológicos los cuales llegan a producir enfermedades diarreicas a la población, también por medio de las encuestas que se aplicaron a la población se logró determinar, tanto la procedencia del agua que se consume, sus principales usos en el hogar en la preparación de alimentos y el consumo de agua al día para cada habitante de esta región.

Introducción

De acuerdo con la organización mundial de la salud (OMS) el agua potable para uso y consumo humano debe ser accesible para todos los habitantes por lo que se considera como un derecho primordial por los diferentes usos y aplicaciones que tiene. Por tal motivo la Asamblea General de las Naciones Unidas establece en 2010 que todos los habitantes tienen el derecho a un abastecimiento continuo de agua de excelente calidad, salubre, accesible y asequible para todos (OMS, 2019).

La contaminación pone en riesgo este derecho, debido a que el agua es muy susceptible a degradarse y esta puede llegar a ser ingerida por la población presentando un gran problema a nivel mundial, Según la OMS el agua se contamina "cuando su composición se haya modificado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso, al que se le hubiera destinado en su estado natural". Poniendo en peligro la salud de los seres humanos provocando el desarrollo de enfermedades entéricas o en casos extremos la muerte si no se tienen los cuidados necesarios para tratar las enfermedades. (OMS, 2019)

Aun con los desarrollos tecnológicos en años recientes, la pésima calidad del agua sigue representando severos problemas de salud, según estadísticas el 80% del agua utilizada no se le aplica ningún tratamiento que garantice que es apta para consumo poniendo en riesgo la salud de la población. Por tal motivo es prioridad tener más y mejores regulaciones con respecto a los límites de descargas industriales que producen sustancias tóxicas en el agua (INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DE AGUA, 2020).

Índice general

PRELIMINARES	2
Agradecimientos.....	3
Resumen	3
Introducción	5
Capítulo I Generalidades del proyecto	10
1.1. Descripción de la empresa u organización.....	11
1.1.2. Misión y visión	11
1.2.3 Macro localización y micro localización.....	11
1.3 Planteamiento del problema	12
1.4 Objetivos.....	13
1.4.1 Objetivo general.....	13
1.4.2 Objetivos específicos.....	13
1.5 Justificación	14
Capítulo II Marco teórico	15
2.1. Marco teórico	16
2.2. Agua.....	16
2.3 Disponibilidad de agua para consumo	17
2.4 Agua y salud pública.....	18
2.5 Agentes contaminantes en el agua	19
2.6 Metales pesados.....	21
2.6.1. Principales metales pesados y límites máximos permisibles en alimentos	23
2.6.2. Cadmio	24
2.6.3. Plomo	25
2.6.4. Arsénico	26
2.6.5 Mercurio (Hg).....	27
2.7 Riesgo por consumo de agua con contaminantes microbiológicos	29
2.8. Microorganismos indicadores de la calidad del agua	31
2.9 Microorganismos utilizados como indicadores de la calidad del agua.....	32

2.9.1 Bacterias.....	33
2.9.2 Coliformes totales.....	34
2.9.3 Coliformes termotolerantes	34
2.9.4 <i>Eschericha Coli</i>	35
Capítulo III Desarrollo y metodología	37
3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	38
3.1.1 Selección de la muestra	38
3.1.2 Encuestas.....	38
3.1.3 Análisis microbiológicos para determinar si existe contaminación microbiana.....	39
3.2 Alcance y enfoque de la investigación	44
3.3 Hipótesis.....	44
3.4. Diseño y metodología de la investigación.....	45
3.6 Recolección de datos.....	45
3.7 Análisis de datos	46
Capítulo IV Resultados.....	47
4.1 Resultados.....	48
4.1.1 Resultados de encuestas	48
4.1.2 Resultados del análisis microbiológico	55
4.1.3 Ingesta diaria de contaminantes y consumo de agua al día.....	59
Capítulo V Conclusiones	64
5.1 Conclusiones de los objetivos específicos	65
5.2 Conclusiones relativas al objetivo general	66
5.3 Aceptación de la hipótesis planteada	66
5.4 Conclusiones del proyecto, recomendaciones y experiencia profesional y personal adquirida	67
5.5 Aportaciones originales.....	67
5.6 Limitaciones del modelo planteado	68
5.7 Recomendaciones.....	68
Capítulo VI Referencias	69
6.1 Referencias bibliográficas.....	70

7.1 Anexos	80
7.1.1 Carta de autorización.....	80
7.1.2 Encuesta aplicada.....	82

Índice de imágenes

Ilustración 1. Agua contaminada con sedimentos y agua purificada.....	18
Ilustración 2 Contaminantes del agua, características y efectos en la salud.....	20
Ilustración 3. Vías de contaminación por metales.	22
Ilustración 4 Agua contaminada con metales pesados	23
Ilustración 5 Muestra de agua positiva para coliformes fecales.	30
Ilustración 6. Microorganismos bioindicadores de la calidad del agua.	32
Ilustración 7 Bacterias gram positivas y gram negativas.....	33
Ilustración 8 Bacteria <i>E. Coli</i> vista desde un microscopio.	36
Ilustración 9. Análisis presuntivo para coliformes totales y fecales	41
Ilustración 10. Análisis confirmatorio para coliformes totales y fecales.....	42
Ilustración 11. Gráfico de circular sobre conocimiento si el agua es potable	48
Ilustración 12. Gráfica circular fuentes de agua utilizada para beber.....	49
Ilustración 13. Gráfica circular fuentes de agua utilizada para cocción de alimentos	50
Ilustración 14. Gráfica circular fuentes de agua utilizada para preparación de alimentos en crudo	50
Ilustración 15. Gráfica circular de agua utilizada para bebidas calientes.....	51
Ilustración 16. Gráfica circular agua utilizada para bebidas de fruta de natural	52
Ilustración 17. Gráfica de uso de un proceso de desinfección	53
Ilustración 18. Gráfica tipos de desinfección usados.....	53
Ilustración 19 Gráfica de motivos por no realizar un proceso de desinfección	54
Ilustración 20. Tubos positivos de coliformes totales.	56

Ilustración 21. Tubos positivos de coliformes fecales.....	57
Ilustración 22. Comparación de ajuste para consumo L/día.....	59
Ilustración 23 Comparación de ajuste de peso	60
Ilustración 24 Formula para calcular la ingesta diaria estimada.....	62

Índice de tablas

Tabla 1 Sustancias más habituales del mercurio.	28
Tabla 2. Valores de NMP por cada 100 ml de muestra y 95 % de límite de confianza.....	43
Tabla 3 Datos obtenidos del análisis de coliformes totales.....	55
Tabla 4. Resultados del análisis de coliformes fecales.....	56
Tabla 5 Resultados del río Atoyac en Puebla.....	61
Tabla 6 Ingesta diaria estimada de la población expuesta.	63

Capítulo I Generalidades del proyecto

1.1. Descripción de la empresa u organización

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán es una escuela de educación superior que encarga de formar y preparar ingenieros profesionales que sean agentes de cambio que brinde soluciones a los problemas que se presentan en el campo laboral e industrial, promoviendo el desarrollo e innovación en los procesos de producción y comercialización.

1.1.2. Misión y visión

Misión: formar Profesionales que se constituyan en agentes de cambio y promuevan el desarrollo integral de la sociedad, mediante la implementación de procesos académicos de calidad.

Visión: Llegar a ser la Institución de Educación Superior Tecnológica más reconocida en el Estado de Puebla, que ofrezca un proceso de Enseñanza – Aprendizaje certificado, comprometido con la excelencia académica y la formación integral del Alumno, contribuyendo al desarrollo sustentable, económico, político y social de nuestro Estado.

1.2.3 Macro localización y micro localización

Macrolocalización: se localiza en la ciudad de Teziutlán Puebla

Microlocalización: con domicilio en Fracción I y II, Aire Libre S/N, C.P 73960.

1.3 Planteamiento del problema

A nivel mundial las aguas residuales que se descargan sin ningún tratamiento en ríos, lagos, y océanos se estiman entre 80 y 95% (Conagua, 2015). Estas llegan a contener componentes químicos disueltos, así como partículas sólidas suspendidas a diferentes concentraciones, que al ser desechadas sin ningún procedimiento previo provoca que los cuerpos de agua superficiales se contaminen ocasionando que esta agua no sea apta para ser ingerida.

Los recursos hídricos son de gran relevancia para el crecimiento y desarrollo de la vida en la tierra, la población depende de su existencia para su consumo, funcionamiento y continuidad de los procesos agrícolas e industriales. En años recientes la demanda de este vital líquido ha aumentado en gran medida por el crecimiento poblacional, con el fin satisfacer la demanda de producción de alimentos y suministrar agua potable a la población. No obstante, la contaminación de este recurso, provocada por las descargas de aguas residuales municipales e industriales ponen en riesgo la salud de la población la cual se ve expuesta a estos contaminantes (SEMARNAT,2012).

La OMS (2019) establece que el agua contaminada y el saneamiento deficiente se relacionan con la propagación de enfermedades como el cólera, diarreas, disentería, hepatitis A entre otras enfermedades. En gran medida por los servicios de saneamiento y distribución de agua deficientes o inexistentes, provocando que la población se exponga a estos contaminantes. Se estima que 842 000 personas fallecen anualmente de enfermedades diarreicas a causa de la pésima calidad del agua.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Identificar los principales agentes contaminantes presentes en el agua consumida en regiones de Puebla y Veracruz.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar la procedencia del consumo del agua en las regiones de Puebla y Veracruz
- Estimar la cantidad de agua que consume la población de las regiones Puebla y Veracruz.
- Determinar los principales contaminantes presentes en el agua de las regiones de Puebla y Veracruz.
- Evaluar la ingesta diaria de agentes contaminantes que consumen las poblaciones de regiones de Puebla y Veracruz.

1.5 Justificación

El consumo de agua con agentes contaminantes es un dilema de gran importancia en el mundo, principalmente en países subdesarrollados y en vías de desarrollo, en donde no se cuenta con procesos de potabilización del agua lo cual lleva a la población a recurrir al uso de agua de pozos o ríos para su ingesta y uso en sus actividades, no obstante, la mayoría de estas fuentes se encuentran contaminados presentando un peligro considerable para la población. Por otra parte, los procesos de potabilización con los que se cuentan rara vez reciben un mantenimiento adecuado en sus instalaciones o tuberías de transporte, esto provoca que agentes contaminantes ya sea químicos (metales pesados) o microbiológicos (bacterias, virus o paracitos etcétera) se incorporen al agua que va destinada para consumo humano, trayendo consigo el desarrollo de padecimientos en los seres humanos o en casos extremos la muerte por alguna enfermedad con estos agentes.

Por tal motivo el desarrollo de un estudio para evaluar el riesgo de ingesta de contaminantes en agua consumida en regiones de Puebla y Veracruz es de gran importancia, ya que los resultados obtenidos servirán para determinar los principales peligros a los que se expone la población de estas regiones y de esta forma brindar soluciones o desarrollar proyectos a largo o mediano plazo que ayuden a disminuir o evitar que la población se exponga a estos agentes contaminantes presentes en agua de consumo.

Capítulo II Marco teórico

2.1. Marco teórico

2.2. Agua

El agua se considerada fundamental e importante para el crecimiento y existencia de la vida humana, de ella depende nuestra salud, alimentación y la producción agrícola (Gray, 1996). Por lo tanto, el agua apta para ingesta, para el uso doméstico, higiene personal, y a su vez que esté libre de microorganismos causantes de enfermedades y libre de contaminantes químicos se considera como agua potable. (World Health Organization, 1993).

El acceso a este vital liquido se considera un derecho primordial nos permite realizar y satisfacer nuestras necesidades básicas de salud. En países subdesarrollados la pésima calidad de los servicios del agua potable es muy habituales, en gran medida por la inexistente organización, planificación o recursos económicos que aseguren a mediano o largo plazo un excelente servicio de este recurso (Chamizo, 2003).

2.3 Disponibilidad de agua para consumo

La disponibilidad natural del agua en México es considerada deficiente, además, se tiene en cuenta que existe una fuerte presión para garantizar el acceso a un volumen mínimo que permita satisfacer las necesidades humanas y ambientales son preocupantes, en especial si se tiene en cuenta las brechas existentes entre las diferentes regiones con respecto a su disponibilidad natural y social (Sosa, 2012).

Para determinar la disponibilidad de fluido, se deben de considerar el crecimiento demográfico poblacional, así como el aumento urbano-industrial, la sobre explotación y la degradación de las fuentes de agua. Teniendo en cuenta que estos aspectos afectan de manera considerable la cantidad de agua a la que se puede tener acceso (Duran & Torres, 2006). Castelán (2003) se señala que la verdadera disponibilidad del agua se encuentra limitada por cuatro aspectos los cuales son:

- i. La correlación costo-beneficio que asegure su rendimiento y las ganancias derivadas.
- ii. La inestabilidad espacial y temporal del escurrimiento que especifique dónde y cuándo éstos pueden ser utilizados.
- iii. La naturaleza del agua que establezca su utilización y tratamientos necesarios para su explotación.
- iv. El volumen y calidad mínima de una fuente de agua debe garantizar su existencia en los ecosistemas asociados.

2.4 Agua y salud pública

El agua y la salud están ampliamente relacionados, en los últimos años las dificultades con este recurso son debido a la calidad y cantidad para distribuir a cada rincón en donde se encuentre la población (Hernández *et al*, 2011).

Cerca de 1.8 millones de personas mueren cada año por enfermedades diarreicas de este número de personas fallecidas el 90% son infantes de cinco años o menos edad, provocado por un abastecimiento de agua insalubre, higiene y saneamiento deficiente (Organización mundial de la salud, 2011)

De acuerdo con la OMS la contaminación con agentes patógenos transferida por el consumo de agua, presenta un serio problema de salud humana. Por lo que, al presentarse esta problemática se exigen soluciones inmediatas que garanticen el control mediante la aplicación de sistemas de saneamiento, con el fin de evitar desarrollo de padecimientos en la salud relacionados con la procedencia del agua (World Health Organization, 2008).

Ilustración 1. Agua contaminada con sedimentos y agua purificada.



Fuente: https://www.latercera.com/resizer/BdWFWK0dmMYFqB7-TJMAAXa_NQk=/900x600/smart/cloudfront-us-east-1.images.arcpublishing.com/copesa/2FUFZBAKYNGGRJJORSMUZC4KGU.jpg (2018)

2.5 Agentes contaminantes en el agua

El agua es uno recurso muy susceptible a la contaminación, la cual se puede definir como el resultado de la adición ya sea intencional o no intencional de cualquier tipo de sustancia química o agente biológico que ocasione la alteración de sus propiedades, implicando en una variación de la calidad de este recurso hídrico, provocando restricciones e impidiendo su utilización para el consumo humano y la producción de alimentos (Henningman, 1973).

El agua contaminada se define como, grado de impurificación que puede llegar a ocasionar daños considerables en la salud de la población en un lapso de tiempo, ocasionado por la sobrepoblación, las actividades industriales y la urbanización. En los últimos años ríos, lagos y mares han sido contaminados de una manera muy alarmante provocado por las actividades humanas, la cual se presenta de manera natural o artificial, una ocasionada por el ambiente y la otra por la acción del hombre (Romero *et al*, 2009).

Las fuentes de agua subterráneas y superficiales son las más propensas a ser degradadas por una misma fuente, ya sea por la red de distribución o en los contenedores donde se almacenan. Por tan motivo estas fuentes deben de contar con sistemas adecuados que garanticen su protección para evitar su contaminación. Actualmente se han desarrollado sistemas que garanticen agua potable para consumo humano, no obstante, la evaluación de estos sistemas no se ha desarrollado de una manera rápida, ya que a finales del siglo XIX el agua no era señalada como una vía de contagio de enfermedades diarreicas e infecciosas (Creative, 2005).

En países de América latina la descarga irregular de desechos domésticos sin un tratamiento previo trae consigo la degradación de fuentes de agua superficiales y subterráneas. A su vez la eliminación de excretas presenta un riesgo considerable a estas aguas a una contaminación, en especial por la falta y escases de sistemas de desagües y tratamiento de agua negras provocando padecimientos diarreicos

como la amibiasis, tifoidea y hepatitis por mencionar algunos padecimientos (Chigor *et al*,2012).

Ilustración 2 Contaminantes del agua, características y efectos en la salud.

TIPO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA	ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA QUE EVIDENCIAN CONTAMINACIÓN	POSIBLES EFECTOS EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN
ORGÁNICA	<ul style="list-style-type: none"> - Valores altos de materia orgánica en suspensión, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales, amonio y nitrato. - Bajos niveles de oxígeno disuelto y de transparencia. - Abundancia de macroinvertebrados oligoquetos y quironómidos. 	Gastroenteritis, hepatitis A, fiebre tifoidea, salmonelosis y cólera por ingesta de agua contaminada.
INDUSTRIAL	<ul style="list-style-type: none"> - Valores elevados de nitrógeno total, fosfato, fósforo total y alcalinidad. - Valores muy bajos o muy altos de pH. - Presencia alta de bacterioplancton y fitoplancton y crecimiento rápido del perifiton. - Mortandad elevada de peces y pérdida de especies de peces sensibles a la contaminación. 	Lesiones en la piel y alergias por contacto o consumo. Daños del sistema nervioso, malformaciones congénitas y cáncer a nivel de distintos órganos por intoxicación con productos químicos.
POR METALES PESADOS	<ul style="list-style-type: none"> - Acumulación de metales en el perifiton y macrófitas. 	Úlceras, enfermedades respiratorias, daños en distintos órganos y cáncer a causa de la intoxicación por metales pesados.

Fuente:<http://www.aguasurbanas.ei.udelar.edu.uy/wp-content/uploads/2019/07/TABLA-3-2.png>
(2019)

2.6 Metales pesados

Los metales pesados en agua y alimentos representan un gran problema en el mundo, principalmente que, al presentarse en elevadas cantidades y por su elevada toxicidad, pueden llegar a causar daños irreversibles en la salud de los seres humanos, además de producir daños irreparables en la flora y fauna del planeta (Correa,2021). La letalidad de estos contaminantes tiene acción directa en el organismo de los seres vivos impidiendo las actividades del organismo como la actividad de enzimas, provocada por la interacción entre metal y el grupo sulfhídrico de las proteínas (Vullo, 2003).

Los metales pesados son aquellos cuya densidad es superior a 4 g/cm^3 , masa y peso atómico mayor 20, se caracterizan por su elevada toxicidad aun en pequeñas concentraciones. En estos podemos encontrar a elementos como Aluminio (Al), Berilio (Be), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cadmio (Cd), Arsénico (As), Mercurio (Hg), Plomo (Pb) por solo mencionar algunos (Lodoño *et al*, 2016). No obstante, aunque algunos metales pesados son perjudiciales algunos son esenciales para nuestro organismo y en ciertos casos la ausencia de ellos puede provocar problemas en la salud. Ya que el ser humano requiere de metales como el hierro, cobalto, cobre, manganeso, vanadio, estroncio y zinc, por mencionar solo algunos para un correcto funcionamiento de nuestro organismo (Robards & Worsfold, 1991).

Ilustración 3. Vías de contaminación por metales.



Fuente: Reyes *et al*, (2016)

2.6.1. Principales metales pesados y límites máximos permisibles en alimentos

Ilustración 4 Agua contaminada con metales pesados



Fuente:<https://www.plantasdeosmosis.com/upload/images/Aguas%20con%20metales%20pesados.png>. (2020)

2.6.2. Cadmio

El cadmio es un metal encontrado en piedras y en el suelo se usa a nivel industrial y en la fabricación de productos agrícolas (Marruecos *et al*, 1993). La principal fuente de exposición para los seres vivos es en alimentos y en el agua (Rogers *et al*, 2007). Su ingesta para los seres humanos ronda 10 y 40 µg/día

Los seres humanos se exponen de varias maneras a este tipo de metal:

- i. Oral, mediante la ingesta de agua y comida contaminada que pueden ser cereales, frutas, vegetales, vísceras y pescados (Nava-Ruíz & Méndez-Armenta 2011).
- ii. Respiración de polvo durante operaciones industriales donde los niveles de cadmio pueden llegar a 50 µg/L.
- iii. Consumo de tabaco, donde este metal se concentra en pulmones y en la sangre, su concentración se estima en 1.4 y 4µg/L dependiendo en la cantidad de cigarrillos que consume (Navarro Aviñó *et al*, 2007; Nava-Ruíz & Méndez Armenta 2011).
- iv. Dérmica por medio del contacto con la piel (Reyes *et al*,2016).

Tanto la severidad, los síntomas y alteraciones que provoca una intoxicación con este metal, está relacionada con la concentración, periodo de exposición y vías de entrada. En una exposición crónica se puede llegar a presentar padecimientos como la anemia, insuficiencia renal, problemas respiratorios, fallos en el sistema nervioso e hipertensión, fallos cromosómicos, efectos teratogénicos y congénitos. (Organización mundial de la salud, 1992; Jarup,2000).

2.6.3. Plomo

Es un metal que presenta un gran peligro en seres humanos, es considerado por los síntomas que genera tras su ingesta como un riesgo considerable para la salud, ya que puede llegar a afectar el desarrollo mental e intelectual, ocasiona hipertensión, así como padecimientos cardiovasculares en adultos. La intoxicación con este metal se llega a presentar por medio de la ingesta de agua o alimentos que contienen plomo que proceden de áreas contaminadas con este agente (Londoño *et al*, 2016).

Las rutas más comunes de absorción de este metal son las siguientes

- i. Respiración, esta se presenta por la absorción de moléculas de plomo que se generan por combustión de este material.
- ii. Ingesta, consumo de agua o alimentos que contienen plomo (Zurera *et al*, 1987).

Este metal tiende a acumularse con el paso del tiempo en diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes, la intoxicación con este metal varía dependiendo el rango de edad y el grado de exposición (Sanín *et al*, 1998). El plomo que se absorbe es acumulado en riñones, hígado, encéfalo y huesos por la cierta paridad con el calcio causa interferencia en las funciones del calcio, síntesis de hemoglobina y daños cerebrales (Londoño *et al*, 2016)

Las intoxicaciones con este metal ocasionan severos problemas en el sistema nervioso como la pérdida de sensibilidad, dolor y cansancio de los músculos, crisis hemolítica-anemia grave y hemoglobinuria. En casos extremos de una intoxicación grave se llega a presentar el fallecimiento, aunque regularmente las personas mejoran o solo se llega a presentar intoxicación crónica (McRill *et al*, 2000).

2.6.4. Arsénico

El consumo arsénico llega a causar daños cerebrales severos, enfermedades estomacales, parálisis, pérdida de la visión y algunos tipos de cáncer de piel, pulmón, riñón y próstata (Cantor, 1997; Thomann, 1984).

El Arsénico es elemento químico que se encuentra catalogado como un metaloide y se presenta de manera orgánica e inorgánica, esta última presenta un mayor grado de toxicidad (Das *et al*, 2012). Sus rutas de absorción son por medio de la piel, la respiración e ingesta. Se estima que el 90 % del arsénico ingresa a nuestro organismo por la vía oral, generando problemas renales, daños hepáticos además de dañar otros órganos y sistemas. Estudios clínicos han logrado identificar que la toxicidad del As se logra identificar por medio de las lesiones en la piel que este provoca (melanosis, hiperqueratosis, leucomelanosis, despigmentación) (Das *et al*, 2012). Logrando elevar los grados de estrés oxidativo ocasionando apoptosis y el posible desarrollo de cáncer (Nandi *et al*, 2005; Liu & Waalkes, 2008).

Se distribuye agua subterráneas y superficiales, la producción minera facilita la incorporación del arsénico a las reservas de agua Nordberg *et al* (2011). La ingesta de agua con este contaminante por largo periodos prolongados de cinco a veinte años causa padecimientos como la arsenicosis (Putila & Guo, 2011).

La Agencia de Protección Ambiental y la OMS establecen que el límite permitido de arsénico en agua es de 0.01 mg/L, por otra parte, en México la secretaria de salud en la norma 127-SSAI-1994 indica un límite de 0.05 mg/L (NOM-127-SSA1-1994).

2.6.5 Mercurio (Hg)

Metal de transición ampliamente utilizado en la industria minera, considerado como elemento tóxico, ya que puede provocar una gran contaminación, en especial por ser bioquímicamente activo, bioacumulable y persistente, este puede llegar a causar destrozos irreversibles en la naturaleza y en organismos vivos por su elevada toxicidad (Zambrano *et al*, 2017).

El mercurio es un metal que de manera natural se encuentra en concentraciones bajas, sin embargo, sus concentraciones han aumentado a causa de las emisiones de fuentes antropogénicas como el consumo y elaboración de hidrocarburos y la actividad minera (United Nations Environment Programme, 2013).

En la naturaleza se puede llegar a encontrar en forma de metal sólido, vapor, unido con diferentes elementos como las sales inorgánicas, compuestos orgánicos como el metilmercurio, se puede llegar a encontrar enlazado con elementos como el azufre, cloro y oxígeno. En la siguiente tabla se muestran los compuestos más comunes del mercurio en la corteza terrestre.

Tabla 1 Sustancias más habituales del mercurio.

Compuestos del mercurio en la corteza terrestre	
<i>Formula</i>	<i>Nombre</i>
<i>HgCl</i>	Cloruro de mercurio (I)
<i>HgCl₂</i>	Cloruro de mercurio (II)
<i>HgO</i>	Oxido de mercurio (II)
<i>HgS</i>	Sulfuro de mercurio (II)
<i>Hg(NO₃)₂</i>	Nitrato de mercurio (II)
<i>HgSO₄</i>	Sulfato de mercurio (II)
<i>Hg(ClO₄)₂</i>	Perclorato de mercurio (II)
<i>Hg(CNO)₂</i>	Cianato de mercurio (II)(fulminato)
<i>Hg(OH)₂</i>	Hidróxido de mercurio (II)

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, (2007)

La toxicidad del mercurio está relacionada con la fase química o compuesto en el que se encuentre, en donde encontramos al de mayor toxicidad el metilmercurio, que se puede integrar a la cadena alimenticia y posee la capacidad de ser bioacumulable en el organismo. Ataca al sistema nervioso ocasionando padecimientos neuronales, perjudica al sistema cardiovascular y es capaz de llegar a ser cancerígeno (Reyes *et al*, 2016).

El metilmercurio es absorbido mediante el consumo de pescado contaminado, causando pérdida gradual de la visión, pérdida de la movilidad, padecimientos cerebrales, parálisis y en casos extremo la muerte (Bisinoti & Jardim, 2004).

2.7 Riesgo por consumo de agua con contaminantes microbiológicos

La contaminación microbiológica en el agua (bacterias, protozoos, virus y helmintos etcétera) se ocasiona por múltiples factores directos o indirectos, tales como la sobrepoblación, la urbanización no controlada en zonas naturales, el desarrollo de la industria y la descarga de aguas negras en manantiales (Ríos Tobón *et al*, 2017)

La existencia de microorganismo en el agua no solo se limita a una sola región en específico o nivel de desarrollo, la falta de recursos económicos en los sistemas de potabilización, los métodos de distribución, la deficiencia en los sistemas de salud y control de enfermedades (Organización Mundial de la salud, 2011). Ocasiona una mayor velocidad en la difusión, incidencia, morbilidad y mortalidad en las enfermedades asociadas con la ingesta de agua contaminada, principalmente en países subdesarrollados (Organización Mundial de la Salud, 2011; Silvia *at el*, 2004).

Los agentes microbiológicos patógenos más comunes en fuentes de agua encontramos bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias. Los cuales pueden llegar a provocar severos padecimientos como gastroenteritis simple, diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea, estos padecimientos pueden llegar hacer propagados por los alimentos, por falta de higiene, por contacto con animales, etcétera (Prescott *et al*, 1996).

Los sistemas de control y prevención que garanticen agua potable para todos, existen en muchos países, no obstante, la demanda de agua se cubre en su totalidad por lo que en ocasiones por falta de monitoreo o infraestructura se llega contaminar con microorganismos patógenos, lo que trae consigo que la calidad de este recurso no sea la deseada. Aunque en la mayoría de países en donde se presentan estos casos, se cuentan con grades reservas de agua, el crecimiento demográfico, el crecimiento de la industria, el uso de fertilizantes, la descarga de

aguas negras, así como la deforestación, ocasionan escases de agua (Martínez Romero *et al*, 2009).

Ilustración 5 Muestra de agua positiva para coliformes fecales.



Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Amostras-positivas-para-coliformes-totais-em-Caldo-Lauril-A-Amostras_fig1_324497486. (2017)

2.8. Microorganismos indicadores de la calidad del agua

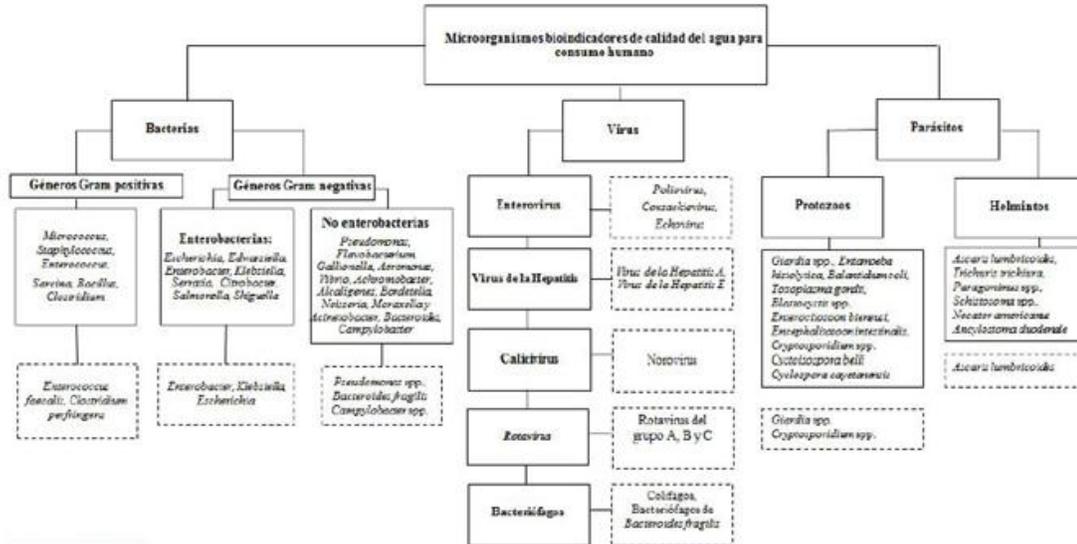
La buena calidad del agua a nivel microbiológico se determina con el uso de microorganismos indicadores, que son semejantes a los microorganismos patógenos, fáciles, rápidos y económicos de identificar he ahí su eficacia y uso. Si estos se llegan a identificar en las fuentes de agua, es evidente deducir que en el agua se encuentran agentes patógenos, debido a su interacción con el cambio de pH, temperatura, nutrientes o método de desinfección (Campos, 1999).

Para Fernández *et ál.* (2001) un microorganismos indicador de contaminación microbiológica debe ser:

- Ser componente de la flora intestinal
- Encontrarse en heces fecales de animales homeotérmicos
- Presentarse al mismo tiempo que los microorganismos patógenos intestinales.
- Presentarse en gran número para facilitar su detección y separación
- No crecer fuera del intestino
- Ser resistente a cambios en su entorno
- Sencillo de separar y estudiar
- No ser dañino para el cuerpo humano

2.9 Microorganismos utilizados como indicadores de la calidad del agua.

Ilustración 6. Microorganismos bioindicadores de la calidad del agua



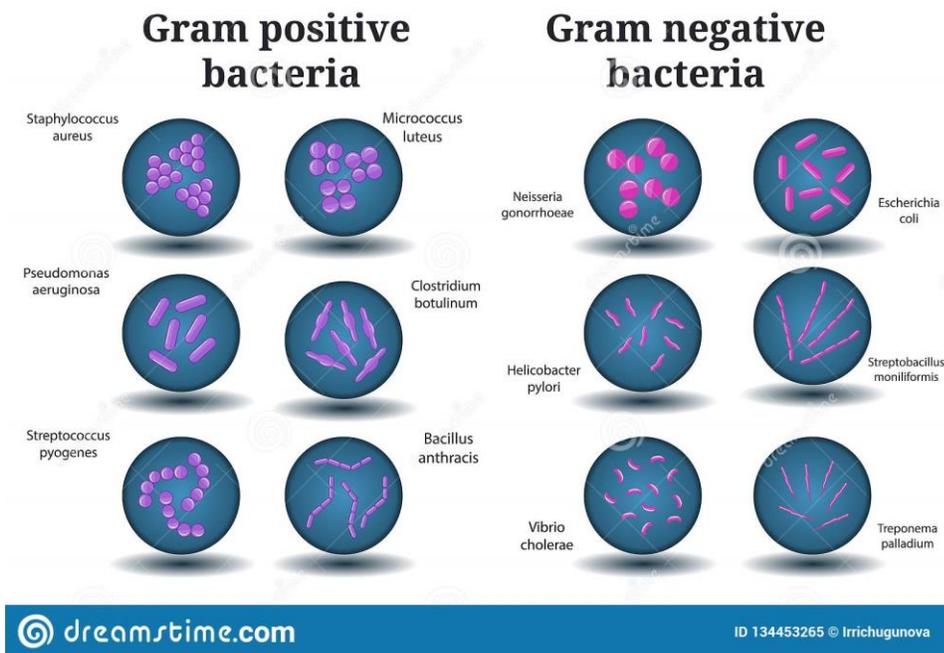
Fuente: <https://www.redalyc.org/journal/120/12052447008/0120-386X-rfnsp-35-02-00236-gf1.png>, (2017)

2.9.1 Bacterias

Las bacterias se transmiten por medio del agua, son fáciles de aislar de los medios acuosos, son entéricas en su mayoría, se encuentran en el intestino de los seres vivos se les conoce como bacterias fecales, no se desarrollan ni sobreviven en agua por mucho tiempo a causa de los cambios fisiológicos a las que se someten en este medio (Ríos Tobón *et al*,2017).

Estos microorganismos poseen habilidades que les permiten tener ventaja con respecto a otros organismos, como la toma de muestra estandarizada, que permite una eficaz respuesta los factores ambientales como la degradación del agua. Estos organismos se utilizan como indicador de contaminación fecal a corto y largo plazo por descarga de residuos (Marchand Pajares, 2002).

Ilustración 7 Bacterias gram positivas y gram negativas.



Fuente: <https://es.dreamstime.com/bacterias-grampositivas-y-gramnegativas-coco-bacilo-curvadas-en-placa-de-petri-image134453265> (2019).

2.9.2 Coliformes totales

Bacterias gram negativos, degradadores de lactosa a temperaturas de 35° a 37°C, producen ácido y gas (CO₂), llegan a ser aerobias o anaerobias facultativas oxidasa negativa, presentan actividad enzimática β-galactosidasa. En donde encontramos bacterias como la *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella* (Carrillo & Lozano, 2008).

Se encuentran en gran cantidad en las fuentes de agua, en la vegetación y en los suelos, se pueden asociar con contaminación de heces en el agua, estos seres microscópicos no presentan peligro en la salud de los seres humanos (Yoder *et al*, 2008). Son indicadores de contaminación microbiológica cumpliendo con la función de alerta, sin indicar el origen solo que hubo una falla en el proceso, transporte o en la fuente de agua (Fernández *et al*, 2001). Para determinar la presencia de coliformes totales el análisis más utilizado es la hidrólisis de la lactosa, por ruptura del disacárido impulsado por la enzima β-D-galactosidasa (Carrillo & Lozano, 2008).

2.9.3 Coliformes termotolerantes

Los coliformes termotolerantes (CTE), son microorganismos capaces de soportar temperaturas de 45°C, se encuentran en reducidas cantidades, por su origen fecal son usados como microorganismos señales de contaminación biológica del agua. Dentro de estos organismos podemos encontrar en mayor medida a la bacteria *E. coli* y aunque en cantidades menores encontramos bacterias como el *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*, las dos últimas son parte de los coliformes termotolerantes de origen ambiental y solo una pequeña cantidad son parte de la microbiota normal (Santiago-Rodriguez *et al*, 2012 y Badgley *et al*, 2011).

Pertenecen a un subgrupo de los coliformes totales su principal diferencia es que son capaces de romper el indol del aminoácido triptófano, su crecimiento óptimo se da a una temperatura de 45° C, por su peculiaridad anteriormente mencionada

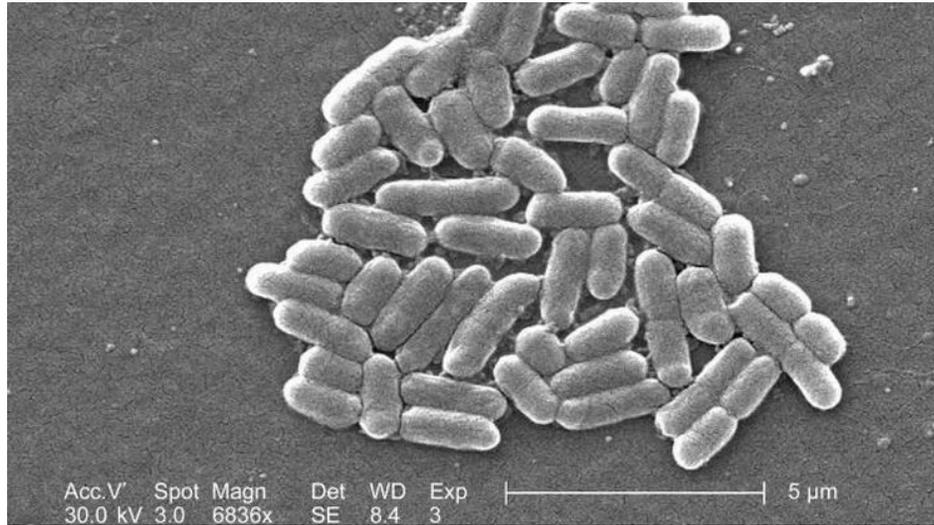
es de los mejores indicadores de higiene en alimentos y agua. Si este organismo es determinado en muestras de agua indica contaminación con heces de origen humano o animal (Carrillo & Lozano, 2008).

2.9.4 *Escherichia Coli*

Bacteria Gram negativa anaerobia facultativa, perteneciente a la flora gastrointestinal de los seres vivos homeotermos. Se estima que en las heces se desechan de 10⁸ a 10⁹ UFC por gramo de materia fecal, por tal motivo y dado a su origen es uno de los indicadores de contaminación fecal más usados en la actualidad (Larrea *et al*, 2009).

En los últimos años se han descubierto varias cepas de esta bacteria con una gran patogenicidad, que puede llegar a causar varias enfermedades severas en los seres humanos, como infecciones de las vías urinarias, bacteriemia y meningitis (Pulido *et al*, 2005). Además, existen seis tipos de especies enteropatógenas que son capaces de provocar enfermedades diarreicas como la *E. coli enterohemorrágica* (ECEH), *E. coli enterotoxigénica* (ECET), *E. coli enteropatógena* (ECEP), *E. coli enteroinvasiva* (ECEI), *E. coli enteroagregativa* (ECEA) y *E. coli de adherencia difusa* (ECAD). Este tipo de organismos tienen una respuesta similar a los procesos de desinfección con bacterias no patógenas por lo que son usadas en varios países como bioindicador (Coutiño *et al*, 2008; Ontario, 2002).

Ilustración 8 Bacteria *E. Coli* vista desde un microscopio.



Fuente: https://images.educamaisbrasil.com.br/content/banco_de_imagens/guia-de-estudo/D/escherichia-coli.jpg (2019)

Capítulo III Desarrollo y metodología

3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

3.1.1 Selección de la muestra

La recopilación de datos estadísticos acerca del consumo de agua y su procedencia en esta región, se encuestó de manera aleatoria a la población de diferentes edades, con el objetivo de obtener resultados más verídicos para este estudio. La toma de muestra de agua para determinar la presencia de agentes microbiológicos se recolectaron muestras de agua manantial, llave y garrafón de marca local) de ciertas regiones de Puebla (Teziutlán) y Veracruz (Jalacingo). Para la determinación de contaminantes químicos se utilizaron los datos de estudios previamente realizados, esto en gran parte a que no se contaba con el equipo necesario para realizar los análisis pertinentes.

3.1.2 Encuestas

Las encuestas realizadas tienen como principal fin obtener información que permita identificar la procedencia del consumo del agua en ciertas regiones de Puebla y Veracruz, estimar la cantidad de agua que consume la población de estas regiones, además de otros datos de interés como el peso de las personas, edad, si conoce si el agua que consume es potable o si realiza un proceso de desinfección antes de utilizarla para beber o en la preparación de alimentos. El tamaño de muestra que se utilizó para este estudio fue de 120 personas encuestadas de distintos rangos de edades, el tamaño de muestra aplicado fue de forma experimental, debido a que para realizar un estudio más preciso se necesita de un 10% de muestras positivas de la población encuestada de acuerdo a reglamentaciones estadísticas y cuyos datos no existen para este estudio,

Las encuestas se aplicaron en la plataforma de google forms a diferentes grupos de personas, con el fin de obtener datos experimentales, se obtuvo una base de datos se analizaron e interpretaron, el formato aplicado a los encuestados se encuentra en la sección de anexos.

3.1.3 Análisis microbiológicos para determinar si existe contaminación microbiana

Previo al análisis se realizó un muestreo que consistió en tomar muestra de diferentes fuentes de agua de consumo para su estudio microbiológico, siendo las siguientes fuentes de agua que se utilizaron agua de garrafón de marca local, agua de manantial y agua de la llave del municipio de Jalacingo, agua de la llave y garrafón de una marca local del municipio de Teziutlán.

La recolección de las muestras se realizó en recipientes de plástico estériles recolectando 100 ml de agua como mínimo con el fin de evitar escases de muestra al momento de realizar las inoculaciones en las series de tubos de 10 ml (se realizó un ajuste de 10 ml a 5 ml de muestra al no contar con los tubos con el volumen requerido en los laboratorios), 1 ml y 0,1 ml de muestra, las muestras se rotularon para facilitar su identificación y estudio. La toma de muestras de agua de garrafón y de la llave se realizó una sanitización previa a la recolección en la llave y permitiendo el flujo de agua por 60 segundos, obteniendo una muestra homogénea. Para la recolección de la muestra de agua de manantial o cuerpo receptor, se colocó el frasco en el flujo del agua hasta llenarlo en su totalidad, ya que una cantidad menor sería insuficiente, dejando un pequeño espacio de aire dentro del recipiente con el fin de poder homogeneizar apropiadamente la muestra antes de inocular en los tubos. Las muestras tomadas en frascos no se abrieron hasta su análisis en los laboratorios, esto para obtener resultados más verídicos y evitar una posible contaminación por la entrada de aire del exterior.

Para determinar un posible riesgo de consumo de contaminantes microbianos en el agua, se aplicó la técnica del número más probable, tomando como referencia la norma mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015 ANÁLISIS DE AGUA - ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES, ORGANISMOS COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y *Escherichia coli* – MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE EN TUBOS MÚLTIPLES. Que consiste en dos pruebas una presuntiva y una confirmativa, estas dos pruebas se realizan mediante la fermentación en tubos

múltiples y el uso de una tabla de datos de tubos positivos para identificar el número más probable de coliformes totales o fecales en 100 ml.

La prueba presuntiva consistió en evaluar el agua que se cree pueda contener contaminación microbiológica, en donde se utilizaron 100 ml de muestra de agua, material de vidrio de laboratorio estéril (tubos con campana de Durham, pipetas, matraces, probetas etcétera) y medio de cultivo caldo lactosado de concentración doble y sencilla estéril. Se elaboraron 3 series de 3 tubos para cada muestra analizada, se inocularon 5 ml, 1ml y 0.1 ml de muestra para cada serie, la primera serie de tubos contenía 10 ml de caldo de doble concentración y 5 ml de muestra, la segunda serie 10 ml de caldo simple con 1 ml de muestra y la tercera 10 ml con 0.1 ml muestra. La serie tubos se incubaron a una temperatura de 35°C durante 48 horas, pasado este lapso de tiempo se observó si existía desarrollo de turbidez y producción de gas en cada serie de tubos con los diferentes volúmenes de muestra inoculada.

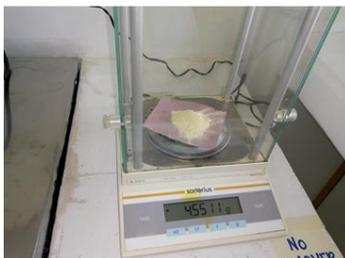
Para el análisis confirmatorio para coliformes totales se inicia a partir de los tubos positivos de las tres series de la prueba presuntiva, para cada tubo positivo se inoculo con tres asadas un tubo con campana de Durham con 10 ml de caldo lactosa bilis verde brillante de concentración sencilla, se sometieron a incubación en una incubadora con una temperatura de 35°C en un lapso de tiempo de 48 horas.

La prueba confirmatoria de coliformes fecales se inicia a partir de los tubos positivos del análisis presuntivo, donde con la ayuda de un asa bacteriana se toma muestra de cada tubo y posteriormente se inocula en tubos de con campana con 10 ml de medio de cultivo EC (*Escherichia coli*). Se seomtieron a incubación por 24 hora a temperatura de 44°C.

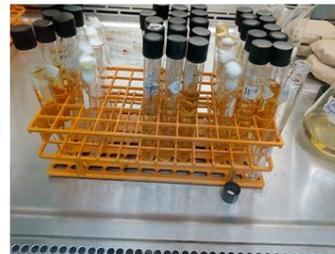
Prueba presuntiva

Ilustración 9. Análisis presuntivo para coliformes totales y
fecales

Preparación de medios de cultivo



Vertido en tubos



Resultados

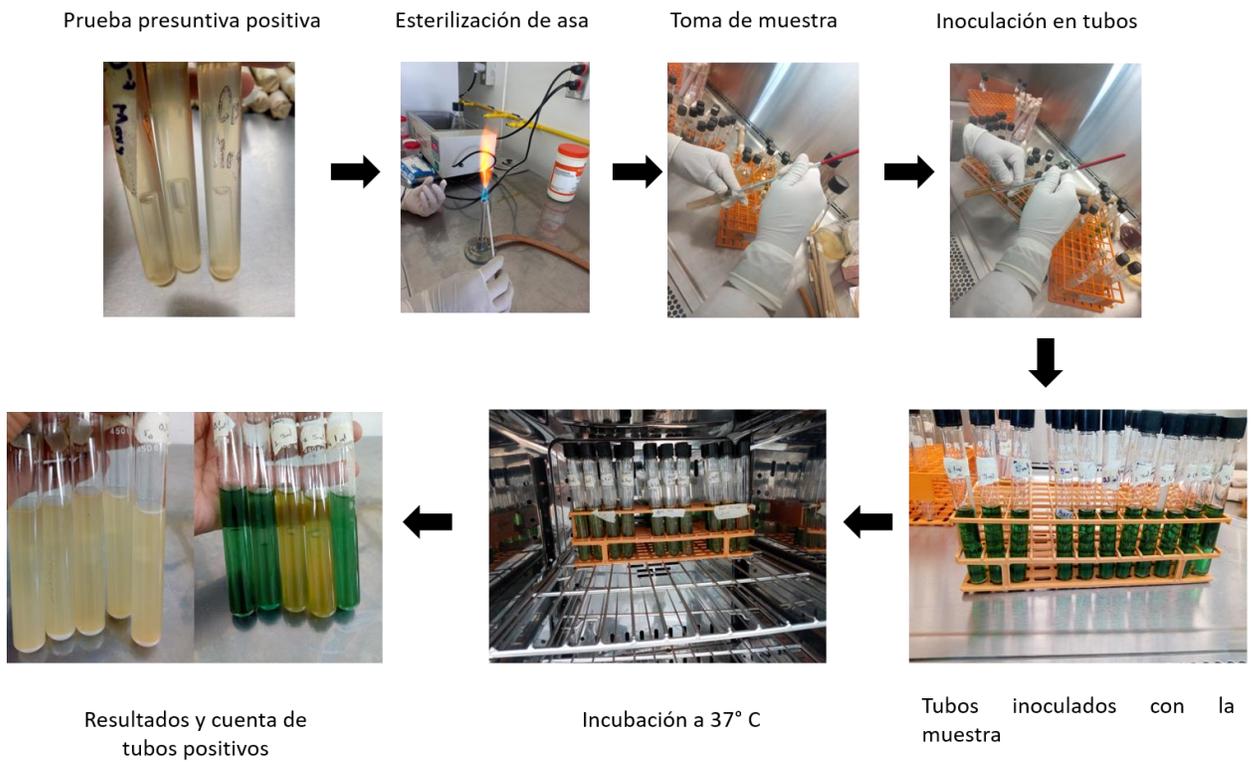
Incubación a 35° C

Inoculación de muestras

Fuente: Elaboración propia (2021)

Análisis confirmatorio para coliformes totales y fecales

Ilustración 10. Análisis confirmatorio para coliformes totales y fecales



Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 2. Valores de NMP por cada 100 ml de muestra y 95 % de límite de confianza.

Número de tubos con reacción positiva			NMP por 100 MI	límite de confianza al 95 %	
3 de 10 MI	3 de 1 MI	3 de 0.1 MI		inferior	superior
0	0	0	<3	-----	----
0	0	1	3	<1	9
0	1	0	3	<1	13
1	0	0	4	<1	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	149
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	379
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1300
3	3	1	460	71	2400
3	3	2	1100	150	4800
3	3	3	≥2400	----	----

Fuente: NMX-AA-042-SCFI-2015 (2015)

3.1.4 Búsqueda de información de contaminantes químicos (metales pesados)

Se hizo una investigación en artículos, tesis e investigaciones previas sobre estudios relacionados con agentes contaminantes en agua que ponen en riesgo el bienestar de la población, de esta forma se conocieron los resultados que obtuvieron. Los datos sirvieron para identificar los principales agentes contaminantes en estas aguas, los resultados obtenidos sirvieron para determinar la ingesta diaria de contaminantes, esta búsqueda de información se realizó principalmente porque no se tenía con el materia, reactivos y equipos para la identificación de metales pesados los cuales son contaminantes que ponen en riesgo el bienestar de las personas por ingesta de agua, por tal motivo se recurrió a realizar una investigación documental con investigaciones ya existentes.

3.2 Alcance y enfoque de la investigación

Los resultados del estudio permitirán conocer cuáles son los principales agentes contaminantes presentes en agua de regiones de Puebla y Veracruz, que pueden llegar a provocar riesgos en la salud de la población en estas regiones y determinar la ingesta diaria de contaminantes a la que la población se ve expuesta ya sean agentes químicos o microbiológicos.

3.3 Hipótesis

El agua de consumo de zonas de Puebla y Veracruz tiene contaminantes microbiológicos (coliformes totales o fecales) o químicos (metales pesados plomo, cadmio o arsénico), que pueden poner en riesgo la salud de los habitantes de la región.

3.4. Diseño y metodología de la investigación

Para la determinación de posibles contaminantes microbiológicos en agua, se utilizó la técnica propuesta por las normativas mexicanas la norma NMX-AA-042-SCFI-2015 "análisis de agua - enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *escherichia coli* – método del número más probable en tubos múltiples" en donde se analizaron diferentes muestras de agua de regiones Puebla y Veracruz.

El diseño estadístico consistió en someter los resultados de las encuestas aplicadas, los posibles contaminantes químicos y los resultados del análisis microbiológico realizados, en una simulación con el programa estadístico @RISK 8.2, para simular su comportamiento mediante una comparación de ajuste con los datos obtenidos con una función logarítmica normal para obtener la simulación de su comportamiento, y de esta forma comprobar la hipótesis planteada.

3.6 Recolección de datos

Los resultados recolectados de la encuesta aplicada se archivaron en un repositorio en Excel para su estudio y explicación. Los datos de investigaciones previas de estudios realizados para determinar contaminantes químicos (metales pesados) fueron almacenados en un banco de datos en Excel.

Las muestras de agua de estas regiones se recalentaron en frascos de plástico estériles, cada frasco con 100 ml de muestra como dicta la norma NMX-AA-042-SCFI-2015 para su posterior análisis en los laboratorios, estas muestras fueron analizadas mediante el análisis de fermentación en tubos múltiples para la identificación de coliformes totales y fecales mediante número más probable en 100 ml de muestra que pueden contener por una posible contaminación microbiológica.

3.7 Análisis de datos

La información recopilada como peso de la población, consumo de agua al día y la cantidad de contaminantes tanto microbiológicos y químicos, se analizaron con el programa @RISK 8.2 el cual permite realizar un análisis de riesgos mediante simulación para obtener posibles resultados e indicar que tanta probabilidad existe de que ocurran, se utilizó este programa para simular el comportamiento que tienen los contaminantes presentes si existen en estas aguas de regiones de Puebla y Veracruz, y observar que tan probable es que la población se vea expuesta a contaminantes por ingesta de agua de calidad dudosa.

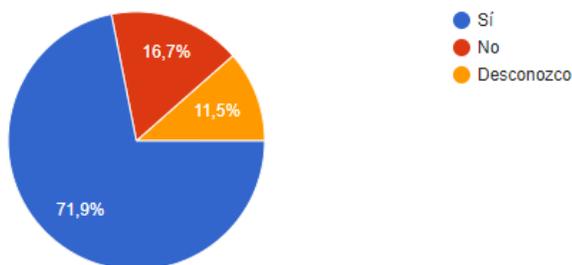
Capítulo IV Resultados

4.1 Resultados

4.1.1 Resultados de encuestas

Se observó que la mayoría de los encuestados en esta región, el 71,9% tiene el conocimiento que el agua suministrada de la red pública es potable y que no llega a presentar un riesgo su consumo por el proceso de potabilización que se le da al agua, en cambio el otro 11,5 % de los encuestados desconoce si el agua que se le suministra es potable, lo que genera cierta desconfianza al momento de consumirla, por ultimo con el 16.7% de los datos recopilados se obtiene que el agua que se le suministra, no recibe un proceso de potabilización lo que ocasiona un peligro a la salud de la población, ya que se desconoce que contaminantes puede contener, qué cantidades tiene y que riesgo supone para la población.

Ilustración 11. Gráfico de circular sobre conocimiento si el agua es potable



Fuente: Elaboración propia (2021)

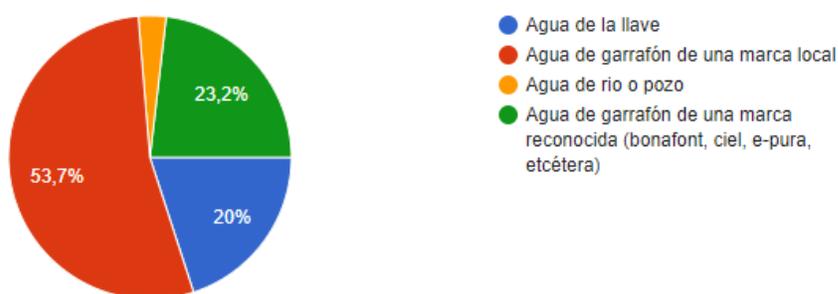
Los resultados siguientes muestran la procedencia del agua que se consume en estas regiones, sus principales usos dentro del hogar en la preparación de alimentos y para beber.

Fuente de agua más utilizada para beber

De acuerdo con la gráfica que se muestra en la ilustración 12 se determinó que el agua que más se utiliza para consumo directo es la de garrafón de marca local con 53,7 % de los datos recopilados, en segundo lugar, el agua de garrafón de una

marca reconocida con el 23,2 %, el agua de la llave supone el tercer lugar con 20 % de los datos y en último lugar el agua de río o pozo con 3,1 %, estos dos últimos datos supone un riesgo de exposición a contaminantes por consumo de agua, cuya calidad es dudosa, ya que no existen datos de estudios que comprueben que el agua de la llave sea potable y apta para consumo y que el agua de río esté libre de contaminantes y no sea un riesgo su consumo.

Ilustración 12. Gráfica circular fuentes de agua utilizada para beber



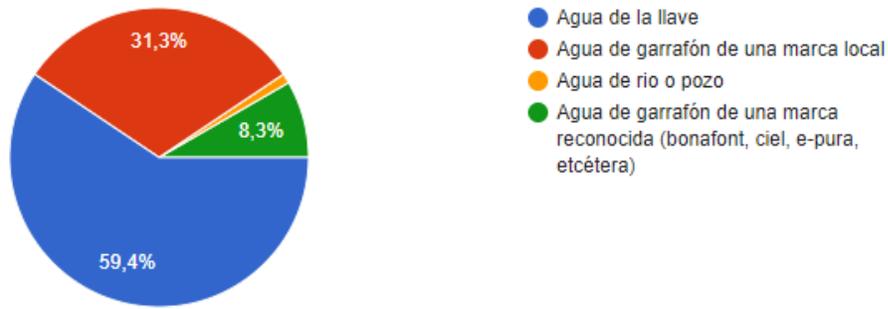
Fuente: Elaboración propia (2021)

Fuente de agua más utilizada para la cocción de alimento.

Con respecto a los datos de la gráfica se determinó que la fuente de agua más utilizada para cocción de alimentos es la proveniente de la llave con un 59,4 % de los datos estudiados, el segundo lugar con el 31,3% la población encuestada prefiere utilizar el agua de garrafón de una marca local, el 8,3 % prefiere el agua de garrafón de una marca local y un porcentaje mínimo del 1 % usa el agua de río o pozo.

El riesgo que se puede llegar a tener por contaminantes biológicos se reduce, en gran medida por la cocción, por otra parte, sí existen agentes químicos se puede correr un riesgo considerable, ya que estos no se llegan a eliminar con tratamientos de calor esto con respecto al uso de agua de grifo no potabilizada y de río o pozo.

Ilustración 13. Gráfica circular fuentes de agua utilizada para cocción de alimentos



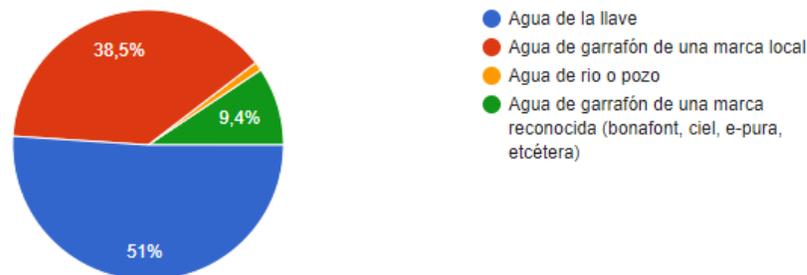
Fuente: Elaboración propia (2021)

Fuente de agua más utilizada para alimentos en crudo (ensaladas, fruta picada, salsa, etcétera) y lavado de frutas y verduras.

Los resultados graficados indican que la población encuestada, prefiere utilizar el agua de la llave con un 51 % para elaborar alimentos que no requieren de un proceso térmico o para la desinfección de frutas y verduras, en segundo lugar, con el 38,5% de la población encuestada, prefiere el agua de garrafón de una marca local, por ultimo las fuentes de agua menos utilizadas son agua de garrafón de marca reconocida y el agua de río o pozo, con 9,4 % y 1,1 % respectivamente.

Si existe presencia de contaminantes el peligro por consumo de agua es evidente, especialmente en las personas que utilizan el agua de la llave, porque se utiliza directamente sobre el alimento de consumo, y si no se tiene la certeza que es potable o antes no se le da un tratamiento de desinfección.

Ilustración 14. Gráfica circular fuentes de agua utilizada para preparación de alimentos en crudo

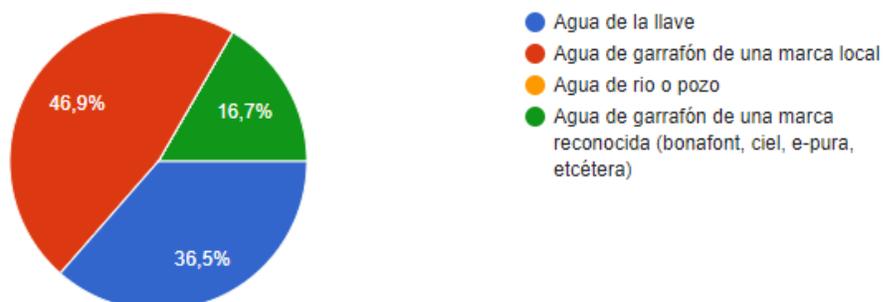


Fuente: Elaboración propia (2021)

Fuente de agua más usada para elaboración de bebidas calientes (te, café, ponche, etcétera)

De acuerdo con los datos graficados de la encuesta para bebidas calientes, se obtuvo que la gran mayoría de los encuestados prefiere el uso del agua de garrafón de marca local con 46,9%, en segundo lugar, el agua de la llave con el 35,5% y por último el agua de garrafón de marca reconocida con el 16,7% de preferencia. En este apartado no se obtuvieron resultados del uso del agua de río para la elaboración de este tipo de bebidas. Y el único riesgo que se corre es al usar agua de llave sin que se tenga la certeza de si recibe un proceso de potabilización.

Ilustración 15. Gráfica circular de agua utilizada para bebidas calientes

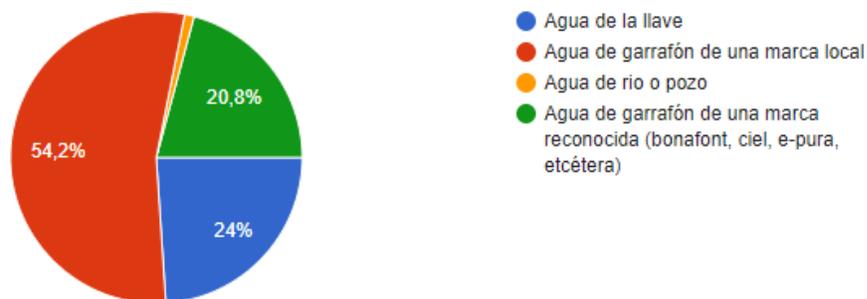


Fuente: Elaboración propia (2021)

Fuente de agua más usada para elaboración de bebidas con fruta natural

En los datos obtenidos de la gráfica, se obtuvo que el 54,2% de los encuestados prefiere el uso del agua de garrafón de una marca local para la elaboración de bebidas con fruta natural, en segundo lugar, con 24% el agua de grifo, en tercer lugar 20,8% el agua de garrafón de una marca local, y en un porcentaje de 1% menor se usa el agua de río.

Ilustración 16. Gráfica circular agua utilizada para bebidas de fruta de natural

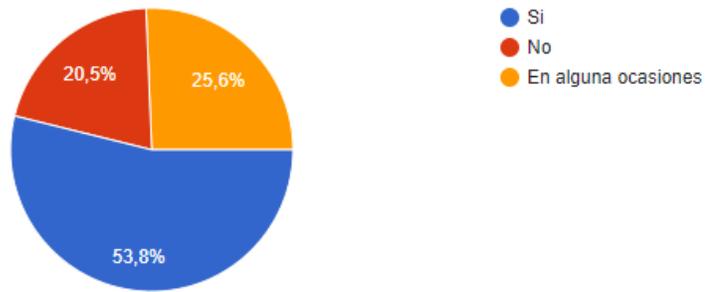


Fuente: Elaboración propia (2021)

Aplicación de un proceso de desinfección del agua

Con respecto con los datos de la población que hace uso de agua de la llave y de río o pozo para alguna de las actividades antes mencionadas, se realizó un apartado para conocer, si ellos realizan un proceso de desinfección o purificación al agua, teniendo como resultados, que la mayoría de los encuestados si realiza un proceso de desinfección con un 53,8 %, en segundo término, con el 25,6 % de los encuestados contesto que solo en algunas ocasiones realizan un proceso de este tipo, aunque también se obtuvo que 20,5 % de los encuestados no realiza un proceso de desinfección, poniendo en riesgo considerable su salud por ingesta de contaminantes en el agua de consumo.

Ilustración 17. Gráfica de uso de un proceso de desinfección

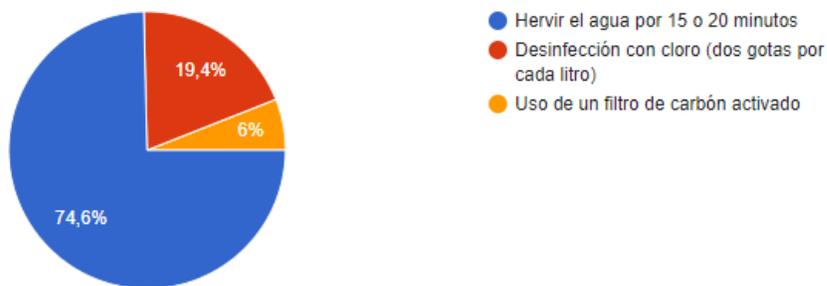


Fuente: Elaboración propia (2021)

Tipos de desinfección realizada por los encuestados

Para los encuestados que realizan un proceso de desinfección, se observó que el más utilizado es el que consiste en hervir el agua por 15 o 20 minutos con 74,6% de preferencia de uso, el segundo lugar con 19,4% se utiliza la desinfección con cloro con dos gotas por cada litro y en menor grado con el 6% de uso los encuestados eligieron el uso de un filtro de carbón activado.

Ilustración 18. Gráfica tipos de desinfección usados



Fuente: Elaboración propia (2021)

Motivos por el cual no se realiza un proceso de desinfección

Para los encuestados que reportaron que no realizan un proceso de desinfección se realizó una sección para averiguar cuál es el principal motivo por el cual no realiza este proceso, dentro de los principales motivos expuestos en la encuesta, el más elegido fue la falta de tiempo e interés con el 42,4%, en segundo lugar con el

39,4% otro motivo e igualados con el 9,1% las opciones de no conocer un método para desinfectar y el desconocimiento de los riesgos que se corren al consumir agua contaminada.

Lo cual es preocupante debido a que al no hacer un proceso de desinfección y a su vez desconocer o ignorar los riesgos que se corren por la ingesta de agua contaminada aumenta considerablemente el peligro al bienestar físico del organismo de la población.

Ilustración 19 Gráfica de motivos por no realizar un proceso de desinfección



Fuente: Elaboración propia (2021)

4.1.2 Resultados del análisis microbiológico

Los datos obtenidos por medio del estudio microbiológico aplicado a las muestras de agua se muestran la tabla 3.

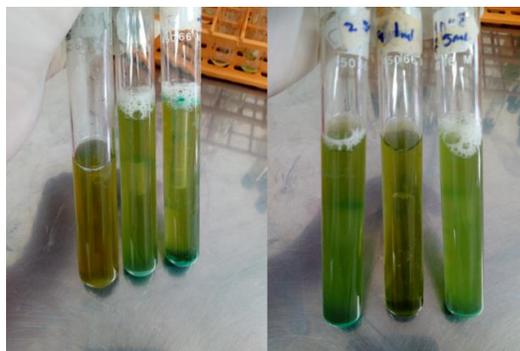
Tabla 3 Datos obtenidos del análisis de coliformes totales

Resultados del análisis del agua para coliformes totales					
<i>Muestra de agua</i>	<i>Volumen de la muestra inoculada ml</i>	<i>Serie de 3 tubos</i>	<i>Tubo positivos prueba presuntiva</i>	<i>Tubos positivos para coliformes totales</i>	<i>NMP de coliformes totales en 100 ml de agua</i>
Garrafón marca local Jalacingo	5	1	2	0	Ausencia de coliformes totales
	1	2	1	0	
	0.1	3	1	0	
Llave Jalacingo	5	1	2	0	Ausencia de coliformes totales
	1	2	0	0	
	0.1	3	1	0	
Río	5	1	3	2	15
	1	2	3	1	
	0.1	3	3	0	
Llave Teziutlán	5	1	3	2	14
	1	2	0	0	
	1.1	3	2	1	
Garrafón marca local Teziutlán	5	1	3	2	21
	1	2	3	1	
	0.1	3	2	1	

Fuente: Elaboración propia (2021)

En la siguiente ilustración se observan tubos positivos de coliformes totales del agua analizada.

Ilustración 20. Tubos positivos de coliformes totales.



Fuente: Elaboración propia (2021)

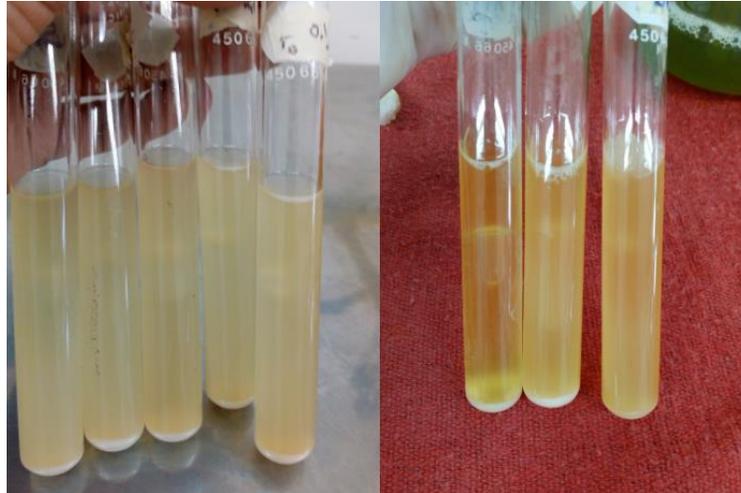
Tabla 4. Resultados del análisis de coliformes fecales.

Resultado del análisis del agua para coliformes fecales					
<i>Muestra de agua</i>	<i>Volumen de la muestra inoculada ml</i>	<i>Series de 3 tubos</i>	<i>Tubos positivos prueba presuntiva</i>	<i>Tubos positivos para coliformes fecales</i>	<i>NMP de coliformes fecales en 100 ml de agua</i>
Garrafón marca local Jalacingo	5	1	2	0	Ausencia de coliformes fecales
	1	2	1	0	
	0.1	3	1	0	
Llave Jalacingo	5	1	2	0	Ausencia de coliformes fecales
	1	2	0	0	
	0.1	3	1	0	
Río	5	1	3	2	28
	1	2	3	2	
	0.1	3	3	1	
Llave Teziutlán	5	1	3	3	64
	1	2	0	0	
	1.1	3	2	2	
Garrafón marca local Teziutlán	5	1	3	3	43
	1	2	3	1	
	0.1	3	2	0	

Fuente: Elaboración propia (2021)

En la ilustración 15 se muestran tubos positivos para coliformes fecales de las muestras de agua analizada.

Ilustración 21. Tubos positivos de coliformes fecales.



Fuente: Elaboración propia (2021)

Basándonos en los resultados mostrados en las tablas 5 y 6 de coliformes totales y fecales, se observa que existen un riesgo considerable de riesgo de consumo de contaminantes microbiológicos, si se llegase a consumir agua de la llave de Teziutlán, de río y de garrafón de una marca local de la región de Teziutlán, ya que rebasa los límites permisibles de 2 NMP/ 100 ml de agua para coliformes totales y no detectable de NMP/ 100 ml de agua para coliformes fecales conforme establece la NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION".

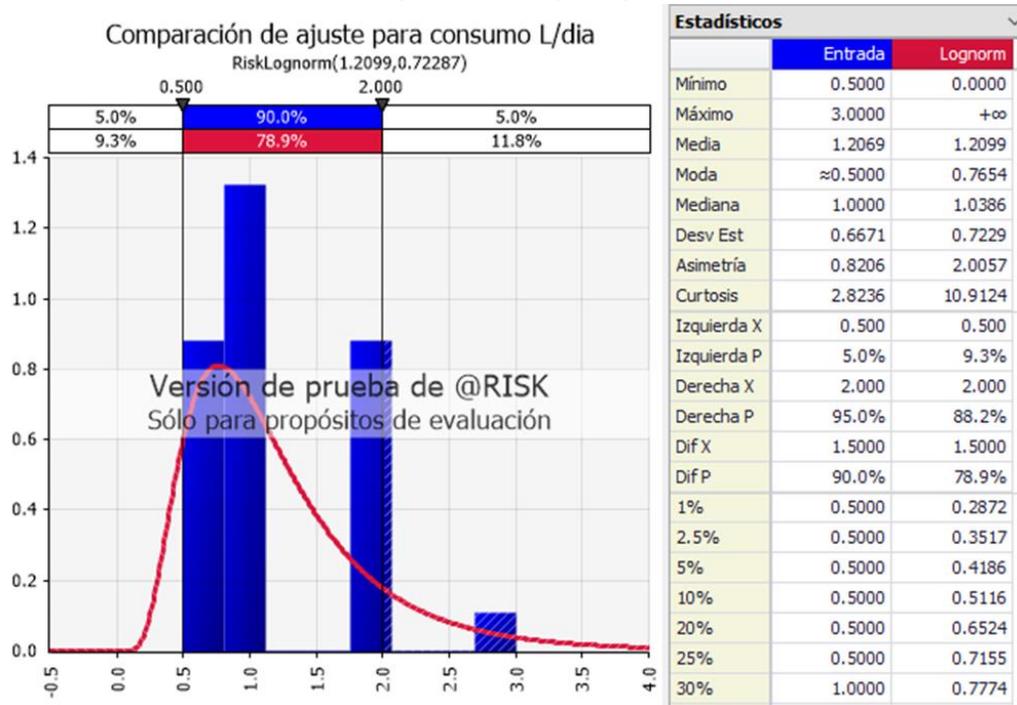
Haciendo relación con los resultados en las encuestas sobre el consumo y origen del agua, es posible determinar que existe la posibilidad de que la población este consumiendo contaminantes provenientes del agua, en gran medida y en especial la población que se encuentra en la región de Teziutlán, en donde las dos muestras analizadas salieron positivas tanto para coliformes totales y fecales, la población de Jalacingo se encuentra expuestas solo si llegase a consumir agua de

río o manantial, la cual de las tres muestra analizadas en la región, dio positivo para coliformes totales y fecales.

4.1.3 Ingesta diaria de contaminantes y consumo de agua al día

Resultados del consumo de agua en litros sobre día para la población encuestada de regiones de Puebla y Veracruz.

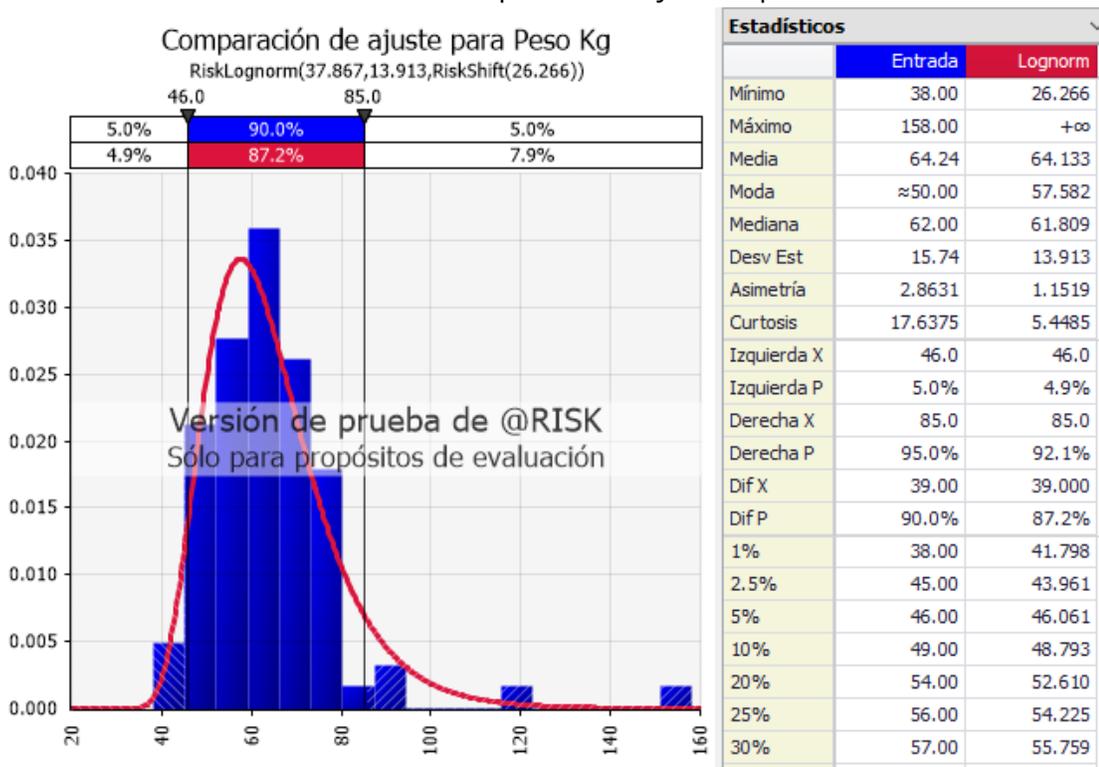
Ilustración 22. Comparación de ajuste para consumo L/día



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis estadístico (2021)

En la ilustración 17 se muestra la comparación de los datos de entrada con una expresión logarítmica normal para el consumo de agua, teniendo como mínimo consumo 0.5 L/día de agua y un máximo de 3 L en los datos de entrada y en la expresión lognorm 0 L/día y un máximo que tiende al infinito. Proporcionándonos a su vez una media de consumo de 1.2099 L/día para la expresión lognom, la cual nos brinda el posible comportamiento del consumo de agua en esta población analizada de acuerdo con la simulación del programa @RISK.

Ilustración 23 comparación de ajuste de peso.



Fuente: Elaboración propia basada en el análisis estadístico (2021)

En la gráfica que se muestra en la imagen 18 se muestra la comparación de ajuste de peso de la población encuestada, de acuerdo con el programa estadístico @Risk con un percentil estadístico de 95.0 % del ajuste estadístico realizado y una media de peso de la población de 64.133 Kg de peso.

Ingesta diaria estimada (IDE) de contaminantes químicos (metales pesados)

La IDE se calculó con datos del estudio realizado en el río Atoyac en 2019 en el estado de Puebla los datos obtenidos de metales encontrados se observan en la tabla 5.

Tabla 5 Resultados del río Atoyac en Puebla.

Comparación de datos entre la Declaratoria Oficial 2011, los resultados de la presente investigación, la RNM 2016 y la Declaratoria 2012-2015.				
Parámetros	Declaratoria datos 2011	RNM Datos 2016	Evaluación actual 2016	Declaratoria Meta 2012-2015
T°C			20	<35
pH			8	<6.5-8.5
CF NMP/100 ml		19900	2.60E+05	<1000
DBO5 (mg/L)	84.54	82.64(-)	87.33 (3%)	39.6
DQO (mg/L)	160.62	274(71%)	195.75(22%)	93.9
Cd (mg/L)	0.002		0.018(815%)	0.004
Cu (mg/L)	0.032		0.012	0.06
Cr (mg/L)	0.025		0.002	0.05
Ni (mg/L)	0.098		0.063	0.6
Pb(mg/L)	0.009		0.015(5%)	0.03
Zn (mg/L)	0.059		0.023	0.12
Al (mg/L)	0.563		4.42(685%)	0.5
Fe (mg/L)	0.2		5.23 (2519%)	0.34

Parámetros en negrillas excedieron la capacidad de asimilación y dilución del río para el 2011, según la Declaratoria de Clasificación del río Atoyac. CT: Coliformes fecales.

Fuente: Castresana et al., (2019)

La ingesta diaria estimada se calculó mediante los resultados de la evaluación realizada en el río Atoyac en 2016 y los datos de peso y consumo de agua obtenidos en la encuesta utilizando la media de los datos realizada en este estudio de evaluación de riesgo. La IDE se calculó utilizando la siguiente fórmula matemática que se muestra a continuación.

Ilustración 24 Fórmula para calcular la ingesta diaria estimada.

$$IDE = \frac{C * DI}{BW}$$

Donde:

IDE= Ingesta diaria estimada en mg/Kg*día.

C= Concentración del contaminante mg/L

DI= Promedio de consumo L/día.

BW= Peso corporal en Kg.

En la tabla 6 ingesta diaria estimada de la población expuesta se observan los datos obtenidos que arrojaron que la población está expuesta en mayor cantidad a metales como el hierro y aluminio, teniendo como IDE de 0.0827 mg/Kg*día y 0.098 mg/Kg*día para cada metal, estos metales presentan menor riesgo para la salud en comparación con metales como el cadmio y el plomo que si presenta un peligro para el ser humano. Tanto el cadmio y el plomo se presentaron con una IDE de 0.000333 mg/Kg*día y 0.00028 mg/Kg*día para cada uno, presentado un riesgo elevado si la población consume agua con este tipo de contaminante, debido a que una exposición diaria y por un tiempo prolongado este metal llega a causar daños irreparables al organismo del ser humano, provocando cáncer y la muerte en casos extremos.

Tabla 6 Ingesta diaria estimada de la población expuesta.

Ingesta crónica diaria de acuerdo a cada posible contaminante químico				
Contaminante	Concentración en el agua mg/l	Media de peso Kg	Media de consumo de agua L/día	Ingesta diaria estimada mg/kg*día
Cd	0.018			0.00033
Cu	0.012			0.00022
Cr	0.002			0.000037
Ni	0.063			0.0011
Pb	0.015	64.133	1.2	0.00028
Zn	0.023			0.00043
Al	4.42			0.0827
Fe	5.23			0.098

Fuente: Elaboración propia (2021)

Capítulo V Conclusiones

5.1 Conclusiones de los objetivos específicos

Se concluye que los 4 objetivos planteados al inicio del estudio se cumplieron los cuales son los siguientes.

Se logró identificar la procedencia de consumo del agua en las regiones de Puebla y Veracruz de acuerdo con primer objetivo específico planteado, teniendo como la de mayor uso en la elaboración de alimentos e ingesta el agua de garrafón de una marca local, seguido del agua de la llave, de garrafón de marca reconocida y por último el agua de río o pozo, de acuerdo con las encuestas realizadas en este estudio.

Se determinó la cantidad de agua que consume la población de la región de Puebla y Veracruz, teniendo como media de consumo por día de la población encuestada 1.2009 L/día por cada habitante, de acuerdo con el análisis de datos del programa estadístico de simulación @RISK. Concluyendo que el segundo objetivo específico que se planteó se cumple, ya que se identificó cuanto se consume de agua al día por habitante.

Se identificaron dos contaminantes en el agua que se utiliza en estas regiones, siendo agentes microbiológicos (coliformes totales y fecales) que se encontraron en tres muestras analizadas, siendo el agua de manantial, agua de la llave de Teziutlán y de garrafón de una marca local de Teziutlán, las que resultaron positivas. Poniendo en peligro el bienestar de la población que consume de estas fuentes de agua a sufrir algún padecimiento por ingerir agua contaminada, ya de acuerdo a la encuesta realizada si existen personas que consumen agua de manantial, agua de llave y garrafón de marca local en estas regiones, poniéndose en riesgo por estos agentes. En conclusión, el objetivo tres se cumplió.

Se determinó la ingesta diaria estimada a la que se ve expuesta la población con estudios realizados en regiones de Puebla siendo el hierro y aluminio los que se presentaron en mayor cantidad, no obstante, el cadmio y el plomo se encontraron

en el agua, se determinó la IDE de estos metales teniendo como IDE de 0.000333 mg/Kg*día y 0.00028 mg/Kg*día. Lo cual presenta un riesgo considerable de riesgo de consumo, ya que, de acuerdo a la literatura citada en este estudio, estos dos metales son lo que provocan mayores daños a la salud, si su ingesta es prolongada por mucho tiempo ocasiona enfermedades como el cáncer, daños al sistema nervioso, náuseas, insuficiencia renal, malestar estomacal y en casos extremos la muerte.

5.2 Conclusiones relativas al objetivo general

En conclusión, con respecto a los datos obtenidos del estudio microbiológico que se realizó y en las encuestas realizadas, se puede decir que el objetivo general se cumple ya que, si se logró identificar en las muestras de agua que se analizaron, por lo menos un contaminante microbiológico presente, que puede llegar a ocasionar riesgos considerables en la salud de la población de las regiones de Puebla y Veracruz. Las encuestas permitieron identificar la procedencia del agua utilizada para ingesta y consumo, además el análisis permitió identificar la existencia de coliformes totales y fecales.

5.3 Aceptación de la hipótesis planteada

La hipótesis expuesta al comienzo del estudio se acepta, debido a que los resultados de los estudios aplicados en esta investigación y los resultados de investigaciones previas, se encontró que ciertas fuentes de agua que son usadas para consumo se encuentran contaminadas, por lo tanto, existe un riesgo a la salud al ingerir agua contaminada por agentes químicos o microbiológicos.

5.4 Conclusiones del proyecto, recomendaciones y experiencia profesional y personal adquirida

En conclusión, el proyecto es de gran importancia, ya que su desarrollo nos permite estudiar los peligros a la que se expone la población por ingesta de agua con agentes contaminantes, este nos permitirá tomar acciones para evitar que la población exponga su salud, dentro de las recomendaciones se sugiere que se sigan realizando estudios para evaluar el riesgo de ingesta de contaminantes y se brinde más información de los procesos que se le pueden dar al agua para su desinfección, ya que se observó que una buena parte de los encuestados no tenía conocimiento de un proceso de desinfección eficiente que garantice agua segura para su ingesta diaria. La experiencia adquirida en el desarrollo de este proyecto fue satisfactoria, debido a que se adquirieron nuevos conocimientos y se pusieron en práctica los conocimientos aprendidos en la carrera para obtener excelentes resultados en este proyecto.

5.5 Aportaciones originales

En gran medida a que no se han realizado estudios que evalúen el riesgo que pueden llegar presentar el consumo de agentes contaminantes en agua en esta región, y en parte, que la gran mayoría de estudio que han realizado no pertenecen a esta región en especial, sino más bien de diferentes regiones del país.

Las aportaciones originales de este estudio que se realizaron fue la implementación de un diseño estadístico, para simular el posible comportamiento de los datos analizados en este estudio, el consumo de agua al día y los posibles contaminantes en el agua de consumo de esta región. Además de realizar un estudio de sobre la evaluación de riesgo a la ingesta de contaminantes en agua consumido en regiones de Puebla y Veracruz, para identificar los principales

agentes contaminantes presentes en el agua consumida en estas regiones, que pueden poner peligro la salud y bienestar de la población de la región.

5.6 Limitaciones del modelo planteado

Las limitaciones que se presentaron, fue la falta de reactivos, materiales de laboratorio y equipos para realizar más análisis para determinar otros posibles contaminantes, ya que por falta de estos no se realizaron pruebas para la detección de agentes químicos (metales pesados). Otra limitante fue que al estar época de contingencia no se pudo acceder más días al laboratorio, por lo que en ocasiones se tenía que dar pausa a los análisis que se realizaron.

5.7 Recomendaciones

Se sugiere que se realicen más estudios para determinar la calidad del agua y estudios para determinar los riesgos por ingesta de agua contaminada en estas regiones. En gran medida por la falta estudios relacionados con el agua de estas regiones.

Capítulo VI Referencias

6.1 Referencias bibliográficas

1. Apella, M. C., & Araujo, P. Z. (2005). Microbiología del agua. Conceptos básicos. Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua, 33-50.
2. Arroyo Gutiérrez, K., & Ledezma Castro, M. (2015). Cuantificación de colifagos somáticos (indicadores de contaminación fecal) y detección de virus de Hepatitis A y Enterovirus, en cinco plantas de tratamiento de aguas residuales del Área Metropolitana de Costa Rica.
3. Badgley, B. D., Thomas, F. I. M., & Harwood, V. J. (2011). Quantifying environmental reservoirs of fecal indicator bacteria associated with sediment and submerged aquatic vegetation. *Environmental Microbiology*, 13(4), 932–942. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2010.02397.x>
4. Bisinoti, M. C., & Jardim, W. F. (2004). O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente. *Química Nova*, 27(4). <https://doi.org/10.1590/s0100-40422004000400014>
5. CAMPOS. C. (1999). "Indicadores de contaminación fecal en la reutilización de aguas residuales para riego agrícola". [Tesis doctoral]. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. 250 pp
6. Cantor, K. P. (1997). Drinking water and cancer *Cancer Causes Control* 8 (3): 292–308. Find this article online.
7. Carrillo Zapata, E. M., & Lozano Caicedo, A. M. (2008). Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar chromocult.
8. Castresana, G. P., Roldán, E. C., García Suastegui, W. A., Morán Perales, J. L., Cruz Montalvo, A., & Silva, A. H. (2019). Evaluation of Health Risks due

- to Heavy Metals in a Rural Population Exposed to Atoyac River Pollution in Puebla, Mexico. *Water*, 11(2), 277. <https://doi.org/10.3390/w11020277>
9. Castelán, C. E. (2003). El recurso hídrico en México: Análisis de la situación actual y perspectivas futuras. Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua, AC, Miguel Ángel Porrúa, The Nippon Foundation, México, DF.
 10. Chamizo, H. (2003). Introducción a la Interface Salud Ambiente. Curso Especial de Postgrado Atención Integral de Salud [Curso Especial de Postgrado en línea]. Costa Rica: CENDEISS.
 11. Chigor, VN, Umoh, VJ, Okuofu, CA, Ameh, JB, Igbinsosa, EO & Okoh, AI (2012). Evaluación de la calidad del agua: las fuentes de agua superficial que se utilizan para beber e irrigar en Zaria, Nigeria, son un peligro para la salud pública. *Monitoreo y evaluación ambiental*, 184 (5), 3389-3400.
 12. Conagua. (2015). Estadísticas del Agua en México (Edición 2015). <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap6.html>
 13. Cordeiro, N., Taroco, R., & Chiparelli, H. (2006). Virus de las hepatitis. República Udl. *Temas de Bacteriología y Virología Médica.*: FEFMUR, 447.
 14. Correa Cuba, Odilon, Fuentes Bernedo, Frida Esmeralda, & Coral Surco, Rosa Gabriela. (2021). Contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray - Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 26-38. <https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>.
 15. Coutiño, M., Rodriguez, E., Perez, R., De Igartua, E., & Lopez, F. (2008). Bacterias transmitidas por aguas y alimentos que producen enfermedades. *Ciencia y hombre*, 21, 31-36.
 16. Creative, C. 2005. Contaminación y purificación del agua. <http://contaminacion-purificacionagua.blogspot.com/20050901archive.html>.

17. Das, N., Paul, S., Chatterjee, D., Banerjee, N., Majumder, N. S., Sarma, N., Sau, T. J., Basu, S., Banerjee, S., Majumder, P., Bandyopadhyay, A. K., States, J. C., & Giri, A. K. (2012). Arsenic exposure through drinking water increases the risk of liver and cardiovascular diseases in the population of West Bengal, India. *BMC Public Health*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-639>
18. Dogan, M., Dogan, AU, Celebi, C. y Baris, YI (2005). Arsénico geogénico y estudio de lesiones cutáneas en la región de Emet de Kutahya, Turquía. *Entorno interior y construido*, 14 (6), 533–536. <https://doi.org/10.1177/1420326X05060121>.
19. Duran Juárez, J. M., & Torres Rodríguez, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. *Espiral (Guadalajara)*, 12(36), 129-162.
20. Edberg, S. C., Leclerc, H., & Robertson, J. (1997). Natural Protection of Spring and Well Drinking Water Against Surface Microbial Contamination. II. Indicators and Monitoring. Parameters for Parasites. *Critical Reviews in Microbiology*, 23(2), 179–206. <https://doi.org/10.3109/10408419709115135>
21. Fernández, A., Molina, M., Alvarez, A., Alcántara, M., & Espigares, A. (2001). Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 1, 8-24.
22. Fong, T. T., & Lipp, E. K. (2005). Enteric Viruses of Humans and Animals in Aquatic Environments: Health Risks, Detection, and Potential Water Quality Assessment Tools. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 69(2), 357–371. <https://doi.org/10.1128/mnbr.69.2.357-371.2005>
23. Gil Antonio, María de los Ángeles & Reyes Hernández, Humberto & Márquez Mireles, Leonardo Ernesto & Cardona Benavides, Antonio (2014). Disponibilidad y uso eficiente de agua en zonas rurales. *Investigación y*

Ciencia, 22 (63), 67-73. [Fecha de Consulta 26 de noviembre de 2021].
ISSN: 1665-4412. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67435407008>

24. Gray, N, F. (1996). Calidad del agua potable (problemas y soluciones). Editorial Acriba Zaragoza, España. Pp. 154-160
25. GUADARRAMA-TEJAS, R., KIDO-MIRANDA, J., ROLDAN-ANTUNEZ, G., SALAS-SALGADO, M., MATA-GARCÍA, M., VÁZQUEZ-BRIONES, M. D. C., ... & ORTEGA-HERRERA, F. (2016). Contaminación del agua. Revista deficiencias ambientales y recursos naturales [Internet], 2(5), 1-10.
26. Henningman, R. D. (1973). La contaminación del agua. origen y control de la contaminación ambiental. Capítulo, 4. Ed Maurice A Strabbe
27. Hernández, V, L. Chamizo, G, H. & Mora, A, D. (2011). Calidad del agua para consumo humano y salud: dos estudios de caso en Costa Rica. Revista Costarricense de Salud Pública, 20 (1), 25-30. Obtenido el 25 de noviembre de 2021 de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292011000100004&lng=en&tlng=es.
28. Instituto mexicano de tecnología del agua. (2020). La calidad del agua: un eje clave de política pública. Consultado el 20 de noviembre de 2021. <https://www.gob.mx/imta/articulos/la-calidad-del-agua-un-eje-clave-de-politica-publica?idiom=es>
29. Instituto Nacional de Ecología, (2007). Contaminación por mercurio en México, <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/438/cap2.html>, agosto 2013.

30. Jarup, L. (2000). Low level exposure to cadmium and early kidney damage: the OSCAR study. *Occupational and Environmental Medicine*, 57(10), 668–672. <https://doi.org/10.1136/oem.57.10.668>
31. Klevens, R. M., Miller, J. T., Iqbal, K., Thomas, A., Rizzo, E. M., Hanson, H., Sweet, K., Phan, Q., Cronquist, A., Khudyakov, Y., Xia, G. L., & Spradling, P. (2010). The Evolving Epidemiology of Hepatitis A in the United States. *Archives of Internal Medicine*, 170(20). <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2010.401>
32. Koroğlu, M., Yakupoğulları, Y., Otlu, B., Öztürk, S., Özden, M., Özer, A., ... & Durmaz, R. (2011). A waterborne outbreak of epidemic diarrhea due to group A rotavirus in Malatya Turkey.
33. Liu, J., & Waalkes, M. P. (2008). Liver is a Target of Arsenic Carcinogenesis. *Toxicological Sciences*, 105(1), 24–32. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfn120>
34. Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL. *Biotechnology en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
35. Marruecos, L., Nogué, S., & Nolla, J. (1993). *Toxicología clínica*. Barcelona.: Springer-Verlag Ibérica.
36. Martínez, R, A. & Fonseca, G, K, & Ortega S, JL, & García, L, C (2009). Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. *Química Viva*, 8(1),35-47. [fecha de Consulta 21 de septiembre de 2021]. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86311258005>

37. McRill, C., Boyer, L. V., Flood, T. J., & Ortega, L. (2000). Mercury Toxicity due to Use of a Cosmetic Cream. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 42(1), 4. <https://doi.org/10.1097/00043764-200001000-00004>
38. Nandi, D., Patra, R., & Swarup, D. (2005). Effect of cysteine, methionine, ascorbic acid and thiamine on arsenic-induced oxidative stress and biochemical alterations in rats. *Toxicology*, 211(1–2), 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2005.02.013>
39. Navarro, J., Aguilar, I., & López, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 16(2). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/125>
40. Nava-Ruíz, C. & Méndez-Armenta, M., (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), pp.140–147.
41. Nordberg, G. F., Fowler, B. A., & Nordberg, M. (Eds.). (2014). *Handbook on the Toxicology of Metals*. Academic press.
42. OMS, (2019, 14 junio). Agua. Consultado el 19 de noviembre. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
43. OMS. 2008. *Guías para la calidad del agua potable*. Tercera edición. vol 1. ISBN 92 4 154696 4.
44. Ontario. Ministry of the Attorney General, & O'Connor, D. R. (2002). *Report of the Walkerton inquiry: the events of May 2000 and related issues: a summary*. Ontario Ministry of the Attorney General.
45. Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1993). *Departamento de asuntos económicos y sociales: División de desarrollo sostenible agenda 21*. Consultado el 9 de septiembre de 2021.

<https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter18.htm>

46. Organización Mundial de la Salud (2011). Guidelines for Drinking-waterQuality [Internet]. Geneva; 564 p. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf.
47. Prescott, L., Harley, J., & Klein, D. (1996). Microbiología. Madrid, España: Ed.
48. Pulido, M. D. P., Ávila De Navia, MSC, S. L., Estupiñán Torres, MSC, S. M., & Gómez Prieto, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Nova, 3(4), 69. <https://doi.org/10.22490/24629448.338>
49. Putila JJ, Guo NL (2011) Asociación de exposición al arsénico con tasas de incidencia de cáncer de pulmón en los Estados Unidos. PLoS ONE 6 (10): e25886. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025886>
50. Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. Ingeniería Investigación y Desarrollo, 16(2). <https://doi.org/10.19053/1900771x.v16.n2.2016.5447>
51. Rice, E & Baird, R. (2012). Standard methods for the examination of wáter and waste wáter, 22ª edición, Washinton.
52. Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 35(2), 236–247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
53. Robards, K., & Worsfold, P. (1991). Cadmium: toxicology and analysis. A review. The Analyst, 116(6), 549. <https://doi.org/10.1039/an9911600549>

54. Robert Pullés, Marlen (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 45(1),25-36. [fecha de Consulta 1 de octubre de 2021]. ISSN: 0253-5688. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181230079005>.
55. Rogers, J. M., Stewart, M., Petrie, J. G., & Haynes, B. S. (2007). Deposition and management of metals produced during combustion of CCA-treated timbers. *Journal of Hazardous Materials*, 139(3), 500–505. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.02.034>
56. Romero, R. (2007). *Microbiología y parasitología humana/ Microbiology and Human Parasitology: Bases etiológicas de las enfermedades infecciosas y parasitarias/ Etiological Basis of infectious and Parasitic Diseases*. Ed. Médica Panamericana, pp 397
57. Sanín, L. H., González-Cossío, T., Romieu, I., & Hernández-Avila, M. (1998). Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *Salud Pública de México*, 40(4). <https://doi.org/10.1590/s0036-36341998000400009>
58. Santiago-Rodriguez, T. M., Tremblay, R. L., Toledo-Hernandez, C., Gonzalez-Nieves, J. E., Ryu, H., Santo Domingo, J. W., & Toranzos, G. A. (2012). Microbial Quality of Tropical Inland Waters and Effects of Rainfall Events. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(15), 5160–5169. <https://doi.org/10.1128/aem.07773-11>
59. SEMARNAT. (2012). AGUA. SEMARNAT. Recuperado 26 de noviembre de 2021, de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_1.html
60. Silva, J, Ramírez, L, Alfieri, A, Rivas, G, & Sánchez, M. (2004). Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable

envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología, 24(1-2), 46-49. Recuperado en 01 de diciembre de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562004000100008&lng=es&tlng=es.

61. Sosa R, & Fabiola S. (2012). EL FUTURO DE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN MÉXICO Y LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN UTILIZADAS EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL. Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM, XII (2), 165-187. [Fecha de Consulta 1 de diciembre de 2021]. ISSN: 1405-3543. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65429255008>
62. Thomann, R. V. (1984). Physio-chemical and ecological modeling the fate of toxic substances in natural water systems. Ecological Modelling, 22(1-4), 145-170. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(84\)90013-9](https://doi.org/10.1016/0304-3800(84)90013-9)
63. Tsai, Y. L., Tran, B., Sangermano, L. R., & Palmer, C. J. (1994). Detection of poliovirus, hepatitis A virus, and rotavirus from sewage and ocean water by triplex reverse transcriptase PCR. Applied and Environmental Microbiology, 60(7), 2400-2407. <https://doi.org/10.1128/aem.60.7.2400-2407.1994>
64. United Nations Environment Programme. (2013). Global Mercury Assessment 2013: Sources, emissions, releases and environmental transport. Geneva, Switzerland: Autor
65. Vullo, D. L. (2003). Mortalidad estacional por diarrea entre niños mexicanos. Química Viva, 2(3), 93-104.
66. World Health Organization. (1992). Cadmium: environmental aspects. World Health Organization.

67. World Health Organization. (1993). Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization.
68. World Health Organization. (2008). Guidelines for drinking-water quality: second addendum. Vol. 1, Recommendations.
69. Yoder, J., Roberts, V., Craun, G. F., Hill, V., Hicks, L. A., Alexander, N. T., ... & Roy, S. L. (2008). Surveillance for waterborne disease and outbreaks associated with drinking water and water not intended for drinking--United States, 2005-2006. *Morbidity and mortality weekly report. Surveillance summaries* (Washington, DC: 2002), 57(9), 39-62.
70. Zambrano, R., González, L., Arangure, F., Ortega, J., Paredes, J., & Espinosa, M. (2017). El mercurio y sus consecuencias en la salud. *Revista Fuente Nueva Época*, 5, 17.
71. Zurera, G., Estrada, B., Rincón, F., & Pozo, R. (1987). Lead and cadmium contamination levels in edible vegetables. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 38(5), 805-812. <https://doi.org/10.1007/bf01616705>.

7.1 Anexos

7.1.1 Carta de autorización

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL(LA) AUTOR(A) PARA LA CONSULTA Y
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe:

MIGUEL

CRUZ

FLANDEZ

Con Número de
Control **17TE0397**

Pertenece
al Programa **INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**
Educativo

Por este conducto me permito informar que he dado mi autorización para la consulta y publicación electrónica del trabajo de investigación en los repositorios académicos.

Registrado con
el producto: **TESIS**

Cuyo Tema es:

Evaluación de riesgo a la ingesta de contaminantes en agua consumida en regiones de Puebla y Veracruz

Correspondiente al periodo:

AGOSTO 2021-MAYO 2022

Y cuyo(a) director(a) de tesis es:

DR.HIRAM ALEJANDRO WALL MARTINEZ

ATENTAMENTE



MIGUEL CRUZ FLANDEZ

Nombre y firma

Fecha de emisión: **08/05/2022**
c.c.p. Subdirección Académica

7.1.2 Encuesta aplicada

Evaluación de riesgo de ingesta de contaminantes en agua

Gracias por contestar la presente encuesta la información que proporcione será de gran importancia para la realización de un estudio acerca de la evaluación de riesgo a la ingesta de contaminantes en agua consumida en regiones de Puebla y Veracruz.

Instrucciones: seleccione de manera veras la respuesta para cada pregunta que a continuación se presentan.

1. Edad

Marca solo un óvalo.

- Menos de 18 años
- 18-30 años
- 31-40 años
- 41-50 años
- 51-60 años
- 60 años y mas

2. Sexo

Marca solo un óvalo.

- Hombre
- Mujer

<https://docs.google.com/forms/d/1yUCZR1dZEcM9CdDqLqSSHZY3qWUSYm1BE8RfLmLUWdt>

6. De las siguientes fuentes de agua, ¿Cuál es la que utiliza para beber?

Marca solo un óvalo.

- Agua de la llave
- Agua de garrafón de una marca local
- Agua de río o pozo
- Agua de garrafón de una marca reconocida (bonafont, ciel, e-pura, etcétera)

7. De las siguientes fuentes de agua ¿Cuál es la que utiliza para la cocción de alimentos?

Marca solo un óvalo.

- Agua de la llave
- Agua de garrafón de una marca local
- Agua de río o pozo
- Agua de garrafón de una marca reconocida (bonafont, ciel, e-pura, etcétera)

3. Peso

4. ¿Cuántos vasos de agua consume al día?

Marca solo un óvalo.

- Menos de 3 vasos (medio litro)
- 3-4 vasos (litro)
- 6-8 vasos (dos litros)
- 8-12 vasos (tres litros)
- 13-15 vasos

5. El agua que se le suministra de la llave para su consumo en su localidad ¿Es potable?

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No
- Desconozco

8. De las siguientes fuentes de agua ¿Cuál utiliza para la preparación de alimentos en crudo (ensaladas, fruta picada, salsa, etcétera) y lavado de frutas y verduras?

Marca solo un óvalo.

- Agua de la llave
- Agua de garrafón de una marca local
- Agua de río o pozo
- Agua de garrafón de una marca reconocida (bonafont, ciel, e-pura, etcétera)

9. De las siguientes fuentes de agua ¿Cuál utiliza para la preparación de bebidas calientes (te, café, ponche, etcétera)?

Marca solo un óvalo.

- Agua de la llave
- Agua de garrafón de una marca local
- Agua de río o pozo
- Agua de garrafón de una marca reconocida (bonafont, ciel, e-pura, etcétera)

10. De las siguientes fuentes de agua ¿Cuál utiliza para la preparación de bebidas con fruta natural?

Marca solo un óvalo.

- Agua de la llave
 Agua de garrafón de una marca local
 Agua de río o pozo
 Agua de garrafón de una marca reconocida (bonafont, ciel, e-pura, etcétera)

11. En caso de haber seleccionado en alguna de las preguntas anteriores las siguientes opciones agua de la llave, agua de río o pozo ¿Usted realiza un proceso de desinfección del agua?

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No
 En algunas ocasiones

12. Si su respuesta es sí o en algunas ocasiones ¿Qué tipo de desinfección realiza?

Marca solo un óvalo.

- Hervir el agua por 15 o 20 minutos
 Desinfección con cloro (dos gotas por cada litro)
 Uso de un filtro de carbón activado

13. Si su respuesta es no ¿Cuál es el principal motivo por el que no realiza un proceso de desinfección?

Marca solo un óvalo.

- Falta de tiempo o desinterés para realizar el proceso
 No conoce un método para desinfectar el agua
 Desconoce los riesgos que se corren al consumir agua contaminada, por lo tanto, no realiza un método para desinfectar el agua
 Otro motivo

Gracias por su valioso tiempo y los datos proporcionado

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formulario