

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GENÉTICA Y AMBIENTE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN SISTEMAS DEL AMBIENTE**



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE EN EL
MUNICIPIO DE TEPETITLA DE LARDIZÁBAL, TLAXCALA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN SISTEMAS DEL
AMBIENTE**

PRESENTA:

BIÓL. MARIELA MEZA MENESES

BAJO LA DIRECCIÓN DE LA:

DRA. EDELMIRA GARCÍA NIETO

ASESORES:

**DRA. ESTRELLA CARRO CÓRDOBA
M EN C. YENY MEZA MENESES**



IXTACUIXTLA, TLAX, ENERO DEL 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GENÉTICA Y AMBIENTE

MAESTRIA EN CIENCIAS EN SISTEMAS DEL AMBIENTE

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Código: 505-RGE-04

Publicación: Febrero 2019

Revisión: 9001:2015 03

BIÓL. MARIELA MEZA MENESES
CANDIDATA A MCSA
PRESENTE

En cumplimiento al artículo 52 fracción "d" del Reglamento General de Evaluación Académica, el comité de titulación ha revisado el trabajo de investigación titulado: "Evaluación de la calidad del agua potable en el municipio de Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala", realizado bajo la dirección de la Dra. Edelmira García Nieto. No habiendo encontrado objeción alguna, se autoriza su impresión:

Dra. Libertad Juárez Santacruz

Dra. Arely Anaya Hernández

Dra. Edelmira García Nieto

M en CA. Silvia Castro Hernández

M en C. Estrella Carro Córdoba

Handwritten signatures on horizontal lines.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

"POR LA CULTURA A LA JUSTICIA SOCIAL"

Ixtacuixtla, Tlax., 15 de enero de 2020



DRA. EDELMIRA GARCÍA NIETO

CENTRO DE INVESTIGACIÓN
EN GENÉTICA Y AMBIENTE
COORDINADORA GENERAL DEL CIGMA
MAESTRÍA EN POSGRADO
EN SISTEMAS DEL AMBIENTE

c.c.p. Expediente



El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Toxicología y Química Ambiental del Centro de Investigación en Genética y Ambiente de la Universidad Autónoma de Tlaxcala y contó con el financiamiento otorgado por CONACYT con número de becario 859884.

Dedicatoria

A Dios por su amor y bondad que me ha brindado durante todo mi camino y sobre todo por darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida, por permitirme cumplir una meta que parecía inalcanzable. Gracias por ayudarme a salir de la oscuridad en la que me encontraba y por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo.

A mis padres:

Delfina Meneses Ramírez
Hugo Meza Téllez

Por todo su apoyo incondicional, sin ti no hubiese sido posible llegar a este momento. Por ser una mujer trabajadora y fuerte, por cada día confiar y creer en mí, por haberme ayudado a cumplir uno de mis sueños y eso te lo debo a ti mamá. Que dios me permita seguir celebrando muchos triunfos a tu lado. Eres una mujer que simplemente me hace llenar de orgullo, te quiero y no va haber manera de devolverte tanto que me has ofrecido. A mi padre, gracias por enseñarme que todo es posible si se quiere, es por eso que no me cansare en darle las gracias y mucho menos tendré como pagarle todo su apoyo.

A mis hijos:

Iker Gadiel Díaz Meza
Tadeo Emmanuel Díaz Meza

Mi principal fuente de amor y mi gran motivación para superarme cada día. Su afecto y cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis

ganas de buscar lo mejor para ustedes. Les agradezco por iluminar mis días y mis noches con su sonrisa, porque a pesar de los malos tiempos hoy seguimos de pie en lucha de nuestra felicidad y nuestro bienestar. No es fácil, lo sé, pero con valentía siempre superaremos los obstáculos.

A mis hermanas y sobrinos:

Yeny Meza Meneses
Lucero Meza Meneses
Dylan Hernández Meza
Julio Cesar Ortiz Meza

Por los momentos compartidos, por estar siempre a mi lado y apoyarme, hoy les digo gracias, junto a esos niños que siempre iluminan la casa con sus sonrisas, gritos y cariño.

Agradecimientos

Dra. Edelmira García Nieto

Por darme la oportunidad de trabajar con usted, por su tiempo y por compartir sus valiosos conocimientos, pero sobre todo por ser tolerante y muy paciente. Gracias por confiar en mí y cada uno de sus comentarios que me sirvieron para seguir adelante en esta etapa.

Gracias Dra. Libertad Juárez Santacruz por cada uno de sus comentarios, por su apoyo, por compartir sus conocimientos y su compañía en la realización de la tesis.

A la Dra. Estrella Carro Córdoba por su tiempo invertido, por proporcionar su apreciable conocimiento, gran tolerancia y su apoyo incondicional en el presente trabajo.

A la Maestra María Lilia Calva por todo su tiempo invertido en enseñarme cada una de las técnicas utilizadas en este trabajo, por su gran ayuda aclarando mis dudas que fueron fundamentales para la realización de esta tesis.

A la Dra. Arely por su colaboración, por cada uno de sus comentarios y tiempo invertido en la revisión de tesis.

A la MCA Silvia Castro por la colaboración, apoyo y tiempo en la revisión de tesis.

Gracias a mis compañeros y compañeras de la MCSA generación 2017 – 2019 por su amistad y tiempo compartido.

Berenice y Consuelo les agradezco que me permitieron conocerlas y compartir buenos y malos momentos junto a ustedes en el tiempo que estuvimos en la maestría. Solo me queda desearles mucho éxito en cada etapa de su vida y agradecerles su gran amistad.

Gracias a todos los que me brindaron su tiempo y me transmitieron sus conocimientos en el desarrollo de mi formación profesional.

ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE DE TABLAS.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Abastecimiento de agua potable.....	2
1.2 Calidad del agua	2
1.2.1 Características fisicoquímicas.....	3
1.2.2 Características microbiológicas.....	5
1.2.3 Calidad del agua para consumo humano.....	6
1.3 Fuentes de contaminación del agua subterránea.....	7
1.3.1 Contaminación natural.....	7
1.3.2 Contaminación antrópica.....	9
1.4 Riesgo a la salud humana por ingesta de agua contaminada.....	11
1.4.1 Enfermedades de origen biológico-infeccioso.....	11
1.4.2 Enfermedades producidas por agentes químicos.....	12
1.5 Área objeto de estudio: Tepetitla de Lardizábal.....	15
2. ANTECEDENTES.....	18
3. JUSTIFICACIÓN.....	25
4. HIPÓTESIS.....	26
5. OBJETIVOS.....	26
5.1 Objetivo general.....	26
5.2 Objetivos específicos.....	25
6. METODOLOGÍA.....	27
6.1 Identificación y descripción de las fuentes de abastecimiento de agua potable.....	27
6.2 Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	27
6.3 Determinación de parámetros fisicoquímicos.....	30

6.4	Determinación de parámetros microbiológicos.....	38
6.5	Estimación del riesgo a la salud humana.....	40
7.	RESULTADOS.....	42
7.1	Identificación y descripción de las fuentes de abastecimiento de agua potable.....	42
7.2	Características fisicoquímicas y microbiológicas.....	46
7.3	Estimación del riesgo a la salud humana.....	53
8.	DISCUSIÓN.....	55
9.	CONCLUSIÓN.....	65
10.	LITERATURA CITADA.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Recolecta de muestras de agua potable	29
Figura 2. Análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	31
Figura 3. Digestión y análisis de muestras de agua	37
Figura 4. Ubicación geográfica de los pozos y escuelas en el municipio de Tepetitla de Lardizábal	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	30
Tabla 2. Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de Villa Alta, San Mateo y Guadalupe Victoria.....	49
Tabla 3. Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de Tepetitla	50
Tabla 4. Análisis comparativo de EPTs del agua de Villa Alta, San Mateo y Guadalupe Victoria.....	51
Tabla 5. Análisis comparativo de EPTs del agua de Tepetitla	54
Tabla 6. Estimación del riesgo infantil de 3 a 6 años	54

RESUMEN

La emisión constante de sustancias químicas al ambiente y las descargas de aguas residuales municipales, industriales y agrícolas a los ríos y cuerpos de agua superficiales representan una permanente amenaza de contaminación para los acuíferos subterráneos, y por ende un riesgo potencial para la población. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del agua potable del municipio de Tepetitla de Lardizábal cuyos pozos municipales se ubican cerca de áreas agrícolas y de uno de los ríos más contaminados del país, el río Atoyac. Se analizaron muestras de agua procedentes de los pozos que suministran a las comunidades de Villa Alta (PVA), San Mateo (PSM), Guadalupe Victoria (PGV), y Tepetitla (PTP1 y PTP2), así como agua de los grifos en las escuelas de nivel básico que se ubican en dicho municipio; seis preescolares (MPP, FF, FMO, MSA, FGB e IMA) y cinco primarias (DA, EZ, XTL, MH y AC). Los análisis se realizaron con base en la normatividad mexicana. Los valores de dureza total se registraron por debajo de la NOM-127-SSA1-1994, sin embargo, con base en las guías de la OMS el agua se clasificó como muy dura (216.3 a 266.9 mg/L) para PVA, PSM, FMO, FGB, DA, IMA, MH, MSA y AC, y como agua dura (147.0 a 177.6 mg/L) para PTP1, PTP2, PGV, XTL, EZ y MPP. La concentración más alta de nitratos (10.6 mg/L) se registró en PGV y la turbiedad (5 UNT) en PSM, éste último se encuentran en el límite que establece la norma mexicana, no obstante, la OMS recomienda una turbiedad de 1 UNT. Con respecto a los EPT; en el 50 % de las muestras se encontró As (0.001 – 0.008 mg/L), en el 37.5 % se detectó Pb (0.001 a 0.024 mg/L) y la mitad de las muestras superó el valor de la normatividad mexicana (0.01 mg/L). El Hg se encontró en las escuelas de DA (0.001 mg/L) y FF (0.002 mg/L), las escuelas de MH y AC registraron Mn (0.062 mg/L) y Zn (0.440 mg/L), respectivamente. Al obtener el cociente de riesgo para el efecto no cancerígeno, el As en las muestras de FMO (1.7) y XTL (1.9) superaron la unidad, lo que indica un riesgo potencial de padecer lesiones dérmicas. Todas las muestras mostraron un valor superior a 8.0 NMP de coliformes totales, sugiriendo un riesgo potencial de enfermedades gastrointestinales.

ABSTRACT

The continuous emission of chemicals into the environment and the wastewater discharges from industrial, municipal and agricultural sectors toward rivers and surface water bodies, pose an unending hazard of contamination for underground aquifers, and hence, a potential risk for the population. Therefore, the aim of this work was the quality assessment of drinking water in Tepetitla de Lardizábal municipality, whose municipal wells are located near agricultural areas and from one of the most polluted rivers in the country, the Atoyac River. Water samples from the wells supplying the communities of Villa Alta (PVA), San Mateo (PSM), Guadalupe Victoria (PGV), and Tepetitla (PTP1 and PTP2) were analyzed, the tap water from kindergarten and elementary schools located in that municipality were analyzed too; six kindergarten schools (MPP, FF, FMO, MSA, FGB and IMA) and five primary schools (DA, EZ, XTL, MH and AC). The analyses were performed based on Mexican Standards. However, water hardness values were recorded below NOM-127-SSA1-1994, however, based on WHO guidelines, water samples from PVA, PSM, FMO, FGB, DA, IMA, MH, MSA and AC (216.3 to 266.9 mg/L) were classified as very hard and water samples from PTP1, PTP2, PGV, XTL, EZ and MPP (147.0 to 177.6 mg / L) fell into the category of hard water. The highest concentration of nitrates (10.6 mg/L) was logged in PGV and turbidity (5 UNT) in PSM, the latter is at the limit established by Official Mexican Standards, nevertheless, WHO recommends a turbidity of 1 UNT. With respect to PTE; As (0.001 – 0.008 mg/L) was found in the 50 % of water samples, Pb (0.001 to 0.024 mg/L) was detected in 37.5 % and the half of water samples exceeded the value recommended of Official Mexican Standards (0.01 mg/L). In DA (0.001 mg/L) and FF (0.002 mg/L) schools the Hg was found, the MH and AC schools recorded Mn (0.062 mg/L) and Zn (0.440 mg/L), respectively. By obtaining the risk quotient for the non-carcinogenic effect, the As in the FMO (1.7) and XTL (1.9) water samples exceeded the unit, indicating a potential risk of dermal lesions. All samples showed a value greater than 8.0 NMP of total coliforms, suggesting a potential risk of gastrointestinal diseases.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible). La mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud; debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la inocuidad del agua de consumo sea la mayor posible (Organización Mundial de la Salud, OMS, 2006). El agua subterránea es un componente importante, representa el 29.9 % de los recursos de agua dulce en la tierra. Sin embargo, únicamente las aguas almacenadas en los espacios porosos o fracturas interconectadas son accesibles para su uso; las aguas subterráneas se encuentran en la mayoría de las estructuras geológicas porque casi todas las rocas de cualquier tipo, origen y edad poseen poros o fracturas (Owen *et al.*, 2010).

Actualmente las enfermedades se han intensificado de manera importante en las últimas décadas en los países en vías de desarrollo, particularmente las enfermedades crónicas, las cuales estarían asociadas a contaminantes ambientales que pueden estar en el agua a partir de actividades humanas, y/o por procesos naturales (Carrillo-Rivera, 2002; Gall *et al.*, 2013). La mala calidad microbiológica del agua para consumo humano se ha asociado con enfermedades infecciosas y parasitarias en el mundo debido a la falta de acceso adecuado a fuentes de agua y a condiciones de saneamiento, y la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que 2.9 millones de personas mueren cada año por estas causas (Prüss-Üstün, 2008).

Los menores de edad son el grupo de edad más afectado, ya que 90% de las muertes ocurren en niños menores de cinco años, casi siempre residentes de países en desarrollo (Prüss-Üstün, 2008). La mala calidad química del agua puede tener múltiples repercusiones en la salud de las personas tales como afectaciones al sistema nervioso, esclerosis, fatiga y cáncer de riñón; asociado a alteraciones neurológicas, problemas del aparato respiratorio, bronquitis, cáncer de esófago, hepatotoxicidad, entre otras.

1.1 Abastecimiento de agua potable

El sistema de abastecimiento de agua es el conjunto de infraestructura, equipos y servicios destinados al suministro de agua para consumo humano. El artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece que es responsabilidad de los municipios el suministro de los servicios de agua potable. Para llevar a cabo esto se requiere, desde el punto de vista técnico, realizar lo siguiente: Identificar y proteger la(s) fuente(s) de suministro de la contaminación, realizar obras de captación y transportar el agua, potabilizar, vigilar la calidad del servicio, mantener y operar las redes de distribución a los usuarios y suministrar una adecuada atención a los usuarios. Todas estas labores son importantes y de ellas depende dar un buen servicio, en términos de: Calidad. El agua debe cumplir con el criterio de potabilidad establecido en la normatividad (Nom-127-SSA1-1994).

Cobertura. Se debe suministrar el agua a toda la población.

Cantidad. Se debe suministrar un volumen mínimo (agua en bloque) para que el usuario cuente con su dotación. Se estima que esta es de 150 L/hab (considera el agua que se pierde por fugas).

Continuidad. Porcentaje del tiempo durante el cual se dispone de agua (diaria, semanal o estacionalmente).

1.2 Calidad del agua

El término calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como: doméstico, riego, recreación e industrial (Casilla, 2014). Para garantizar la seguridad del agua de consumo humano la gestión preventiva, es el mejor método y debe considerar las características del sistema de abastecimiento de agua, desde la cuenca de captación y la fuente hasta su utilización por los consumidores. Debido a que la calidad del agua cuando entra al sistema de distribución puede deteriorarse antes

de llegar al consumidor. En la distribución, la contaminación del agua puede ocurrir por conexiones cruzadas; tuberías rotas; grifos contra incendio, conexiones domiciliarias, cisternas y reservorios defectuosos; y durante el tendido de nuevas tuberías o reparaciones hechas con pocas medidas de seguridad (Organización Panamericana de la Salud, OPS, 2002).

Actualmente la calidad del agua se ha visto afectada por las actividades humanas que contribuyen a su degradación, modificación de su calidad y cantidad (Gallego, 2000). De las causas de mayor impacto en las cuencas hidrográficas de mayor importancia, son el aumento y concentración de la población, actividades productivas no adecuadas, presión sobre el uso inadecuado, mal uso de la tierra, la contaminación del recurso hídrico con aguas residuales domésticas sin tratar, por la carencia de sistemas adecuados de saneamiento, especialmente en las zonas rurales (Ramos *et al.*, 2003). De igual manera, la contaminación por excretas humanas representa un serio riesgo a la salud pública (OMS, 1999). La presencia de contaminantes que pueden tener efectos nocivos en las personas, lo que convierte al agua en un peligro. Por lo cual, el conocimiento de la calidad del agua es fundamental y, con más razón aquella destinada al consumo humano (Mora *et al.*, 2003). La evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y microbiológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud. Estos análisis permiten saber si el agua cumple con los parámetros establecidos que definen si es potable o no (Campos, 2000; Mejía, 2005).

1.2.1 Características fisicoquímicas

Las características físicas, se refieren a los parámetros que definen el aspecto (apariencia) del agua y que se pueden percibir por los sentidos como: color, olor, sabor, etc., de aquí que la presencia de sólidos puede alterar una apreciación visual. Color. El agua para consumo humano, por definición debe ser incolora, por tanto, la presencia de color indica la presencia de minerales como hierro y manganeso, o

iones metálicos en disolución, humus o residuos orgánicos, plancton o desechos industriales (NMX-AA-045-SCFI-2001).

Sabor y olor. Propiedad subjetiva con un efecto significativo en su calidad y se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición.

Turbidez. Se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos. El agua con suficientes partículas de arcilla en suspensión (10 unidades de turbidez), se aprecia a simple vista. La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo del ser humano, a la elaboración de productos destinados al mismo y a otros procesos de manufactura que requieren el empleo de agua con características específicas, razón por la cual, la determinación de la turbiedad es muy útil como indicador de la calidad del agua.

Las características químicas se relacionan con los compuestos químicos disueltos en el agua que pueden modificar sus propiedades (nitratos, sulfatos, dureza, cloruros, pH, etc.). Los parámetros químicos están muy relacionados con los agroquímicos, metales pesados y desechos tóxicos (Valencia, 2016). Respecto a la dinámica del flujo de agua, los contaminantes son más persistentes y menos móviles en el agua subterránea, como es el caso de la contaminación con nitratos por su movilidad y estabilidad, por la presencia de asentamientos urbanos o actividades agrícolas aledañas (Canter, 2000; Victoria *et al.*, 2015). La presencia de nitratos en agua se ha asociado con la metahemoglobinemia, sobre todo en lactantes alimentados con biberón si se los preparan con agua con elevada concentración de nitratos. La presencia de nitratos se debe a la aplicación excesiva de fertilizantes, a la filtración de aguas residuales u otros residuos orgánicos a las aguas superficiales y subterráneas (Bolaños *et al.*, 2017).

Puede haber numerosos productos químicos en el agua de consumo; sin embargo, sólo unos pocos suponen un peligro inmediato para la salud en cualquier circunstancia determinada. La exposición a concentraciones altas de fluoruro, puede generar manchas en los dientes y, en casos graves, fluorosis ósea incapacitante (Loyola, 2002). De modo similar, el agua de consumo puede contener arsénico y una exposición excesiva puede ocasionar un riesgo significativo de cáncer y lesiones cutáneas (Smedley y Kinninurgh, 2002; Oyarzun *et al.*, 2004).

1.2.2 Características microbiológicas

El efecto directo o indirecto de cambios en el medio ambiente y en la población tales como urbanización no controlada, crecimiento industrial, pobreza, ocupación de regiones antes deshabitadas, y la disposición inadecuada de excretas humanas y animales son los factores que influyen en la presencia o aumento de bacterias, parásitos, virus y hongos en el agua (Nuñez *et al.*, 2009).

Comúnmente el agua actúa como vehículo de transmisión de microorganismos entéricos. La materia fecal puede accidentalmente alcanzar una fuente de abastecimiento, siendo la forma más común el ingreso a través de los sistemas de pozo ciego a napas profundas (Camacho *et al.*, 2011).

Las bacterias denominadas como contaminantes del agua son Gram negativas, y pertenecen principalmente a los géneros *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Gallionella*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Bordetella*, *Neisseria*, *Moraxella* y *Acinetobacter*. Sin embargo, el grupo bacteriano que cumple con las características de potencial bioindicador de calidad del agua es el de las bacterias coliformes, enterobacterias o *Enterobacteriaceae*, anaerobias facultativas, no esporulantes, productoras de gas y fermentadoras de lactosa por vía glucolítica, que generan ácidos como producto final. Corresponden a 10% de los microorganismos intestinales humanos y animales, por lo que su presencia en el agua está asociada

con contaminación fecal (Arcos *et al.*, 2005; Cutiño, 2018) e indica tratamientos inadecuados o contaminación posterior (Marchand, 2002).

El grupo coliformes es constante, abundante y casi exclusivo de la materia fecal, sin embargo, las características de sobrevivencia y la capacidad para multiplicarse fuera del intestino también se observan en aguas potables, por lo que el grupo coliformes se utiliza como indicador de contaminación fecal en agua; conforme mayor sea el número de coliformes en agua, mayor será la probabilidad de estar frente a una contaminación reciente (Kornacki & Johnson , 2001; Brooks *et al.*, 2002; Madigan *et al.*, 2006). El cual incluye los géneros: *Escherichia*, *Edwardsiella*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, y *Citrobacter*. Estos cuatro últimos se encuentran en grandes cantidades en fuentes de agua, vegetación y suelos, por lo que no están asociados necesariamente con contaminación fecal y no plantean ni representan necesariamente un riesgo evidente para la salud. Sin embargo, especies de géneros *Enterobacter* y *Klebsiella* colonizan superficies interiores de las tuberías de agua y tanques de almacenamiento, que forman biopelículas en presencia de nutrientes, temperaturas cálidas, bajas concentraciones de desinfectantes y tiempos largos de almacenamiento (Marchand, 2002; Vásquez, 2006).

1.2.3 Calidad del agua para consumo humano

El agua para uso y consumo humano se define como aquella que no presenta contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida (OMS, 2006; NOM-127-SSA1-1994). La calidad del agua para consumo es primordial para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades, por ello se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características físicas, químicas y microbiológicas. Con el fin de asegurar y preservar calidad del agua para este tipo de uso se establecen estándares sobre las características físicas, químicas y microbiológicas. En lo que se refiere al agua

de fuentes de abastecimiento público, la OMS marca límites máximos permisibles para diversos contaminantes para agua potable, que son considerados como base para la normatividad en diversos países (OMS, 2006).

En el caso de México, la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"; y la NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos son normas establecidas para regular los estándares de calidad del agua para consumo humano.

1.3 Fuentes de contaminación del agua subterránea

La contaminación del agua es la presencia de sustancias u organismos extraños en un cuerpo de agua en tal cantidad y con tales características que le impiden su utilización con propósitos determinados y esta contaminación ocurre por la acción de carácter antropogénica y la acción de la naturaleza (Arellano, 2002).

1.3.1 Contaminación natural

Los metales pesados corresponden a un grupo de elementos presentes de manera natural en ambientes acuáticos, suelo y rocas, que se caracterizan por poseer características metálicas o semi metálicas, una alta densidad (mayor a 5 g/cm^3), peso molecular por encima de 20, y son tóxicos para los seres vivos. Los metaloides son elementos químicos con propiedades intermedias entre metales y no metales. Estos elementos pueden ser tóxicos en cualquier concentración, como el caso del mercurio y cadmio o pueden serlo en altas concentraciones, como es el caso del cobre y zinc (Shimada, 2005; Concon, 2009). Estos se encuentran de manera natural en el ambiente en concentraciones, que por lo general, no perjudican las diferentes formas de vida; no pueden ser degradados o destruidos, pueden ser

disueltos por agentes físicos y químicos y ser lixiviados. Algunos forman complejos solubles y son transportados y distribuidos a los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica (suelo, agua, plantas, semillas y forrajes), primordialmente aquellos procedentes de áreas contaminadas (García *et al.*, 2012; Dwivedi *et al.*, 2011).

La presencia de algunos metales y/o metaloides en el agua puede ocurrir de forma natural por la dilución de minerales y la erosión, tal es el caso del arsénico, el cual se distribuye ampliamente en diversas regiones en países como Bangladesh, Bengal, La India, Irak y Tailandia; en América Latina se ha reportado presencia de arsénico en Argentina, Chile, México, El Salvador, Nicaragua, Perú y Bolivia (Castro, 2006).

En el caso de México se identifican tres ambientes hidrogeológicos donde se presentan altas concentraciones de arsénico en el agua subterránea: acuíferos aluviales del norte y centro de México, áreas mineras en distintas partes del país y aguas geotérmicas asociadas a rocas volcánicas relativamente jóvenes del centro de México (Smedley, 2003; Smedley & Kinniburgh, 2002).

Las localidades más documentadas que muestran la presencia de arsénico en las aguas subterráneas de México son la Comarca Lagunera en Coahuila y Durango (Del Razo *et al.*, 1993; Rosas *et al.*, 1999; CONAGUA, 2000); Jiménez-Camargo, Moquil-Delicias (CONAGUA, 1997) y Valle de Juárez en Chihuahua (CONAGUA & JMAS-JUAREZ, 2000); Caborca, Magdalena de Sonora (Wyatt *et al.*, 1998); Rio Verde en el centro de México (Planer-Friedrich *et al.*, 2001); Valle de Guadiana, Durango (CONAGUA, 2005); El Carrizal, Los Planes, Baja California Sur; Guanajuato-Distritos mineros (Carillo-Chávez *et al.*, 2003); Zimapan, Hidalgo (Armienta *et al.*, 1997; Armienta *et al.*, 2001); Los Azufres, Michoacán (Birkle & Merkel, 2000); Los Humeros, Puebla (González-Partida *et al.*, 2001).

Por su elevada toxicidad, el impacto causado en salud por exposición prolongada o por bioacumulación de metales pesados resulta alarmante. Dependiendo del tipo de

metal o metaloide, se producen afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollos cancerígenos (Combariza, 2009; Nava-Ruíz & Méndez-Armenta 2011). A nivel mundial, se han reportado casos que evidencian las afecciones en la salud por causa del consumo de alimentos contaminados por metales pesados (Sánchez *et al.*, 2010).

1.3.2 Contaminación Antrópica

Las principales vías de entrada de contaminantes en el medio acuático son las aguas residuales, entre las que se incluyen las urbanas, industriales, y las de origen agrícola o ganadero (Barceló y López, 2007).

La descarga de aguas residuales de origen urbano proveniente de viviendas, edificios públicos y de la escorrentía urbana tienen como contaminantes el nitrógeno y fósforo, compuestos orgánicos, coliformes fecales, materia orgánica, entre otros (Jiménez *et al.*, 2010).

En el caso de las industrias que utilizan materias primas orgánicas son las principales contribuyentes a la contaminación orgánica, mientras que las industriales del petróleo, el acero y la minería representan el mayor riesgo en la liberación de metales pesados. Las diversas actividades industriales liberan grandes cantidades de efluentes contaminados con colorantes al ambiente. La principal fuente emisora de colorantes es la industria textil (Anjaneyulu *et al.*, 2005; Días *et al.*, 2007). El tipo de contaminantes presentes en el agua residual de una industria textil dependerá de las sustancias químicas que se usen durante el proceso (Manu y Chaudhari, 2002; Kuhad *et al.*, 2004; Dos Santos *et al.*, 2007; Ranganathan *et al.*, 2007); como las sales NaCl y Na₂SO₄ (provenientes del teñido), agentes surfactantes como fenoles, metales pesados que están presentes en los colorantes, compuestos orgánicos como solventes clorados (provenientes del lavado y la limpieza de máquinas), biocidas como el Pentaclorofenol (proveniente

de fibra de lana contaminada) y aniones tóxicos como el sulfuro (presente en algunos colorantes), entre otros (Bae *et al.*, 2005).

Cabe señalar que las actividades de mayor potencial de generación de contaminantes están asociadas con la utilización o manejo de compuestos de gran toxicidad (pesticidas, fertilizantes y otros productos químicos) muy persistentes y de gran movilidad en los acuíferos (Foster *et al.*, 1998; González *et al.*, 2006; Jiménez 2008; Oliveira y Guimarães 2010). Uno de los principales problemas son los agroquímicos en muchos países y México no es la excepción, los cuales se movilizan de acuerdo a sus características fisicoquímicas y factores ambientales, por procesos de volatilización, escorrentía y lixiviación. Además, contaminan aire, suelos, aguas superficiales y/o subterráneas (van Leewen *et al.*, 1995 y García 1997).

Para la producción agrícola los compuestos químicos son los plaguicidas; estos agroquímicos reducen los daños y las pérdidas ocasionados por la acción de malezas, insectos y enfermedades infecciosas sobre los cultivos, garantizando desde este punto de vista la calidad de la cosecha, razón por la cual la producción agrícola mundial depende considerablemente de su utilización (Ramírez y Lacasaña 2001). Si bien, la realidad es que las plagas desarrollan resistencia, obligando a los agricultores a incrementar las concentraciones y frecuencias de aplicación de los plaguicidas, a elaborar mezclas de principios activos y demandar la disponibilidad en el mercado de nuevos y más potentes biocidas sintéticos. La consecuencia de esta situación es el uso indiscriminado de plaguicidas, que a su vez ocasiona la contaminación del ambiente y actúa negativamente sobre el ser humano y otros organismos del ecosistema, originando problemas de salud pública y deterioro ambiental (Plenge-Tellechea y Sierra-Fonseca 2007). Los plaguicidas son sustancias químicas peligrosas a las cuales está expuesto el ser humano en la actualidad y las intoxicaciones causadas por su uso inadecuado plantean graves problemas de salud pública (Damalas y Eleftherohorinos, 2011) ya que la mayoría de los plaguicidas empleados en la agricultura tienen acción teratogénica y afectan

los sistemas nervioso, endocrino e inmunológico, considerándose generadores potenciales de enfermedades como cáncer, asma e infertilidad, entre otras (Karam *et al.*, 2004; IFCS 2006, Murcia y Stashenko 2008, Quintero *et al.*, 2008, Medina *et al.*, 2010, Uzcátegui *et al.*, 2011, Molina-Morales *et al.*, 2012).

1.4 Riesgo a la salud humana por ingesta de agua contaminada

Básicamente, existen dos tipos de enfermedades relacionadas con el agua, en función del tipo de elementos contaminantes presentes: las producidas por agentes biológico-infecciosos (microorganismos) que se manifiestan en forma rápida y las producidas por agentes químicos que, en general, tardan en manifestarse (Acosta, 2008; Chaple, 2003).

1.4.1 Enfermedades de origen biológico-infeccioso

Los agentes patógenos transmitidos por el agua son un problema mundial que demanda un urgente control mediante la implementación de medidas de protección ambiental a fin de evitar el incremento de la prevalencia de las enfermedades relacionadas con la calidad del agua. Los microorganismos causantes de las denominadas enfermedades hídricas provienen principalmente de las heces humanas o animales. La infección ocurre por el contacto entre el hombre y el agente infeccioso en alguna de las fases del ciclo del uso del agua, es decir, que puede presentarse durante las actividades cotidianas (bañarse, lavar, cocinar, etc.), durante la potabilización, o bien, al consumirse (Acosta, 2008; Conagua, 2007, Conagua 2013).

Por lo tanto el agua es un vehículo importante de agentes patógenos capaces de provocar diversas enfermedades en el humano, tales como salmonelosis (*Salmonella*), shigelosis (*Shigella*), cólera (*Vibrio Cholerae*), amebiasis (*Entamoeba histolytica*), alteraciones gastrointestinales (*Aeromonas mesófilas*, *Helicobacter pylori*, *Campylobacter*); giardiasis (*Giardia lamblia*), criptosporidiosis

(*Cryptosporidium*), esquistosomiasis (*Schistosoma*), desórdenes hepáticos (*virus de hepatitis*) (Arcos *et al.*, 2005; Marchand, 2002; Aulicino & Pastoni, 2004).

En México, aun cuando por medio del Programa Agua Limpia (creado en Abril de 1991) se ha incrementado el suministro de agua desinfectada, las enfermedades gastrointestinales son el principal problema de salud en el país, siendo los niños menores de cinco años el grupo más vulnerable a este tipo de padecimientos que provocan diarrea aguda y en ocasiones, muerte por deshidratación. Más aún, investigaciones recientes demuestran que los indicadores tradicionales de potabilidad (coliformes fecales y coliformes totales) y la presencia de cloro en concentraciones de hasta 0.5 mg/L, no aseguran la ausencia de patógenos en el agua de ciudades como la de México, donde se han encontrado rotavirus y *Helicobacter pylori*, responsable de úlcera y cáncer del estómago (AAP, 2007).

1.4.2 Enfermedades producidas por agentes químicos

El agua de consumo humano puede transmitir numerosos padecimientos producidos por agentes químicos, que se incorporan al agua por vías naturales y/o antrópicas y, de acuerdo a la composición química, dosis y tiempo de exposición, provocan respuestas negativas de diversa magnitud en el organismo. Cuando dicha respuesta ocurre en forma inmediata (24 a 48 horas después de la exposición) se denomina efecto agudo, pero si ocurre después de un largo periodo (10 a 20 años) se debe a un efecto por exposición crónica. En ambos casos, los efectos pueden ser o no reversibles, dependiendo de su naturaleza y severidad, así como del órgano afectado (Porta, 2002). Dentro de los químicos más frecuentes en el agua capaces de originar problemas de salud podemos mencionar a los nitratos (NO_3), arsénico (As), plomo (Pb), cromo (Cr), zinc (Zn), etc. (Vargas, 2005).

La ingesta de nitratos (NO_3) y sus posibles consecuencias para el ser humano por un exceso de estos iones en el agua potable causa metahemoglobinemia, una enfermedad que principalmente se manifiesta en bebés de hasta 6 meses de edad

y causa la disminución de la capacidad de transporte de oxígeno de los glóbulos rojos (Figueruelo y Dávila, 2004); como consecuencia inmediata de ello, ocasiona una disminución del oxígeno en los órganos y tejidos de todo el cuerpo, con daños en ellos e, incluso, la muerte.

Después de la ingestión de agua con arsénico (As), y ser absorbido, este llega a la sangre y se une a las globulinas. Su posdistribución dentro de las primeras 24 horas lo lleva, entre otros órganos, a hígado, pulmón, riñón y bazo, donde al acoplarse a los grupos sulfidrilo de las proteínas se acumula. En el tejido óseo compite con el fósforo, lo desplaza y puede permanecer allí durante años. Una pequeña cantidad atraviesa las barreras hematoencefálica y placentaria (ATSDR, 2007; Rudge *et al.*, 2009). Dentro de las siguientes 30 horas, se deposita en cabello y uñas. Los niveles de As en secciones de pelo indican el tiempo transcurrido desde el inicio de la exposición (Klaassen, 2010; Rosenstock, 2005). El arsénico actúa formando enlaces covalentes con el átomo de azufre de los grupos sulfidrilol, reacción importante porque condiciona que el iAs ingrese a las reacciones bioquímicas solamente en presencia de agua; de esta manera sus compuestos sólidos inorgánicos no podrán actuar en el organismo hasta no ser reducidos. El iAs³⁺ ingresa al sistema piruvato-oxidasa ligándose a los grupos sulfidrilo de la proteína, de lo que resulta un complejo anular muy estable. El mecanismo de acción tóxica del iAs⁵⁺ no está plenamente dilucidado; se acepta que previamente es reducido a formas trivalentes (Klaassen, 2010; Concha *et al.*, 2002).

La absorción de plomo (Pb) es un riesgo de salud pública; ocasiona retraso del desarrollo mental e intelectual de los niños, causa hipertensión y enfermedades cardiovasculares en adultos (ATSDR, 2011; ToxFAQS, 2007). La absorción de plomo por vía oral es cerca al 10% en adultos y se puede incrementar hasta 50% en niños. El plomo absorbido se distribuye en riñón, hígado, encéfalo y huesos por semejanza con el calcio. El mayor depósito de plomo son los huesos hasta por 20 años; interfiere en la función del calcio, inhibe la síntesis de hemoglobina y causa daño neurológico (WHO, 2005). Los efectos agudos en sistema nervioso central

consisten en parestesia, dolor y debilidad muscular, crisis hemolítica-anemia grave y hemoglobinuria. También afecta riñones con oliguria y albuminuria. Aunque la intoxicación aguda puede causar la muerte, es más frecuente que el paciente se recupere y presente intoxicación crónica con daño gastrointestinal, neuromuscular, nervioso, hematológico, renal y reproductivo (WHO, 2002; MCRILL, 2013).

En el caso de Cromo (Cr) el cual se absorbe por vía oral, respiratoria o dérmica. Se distribuye a nivel de médula ósea, pulmones, ganglios linfáticos, bazo, riñón, e hígado (ATSDR, 2006; EPA, 1998; Lauwerys RR., 2007). La absorción del Cr^{+3} es menor que la del Cr^{+6} . El Cr^{+6} es rápidamente tomado por los eritrocitos e integrado a otras células por el sistema transportador de sulfatos. El Cr^{+6} se reduce a (+3) intracelularmente a nivel de mitocondrias y el núcleo (ATSDR, 2006; EPA, 1998; Lauwerys RR., 2007). A nivel del citoplasma por reductores intracelulares como el ácido ascórbico, el glutatión, flavo enzimas y riboflavinas. La reducción intracelular genera intermediarios reactivos como Cr^{+5} , Cr^{+4} y Cr^{+3} , así como radicales libres hidroxilo y oxígeno. Estas formas reactivas del Cr son susceptibles de alterar el ADN (ATSDR, 2006). Las manifestaciones tóxicas son generalmente atribuidas a los derivados (+6). Entre otras, la acción tóxica se produce por: acción cáustica directa, sensibilización cutánea, citotoxicidad e inflamación de neumocitos, interacción con biomoléculas, el Cr (+6) induce alteración de cromátidas hermanas, aberraciones Cromosómicas y reacciones cruzadas en la cadena de ADN (Téllez *et al.*, 2004; ATSDR, 2006).

El zinc (Zn) es un elemento esencial en la dieta, sin embargo la ingesta prolongada de cantidades elevadas de 10-15 veces más altos que la cantidad necesaria (1.3 y 4.6 mg/día; National Research Council, 2001) para mantener buena salud es perjudicial (ATSDR, 2005). La ingestión momentánea de grandes cantidades de Zn puede causar calambres estomacales, náusea y vómitos. Si se ingieren grandes cantidades durante un período más prolongado pueden resultar anemia y disminución de los niveles del tipo de colesterol que es beneficioso. Existen ciertos trabajos que indican el posible desarrollo de alteraciones como consecuencia de la

ingestión de dosis moderadamente elevadas de Zn durante períodos de tiempo largos (Saltzman *et al.*, 1990; Moyad *et al.*, 2004). Se ha demostrado como en hombres, un elevado consumo de suplementos de zinc produce un riesgo significativamente mayor de cáncer avanzado de próstata, así como la inhibición de los efectos beneficiosos de los biofosfonatos, el incremento de los niveles de testosterona, incremento de colesterol, reducción de los niveles de HDL (High Density Lipoprotein Cholesterol) y puede fomentar una disfunción inmune (Moyad *et al.*, 2004).

Saltzman *et al.*, en 2002 realizaron un estudio donde describen la intoxicación por zinc de un individuo de 17 años que durante 6-7 meses tomó elevadas dosis diarias de zinc en forma de suplementos y que desarrolló una hipocupremia con anemia, leucopenia y neutropenia. Esta anemia inducida por una hipocupremia por exceso de zinc también, además de un nefrosis, se observa en otro caso de ingesta elevada de zinc (concretamente 2.000 mg de gluconato de zinc durante 12 meses) (Hein, 2003).

Sin embargo, aún existe una carencia de información acerca de la ubicación de sitios potencialmente peligrosos, el tipo de contaminantes presentes, los niveles de contaminación y áreas contaminadas. Por tal motivo se realiza el presente estudio ya que es de gran importancia conocer los sitios generadores de sustancias peligrosas y el análisis de sus efectos en la salud.

1.5 Área objeto de estudio: Tepetitla de Lardizábal

Debido a que es una zona generadora de sustancias peligrosas (metales pesados presentes en colorantes, solventes, agroquímicos, etc.) para el ambiente y la salud de la población, se encuentra en el lugar 13 del listado de sitios potencialmente tóxicos del estado de Tlaxcala (López *et al.*, 2006), por estas razones se elige al municipio de Tepetitla de Lardizábal como zona de estudio; el cual está ubicado en el Altiplano Central Mexicano a 2 260 msnm, ubicándose en un eje de coordenadas

geográficas entre los 19° 16' latitud norte y 98° 22' longitud oeste. Localizado en el sur del estado de Tlaxcala, el municipio de Tepetitla y colindando al norte con el municipio de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros; al sur y al poniente con el estado de Puebla, y al oriente con el municipio de Nativitas.

De acuerdo con la información del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, el municipio de Tepetitla de Lardizábal comprende una superficie de 28.68 km², lo que representa el 0.70 % del total del territorio estatal, el cual asciende a 3 991.14km². El relieve del municipio presenta tres formas características. Zonas planas, comprenden el 75.0 % de la superficie total del municipio. Zonas semiplanas: ocupan el 20.0 % de la superficie, ubicándose en la parte norte del municipio. Zonas accidentadas: abarcan el 5.0 % restante, localizadas al suroeste del municipio. Los recursos hidrográficos del municipio son el río Atoyac que lo atraviesa desde la parte noroeste hasta el sureste, recorre aproximadamente 8.7 Km., además cuenta con un arroyo de caudal sólo durante la época de lluvias y cinco pozos para extracción de agua. Sin embargo, el río Atoyac ha sido afectado por las descargas de aguas residuales, la contaminación del río se inició precisamente con el desarrollo industrial impulsado en la región y, de acuerdo con varios especialistas como Navarro *et al.* (2004), Salas *et al.* (2014) y Arellano-Aguilar *et al.* (2015), es tan grave que se ha salido del control de las autoridades tanto locales como federales.

En el estado de Tlaxcala existen diferentes tipos de suelo tales como: cambisoles, litosoles, andosoles, regosoles, gleysoles, fluvisoles, vertisoles, solonchaks, ranker, rendzinas, serosoles e histosoles. Para el municipio de Tepetitla de Lardizábal existen tres tipos de suelo: cambisoles, fluvisoles y gleysoles.

Los cambisoles son aquéllos formados por sedimentos piroclásticos translocados, a menudo con horizontes duripan o tepetate. Los fluvisoles, comprenden sedimentos aluviales poco desarrollados y profundos. Los gleysoles, se

caracterizan por ser suelos de sedimentos aluviales influenciados por aguas subterráneas, poco desarrollados, profundos (INEGI, 2005).

2. ANTECEDENTES

Los cambios relacionados con las actividades antrópicas se ven reflejados directamente en el entorno y, por consiguiente, en el recurso hídrico. Actualmente se ha observado una degradación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Uno de los principales problemas es la descarga directa de aguas contaminadas de origen doméstico, industrial y agrícola en cuerpos de agua que a su vez son utilizados por la población para cubrir sus necesidades de abastecimiento (Nuñez *et al.*, 2009).

Los acuíferos constituyen una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable en México, por lo que se requiere que el recurso sea apto para el consumo; sin embargo, en los últimos años se ha reportado que en el agua subterránea existen microorganismos, como las amebas de vida libre (AVL), algunas de las cuales pueden causar enfermedades en el humano (Price, 2007). Los niveles de contaminación que presentan los acuíferos pueden ser preocupantes, esto ha propiciado que se limiten los usos del agua y se impacte la salud pública y el ambiente de muchas comunidades. Las fuentes de contaminación química y microbiológica son numerosas. Estas fuentes incluyen la práctica de disposición en el suelo de los efluentes de agua de desecho, de lodos, de desechos sólidos, de efluentes de tanques sépticos y de escurrimientos urbanos, y uso inadecuado de fertilizantes agrícolas y plaguicidas para el control fitosanitario (Trauth y Xanthopoulos 1997; Ramírez *et al.*, 2006, 2009; Robles *et al.*, 2011). Aunque se conoce poco de la contaminación que ocurren en acuíferos en comparación con las aguas superficiales. El interés en las investigaciones del agua subterránea se ha incrementado debido a la creciente demanda de esta fuente de abastecimiento, por lo que se requiere que no exista riesgo a la salud de los consumidores (Ramírez *et al.*, 2006).

Ramírez *et al.* (2009) determinó la calidad microbiológica del acuífero de Zacatepec, Morelos, cuantificando coliformes totales y coliformes fecales con la técnica de filtro

de membrana. En los cuales presentaron contaminación por coliformes totales, uno de ellos con una media geométrica de 107 UFC/100 mL. Para los coliformes fecales un pozo presentó contaminación alta con una media geométrica de 107 UFC/100 mL. Se detectaron AVL en todos los pozos de estudio; se aislaron 22 especies pertenecientes a 16 géneros; el más frecuente fue *Hartmannella* con 38 %, el cual no ha sido reportado como patógeno, pero se ha encontrado asociado con infecciones oculares y cerebrales en humanos. De las amibas patógenas, se detectó *Acanthamoeba*, pero con baja frecuencia (6.7 %). La presencia de las bacterias coliformes indica que existe una contaminación de origen antrópico en el acuífero y junto con la presencia de AVL patógenas, resalta la importancia de desinfectar el agua antes de su consumo como agua potable.

Ramírez *et al.* (2012) evaluó seis pozos del municipio de Tizayuca, Hidalgo, donde se determinó la presencia de AVL; se detectaron amebas en todos los pozos, encontrándose 13 especies de nueve géneros: *Acanthamoeba*, *Hartmannella*, *Mayorella*, *Platyamoeba*, *Rosculus*, *Thecamoeba*, *Vahlkampfia*, *Vannella* y *Vexillifera*, donde *Hartmannella* presentó mayor frecuencia (44 %). *Hartmannella*, *Vahlkampfia* y *Vannella* se han encontrado asociadas con casos de meningoencefalitis y queratitis, pero no se ha podido comprobar su papel como causantes de las enfermedades. *Acanthamoeba* es la única que se ha reportado como patógena, pero solamente se detectó en un muestreo con muy baja frecuencia. Por lo que se puede decir que no existe riesgo en consumir el agua, pero debe de ser desinfectada para evitar problemas de salud a los usuarios.

Por otro lado, el agua también puede contaminarse químicamente y tener múltiples repercusiones en la salud de las personas. Pedrozo *et al.* (2014) reportaron 15 casos de intoxicación aguda por plaguicidas en la colonia Puerto Pirapó, Itapúa, Paragua en 10 mujeres y 5 hombres entre los 5 y 67 años, procedentes de una comunidad rural, que presentaron síntomas después de utilizar el agua de la red comunitaria con olor anormal en la preparación de infusiones (té) y en la cocción de alimentos, así como para la higiene personal, con lo cual se pudieron establecer las

vías de absorción. Los síntomas más frecuentes fueron náuseas y vómitos, seguidos de dolor abdominal, deshidratación, cefalea, fiebre, prurito, hiperemia conjuntival, sudoración y dificultad respiratoria, entre otros, después de haber utilizado el agua contaminada con plaguicidas de la red comunitaria. Siete de los 15 afectados acudieron a consulta médica pasadas 48 horas de la exposición. Debido a que los síntomas persistían, cinco de ellos acudieron a una segunda consulta (siete días después de la exposición). En cinco de los pacientes se hizo un hemograma y se midieron los valores de las funciones renal y hepática, así como de la colinesterasa sérica, con resultados dentro de los valores de referencia; sólo uno de los afectados presentó alteración de las enzimas hepáticas. En dos muestras de agua de la red comunitaria, se detectó un compuesto organofosforado cuyo ingrediente activo era el profenofos.

Echeverry *et al.* (2015) hace una valoración del riesgo en salud en un grupo de la población de Cali, Colombia, por exposición a plomo, cadmio, mercurio, ácido 2,4-diclorofenoxiacético y diuron, asociada al consumo de agua potable y de alimentos. Para la evaluación del agua de red, seleccionaron siete puntos clave, distribuidos en toda la zona de estudio y se realizó en dos etapas. En la primer etapa mercurio, 2,4 D y diuron fueron no detectables encontrándose por debajo de los límites de detección (<1 µg/L). Solo se detectó una concentración de 0.1 mg/L de plomo y 4 µg/L cadmio. Durante la segunda etapa, tampoco se detectó mercurio, 2,4 D y diuron en ningún sitio. Sin embargo, sí se registró plomo (0.11 a 0.36 µg/L) y cadmio (0.30 a 0.43 µg/L). Las concentraciones de los contaminantes evaluados estuvieron por debajo de las permisibles establecidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (3 µg/L de cadmio; 10 µg/L de plomo; 1 µg/L de mercurio; 1 µg/L de ácido 2,4 diclorofenoxiacético; 1 µg/L de diuron).

Landin (2006) evaluó el agua subterránea que se capta del acuífero del Valle de San Luis, en los 126 pozos profundos que se encuentran en operación, y se utilizan para uso público-urbano. De estos, 91 pozos corresponden a la Ciudad de San Luis Potosí, 28 a Soledad de Graciano Sánchez, y uno en cada una de las comunidades

de Bocas, La Pila, El Jaralito, Cerro de San Pedro, Cándido Navarro, El Huizache y Pozos. Se tomaron 2 muestras de agua superficial en la Planta los Filtros, una que contiene la mezcla de zona termal, el pozo de Lomas II y Planta los Filtros y otra muestra que pertenece únicamente a la planta en donde el agua proviene de la presa San José.

En la Ciudad de San Luis Potosí, el 71.43 % del agua subterránea de los pozos, superan lo que establece la normatividad mexicana (1.5 mg /L), con un intervalo de 0.35 a 4.16 mg/L. Las zonas donde se encuentra mayor concentración de fluoruros son al suroeste, donde se ubican las colonias: Lomas, Los Filtros, Universitaria, Halcones. Al este con las colonias Jardines del Valle, y San Luis I; al sureste donde se localiza la zona termal, la zona industrial San Luis, con algunas colonias como: Dalias, Simón Díaz, El Aguaje, y Salk; al oeste y noroeste, siendo el pozo de Muñoz ubicado en la calle de Muñoz esquina con García Diego el que presenta la mayor concentración en fluoruros de 4.16 mg/L, seguido del Valle de Santiago (4.12 mg/L) y Halcones (4.02 mg/L).

Las concentraciones de arsénico total en el agua de las 126 muestras colectadas en la Ciudad de San Luis Potosí presentaron un rango de 1.75 a 14.4 µg/L, donde el 58.24 % excede el valor guía de la OMS (10 µg/L) y el 25 % lo excede en Soledad de Graciano Sánchez con un intervalo de concentración de 2.54 a 13.68 µg/L, sin embargo, ninguna de las muestras supera el límite máximo permisible de la normatividad mexicana (25 µg/L). De las 8 muestras tomadas del área conurbada solo las Delegaciones de Pozos, Cándido Navarro y el Jaralito contienen niveles de As (intervalo de 10.19 a 14.44 µg/L) por arriba del valor guía de OMS. Para las muestras de la planta los filtros la concentración encontrada es menor a 1µg/L.

Las zonas en donde se localizan los pozos de mayor concentración de As total mayores a 10 µg/L son al suroeste, sureste, oeste y algunos pozos del noreste. El As del agua subterránea correlaciona positivamente con fluoruros y con la temperatura del agua, medida a la descarga del pozo. Estos resultados indica que

la mayor parte del agua que se surte a la población de la Ciudad de San Luis Potosí, como agua de uso y consumo humano por su baja calidad no es apta para su consumo debido a que representan riesgo para la población.

Bocanegra (2006) estudió 237 muestras de agua de pozo en el estado de San Luis Potosí, donde el 28.5 % de las muestras sobrepasó el límite máximo permisible para F que establece la NOM-127 y el 11.1 % lo sobrepasa para As. Las comunidades que presentan concentraciones de F mayores a 1.5 mg/L están ubicadas en 13 municipios que son: Charcas, Guadalcázar, Mexquitic de Carmona, Moctezuma, Salinas de Hidalgo, Santa María del Río, Santo Domingo, Villa de Arriaga, Villa de Guadalupe, Villa de Ramos, Villa de Reyes, Villa de Zaragoza y Villa Juárez.

Para As las comunidades con concentración mayores a 0.025 mg/L se encuentran en 8 municipios: Ahualulco, Charcas, Guadalcázar, Mexquitic de Carmona, Salinas de Hidalgo, Santo Domingo, Villa de Guadalupe y Villa de Ramos. Además, evaluó el riesgo en salud por la exposición a estos contaminantes relacionando la dosis de exposición con la dosis de referencia para cada analito, siendo de 1 hasta 35 veces el riesgo de presentar hiperpigmentación, queratosis y posible complicación vascular por la exposición a As. En tanto que para fluorosis dental el riesgo es de 1 a 7 veces.

Bolaños-Alfaro (2017) analiza la concentración de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos, en agua potable de los cantones de Grecia y Poás, de la provincia de Alajuela, Costa Rica. Realizo los muestreos en durante los meses de junio, julio y diciembre de los años 2015 a 2016 y los resultados obtenidos fueron comparados con los valores-alerta y máximos indicados en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, N.º 38924-S.

Para nitratos reporto concentraciones de 0 a 37.45 mg/L en los acueductos ASADA y municipios de los cantones de Grecia y Poás (Alajuela, Costa Rica) donde los superan el valor alerta indicado en el decreto N.º 38924-S (25 mg/L). Para el mes

de julio del 2015 la concentración promedio obtenida en el agua que entregaba la ASADA de El Cajón alcanzó un valor de $37,45 \pm 0,02$ mg/L; comportamiento similar que se reportó en el mes de diciembre del mismo año en el acueducto ASADA de La Arena, con $28,46 \pm 0,02$ mg/L. Estas concentraciones representan riesgo en la salud humana, y se registra principalmente la metahemoglobinemia, el cual es un padecimiento que ocurre en niños menores de un año de edad y que en ocasiones es fatal.

Otro ion en estudio es el nitrito, los cuales se relaciona con los nitratos por su capacidad de convertirse en estos de manera natural. Se realizaron determinaciones para todos los acueductos ASADA en los meses de julio del 2015 y diciembre del 2016. Repostando valores superiores al máximo establecido de 0.1mg/L, para Grecia oscilaron entre 0.12 y 0.14 mg/L, mientras que para la comunidad de Santa Rosa de Poás, denotaron una concentración superior, con 2.85 mg/L, evidenciando una posible fuente de contaminación por nitritos debido al uso excesivo de fertilizantes en los cafetales aledaños a la zona de los nacientes. Estas concentraciones representan riesgo en la salud humana debido a que se le atribuye la misma enfermedad que a los nitratos, es decir, la metahemoglobinemia.

Con respecto al anión sulfato, se obtuvieron valores de 0.30 a 44.88 mg/L; varias muestras sobrepasan el valor alerta establecido por el Ministerio de Salud de Costa Rica el cual es de 25 mg/L. Como es el caso del acueducto ASADA de El Cajón, cuyos promedios fueron 43.19 mg/L en julio del 2015, 32.67 mg/L en diciembre del 2015 y 37.59 mg/L en julio del 2016. También sobresalieron los altos valores de las muestras del acueducto ASADA de Los Ángeles, tomadas en diciembre de 2015 y julio de 2016, donde en promedio se obtuvo una concentración de sulfatos de 44.88 y 40.77 mg/L respectivamente. Las afectaciones de este ion a la salud humana por agua de consumo humano, se da pero en contenidos superiores a 200 mg/L los cuales pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños.

El anión fosfato; en el acueducto ASADA de La Arena, en el mes de julio del 2016 presento una concentración de 29.99 mg/L, la cual sobrepaso tanto el valor alerta de 10 mg/L y el valor máximo admisible de 25 mg/L. De acuerdo con las consecuencias a la salud por el consumo de fosfatos en el agua, estudios científicos han observado numerosas relaciones de causa-efecto entre el consumo de aguas fosfatadas y el aumento de casos de cáncer y de enfermedades neurodegenerativas (Lavie *et al.*, 2010). Además, el consumo de fosfatos excesivo puede causar problemas de salud, entre los que sobresalen el daño renal y la osteoporosis (Guarín, 2011).

Castro (2013) evaluó la calidad del agua de 17 fuentes de abastecimiento correspondientes al acuífero Atoyac–Zahuapan, en la región centro-Sur de Tlaxcala. Donde considero dos periodos de muestreo. En el primero se identificaron tres sitios con concentraciones de 0.089 a 0.125 mg/L de As y diez que oscilaron de 0.013 a 0.051 mg/L de Pb; en el segundo tres presentaron concentraciones de 0.038 a 0.041 mg/L de As y catorce de 0.017 a 0.129 mg/L de Pb, ambos muestreos superaron el límite establecido por la normatividad mexicana. Así mismos se estimó la dosis de exposición de la población infantil la cual estará expuesta a una dosis superior a 3×10^{-4} mg/kg/día en 13 de los 17 sitios analizados, en donde se representaría un riesgo de padecer lesiones dérmicas, y en 5 sitios se presentaría un riesgo de padecer cáncer en una relación de 1/100.

3. JUSTIFICACIÓN

Las descargas urbanas, industriales y la escorrentía de campos agrícolas hacia los principales ríos de Tlaxcala han afectado la calidad de las aguas superficiales. Las características hidrogeológicas del acuífero Zahuapan-Atoyac favorecen la lixiviación de sustancias químicas, las cuales pueden influir sobre la calidad del agua subterránea. El río Atoyac es de los más contaminados del país, en su recorrido por el estado de Tlaxcala atraviesa el municipio de Tepetitla de Lardizábal donde recibe descargas residuales de textileras y se incorporan al cauce residuos de agroquímicos provenientes de los campos agrícolas. En este contexto, las fuentes de abastecimiento de agua potable del municipio de Tepetitla de Lardizábal que se ubican dentro de áreas de cultivo y colindan con el río Atoyac son susceptibles de contaminación, por tal motivo, es importante evaluar el nivel de calidad del agua de los pozos de este municipio y estimar el riesgo potencial en la salud de sus habitantes.

4. HIPÓTESIS

La calidad del agua potable de las fuentes de abastecimiento público del municipio de Tepetitla de Lardizábal está afectada por las actividades antrópicas de la región, por lo cual los valores de algunos parámetros de calidad no cumplirán con la normatividad mexicana.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento para consumo humano y con base en la metodología de la OPS estimar el riesgo en la salud de los habitantes de Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala.

5.2 Objetivos específicos

- Identificar las fuentes de abastecimiento de agua potable en el municipio de Tepetitla de Lardizábal mediante la inspección del sitio para describir los posibles factores que influyen sobre la calidad del agua.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua potable de los pozos municipales y de los grifos de las escuelas del nivel básico primaria y preescolar, empleando las metodologías que recomienda la normatividad mexicana, para contrastar los resultados con los límites máximos permisibles reportados en las guías nacionales e internacionales.
- Analizar los resultados mediante la aplicación de la metodología recomendada por la OPS para estimar el riesgo para la salud humana.

6. METODOLOGÍA

6.1 Identificación y descripción de las fuentes de abastecimiento de agua potable

Mediante una consulta en la base de datos de INEGI se identificaron los seis pozos de abastecimiento de agua para las comunidades que integran el municipio, y se ubicaron la totalidad de escuelas de nivel básico; cinco primarias y seis preescolares.

Para analizar la vulnerabilidad de contaminación que presenta cada sitio de muestreo, la información que se recopiló durante el desarrollo del trabajo se enfocó a identificar los factores antrópicos y naturales que pudieran contribuir a modificar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos relacionados con la calidad del agua potable. La información consideró las características del acuífero, la profundidad del nivel freático, la identificación y cercanía de las posibles fuentes de contaminación tales como los cuerpos de aguas superficiales contaminadas y el uso de suelo alrededor del punto de muestreo, la dirección del flujo subterráneo, las condiciones de los depósitos de almacenamiento del agua.

6.2 Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

La recolección del agua de los pozos y de los grifos de las escuelas se realizó en el mes de abril y noviembre 2018, respectivamente. Para la ubicación geográfica se llevó a cabo la etapa de inspección y durante el recorrido se registraron las coordenadas geográficas de cada sitio de muestreo, empleando un GPS marca MAGELLAN (eXplorist 510).

Se obtuvo la muestra de cinco de los seis pozos que se utilizan para uso público-urbano en el municipio de Tepetitla de Lardizábal y que se encontraban en operación en el momento de la recolecta. Pozo de Villa Alta (PVA), pozo de San

Mateo Ayecac (PSM), pozo de Guadalupe Victoria (PVA) y los dos pozos de la comunidad de Tepetitla (PTP1) y (PTP2). Se descartó uno de los pozos ubicado en San Mateo Ayecac por no tener acceso a la muestra.

De las escuelas de nivel básico se recolectaron las muestras de agua de seis preescolares y de cinco primarias: Mi patria es Primero (MPP), Federico Froebel (FF), Fernando Montes de Oca (FMO), Mariano Silva Aceves (MSA), Francisco González Bocanegra (FGB), Ignacio Manuel Altamirano (IMA), Domingo Arenas (DA), Emiliano Zapata (EZ), Xicothéncatl (XTL), Miguel Hidalgo (MH), Abraham Castellanos (AC).

La toma de muestras y su conservación se llevaron a cabo conforme a lo establecido en la NOM-127-SSA1-1993. Para los análisis microbiológicos se utilizaron frascos de vidrio con capacidad de 250 mL los cuales fueron previamente esterilizados en autoclave y se les adicionó tiosulfato de sodio (NOM-210-SSA1-2014,). Una vez recolectadas las muestras se trasladaron inmediatamente (menos de 2 h) al Laboratorio Estatal del estado de Tlaxcala para el análisis correspondiente; Coliformes totales y Coliformes fecales.

Se utilizaron frascos de plástico de 1 L de capacidad para recolectar el agua para los análisis físicos (turbidez) y químicos (pH, nitratos (NO_3^-), sulfatos (SO_4^-), dureza total, cloruros (Cl^-), fluoruros (F^-)). El agua para la cuantificación de metales se recolectó en frascos de plástico de 1 L que contenían 1 mL de ácido nítrico concentrado para su conservación (Fig. 1). Todas las muestras se trasladaron en hieleras al laboratorio de Toxicología y Química ambiental del CIGyA y se almacenaron en el refrigerador a 8 °C hasta su análisis correspondiente.

Se contó con el apoyo y capacitación del Laboratorio de Muestras Ambientales del Centro Nacional de Prevención y Desastres (CENAPRED), para la determinación de nitratos (NO_3^-), sulfatos (SO_4^-), dureza total como CaCO_3 , cloruros (Cl^-), fluoruros (F^-) y EPTs.

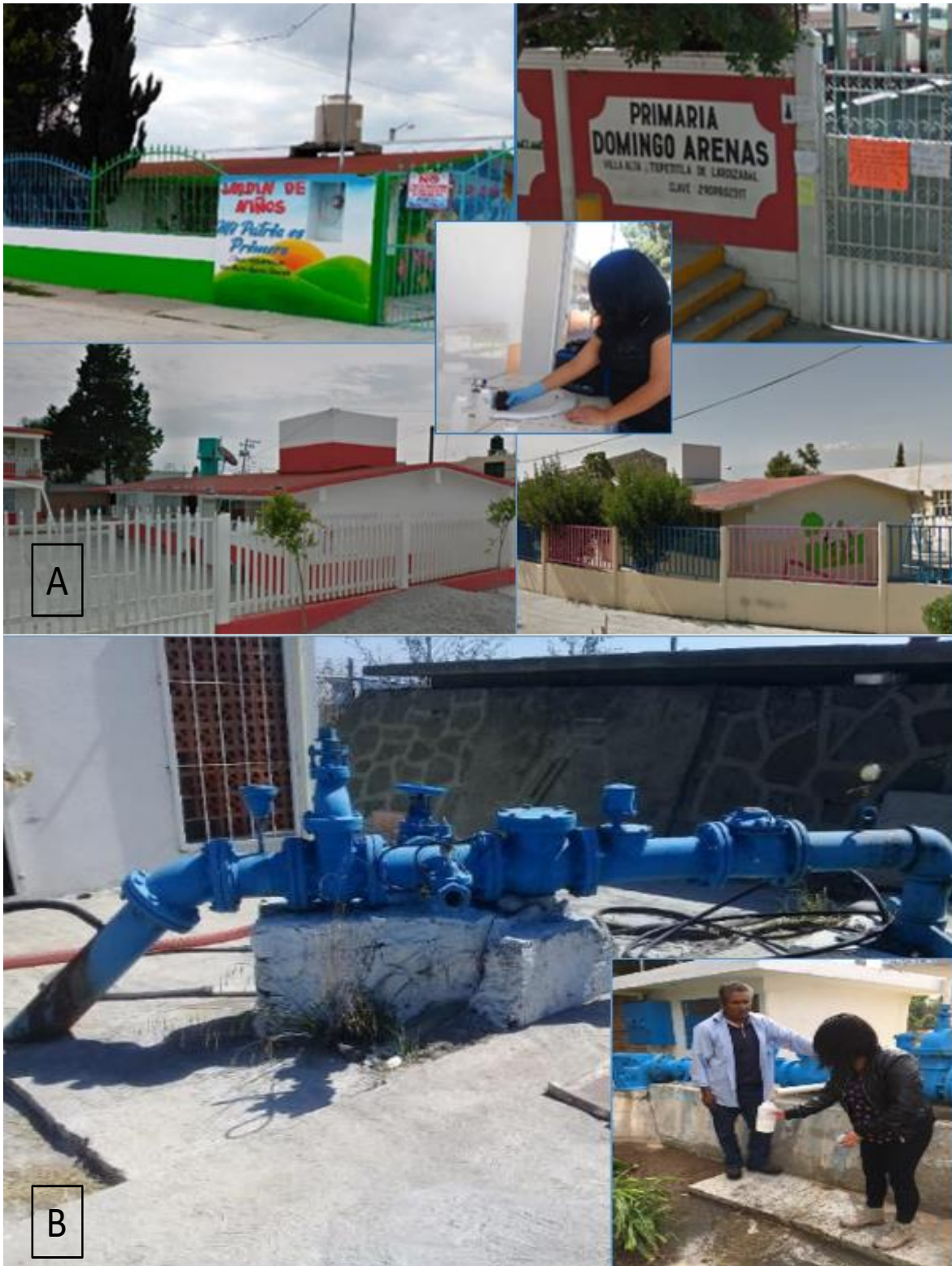


Figura 1. Recolecta de muestras de agua potable. A) Escuelas B) Pozos

6.3 Determinación de parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 1 se enlistan los parámetros fisicoquímicos que se analizaron siguiendo la normatividad mexicana.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Parámetro		Método	Norma	
Físico	Turbiedad	Nefelométrico	NMX-AA-038-SCFI-2001	
Químico	pH	Potenciométrico	NMX-AA-008-SCFI-2016	
	Cloruros (Cl ⁻)	Titulación	NMX-AA-073-SCFI-2001	
	Dureza Total	Titulación	NMX-AA-072-SCFI-2001	
	Nitratos (NO ₃ ⁻)	espectrofotometría	NMX-AA-079-SCFI-2001	
	Sulfatos (SO ₄ ⁻)	Espectrofotometría	NMX-AA-074-SCFI-2014	
	Fluoruros (F ⁻)	Electrodo ión selectivo	NMX-AA-077-SCFI-2001	
	EPT	Pb	Espectrofotometría de Absorción atómica	NMX-AA-051-SCFI-200
		As		
		Hg		
		Zn		
Cd				
Ni				
Mn				
Cr _T				

A continuación se puntualiza el fundamento y se describe brevemente cada una de las técnicas utilizadas (Fig.2).



Figura 2. Análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. A) Dureza total, B) Fósforo, C) Coliformes totales y coliformes fecales, D) Nitratos , E) Cloruros, F) pH, G) Turbiedad, H) Fluoruros, I) Sulfatos

Turbiedad

El método se basa en la comparación entre la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas y la intensidad de luz dispersada por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones; a mayor dispersión de luz corresponde una mayor turbiedad. La muestra se agitó para homogenizarla antes de realizar la lectura en el nefelómetro marca HACH 2100P TURBIDIMETER. Posteriormente se colocó en la celda y se realizó la lectura; se reportaron los valores como unidades nefelométricas (NTU).

Potencial de hidrógeno

La medición del valor de pH está basada en la diferencia de potencial de una celda electroquímica empleando un potenciómetro adecuado. Se calibró el equipo con un

amortiguador de pH 4, 7 y 10, y se procedió a la medición. Se lavó el electrodo con agua desmineralizada entre cada lectura.

Cloruros (Cl⁻)

La determinación de cloruros se basa en una valoración con nitrato de plata utilizando como indicador cromato de potasio. La plata reacciona con los cloruros para formar un precipitado de cloruro de plata de color blanco; al agotarse el ión cloruro, empieza la precipitación del cromato. La formación de cromato de plata puede identificarse por el cambio de color de la disolución a anaranjado-rojizo así como en la forma del precipitado.

Se colocaron 100 mL de muestra en un vaso, se ajustó el pH a 9 utilizando hidróxido de sodio (0.1 N) y se adicionó 1 mL de solución indicadora de cromato de potasio. Posteriormente se valoró con la disolución patrón de nitrato de plata (0.014 N) hasta el vire de amarillo a naranja rojizo. Se tituló un blanco a la par de las muestras.

Para calcular la concentración de iones cloruro en la muestra original en mg/L se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Cl}^- (\text{mg/L}) = [(A - B) (N) (35\ 450)] / \text{mL de muestra}$$

Donde:

A = mL de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración de la muestra,

B = mL de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración del blanco,

N = normalidad del nitrato de plata.

Nitratos (NO₃⁻)

El método espectrofotométrico mide la absorbancia del nitrato (NO₃⁻) a 220 nm y es adecuada para la determinación de NO₃⁻ de aguas con bajo contenido de materia

orgánica, como aguas naturales y fuentes de agua potable. Debido a que la materia orgánica disuelta también puede absorber a 220 nm y a que el NO_3^- no absorbe a 275 nm, se usa una segunda medición a 275 nm para corregir el valor de NO_3^- .

La cuantificación de nitratos (NO_3^-), es a partir de la solución patrón de 100 mg N – NO_3^- /L de nitrato de potasio (marca MEYER ≥ 99.0 %), a partir de esta solución se preparan las soluciones de trabajo de 0.25, 0.5, 1, 2, 4 y 8 NO_3^- /L. A continuación se transfieren 25 mL de cada uno de los estándares de trabajo a un matraz Erlenmeyer y se adiciona 0.5 mL de una solución de HCl 1 N para elaborar la curva de calibración. Para el acondicionamiento se coloca 100 mL de muestra y se adiciona 0.5 mL de HCl 1N.

Para el análisis de las muestras se empleó un Espectrofotómetro UV-VIS marca JENWAY 6715 UV/Vis con lámpara de tungsteno. La lectura para los estándares de la curva se realizó a una longitud de onda de 220 nm y se construyó la curva de calibración graficando la absorbancia debida al NO_3^- en el eje de las ordenadas y la concentración de NO_3^- -N en el eje de las abscisas. Se realizó la lectura de las muestras a dos longitudes de onda; a 220 nm para obtener la lectura de NO_3^- y a 275 nm para determinar la interferencia debida a la materia orgánica disuelta.

La concentración de nitratos se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Nitratos (mg/L)} = m [(A_{220 \text{ nm}} - (2) A_{275 \text{ nm}})]$$

Donde:

m = inverso de la pendiente de la curva de calibración.

A = lectura de absorbancia

Para obtener la absorbancia debida al NO_3^- en las muestras y en los estándares, se resta dos veces la lectura de absorbancia a 275 nm de la lectura a 220 nm. Se construyó la curva de calibración graficando la absorbancia debida al NO_3^- contra la concentración de NO_3^- -N de los estándares. Con la absorbancia corregida, se

obtuvieron las concentraciones de las muestras por interpolación en la curva estándar.

Dureza total (como CaCO₃)

La técnica se basa en la formación de complejos por la sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) con los iones calcio y magnesio. Consiste en una valoración empleando un indicador visual de punto final, el negro de eriocromo T, que es de color rojo en la presencia de calcio y magnesio y vira a azul cuando estos se encuentran acomplejados o ausentes. El complejo del EDTA con el calcio y el magnesio es más fuerte que el que estos iones forman con el negro de eriocromo T, de manera que la competencia por los iones se desplaza hacia la formación de los complejos con EDTA desapareciendo el color rojo de la disolución y tornándose azul.

La dureza total (como CaCO₃) se realizó colocando 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer, se agregó 1 mL de disolución amortiguadora (cloruro de amonio, amoniaco concentrado, EDTA, sulfato de magnesio heptahidratado) para alcanzar un pH de 10; se añadió 0.2 g del indicador eriocromo negro T y la muestra se tornó a un color vino rojizo. La titulación se realizó con la disolución de EDTA 0.01 M agitando continuamente hasta que desaparecieron los últimos matices rojizos. Se adicionaron las últimas gotas con intervalos de 3 a 5 s. En el punto final la muestra cambió de color rojizo a azul.

La dureza total se expresó como carbonato de calcio

$$\text{CaCO}_3 \text{ (g/L)} = [(A-B) \cdot C \cdot 1000 / D]$$

Donde:

A = mL de EDTA utilizados en la titulación de la muestra

B = mL de EDTA utilizados en la titulación del blanco

C = peso (mg) de CaCO_3 equivalentes a 1 ml de EDTA

D = mL de muestra.

Fluoruros (F⁻)

Los fluoruros son determinados potenciométricamente usando un electrodo selectivo de ión específico; el electrodo tiene una membrana cristalina de fluoruro de lantano, (LaF_3). El mecanismo del potencial sensible al fluoruro a través de la membrana es el siguiente: la ionización crea una carga en la superficie de la membrana, en las dos interfases. La magnitud de la carga depende de la concentración de ión fluoruro en la disolución. Así, el lado de la membrana que encuentra una concentración de ión fluoruro más baja se vuelve positivo con respecto a la otra superficie; es esta diferencia de carga la que proporciona una medida de la diferencia de concentración de fluoruro en las dos disoluciones.

Brevemente, se colocó 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer y 50 mL de solución amortiguadora (ácido acético glacial, cloruro de sodio, citrato de sodio dihidratado). Se sumergieron los electrodos en la disolución aproximadamente durante 3 min hasta que la lectura se estabilizó.

Sulfatos (SO_4^{2-})

Se basa en la precipitación del ion sulfato, en un medio ácido, formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La concentración de masa del ion sulfato se mide por comparación de la lectura con una curva de calibración analítica.

Se prepararon disoluciones de 2.5, 5, 10, 20, 40, 80 y 100 mg/L para la elaboración de la curva de calibración. Se transfirió a un matraz Erlenmeyer 10 mL de muestra y se aforó con agua desmineralizada a 100 mL. Se añadieron 20 mL del amortiguador (cloruro de magnesio, acetato de sodio, nitrato de potasio, sulfato de sodio y ácido acético), se adicionó 0.5 g de cristales de cloruro de bario y se mantuvo

la agitación durante un minuto a una velocidad constante. Se realizó la lectura a una longitud de onda de 620 nm para la curva, empleando un Espectrofotómetro UV-VIS marca JENWAY 6715 UV/Vis con lámpara de tungsteno.

Se calculó la concentración de masa de $\gamma(\text{SO}_4^{2-})$ expresada en mg/L de SO_4^{2-} , utilizando la siguiente ecuación:

$$\gamma(\text{SO}_4^{2-}) = [\alpha(\lambda) - a] / b$$

Donde:

b = pendiente

a= ordenada al origen

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

$\gamma(\text{SO}_4^{2-})$ es la concentración de masa del ion sulfato.

Elementos potencialmente tóxicos

El fundamento para la medición de EPTs por espectrofotometría de absorción atómica se basa en la generación de átomos en estado basal y en la medición de la cantidad de energía absorbida por éstos, la cual es directamente proporcional a la concentración de ese elemento en la muestra analizada. Se emplea un equipo capaz de generar átomos en estado basal de acuerdo a un sistema de alta temperatura (flama y horno de grafito) o una reacción química (generador de hidruros o vapor frío) para atomizar la muestra y lograr la absorción de energía por parte de los átomos generados.

Atomización por Flama. Aspiración de la muestra acidificada en la flama de aire (acetileno u óxido nitroso) acetileno para lograr la absorción de energía por los átomos en estado basal, generados en un espectrofotómetro de absorción atómica.

Atomización por Generación de hidruros. El método se basa en la medición por absorción atómica del arsénico, selenio y otros elementos, generados por la

reacción química del elemento y el borohidruro de sodio y su posterior descomposición térmica del hidruro correspondiente.

Se realizó una concentración al doble de las muestras de pozos para la cuantificación de As y Hg; colocando 100 mL de muestra digestada y evaporando a 50 mL a una temperatura de 60° C.

El análisis se llevó a cabo por espectrofotometría de absorción atómica; manganeso, plomo, cadmio, zinc, níquel y cromo total se cuantificaron en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UACH), arsénico y mercurio se midieron en el Laboratorio de Muestras Ambientales del CENAPRED (Fig. 3).



Figura 3. Digestión y análisis de muestras de agua. A y B) Digestión en microondas. C y D) Cuantificación por espectrometría de absorción atómica con detector de flama y generador de hidruros

La metodología consta de dos etapas; la digestión ácida para la extracción y el análisis propiamente dicho.

Primero se realizó la digestión ácida. Se transfirió una alícuota de 45 mL a un vaso para digestión (Xpress de 50 mL) y se adicionó 5 mL de ácido nítrico concentrado. La digestión de las muestras se realizó en el horno de microondas marca CEM modelo Mars 6 con una rampa de temperatura de 10 min para alcanzar los 170 °C, 10 min de mantenimiento y 10 min de enfriamiento, finalmente se filtró empleando papel Whatman No.1 y se aforó a 50 mL con agua desionizada (EPA 3015a).

Posteriormente se inyectaron las muestras manualmente en un espectrofotómetro de absorción atómica con atomizador de flama, marca VARIAN modelo Spectr AA 880, realizando curvas de calibración para cada elemento (Zn, Cd, Pb, Cr, Ni, Mn). Las lecturas se llevaron a cabo por triplicado para cada muestra, blanco y patrón.

Para la determinación de As y Hg las muestras se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica, marca SHIMADZU modelo AA-6300 y un generador de hidruros AVG-1 SHIMADZU, se realizaron curvas de calibración para cada elemento y las lecturas se llevaron a cabo por duplicado para cada muestra, blanco y patrón.

6.4 Determinación de parámetros microbiológicos

El principio de la técnica es la dilución de la muestra en tubos múltiples, de tal forma que todos los tubos de la menor dilución sean positivos y todos los tubos de la dilución mayor sean negativos. El resultado positivo se evidencia por la presencia de gas y crecimiento microbiano propiedad de los microorganismos coliformes para producir gas a partir de la fermentación de lactosa a $44.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de las 48 h de incubación (coliformes fecales y *E. coli*).

Coliformes totales y coliformes fecales

Los Coliformes totales y coliformes fecales se realizaron en el Laboratorio Estatal de Salud Pública del estado de Tlaxcala con el método del número más probable en tubos múltiples.

Se realizó una prueba presuntiva; se utilizó caldo lauril triptosa y se colocaron 50 mL en tubos de cultivo con tapón de rosca, dentro de éste se colocó un tubo de fermentación (tubo de Durham). Posteriormente se agitó vigorosamente la muestra veinticinco veces en un arco de 30° por 7s y se transfirieron 20 mL en el medio presuntivo; cada serie contó con 5 réplicas. Como control positivo se utilizó *E. coli* y como negativo *Enterobacter aerogenes*.

Se incubaron los tubos inoculados de 24 h a 48 h a 35 ° C. Pasadas las 24 h de incubación se examinaron los tubos de cultivo y se registró como reacción positiva aquellos que mostraron turbidez y formación de gas en el interior del tubo invertido (tubo de Durham). La incubación continuó por 24 h en aquellos tubos que no presentaron estos cambios y se examinaron nuevamente.

Pruebas confirmativas. Para confirmar la presencia de organismos coliformes totales, se incubaron los tubos con caldo lactosa bilis verde brillante, se resembraron a 35 °C y se examinó la producción de gas en un periodo de 24 a 48 h.

Para confirmar la presencia de organismos coliformes fecales (termotolerantes), se incubaron los tubos con caldo EC, fueron resembrados a una temperatura de 44.5 °C por 24 h y se examinó la producción de gas.

Para confirmar la presencia de *E. coli*, se incubaron los tubos con agua triptona, se resembraron, a 44.5 °C por 24 h. Después del periodo de incubación se adicionó 0.2 ml de reactivo de Kovac, a todos los tubos resembrados; el desarrollo de una coloración roja en la parte superior del tubo después de una agitación suave denotó

la producción de indol, característica de la presencia de *E. coli*, para estimar el NMP/100 mL de *E. coli*.

6.5 Estimación del riesgo a la salud humana

Con el fin de determinar si los diferentes parámetros evaluados representaban un riesgo para la salud los resultados de los análisis fisicoquímicos se compararon con los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM127-SSA1-1994, la OMS y la EPA; mientras que los resultados microbiológicos se compararon con la NOM-210-SSA1-2014.

La estimación del riesgo se determinó de acuerdo a la metodología que recomienda la OPS. Se calculó la dosis de exposición, empleando la siguiente fórmula:

$$DE = \frac{(C \times TI \times FE)}{PC}$$

Donde:

DE: Dosis de exposición (mg/kg/día)

C: Concentración del contaminante en el ambiente

TI: Tasa de ingesta

FE: Frecuencia de exposición

PC: Peso corporal

Para estimar el riesgo individual y poblacional para efectos cancerígenos se empleó el factor de potencia cancerígena (FPC) o la unidad de riesgo (UR) y se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Riesgo individual} = DE * FPC \text{ ó UR}$$

$$\text{Riesgo poblacional} = \text{Riesgo individual} * \text{total de la población}$$

Para evaluar el riesgo para efectos no cancerígenos se compararon los resultados de la dosis de exposición estimada con el MRL o RfD (nivel de riesgo mínimo o dosis de referencia por sus siglas en inglés) de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Riesgo individual} = \text{DE} / \text{MRL} \text{ ó } \text{RfD}$$

$$\text{Riesgo poblacional} = \text{Riesgo individual} * \text{total de la población}$$

7. Resultados

7.1 Identificación y descripción de las fuentes de abastecimiento de agua potable

Mediante la inspección del sitio se ubicaron las fuentes de abastecimiento de agua potable y las escuelas del municipio, así como las posibles fuentes de contaminación (Fig. 4).

PVA. Es un pozo de uso público urbano con coordenadas del punto de extracción en latitud 19°17'44.0" y longitud 98°24'06.0", con un volumen de extracción y consumo de 136 590 m³/año, una profundidad de perforación de 100 metros, diámetro de ademe de 30.48 cm y un diámetro de descarga de 15.24 cm; con bomba sumergible y motor eléctrico. Tiene un periodo de 30 años en funcionamiento. Pertenece a la cuenca del Río Atoyac, acuífero Alto Atoyac con región hidrológica Balsas, en la localidad de Villa Alta.

Las principales fuentes de contaminación son la cercanía al cauce del río Atoyac (900 m), se ubica en zona agrícola y la presencia de obras de construcción. Además, el depósito de almacenamiento solo es lavado una vez al año.

PGV. Pozo de uso público urbano ubicado en la localidad Guadalupe Victoria. Con coordenadas del punto de extracción en latitud 19°16'44.2" N longitud 98°23'20.8" O; con volumen de extracción y consumo de 16 653 m³/año. Con una profundidad de la perforación de 50 metros, 20.32 cm de diámetro de ademe y 7.62 cm de diámetro de descarga; con bomba sumergible y motor eléctrico. Con un periodo de 30 años en funcionamiento.

Las principales fuentes de contaminación son la cercanía a la mancha urbana, el flujo vehicular constante; a un extremo la presencia de un canal utilizado para el riego de los cultivos el cual transporta agua del río Atoyac, descargas urbanas y

textiles. Se encuentra a aproximadamente 900 m al cauce del río Atoyac; y la limpieza del depósito de almacenamiento se realiza una vez al año.

PSM. Pozo de uso público urbano perteneciente a la cuenca Rio Atoyac, acuífero Alto Atoyac y región hidrológica Balsas ubicado en la localidad de San Mateo con coordenadas del punto de extracción de latitud 19°16'45.0" N y longitud 98°23'42.0" O, un volumen de extracción y consumo de 151 817 m³/año. Presenta una profundidad de 70 metros de la perforación, 20.32 cm de diámetro de ademe y 10.16 cm de diámetro de descarga; bomba vertical y motor eléctrico. Con 4 años de funcionamiento.

Las principales fuentes de contaminación son la zona agrícola de riego que se encuentra a 300 m del cauce del río Atoyac y la limpieza del depósito de almacenamiento que se lleva a cabo una vez al año.

PT1. Pozo 1 ubicado en la localidad de Tepetitla. Con coordenadas de Latitud 19°16'23.7" N y Longitud 98°22'49.0" O, con un volumen de extracción y consumo de 498 567 m³/año. El cual tiene 86 m de profundidad, 30.48 cm de diámetro de ademe y 20.32 cm diámetro de descarga con tipo de bomba vertical y motor eléctrico. Con un periodo de 30 años en servicio.

Las posibles fuentes de contaminación es la zona agrícola y la cercanía del cauce del río Atoyac (aproximadamente 1 km); el depósito de almacenamiento recibe limpieza una vez al año.

PT2. Pozo 2 ubicado en la localidad de Tepetitla; a Latitud 19°15'21.6" N y Longitud 98°21'49.1" O; tiene 50 m de profundidad, y un periodo de 14 años en servicio.

Las fuentes de contaminación son la zona agrícola, y la cercanía al cauce del río Atoyac (600 m). El depósito de almacenamiento solo una vez al año es lavado. Se desconoce con exactitud el tipo de tubería.

Se ubicó un total de 11 escuelas en todo el municipio, las cuales se indican a continuación: Xicohténcatl (XTL), Emiliano Zapata (EZ), Miguel Hidalgo (MH), Federico Froebel (FF), Domingo Arenas (DA), Abraham Castellanos (AC), Mi Patria es Primero (MPP), Mariano Silva Aceves (MSA), Fernando Montes de Oca (FMO), Ignacio Manuel Altamirano (IMA), Francisco González Bocanegra (FGB).

De las cuales sus principales fuentes de contaminación son los depósitos de almacenamiento, la escuela MH y MPP cuentan con depósitos cerrados (tinacos) y el resto de las escuelas sus depósitos se encuentran al aire libre. Sin embargo, todos los depósitos carecen de lavado periódico. El tipo de tubería con la que cuentan es PVC y tubo galvanizado.

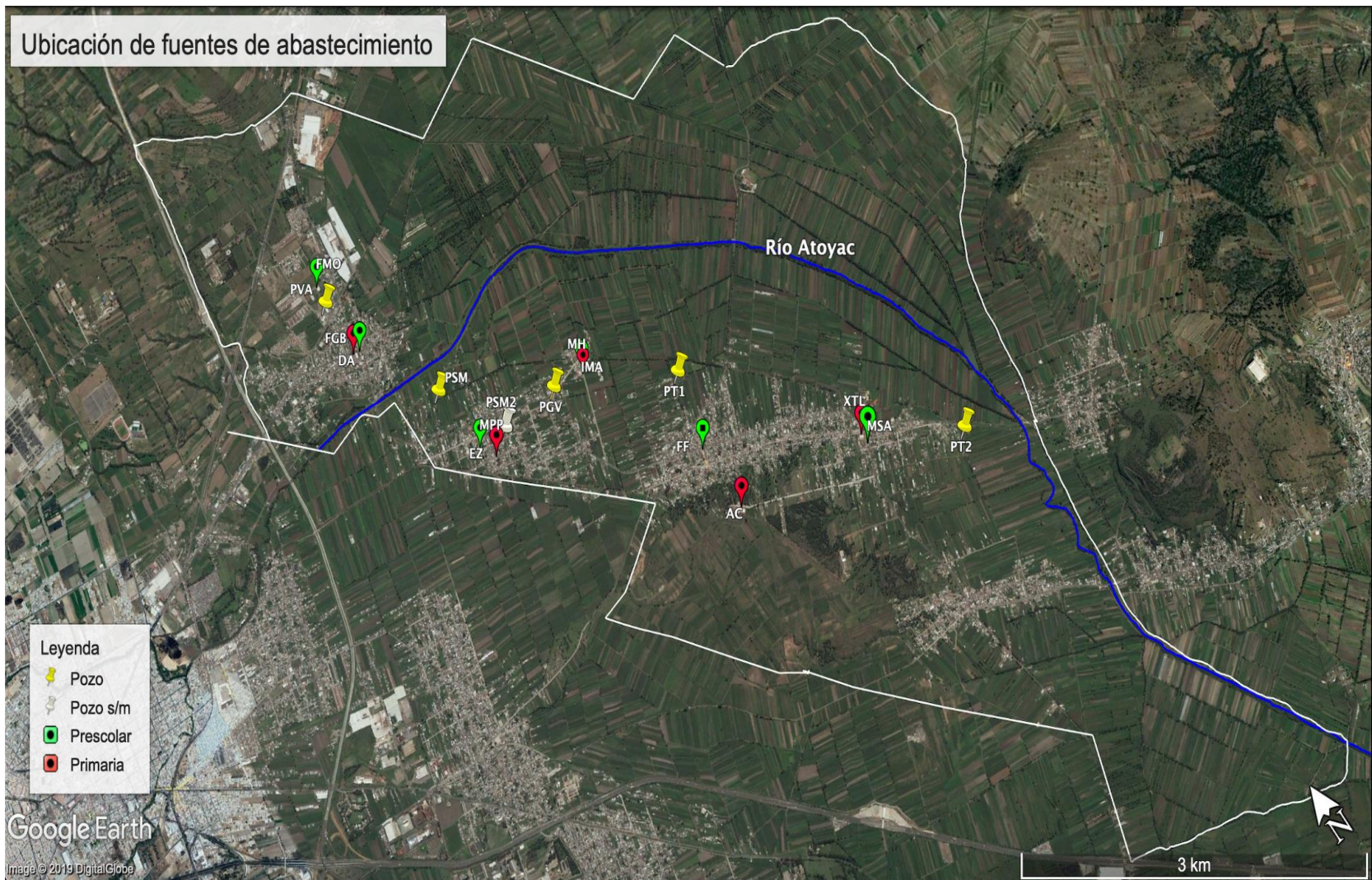


Figura 4. Ubicación geográfica de los pozos y escuelas en el municipio de Tepetitla de Lardizábal

7.2 Características fisicoquímicas y microbiológicas

En la tabla 2 y 3 se presentan el análisis comparativo de los resultados físicos, químicos y microbiológicos de los pozos y escuelas que abastece cada uno de ellos. El pozo de Villa Alta (PVA) suministra al preescolar Fernando Montes de Oca (FGB), Fernando González Bocanegra (FGB) y a la primaria Domingo Arenas (DA); el pozo de San Mateo (PSM) al preescolar Mi Patria es Primero (MPP) y a la primaria Emiliano Zapata (EZ); el pozo ubicado en Guadalupe Victoria (PGV) suministra el preescolar Ignacio Manuel Altamirano (IMA) y la primaria Miguel Hidalgo (MH). En el caso de Tepetitla cuenta con 2 pozos; el PTP1 que suministra al preescolar Federico Froebel (FF), y PTP2 al preescolar Mariano Silva Acevedo (MSA) y a las primarias Xicoténcatl (XTL) y Abraham Castellanos (AC). Así, como los límites establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 y las directrices de la OMS.

En el caso de dureza total se observa que todos los valores se encuentran por debajo de los 500 mg/L de CaCO_3 límite establecido por la norma mexicana; sin embargo, de acuerdo a la clasificación que hace la OMS (Blanda: 0 a 60; Moderadamente dura: 61 a 120; Dura: 121 a 180; muy dura: > 180 mg/L como CaCO_3) para dureza total, el pozo ubicado en Villa Alta (228.6 mg/L) y en San Mateo (240.8 mg/L) así como las escuelas Fernando Montes de Oca (253.1 mg/L), Fernando González Bocanegra (242.0 mg/L), Domingo Arenas (266.9 mg/L), Ignacio Manuel Altamirano (350.1 mg/L), Miguel Hidalgo (234.3 mg/L), Mariano Silva Acevedo (235.7 mg/L) y Abraham Castellanos (216.3 mg/L), presentan concentraciones mayores a 180 mg/L de CaCO_3 por lo cual se clasifica como agua muy dura.

En el caso de los pozos PTP1 (177.6 mg/L), PTP2 (155.1 mg/L), PGV (147 mg/L); las escuelas Xicoténcatl (156.6 mg/L), Emiliano Zapata (173.4 mg/L) y Mi Patria es Primero (166.4 mg/L) se encuentra dentro de los valores >121 a 180 mg/L CaCO_3 que clasifican al agua como dura.

La concentración de nitratos (NO_3) en el pozo de Guadalupe Victoria fue de 10.6 mg/L, valor que se halla ligeramente por arriba de la norma mexicana. El pozo de San Mateo presentó una turbiedad de 5 UNT situándose en el límite establecido por la norma mexicana, pero superó el valor emitido por la OMS (1 UTN).

En los resultados microbiológicos todos los pozos y escuelas presentaron el valor más alto (>8.0 NMP) de coliformes totales, superando lo establecido en la norma mexicana (NOM-210-SSA1-2014). No obstante, los coliformes fecales se encuentran dentro de lo señalado en la normatividad.

La tabla 4 y 5 muestra los resultados obtenidos de la cuantificación de EPTs en pozos y escuelas; así como el límite de detección (LD) de cada uno de ellos y los límites establecidos por la EPA, OMS y la NOM-127 SSA. El Límite de detección (LD) se obtuvo con la siguiente fórmula: $X_{LD} = 3s_b/m$; encontrándose por debajo de éste Cd (LD = 0.07), Cr (LD = 0.03) y Ni (LD = 0.01).

Se cuantificaron concentraciones de As en tres pozos y cinco escuelas; el PVA presentó un valor de 0.005 mg/L, PSM de 0.001 mg/L y PTP2 de 0.002 mg/L; mientras que en las escuelas FMO tuvo concentración de 0.007 mg/L, MPP 0.004 mg/L, MH 0.004 mg/L, MSA 0.002 mg/L y XTL de 0.008 mg/L. Tales valores están por debajo del límite permisible que establece la NOM 127-SSA1-1994 y los estándares internacionales.

En el caso de Hg se determinaron concentraciones en dos escuelas; DA con 0.001 mg/L concentración que se encuentra en el límite permisible establecido por la norma mexicana (0.001 mg/L) y FF con 0.002 mg/L concentración que está 2 veces arriba de lo establecido en la normatividad mexicana.

En cuanto a Mn presentó una concentración de 0.062 mg/L en la escuela Miguel Hidalgo valor que se encuentra 2 veces por debajo del límite establecido en la norma mexicana y 8 veces de los límites de la OMS, sin embargo, se encuentra ligeramente

arriba de lo establecido por la EPA. Y en la escuela Abraham Castellanos se cuantifico zinc valor que se encuentra 11 veces por debajo de la norma mexicana y 6 veces por debajo de la OMS.

Se cuantificó Pb en seis escuelas; FMO presentó una concentración de 0.004 mg/L, FF 0.009 mg/L, IMA 0.001 mg/L, valores que se encuentran por debajo de lo establecido en la norma mexicana y estándares internacionales; mientras que FGB con 0.024 mg/L, EZ 0.020 mg/L, MSA 0.020 mg/L se encuentran ligeramente arriba de lo establecido en la normatividad mexicana así como de las directrices de la OMS y EPA.

Para Zn solo se cuantificó en la escuela AC una concentración de 0.440 mg/L encontrándose 11 veces por debajo del límite establecido en la norma mexicana y EPA y 6 veces por debajo de las directrices de la OMS.

Tabla 2. Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de Villa Alta, San Mateo y Guadalupe Victoria

Parámetro	PVA	FMO	FGB	DA	PSM	EZ	MPP	PGV	IMA	MH	OMS (mg/L)	NOM (mg/L)
Cloruros (Cl ⁻)	12.2	5.8	6.3	3.4	5.8	3.9	5.3	2.9	43.5	19.3	250	250
Dureza Total (CaCO ₃)	228.6	253.1	242.0	266.9	240.8	173.3	166.4	147	350.1	234.3	180	500
pH	7.1	7.2	7.9	7.8	7.4	7.6	7.6	7.5	7.8	7.5	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5
Nitratos (NO ₃ ⁻)	4.9	4.6	4.6	4.4	2.4	6.2	6.4	10.6	6.1	7.2	50	10
Sulfatos (SO ₄ ⁻)	20.1	7.7	17.6	20.7	14.0	99.0	97.0	99.4	42.1	152.7	200	400
Fluoruros (F ⁻)	0.4	0.53	-	0.58	0.25	0.40	0.38	0.25	-	-	1.5	1.5
Turbiedad	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1 UTN	5 UTN
CT	>8.0	>8.0	>8.0	>8.0	>8.0	>8.0	>8.0	>8.0	>8.0	>8.0	ND	<1.1*
CF	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	ND	<1.1*

PVA: Pozo Villa Alta; FMO: Fernando Montes de Oca; FGB: Fernando González Bocanegra; DA: Domingo Arenas; PSM: Pozo San Mateo Ayecac; EZ: Emiliano Zapata; MPP: Mi Patria es Primero; PGV: Pozo Guadalupe Victoria; IMA: Ignacio Manuel Altamirano; MH: Miguel Hidalgo; OMS: Organización Mundial de la Salud; NOM: NOM-127-SSA1-1994; * NOM-210-SSA1-2014.

Tabla 3. Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de Tepetitla

Parámetro	PTP1	FF	PTP2	MSA	XTL	AC	OMS (mg/L)	NOM (mg/L)
Cloruros (Cl ⁻)	16.1	9.4	9.7	7.68	8.3	7.3	250	250
Dureza Total (CaCO ₃)	177.6	183.0	155.1	235.7	156.7	216.3	180	500
p	7.3	7.4	7.6	7.2	7.9	7.8	6.5-8.5	6.5-8.5
Nitratos (NO ₃ ⁻)	9.0	7.6	6.3	7.7	5.9	7.9	50	10
Sulfatos (SO ₄ ⁻)	99.4	44.0	25.47	171.7	19.8	55.5	200	400
Fluoruros (F ⁻)	0.23	0.37	0.34	-	-	0.40	1.5	1.5
Turbiedad	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1 UTN	5 UTN
CT	>8.0	>8.0	>8.0	>8.0	>8.0	>8.0	ND	<1.1*
CF	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	ND	<1.1*

PTP1 y PTP2: Pozos Tepetitla 1 y 2; FF: Federico Froebel, MSA: Mariano Silva Acevedo, XTL: Xicoténcatl, AC: Abraham Castellanos; OMS: Organización Mundial de la Salud; NOM: NOM-127-SSA1-1994; * NOM-210-SSA1-2014.

Tabla 4. Análisis comparativo de EPTs del agua de Villa Alta, San Mateo y Guadalupe Victoria

Parámetro	PVA	FMO	FGB	DA	PSM	EZ	MPP	PGV	IMA	MH	OMS EPA (mg/L)	NOM (mg/L)
Arsénico (LD = 0.01)	0.005	0.007	<LD	<LD	0.001	<LD	0.004	<LD	<LD	0.004	0.01 0.01	0.025
Mercurio (LD = 0.0002)	<LD	<LD	<LD	0.001	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0.002	0.001
Cadmio (LD = 0.07)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0.003 0.005	0.005
Cromo total (LD = 0.03)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0.05 0.10	0.05
Manganeso (LD = 0.02)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0.062	0.40 0.05	0.15
Plomo (LD = 0.004)	<LD	0.004	0.024	<LD	<LD	0.020	<LD	<LD	0.001	<LD	0.010 0.010	0.01
Níquel (LD = 0.02)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0.02	-
Zinc (LD = 0.01)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	3	5

PVA: Pozo Villa Alta; FMO: Fernando Montes de Oca; FGB Fernando González Bocanegra; DA: Domingo Arenas; PSM: Pozo San Mateo; Ez: Emiliano Zapata; MPP: Mi Patria es Primero; PGV: Pozo Guadalupe Victoria; IMA: Ignacio Manuel Altamirano; MH: Miguel Hidalgo; NOM: NOM-127-SSA1-1994.

Tabla 5. Análisis comparativo de EPTs del agua de Tepetitla

Parámetro	PTP1	FF	PTP2	MSA	XTL	AC	OMS EPA	NOM (mg/L)
Arsénico (LD = 0.01)	<LD	<LD	0.002	0.002	0.008	<LD	0.01 0.01	0.05
Mercurio (LD = 0.0002)	<LD	0.002	<LD	<LD	<LD	<LD	0.002	0.001
Cadmio (LD = 0.07)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0.003 0.005	0.005
Cromo total (LD = 0.03)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0.05 0.10	0.05
Manganeso (LD = 0.02)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0.40 0.05	0.15
Plomo (LD = 0.004)	<LD	0.009	<LD	0.020	<LD	<LD	0.010 0.000	0.01
Níquel (LD = 0.02)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0.02	-
Zinc (LD = 0.01)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0.440	3 5	5

PTP1 y PTP2: Pozos Tepetitla 1 y 2; FF: Federico Froebel, MSA: Mariano Silva Acevedo, XTL: Xicoténcatl, AC: Abraham Castellanos; NOM: NOM-127-SSA1-1994.

7.3 Estimación del riesgo a la salud

En la Tabla 4 se muestran los resultados de los cálculos correspondientes para estimar la dosis de exposición para la población infantil en los sitios que presentaron concentraciones de As, Hg, Pb, Mn, Dureza total (CaCO_3) y NO_3 , utilizando el modelo de la OPS, se determinó la estimación del riesgo para niños (3 a 6 años de edad) con un peso corporal (PC) de 14 kg, tasa de ingesta diaria (TI) de 1 L/día de agua y un factor de exposición (FE) de 1.

El riesgo individual no cancerígeno, para As se calculó a partir del MRL de 0.0003 mg/kg/día para un efecto de lesiones dérmicas; para Mn es de 0.14 mg/kg/día para efectos en sistema nervioso central y un MRL de 4 mg/kg/día para NO_3 con daños hemáticos valor reportado por la ATSDR. Para el riesgo cancerígeno solo se cuenta con el factor de potencia cancerígena (FPC) para As de 1.5 mg/kg/día.

Para la estimación de la dosis de exposición para As, la escuela FMO y XTL superan de 1.7 a 1.9 veces la dosis de seguridad (MRL de 0.0003 mg/kg/día), para un efecto de lesiones dérmicas. Con un riesgo individual no cancerígeno 1.7 y 1.9 respectivamente.

En la estimación del efecto cancerígeno la escuela XTL presentó un riesgo de 8 por cada diez mil personas, en FMO el riesgo fue de 7 por cada diez mil, en PVA, MPP, MH presentaron un riesgo de 4 por cada diez mil, en MSA y PTP2 el riesgo fue de 2 por cada diez mil y en PSM el riesgo es de 1 por cada cien mil. Siendo XTL y FMO los de mayor riesgo.

En el caso de dureza total (CaCO_3) no se pudo estimar la dosis de exposición ya que no cuentan con una dosis de referencia. Para Hg, Mn y NO_3 el efecto no cancerígeno fue menor a 1, por lo tanto, indica que no existe riesgo para los niños.

Tabla 6. Estimación del riesgo infantil de 3 a 6 años

POZO/ESC	EPT	Concentración (mg/L)	RfD/MRL (mg/kg/día)	Daño	DE (mg/Kg/día)	Efecto no cancerígeno individual	Efecto cancerígeno individual
PVA	As	0.004	3.0×10^{-4}	Dérmicos	2.8×10^{-4}	0.93	4.2×10^{-4}
FMO		0.007			5.0×10^{-4}	1.70	7.5×10^{-4}
PSM		0.001			7.1×10^{-5}	0.24	1.07×10^{-5}
MPP		0.004			2.8×10^{-4}	0.93	4.2×10^{-4}
MH		0.004			2.8×10^{-4}	0.93	4.2×10^{-4}
PTP2		0.002			1.4×10^{-4}	0.47	2.1×10^{-4}
MSA		0.002			1.4×10^{-4}	0.47	2.1×10^{-4}
XTL		0.008			5.7×10^{-4}	1.90	8.6×10^{-4}
DA	Hg	0.001	3.0×10^{-4}	-	7.1×10^{-5}	0.24	-
FF		0.002		-	1.4×10^{-4}	0.47	-
EZ	Pb	0.004	No hay	-	2.8×10^{-4}	-	-
FF		0.024			1.7×10^{-3}	-	-
FGB		0.020			1.4×10^{-3}	-	-
FMO		0.001			7.1×10^{-5}	-	-
IMA		0.009			6.4×10^{-4}	-	-
MSA		0.020			1.4×10^{-3}	-	-
MH	Mn	0.062	0.14	SNC	4.4×10^{-3}	0.0044	-
TODOS	CaCO ₃	(>180)	No hay	-	-	-	-
GV	NO ₃	(10.6)	1.6	Hemáticos	0.76	0.48	-

8. DISCUSIÓN

Las fuentes de abastecimiento de agua potable presentan diferente profundidad (que va de los 50 m a 100 m), cuatro de ellos tienen el mismo tiempo de funcionamiento (30 años) a excepción del PSM que es relativamente más nuevo con un periodo de funcionamiento de 4 años. Pozos y escuelas tienen mayor vulnerabilidad tanto a la contaminación del agua subterránea debido a la cercanía a fuentes antrópicas, como a la contaminación del agua almacenada en depósitos transitorios por la falta de prácticas higiénico-sanitarias de los mismos.

El ion Cl^- , es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. Los contenidos de cloruros de las aguas son variables y se deben principalmente a la naturaleza de los terrenos atravesados (Domenech & Peral, 2006).

El promedio de Cl^- en las muestras de agua potable del presente estudio fue de 2.9 a 16.1 mg/L, concentración que se encuentra por debajo del límite permisible en la norma mexicana (250 mg/L) y de concentraciones reportadas en Tabasco de 40.7 mg/L (Borbolla *et al.*, 2003) y del acuífero sur de Quintana Roo, donde mostró un rango de concentraciones de 14.0 a 1 578 mg/L; siendo el 9.9% de las muestras excedió el límite establecido por la norma mexicana (Sánchez, 2016).

La dureza total representa la suma de las durezas individuales debidas a los iones de calcio, magnesio, y es expresada como mg/L de CaCO_3 . Las aguas duras son por lo general incrustantes, mientras que las blandas suelen ser agresivas (Lillo, 2007). Dependiendo de varios aspectos, como pH del agua y concentración de carbonatos de calcio y magnesio, pueden producir procesos de corrosión o incrustación en las tuberías utilizadas para el abastecimiento de aguas domésticas (Mora & Alfaro, 1999; WHO, 2004).

La concentración de dureza total de las aguas de los pozos en el área de estudio varió entre 147 y 350 mg/L como CaCO_3 , valores que se encuentran por debajo de

lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994 (500 mg/L). De acuerdo con la norma establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la concentración de dureza total de calcio es aceptable hasta los 180 mg/L, como límite máximo, y clasifica a la dureza total como blanda (0-60 mg/L de CaCO₃), moderadamente dura (61-120 de CaCO₃), dura (121-180 de CaCO₃) y muy dura (>180 de CaCO₃).

Por lo tanto, las concentraciones de carbonato de calcio en el agua de los pozos ubicados en San Mateo (228.6 mg/L de CaCO₃) y Villa Alta (240 mg/L de CaCO₃) la clasifican como aguas muy duras, mientras que el agua de los pozos de Guadalupe Victoria (147 mg/L) y los de Tepetitla (177.6 y 155.1 mg/L respectivamente), se consideran aguas duras con base en la categoría recomendada por la OMS.

En el caso de las escuelas se observa que todos los valores se encuentran por debajo de los 500 mg/L, límite establecido por la norma mexicana. Sin embargo, comparado con la clasificación que hace la OMS, las escuelas Fernando Montes de Oca, Francisco González Bocanegra, Ignacio Manuel Altamirano, Miguel Hidalgo, Mariano Silva Aceves y Abraham Castellanos superan el valor establecido (>180 mg/L) y se clasifican como agua muy dura. Para las escuelas Emiliano Zapata, Mi Patria es Primero, Federico Froebel el agua se clasifica como dura (>121-180 mg/L). Los resultados de este trabajo son similares a lo reportado en Quintana Roo donde reportan concentraciones de 122 a 500 mg/L de CaCO₃ (en un 40% de sus muestras) e inferiores a sus valores máximos de > 500 a 2 305 mg/L de CaCO₃ (Sánchez *et al.*, 2016), también son similares a los reportados en Morelos con concentraciones de 182 a 389.8 mg/L de CaCO₃ (Robles *et al.*, 2010).

Es trascendental mencionar que el problema que afronta la población al utilizar aguas muy duras no exclusivamente radica en una mala cocción de los alimentos, o en la generación de sarro e incrustaciones en los utensilios de cocina, y en la poca disolución del jabón, sino igualmente predispone a los pobladores a padecer ciertas enfermedades. En el estado de Yucatán se reporta que el antecedente familiar y la

dureza extrema (≥ 400 mg/l de CaCO_3) del agua empleada para consumo humano son factores que predisponen a el desarrollo de la enfermedad de urolitiasis, la cual se incrementa de forma notable con la edad (Medina *et al.*, 2002).

Los resultados de diversos estudios han sugerido que una variedad de otras enfermedades está relacionada con la dureza del agua. Éstas incluyen ciertos defectos y anomalías del sistema nervioso como la anencefalia, mortalidad perinatal y varios tipos de cáncer (OPS, 1987). Con respecto a los tipos de cáncer relacionados con la dureza del agua, se encuentran el cáncer rectal, cáncer de colon, cáncer de páncreas, cáncer de pulmón y cáncer de próstata (Yang *et al.*, 1998; Yang *et al.*, 2000; Castro *et al.*, 2004).

El promedio del pH observado, en las muestras de agua potable analizadas, se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma mexicana para esta característica química (pH de 6.5 a 8.5), con una tendencia a la alcalinidad (pH de 7.1 a 7.6), lo que no representa riesgo alguno para el consumo humano. Con respecto al valor del pH, es deseable mantener este parámetro como condición estable en aguas destinadas al consumo humano, la alteración de dicho factor puede traer consecuencias adversas por falta de nutrientes o presencia de sustancias que generan toxicidad para la salud humana (Pérez, 2016).

Las concentraciones de NO_3^- , detectados en el agua potable del pozo ubicado en Villa alta (4.9 mg/L NO_3^-), San Mateo (2.4 mg/L NO_3^-), y los 2 pozos de Tepetitla (TP1=9.0 y TP2=6.3 mg/L NO_3^-) se encontraron por debajo del límite máximo permisible (10 mg/L) especificado en la norma mexicana. Sin embargo, para el agua del pozo situado en Guadalupe Victoria, se reporta una concentración de 10.6 mg/L de NO_3^- , dicho valor fue superior al valor permitido (10 mg/L) en la norma mexicana. Estos valores son similares a los reportado en Ciudad Juárez donde se han determinado concentraciones de 3.4 mg/L hasta 11.8 mg/L de N- NO_3 en pozos de consumo humano (Calleros *et al.*, 2012). Otro caso similar es del agua subterránea

en el sur de la Cuenca de México, donde se reportan concentraciones de 10.2 mg/L (Montiel, 2014).

Si bien los niveles de nitratos de la mayoría de los sitios está por debajo de la normatividad mexicana, es importante poner especial atención en el pozo de Guadalupe Victoria el cual ya presentó niveles de nitratos que empiezan a estar por arriba del límite de seguridad, la cercanía de este pozo a un canal de riego que recibe descargas urbanas y de empresas textiles aunado a la antigüedad y baja profundidad del agua en este pozo, son quizá los factores que contribuyen a que este parámetro se encuentre elevado.

Es importante señalar que cuando el NO_3 está en concentraciones de 10 mg/L o superiores, el agua es inadecuada para consumo humano debido al posible efecto tóxico que puede tener sobre los niños (cianosis) (Hernández, 2008; Mora & Alfaro, 1999; Pacheco & Cabrera, 2003).

La presencia de nitratos en el agua de consumo humano es importante debido a la toxicidad relacionada con la formación de dos tipos de compuestos: nitritos y compuestos N-nitrosos. Así, la reducción de nitratos a nitritos puede ocasionar metahemoglobinemia (Fewtrell, 2004), sobre todo en los lactantes menores de 6 meses. También, el nitrito reacciona con aminas formando nitrosaminas, de acción carcinógena demostrada en animales y en algunos estudios epidemiológicos en humanos (FAO/WHO, 2003). Asimismo, la formación de compuestos N-nitrosos se asocia con malformaciones congénitas (Brender, 2013).

La presencia de As en el agua de diversas comunidades en México ha sido descrita desde los años 60's en los Estados de Coahuila y Durango; estas son las regiones más afectadas del país. Se han reportado concentraciones de As entre 0.005 y 0.41 mg/L (Mejía *et al.*, 1999; Cebrián *et al.*, 1983; Del Razo *et al.*, 1994). Las concentraciones reportadas son variables a lo largo del tiempo, y los máximos

reportados son del orden de hasta 0.865 mg/L en pozos de los poblados de Tlahualilo, San Francisco I Madero, y San Pedro (Arreguin *et al.*, 2000).

En la ciudad de Aguascalientes, se reportó el contenido de As en la tercera parte de las fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humano; donde las concentraciones de As mínima y máxima correspondieron a 0.0019 y 0.0326 mg/L, respectivamente. En la ciudad de Durango, también se han reportado valores de As con valores de 0.028 a 0.092 mg/L y en el Valle del Guadiana con 0.005 a 0.167 mg/L (Alarcón, 2001).

Los resultados de este trabajo son similares a las concentraciones mínimas de lo reportado en Aguascalientes y en el Valle de Guadiana; para el Pozo de Villa alta (0.004 mg/L), Pozo de San Mateo (0.001 mg/L) y PTP2 (0.002 mg/L), así como para las escuelas Fernando Montes de Oca (0.007 mg/L), Mi patria es Primero (0.004 mg/L), Miguel Hidalgo (0.0035 mg/L), Mariano Silva Acevedo (0.002 mg/L) y Xicoténcatl (0.008 mg/L).

Cuando se consume agua con As el sistema gastrointestinal absorbe en promedio el 80 % del As; esta cantidad puede variar de acuerdo a las características del compuesto y del individuo (Prieto *et al.*, 2007). Este metaloide produce toxicidad aguda y la ingestión de dosis altas provoca síntomas gastrointestinales, trastornos de las funciones de los sistemas cardiovascular y nervioso, pudiendo llegar hasta la muerte. La exposición prolongada al As en el agua de consumo tiene una relación causal con un aumento de los riesgos de cáncer de piel, de pulmón, de vejiga y de riñón, así como con otros cambios cutáneos como la hiperqueratosis y la pigmentación. Se ha advertido un riesgo mayor de cáncer de pulmón, cáncer de vejiga y de lesiones cutáneas asociadas con el As en relación con la ingestión de agua con concentraciones > 50 µg/L (WHO, 1992; Del Razo *et al.*, 1990).

Las concentraciones de Hg fueron de 0.001 mg/L en la primaria Domingo Arenas y de 0.002 mg/L en el preescolar Federico Froebel. Los valores obtenidos fueron

mayores a los encontrados en el agua potable de San Joaquín, Querétaro, donde reportaron valores de 0.00001 a 0.00017 mg/L (Martínez-Trinidad, *et al.*, 2013) y similares a las cuantificadas en Sonora donde las concentraciones estuvieron en un rango de 0.0019 a 0.0026 mg/L (Mendoza-Lagunas *et al.*, 2019). El consumo de agua con presencia de Hg tiene efectos altamente tóxicos y nocivos para los seres humanos Incluso en concentraciones muy bajas. La exposición a este metal puede provocar daño cerebral, insuficiencia cardíaca, anemia, daño renal y trastornos del sistema nervioso (Sarfo *et al.*, 2017).

En el caso de Mn, el valor cuantificado en la primaria Miguel Hidalgo fue de 0.062 mg/L, concentración muy similar a lo reportado en 28 pozos (0.015-0.085 mg/L) en Colima (Mendoza, 2014); y superiores a lo reportado en 5 pozos de Hidalgo donde tuvieron valores que oscilaron de 0.019 a 0.043 mg/L (Hernández *et al.*, 2017). El consumo de agua con altas concentraciones de Mn está muy relacionado con funciones anormales de memoria visual y verbal en niños de 10 años (Woolf *et al.*, 2002), así como con problemas neurológicos, cognitivos, de comportamiento, neurodesarrollo (reducción de IQ) y afectaciones al sistema nervioso (Bouchard, 2011; Burton, 2009; Moshfiqur, 2016; Rojas-Rodríguez, 2010).

Las concentraciones de Pb en agua de las escuelas (0.0013 a 0.024 mg/L), son muy similares a las reportadas por Padilla *et al.*, en el año 2012, en un estudio realizado en el acuífero Guadalupe-Bañuelos, estado de Zacatecas que reporta valores en un intervalo de 0.00445 a 0.00986 mg/L y a lo cuantificado en el Valle del Mezquital, México donde obtuvieron concentraciones que van de 0.01 a 0.053 mg/L (Lesser-Carrillo *et al.*, 2011).

Una vez dentro del cuerpo, el Pb se distribuye hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones; se deposita en dientes y huesos, donde se va acumulando con el paso del tiempo. El Pb almacenado en los huesos puede volver a circular por la sangre durante el embarazo, con el consiguiente riesgo para el feto. Actúa como agonista

o antagonista de las acciones del calcio y se relaciona con proteínas que poseen los grupos sulfhídricos, amina, fosfato y carboxilo (ATSDR, 2007).

Los niños con desnutrición son más vulnerables al Pb porque sus organismos tienden a absorber mayores cantidades de este metal en caso de carencia de otros nutrientes, como el calcio. El nivel de Pb sanguíneo materno aumenta el riesgo fetal y de alteraciones neurológicas en los recién nacidos. Los embarazos con niveles elevados de Pb en sangre presentan un riesgo mayor de partos prematuros, abortos espontáneos, muertes fetales y de recién nacidos con peso bajo para su edad gestacional (ATSDR, 2007).

La OMS menciona, que no existe un nivel de exposición que pueda considerarse seguro, por lo que, al estar en contacto con este elemento puede ocasionar una serie de efectos adversos a la salud, que incluyen daño cerebral severo e incluso la muerte (Covarrubias *et al.*, 2017).

La concentración de Zn fue de 0.440 mg/L en la primaria Abraham Castellanos valor mayor a lo reportado en Chihuahua (0.034 a 0.367 mg/L). El consumo de agua con altas concentraciones de zinc está relacionado con anemia y lesiones en el páncreas (ATSDR, 2005).

El agua para consumo humano debe estar ausente de coliformes totales y fecales, en los resultados de este estudio todos los pozos y escuelas analizadas mostraron presencia de coliformes totales, con >8 NMP/100 mL, encontrándose por arriba de la norma mexicana; los cuales deben ser <1.1 NMP/100 mL. Estos valores son similares a los reportados por Félix-Fuentes *et al.*, (2007) en 3 comunidades (la Aduana, Etchojoa y el Ejido Melchor Ocampo) de Sonora donde los resultados en las comunidades estudiadas (Aduana y el Ejido Melchor Ocampo), presentaron densidades altas de coliformes totales (>100 NMP/100 mL) los cuales superan la norma mexicana (ausentes en 100 mL); por lo tanto, presentaron una calidad deficiente.

Situación semejante es la que se reporta en la Ciudad Nezahualcóyotl donde las muestras analizadas alcanzaron $\geq 1\ 100$ NMP/100 mL de organismos coliformes totales, esto indica que el agua que llega a los domicilios de Ciudad Nezahualcóyotl no reúne la calidad microbiológica requerida para considerarse como potable (Cázares, 2014).

Los coliformes fecales se encuentran tanto en el ambiente como en las heces fecales de animales y humanos, por lo tanto, son evaluados para determinar si los organismos patógenos podrían estar presentes en los pozos de los sistemas de abastecimiento público. Los resultados de este estudio fueron negativas para coliformes fecales (<1.1) para todas las muestras analizadas. Así, como en el Valle de Juárez, Chihuahua donde las muestras analizadas resultaron positivas a coliformes totales (1 a 250 UFC /100 mL) y los coliformes fecales específicamente *E. coli* no fue detectada en todas las muestras del estudio. Aunque no hubo presencia de la bacteria indicadora de contaminación fecal (*E. coli*), las bacterias coliformes totales en el agua potable indican una alerta de contaminación microbiológica (Olivas *et al.*, 2013).

Por lo tanto, los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos (como protozoos y helmintos). Las asociadas con su ingesta son de tipo gastrointestinal, como las diarreicas, algunas de las cuales son incluso mortales (Westrell, 2004). Siendo las enfermedades gastrointestinales uno de los principales problemas de salud en México (Hernández-Cortez *et al.*, 2011). La mala calidad del agua se identifica como uno de los principales factores de riesgo de mortalidad infantil por enfermedades infecciosas, junto con la desnutrición (Stevens *et al.*, 2008).

El agua de todos los sitios evaluados cae en la categoría de aguas duras y muy duras. Diversos estudios relacionan el riesgo de enfermedades cardiovasculares,

renales (cálculos) y deficiencia de hierro con el consumo de agua dura. Sin embargo, las evidencias son insuficientes y controversiales. Las instituciones internacionales como la EPA y ATSDR no han emitido un valor de MRL o de dosis de referencia RfD en cuanto a la dureza total que permita estimar el riesgo en la población de estudio.

El agua potable que llega a toda la población de este municipio representa un riesgo potencial de enfermedades gastrointestinales si es ingerida directamente del grifo. Especial atención se debe tener en las escuelas para evitar que los niños consuman agua directamente de la llave. El hallazgo de coliformes totales en el agua de los pozos indica la presencia de microorganismos potencialmente patógenos, que son utilizadas ampliamente como índice de deficiencias sanitarias. Los resultados de este trabajo sugieren que a pesar de que el agua lleva un proceso de cloración por el municipio, éste no es suficiente, es importante revisar y reforzar este proceso.

En la mayoría de los sitios los niveles de EPT en agua estuvieron por debajo de la normatividad mexicana e internacional. Sin embargo, este estudio logró identificar elementos que se consideran tóxicos para la salud humana tal es el caso de As, Hg, Pb, y Mn, aunque no se logró observar un patrón constante, es decir si se encontró el elemento en el agua de pozo era de esperarse que en la escuela también hubiera, y no siempre fue así. Esta inconsistencia muy probablemente se debe a que el muestreo fue de tipo transversal y los valores pueden variar por dilución, aunado a que los valores cuantificados estuvieron muy cercanos a los límites de detección del equipo analítico empleado. A pesar de ello, se estimó el riesgo para aquellos parámetros que la EPA o ATSDR reporta la dosis de referencia o MRL.

Los resultados indican que la población infantil estaría expuesta crónicamente a una dosis de As igual o superior a 0.0003 mg/L al consumir agua del pozo ubicado en Villa alta, el preescolar Fernando Montes De Oca, Mi Patria es Primero, y las primarias Miguel Hidalgo y Xicoténcatl. Por lo tanto, se estima un riesgo individual de padecer lesiones dérmicas leves y la probabilidad de padecer algún tipo de

cáncer relacionado con la exposición a As de hasta 8 casos por cada 10 000 habitantes.

El Pb se encuentra ligeramente arriba de los límites establecidos por la norma mexicana y las guías internacionales (OMS y EPA), no se cuenta con una dosis de referencia (RfD/MRL) ya que no existe un nivel de exposición que pueda considerarse seguro para este elemento, a concentraciones tan bajas como 5 ug/dL de plomo en sangre ya se reportan daños a nivel de sistema nervioso central y alteraciones auditivas.

9. CONCLUSIÓN

La calidad del agua potable del municipio de Tepetitla de Lardizábal es deficiente, al no cumplir con algunos parámetros establecidos en las normas nacionales e internacionales.

La calidad microbiológica del agua de las escuelas y de los pozos municipales representa un riesgo potencial de enfermedades gastrointestinales para la población que la consume.

El consumo de agua en las escuelas Fernando Montes de Oca y Xicoténcatl representa un riesgo potencial de efectos dérmicos por la presencia de arsénico.

Existe una clara vulnerabilidad de contaminación de los pozos municipales por la cercanía a las zonas agrícolas y a las aguas superficiales contaminadas. Es importante contar con un programa de monitoreo ambiental para vigilar la concentración de los parámetros de calidad del agua, particularmente de elementos potencialmente peligrosos. Además, es importante ampliar el análisis dirigido a la cuantificación de plaguicidas por el uso de agroquímicos en la agricultura.

Se recomienda a las autoridades municipales implementar un programa de revisión y mantenimiento, para detectar rupturas en los sistemas de distribución del recurso hídrico, vigilar la corrosión en las tuberías que puede ser ocasionada por la dureza del agua y así evitar la contaminación del agua por fuentes antrópicas.

Se exhorta a las autoridades municipales y escolares establecer un programa de limpieza eficiente de los tanques elevados para el bombeo de agua y de los depósitos ubicados en las azoteas que surten a los bebederos de las escuelas, además de cubrirlos adecuadamente para evitar la contaminación aérea.

10. LITERATURA CITADA

- Acosta, R. S. 2008. Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos. Córdoba Argentina: Editorial Brujas.
- Agency For Toxic Substances and Disease Control (ATSDR). 2007. Reseña Toxicológica del Plomo [Internet]. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2005 Toxic Substances portal: Zinc. Public health Statement for zinc.
- Agency for Toxic Substances and disease Registry (ATSDR). 2006. Chromium Toxicity. Case Studies in Environmental Medicine. Course: SS3048 U.S
- Agency for Toxic Substances Disease Registry. 2007. Toxicological Profile for Arsenic, United States Public Health Service. Atlanta. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.html>. Accedido oct. 2018
- Alarcón H. M. T., Flores M. I., Romero N. P., Martín D. I., Trejo V. R. 2001. Contenido de arsénico en el agua potable del valle del Guadiana, México. Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XVI. Núm. 4, pp. 63-70
- American Academy of Pediatrics (AAP). 2007. Red Book. Atlas de enfermedades infecciosas en pediatría. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana
- Anjaneyulu Y., Sreedhara-Chary N. ysuman-Raj S., 2005. Decolourization of industrial effluents available methods and emerging technologies a review. Rev. Environ. Sci. Technol., 4, 245-273.
- Arcos M, Ávila S, Estupiñán S, Gómez A. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Nova Publicación Científica ISSN1794-2470 [Revista en Internet] [Acceso 9 de octubre de 2018]: 3(4): 69–79. Disponible en: http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf
- Arellano, J. 2002. Introducción a la Ingeniería Ambiental. México, D. F.: Alfaomega.
- Arellano-Aguilar, Omar, Soledad Solís-Ángeles, Luis Serrano-García, Luis, Eduardo Morales-Sierra, Alejandra Méndez-Serrano, Regina Montero-Montoya. 2015. Use of the Zebrafish Embryo Toxicity Test for Risk Assessment Purpose: Case Study. En Journal of Fisher Sciences, 9 (4), pp. 52-62.

- Armienta, M.A., Rodríguez, R., Aguayo, A., Cenicerros, N., Villaseñor, G. & Cruz O. 1997. Arsenic contamination of groundwater at Zimapan, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 5: 39-46.
- Armienta, M.A., Villaseñor, G., Rodríguez, R., Ongley, L.K. & Mango, H. 2001. The role of arsenic-bearing rocks in groundwater pollution at Zimapán Valley, Mexico. *Environmental Geology*, 40: 571-581.
- Arreguín Cortés F.I., Chávez Guillén R. & Soto Navarro P.R., 2000. Comisión Nacional del Agua
- Aulicino FA, Pastoni F. 2004. Microorganisms surviving in drinking water systems and related problems. *Ann Ig [Revista en Internet]* [Acceso 7 de agosto de 2018]; 16 (1-2):265-72. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15554533>
- Bae S. J., Freeman S. H. y Kim D. S., 2006. Influences of new azo dyes to the aquatic ecosystem. *Fiber Polymer.*, 7, 30-35.
- Barceló, Damiá y López, María J. 2007. Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. En: Panel Científico- Técnico de seguimiento de la política de aguas. Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC. Barcelona
- Birkle, P. & Merkel, B. 2000. Environmental impact by spill of geothermal fluids at the geothermal field Los Azufres, Michoacán, Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution*, 124:371-410
- Bocanegra Salazar M., 2006. Evaluación de riesgo en salud por la exposición a fluoruro y arsénico en agua de pozo para consumo de las zonas altiplano, centro y media del estado de San Luis Potosí. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Programa Multidisciplinario de Posgrado de Ciencias Ambientales UASLP. <http://ambiental.uaslp.mx/pmpca/>.
- Bolaños-Alfaro, J; Cordero-Castro, G; Segura-Araya, G. 2017. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-4. Pág 15-27.

- Borbolla-Sala, M. E.; Cruz-Vázquez L.; Piña-Gutiérrez O. E.; Fuente –Gutiérrez J., Garrido-Pérez S. M. G. 2003. Calidad del agua en Tabasco Salud en Tabasco, vol. 9, núm. 1, pp. 170-177
- Bouchard, Maryse, Sauvé, Sébastien; Barbeau, Benoit; Legrand, Melissa; Brodeur, Marie. 2011. Ève; et.al. Intellectual impairment in school-age children exposed to manganese from drinking water. *Revista Environmental Health Perspectives*, Vol. 119 (1), 138 - 143.
- Brender JD, Weyer PJ, Romitti PA. 2013. National birth defects prevention study. Prenatal nitrate intake from drinking water and selected birth defects in offspring of participants in the national birth defects prevention study. *Environ Health Perspect.*;121:1083–9.
- Brooks, Geo F., Batel, Janet S. y Morse, Stephen A. 2002. *Microbiología Médica de Jawetz. Manual Moderno 17a Edición*, pp 274-275
- Burton N. C., y Guilarte T. R. 2009. Manganese neurotoxicity: lessons learned from longitudinal studies in nonhuman primates. [online]. *Revista Environmental Health Perspectives* , Vol.117 (3): 325 - 332. [fecha de consulta 5 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://search.proquest.com/openview/45ea604183c2de8b720abcf8c60133f6/1?pq-origsite=gscholar&cbl=48869>
- Calleros E., Alarcón M.T., Morán J., Cueto J.A., Pérez R., Sanín L.H. 2012. “Caracterización de una zona contaminada por nitratos y su impacto en la salud humana” *Genero Ambiente y contaminación por sustancias químicas*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1ª. Ed. Instituto Nacional de Ecología.
- Camacho, J., J. Juan, R. Franco, N. Pineda, J. Campos, X. Antonio y M. Balderas. 2011. Procesos y cambios de ocupación del suelo en un espacio geográfico de México. 1976 y 1993. *Mapping Centroamérica y El Caribe* (2):61-67
- Campos, I. 2000. *Saneamiento Ambiental*. 1 ed. San José: Universidad Estatal a Distancia.
- Canter, L. 2000. *Manual de evaluación de impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de estudios de impacto*. Universidad de Oklahoma. Mc Graw Hill. Inc. US. 835 p
- Carrillo-Chávez, A., Morton-Bermea, O., González-Partida, E., Rivas-Solórzano, H., Oesler, G., García-Meza, V., Hernández, E., Morales, P. & Cienfuegos, E. 2003.

Environmental geochemistry of the Guanajuato Mining District, Mexico. *Ore Geology Reviews*, 23: 277-297.

Carrillo-Rivera, J. J., A Cardona y W. M Edmunds, 2002. Use of abstraction regime and Knowledge of hydrogeological conditions to control high fluoride concentration in abstracted groundwater: basin of San Luis Potosí, Mexico. *Journal of Hydrology*, Vol. 261: 24-47.

Casilla Q. S. 2014. Evaluación de la calidad de agua en los diferentes puntos de descarga de la cuenca del Rio Suchez. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad nacional del Altiplano Puno. 129 pp.

Castro R, Hernández J, Aguilar G. 2004. Evaluación del crecimiento de alevines de tres especies de Tilapia (*Oreochromis* sp.) en aguas duras en la región de Cañada, Oaxaca, México. *AquaTIC*. N° 20: 38-43

Castro S, 2013. Cuantificación de As y Pb en agua potable y estimación del riesgo en la salud infantil de la región Centro-Sur de Tlaxcala. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Tlaxcala

Castro M. 2006. Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. *International Congress: Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America*. México

Cázares M. Alcantara A. 2014. Analisis Microbiológico de la Calidad del Agua de Ciudad Nezahualcóytl, Acorde A La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. 1-30p. ISBN: 978-84-7666-210-6

Cebrián, M.E., Albores, A., Aguilar, M., Blakely, E., 1983. Chronic arsenic poisoning in the north of Mexico. *Hum. Toxicol.* 2, 121–133

Chaple E. B. 2003. Enfermedades transmitidas a través de las aguas. Tribunal Centroamericano del Agua.

Combariza, B.D.A. 2009. Contaminacion por Metales Pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de Plomo, Mercurio y Cadmio y alteración de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca) pp.1– 115. Trabajo de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.

- Comisión Nacional del Agua. 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. ISBN: 978-968-817-880-5
- CONAGUA & JMAS-JUAREZ. 2000. Prospección hidrogeológica e hidrogeoquímica en el bolsón de la Mesilla, Chihuahua, Zona de Conejos-Médanos (Hydrogeological and Hydrogeochemical Exploration at the Mesilla Bolson, Conejos-Medanos Zone). Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Juárez.
- CONAGUA. 1999. Estudio de la simulación hidrodinámica de los acuíferos de la Comarca Lagunera, Coahuila y Durango y de la Cuenca Alta del Rio Aguanaval, Zac. Tomo 1: Acuífero de la Comarca Lagunera, Coahuila y Durango. (Volume 1: Study on the Hydrodynamic Simulation of Comarca Lagunera Aquifer, Coahuila and Durango States). Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. 2000. Estudio de la contaminación difusa del acuífero de la Comarca Lagunera, Coahuila. (Study on diffusive contamination at the Comarca Lagunera Aquifer, Coahuila State). Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. 2005. Estudio hidrogeoquímico del acuífero del Valle del Guadiana, Durango. (Hydrogeochemical study of the Valle del Guadiana Aquifer, Durango State). Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA & IMTA. 1992. Estudio hidroquímico y isotópico del acuífero granular de la Comarca Lagunera (Hydrochemical and Isotopic study for the Comarca Lagunera Aquifer). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- CONAGUA. 2013. Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. México D. F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. 1997. Estudio hidrogeológico, hidrogeoquímico y de la incidencia de arsénico, flúor y hierro en las zonas acuíferas de Delicias-Meoqui y Jiménez-Camargo en el Estado de Chihuahua. (Hydrogeological and hidrogeochemical study on the presence of arsenic, fluoride and iron in the Delicias-Meoqui y JiménezCamargo aquifers, Chihuahua State). Comisión Nacional del Agua.
- Concha G, Vogler G, Nermell B, Vahter M. 2002. Intra-individual variation in the metabolism of inorganic arsenic. *Int Arch Occup Environ Health*;75:576-80.
- Concon, J.M. 2009. Heavy metals in food. In: *Food Toxicology, Part B: Contaminants and Additives*. New York, Dekker, 3(4), p.1043-1045.

- Covarrubias S. A. y Peña J. J. 2017. Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación, *Especial Biotecnología e ingeniería ambiental*, vol 33, 7-21.
- Damalas C. y Eleftherohorinos I. 2011. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *Int. J. Environ. Res. Pub. Health*. 8, 1402-1419.
- Del Razo, L. M., Corona, J. C., García-Vargas, G., Albores, A., & Cebrián, M. E. 1993. Fluoride levels in wellwater from a chronic arsenicism area of northern Mexico. *Environmental Pollution*, 80: 91-94.
- Del Razo, L., J. Hernández, G. García Vargas, P. OstroskyWegman, C. Cortinas de Nava, and E. Cebrián. 1994. Urinary excretion of arsenic species in a human population chronically exposed to arsenic via drinking water. A pilot study. pp. 91-100. W. R. Chappell, C. O. Abernathy, and C. R. Cothorn (eds.). *Arsenic. Exposure and health*. Sci. Technol. Lett. Norwood, UK
- Días A. D., Sampaio A. y Bezerra R. M., 2007. Environmental applications of fungal and plant systems: decolourisation of textile wastewater and related dyestuffs. En *Environmental Bioremediation Technologies* (Editores Singh S. N. y Tripathi R. D.) Springer Berlin Heidelberg, 445-463
- Domenech, X. and Peral, J. 2006. *Química Ambiental de Sistemas terrestres*. Reverté.
- Dos-Santos A., Cervantes F. y Van-Lier J., 2007. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresour. Technol.*, 98, 2369-2385
- Dwivedi, S.K., Swarup, D. and Dey, S. 2011. Lead poisoning in cattle and buffalo near primary leadzinc smelter in India. *Veterinary Toxicol*, 2(1), p. 74-75.
- Echeverry Ghislaine, Zapata Andrés Mauricio, Páez Martha Isabel, Méndez Fabián, Peña Miguel. 2015. Valoración del riesgo en salud en un grupo de población de Cali, Colombia, por exposición a plomo, cadmio, mercurio, ácido 2,4-diclorofenoxiacético y diuron, asociada al consumo de agua potable y alimentos. *Biomédica*. 35:110-19.
- EPA 1998. Toxicological review of Trivalent Chromium. In support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS)
- FAO/WHO. 2003. Nitrate (and potential endogenous formation of N-nitroso compounds). En: *Safety evaluation of certain food additives and contaminants*. Geneva: World

Health Organization, Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Food Additives Series No. 50. Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v50je06.htm>

Félix-Fuentes A., Campas-Baypoli O. N., Aguilar-Apodaca M. G. y Meza-Montenegro M. M. 2007. Calidad microbiológica del agua de consumo humano de tres comunidades rurales del sur de Sonora (México). *Revista Salud Publica y Nutricion (RESPYN)*, Vol 8: 13

Fewtrell L. 2004. Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, and global burden of disease: a discussion. *Environ Health Perspect.* 112:1371–4.

Figueruelo J. y Dávila M. 2004 *Química física del ambiente y de los procesos medioambientales*. España: Reverté, S.A., pp. 570

Foster S. S. D., Lawrence A. R. and Morris B. L., 1998. «Las aguas subterráneas en el desarrollo urbano: evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias.» Documento Técnico No. 390, Banco Mundial, Washington, D.C.

Gall ET, Carter EM, Earnest CM, Stephens B. 2013. Indoor air pollution in developing countries: research and implementation needs for improvements in global public health . *Am J Public Health.* Apr;103(4):e67-72.

Gallego, M. 2000. El agua, vehículo de contaminación. Página electrónica en (línea) Turrialba, Costa Rica. Consultado agosto 2018 www.badad.com/no01/agua.html

García, J., Méndez, J., Pásaro, E. and Laffon, B. 2012. Genotoxic effects of lead: An updated review. *Environment International*, 2(4), p. 623–636.

García, JE. 1997. *Introducción a los plaguicidas*. San José, CR, EUNED. 476 p.

González-Partida, E., Hinojosa, T.E. & Verma, M.P. 2001. *Interacción agua geotérmica- Greenpeace México, Ríos tóxicos: Lerma y Atoyac, la historia de negligencia continua*, 2014. <http://bit.ly/2smZVh5>

Guarín L. 2011. “Estandarización de las técnicas de fosfatos y cloruros en aguas crudas y tratadas para el laboratorio de la asociación municipal de acueductos comunitarios (amac) en el municipio de dosquebradas”, Tesis de licenciatura. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia [en línea]. Disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/2337>

- Hein MS. 2003. Copper deficiency anemia and nephrosis in zinc-toxicity: a case report. 56(4):143-147.
- Hernández G. S., Gómez V. A., Juárez Y. P., Hernández Z. G. 2017. Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea del municipio de Apan, Hidalgo, México. Revista de divulgación tecnológica. Año 5, Número 1. Disponible en: reaxon.utleon.edu.mx/Art_Impr_Determinacion_de_hierro_y_manganeso_en_el_agua_subterranea_del_municipio_de_Apan_Hidalgo_Mexico.html
- Hernández, J. 2008. Efecto de la evolución geoquímica en la calidad del agua subterránea en la porción central de la zona media del estado de San Luis Potosí (pp. 59-61). Tesis de maestría. San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultades de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina.
- Hernández-Cortez, C., Aguilera-Arreola, M. G., & CastroEscarpili, G. 2011. Situación de las enfermedades gastrointestinales en México. Enfermedades Infecciosas y Microbiología, 31(4), 137-151.
- IFCS 2006. Reducción de la pobreza y gestión racional de los productos químicos: documento de reflexión. Budapest, Hungría, Organización Mundial de la Salud, 1-16.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2005. Estudio de clasificación del río Atoyac, Puebla-Tlaxcala. Informe final
- Jiménez C., Torregrosa M. L. y Aboites L. 2010. El agua en México: cauces y encauces. AMC-Conagua. México
- Jiménez M. A. 2008. «La protección del agua subterránea destinada a consumo humano y su integración en la ordenación del territorio». Aplicación en la Sierra de Cañete (Málaga). Diploma de Estudios Avanzados. Universidad de Granada. Trabajo inédito, 120 pp.
- Karam M., Ramírez G., Bustamante-Montes L. y Galvan J. 2004. Plaguicidas y salud de la población. Ciencia Ergo Sum 11, 246-254.
- Klaassen CD & Watkins JB. Eds. Casarett and Doull's 2010. Essentials of Toxicology 2th ed. McGraw- Hill; 2010.
- Kornacki J.L. & Johnson J.L. 2001 "Enterobacteriaceae, Coliforms, and Escherichia coli as Quality and Safety Indicators". In: Compendium of Methods for the Microbiological

- Examination of Foods. 4th ed. Downs F.P. & Ito K. (Eds.) APHA. Washington. 69-82.
- Kuhad R. C., Sood N., Tripathi K. K., Singh A. y Ward O. P., 2004. Developments in microbial methods for the treatment of dye effluents. *Adv. Appl. Microbiol.*, 56, 185-213.
- Landín Rodríguez L. E., 2006. Parámetros fisicoquímicos y concentración de flúor y arsénico en el agua de los pozos de la ciudad de San Luis Potosí y zona conurbada. Alternativa de tratamiento: adsorción de flúor y arsénico en la interfase Al₂O₃ activada/ solución acuosa. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Programa Multidisciplinario de Posgrado de Ciencias Ambientales UASLP. <http://ambiental.uaslp.mx/pmpca/>.
- Lauwerys RR. 2007. *Toxicologie Industrielle et intoxications professionnelles*. 5th ed. Paris: Masson. pp 240-254.
- Lavie E. 2010. "Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza", *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. 42, n.º 1, pp. 169-184, [en línea]. Disponible en <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=a4c779ac-b7da-4934-992c-0b06bca7d39d%40sessionmgr103&vid=1&hid=116>
- Lesser-Carrillo L. E., Lesser-Illades J. M., Arellano-Islas S.y González-Posada S D. Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central. 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 28, núm. 3, p. 323-336
- Lillo, J. 2007. Técnicas hidrogeoquímicas. Tesis de maestría. Madrid: Universidad Rey Juan Carlos.
- López, J., Valencia R., Ortiz E., Sánchez A. J., Nieto E., Juárez L., Zempoalteca S. 2006. Padrón de sitios potencialmente peligrosos en el estado de Tlaxcala. 10.13140/2.1.4927.0564.
- Loyola Rodríguez P. 2002. Fluorosis en dentición temporal en un área con hidrofluorosis endémica. *Salud Pública de México*;42:194-200.
- Madigan, M T y Martinko, J M., Brock. 2006. *Biology of Microorganisms*, 11a ed. pp 935-936
- Manu B. y Chaudhari S., 2002. Anaerobic decolorization of simulated textile wastewater containing azo dyes. *Biores. Technol.*, 82, 225-231.

- Marchand EO. 2002. Microorganismos indicadores de la calidad de agua de consumo humano en Lima Metropolitana [Tesis en Internet]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. [Acceso 9 de octubre de 2018]. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/basic/marchand_p_e/anteced.htm.
- Martínez-Trinidad S., Hernández S. G., Ramírez I. E., Martínez R. J., Solorio M. G., Solís V. S. and García M. R. 2013. Total mercury in terrestrial systems (air-soil-plant-water) at the mining region of San Joaquín, Queretaro, Mexico. *Geofísica Internacional*. Volume 52 Number 1: 43-58
- Mcrill, C., Boyer, L.V., Flood, T.J. and Ortega, L. 2013. Mercury toxicity due to the use of a cosmetic cream. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 3(3), p. 4-7.
- Medina C., Allara M., Izquierdo P., Sánchez E., Piñero M.Y. y Torres G. 2010. Residuos de insecticidas organoclorados en yogurt firme de tres marcas comerciales, elaborado en Venezuela. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 20, 203-211.
- Medina-Escobedo M., Mussaret Z., Real-de León E., Orozco-Rivadeneira S. 2002. Prevalencia y factores de riesgo en Yucatán, México, para litiasis urinaria. *Salud pública de México*. vol.44, no.6, 541-545
- Mejía Clara M. R. 2005. Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras. Tesis de *Magíster Scientiae* en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. 110 p.
- Mejía, J., Carrizales, L., Rodríguez, V.M., Jiménez-Capdeville, M.E., Díaz-Barriga, F., 1999. [A method for assessing health risks in mining sites]. *Salud Pública México* 41 Suppl 2, S132– 140.
- Mendoza-Cano O, Sánchez-Piña RA, Barrón-Quintana J, Cuevas-Arellano HB, Escalante-Minakata P, Solano-Barajas R. 2017. Riesgos potenciales de salud por consumo de agua con arsénico en Colima, México. *Salud Publica Mex* 2017;59:34-40.
- Mendoza-Lagunas J.L, Meza-Figueroa D. M., Martínez-Cinco M. A., O'Rourke M.K., Centeno-García E. Martin Romero F., García-Rico L., Meza-Montenegro M. M. 2019. Health Risk Assessment in Children by Arsenic and Mercury Pollution of groundwater in a Mining Area in Sonora, Mexico. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 7, 90-105

- Molina-Morales Y., Flores-García M., Balza-Quintero A., Benítez-Díaz P. y Miranda-Contreras L. 2012. Niveles de plaguicidas en aguas superficiales de una región agrícola del estado Mérida, Venezuela, entre 2008 y 2010. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28, 289-301.
- Montiel P. S., Armienta H. M. A., Rodríguez C. R., Domínguez M. E. 2014. Identificación de zonas de contaminación por nitratos en el agua subterránea de la zona sur de la cuenca de México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 30 (2) 149-165
- Mora D. & Mata A. 2003. Conceptos básicos de aguas para consumo humano y disposición de aguas residuales. Obtenido de <https://www.aya.go.cr/Administracion/DocumentosBoletines/Docs/2209100925510NCEPTOSBASICOSDEAGUASPARACONSUMOHUMANOPY-DISPOSICIONDEAGUASRESIDUALES.pdf>
- Mora, D., & Alfaro, N. 1999. Caracterización y distribución por cantones de la dureza del agua en las fuentes utilizadas para consumo humano en Costa Rica. *Rev. Costarric. Salud Pública*, 8(15), 1-15
- Moshfiqur S., Kippler M., Tofail F., Bölte S., Derakhshani J., y VAHTER M. 2016. Manganere in drinking water and cognitive abilities and behavior at 10 years of age: a prospective cohort study. [online]. *Revista Environmental Health Perspectives* [fecha de consulta 5 de marzo de 2017] Disponible en: <https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/advpub/2016/7/EHP631.acco.pdf>
- Moyad MA. 2004. Zinc for prostate disease and other conditions: a little evidence, a lot of hype, and a significant potential problem. *Urol Nurs*; 24(1):49-52.
- Murcia A. y Stashenko E. 2008. Determinación de plaguicidas organofosforados en vegetales producidos en Colombia. *Agro Sur* 36, 71-81.
- National Research Council. 2001. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodone, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. Institute of Medicine/Food and Nutrition Board. National Academy Press. Washington DC.
- Navarro, Inés, Erasmo Flores y Rita Valladares 2004. Evaluación ambiental y epidemiológica para identificar factores de riesgo a la salud por contaminación del

- río Atoyac, México. XXIX Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental, Forjando el Ambiente que Compartimos. San Juan, Puerto Rico.
- 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.
- Núñez N, Fraile I, Lizarazu J. 2009. Microorganismos patógenos del agua. Estudio de Molino Erreka. *Meridies [Revista en Internet]*; (13):69–76. Disponible en: <http://www.laanunciataikerketa.com/trabajos/microorganismos/in.html>.
- Olivas Enríquez E., Flores Márquez J. P., Di Giovanni G., Corral Díaz B., Osuna Ávila P. 2013. Contaminación fecal en agua potable del Valle de Juárez. *TERRA LATINOAMERICANA Vol. 31 NÚMERO 2: 135-143p*
- Oliveira A. y Guimarães J. 2010. «Aplicação dos Métodos Drastic e Posh para determinação da Vulnerabilidade e Perigo à Contaminação do Aquífero Furnas na Cidade de Rondonópolis-MT». *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 15(2), 127-142
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2006. Guías para la calidad del agua potable. Volumen 1. Recuperado de <http://cedum.umanizales.edu.co>
- Organización Panamericana De La Salud (OPS). 2002. La salud de las Américas. Washington, DC. Vol. I
- Ouchard M., Sauve S., Benoit B., Legrand M., Brodeur M.E. 2011 Intellectual impairment in school-age children exposed to manganese from drinking water. [online]. *Revista Environmental Health Perspectives*, Vol. 119 (1), 138 - 143. [Fecha de consulta 5 de marzo de 2017]. Disponible en: <http://search.proquest.com/openview/67e6973beb43227aca822520f6883222/1?pq-origsite=gscholar&cbl=48869>
- Owen R, Mirghani M, Taylor P, Diene M, Tuinhof A. 2010. Gestión de aguas subterráneas en la GIRH. Manual de capacitación. Cap-Net. Argentina. (INTERNET) Disponible en: <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/>
- Oyarzun, R., Lillo, J., Higuera, P., Oyarzún, J., Maturana, H., 2004. Strong arsenic enrichment in sediments from the Elqui watershed, northern Chile: industrial (gold mining at El Indio-Tambo district) versus geologic processes. *J. Geochem. Explor.* In press.

- Pacheco J. y Cabrera A. 2003. "Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas", *Rev. Ingeniería*, vol. 7, n.º 2, pp. 47-54.
- Padilla-Reyes D. A., Núñez-Peña E. P., Escalona-Alcázar F. J. y Bluhm-Gutiérrez J. 2012. Calidad del agua del acuífero Guadalupe-Bañuelos, Estado de Zacatecas, México. *GEOS*, Vol. 32, No. 2., 368-384
- Pedrozo María Esther, Sandra Ocampos, Rosa Galeano, Andrea Ojeda, Agueda Cabello, Dalva De Assis. 2014. Casos de intoxicación aguda por plaguicidas en la colonia Puerto Pirapó, Itapúa, Paraguay. *Biomédica* 2017; 37:158-63
- Pérez-López, E. 2016. Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, Nº 3. Pág 3-14. DOI: 10.18845/tm.v29i3.2884
- Planer-Friederich, B., Armienta, M.A. & Merkel, B.J. 2001. Origin of arsenic in the groundwater of the Rio Verde Basin, Mexico. *Environmental Geology*, 40: 1290-1298
- Plenge-Tellechea F. y Sierra-Fonseca J. 2007. Riesgos a la salud humana causados por plaguicidas. *Tecnociencia Chihuahua* 1, 4-6
- Porta M, Kogevinas M, Zumeta E, Sunyer J, Ribas-Fito N, Ruiz L, Jarrod M, Vioque J, Alguacil J, Martin P, Malats N, Ayude D; Grupo de Trabajo sobre Compuestos Tóxicos Persistentes y Salud del IMIM. Concentraciones de compuestos tóxicos persistentes en la población española: el rompecabezas sin piezas y la protección de la salud pública. *Gac Sanit*;16(3):257-66.
- Price, M. 2003.- *Agua Subterránea*. Limusa, 341 pp.
- Prieto G., F., Martínez P., F.H., Méndez, M.A. and Prieto, M.J. 2007b. Presencia de metales pesados en cultivos de Actopan e Ixmiquilpan, Valle del Mezquital, México, por riego con aguas negras. *Revista Latino Americana Recursos Naturales*. México 3: 100-111
- Prüss-Üstün A, Bos R, Gore F, Bartram J. 2008. Safer water, better health: Costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health. Geneva: World Health Organization.

- Quintero A., Caselles M. y Ettiene G. 2008. Monitoring of organophosphorus pesticide residues in vegetables of agricultural area in Venezuela. *Bull. Contam. Toxicol.* 81, 393-396.
- Ramírez E., Campoy E., Matuz D., Robles E. 2006. Acanthamoeba isolated from contaminated groundwater. "*Journal of Eukaryotic Microbiology*", 53(S1), S10-S11.
- Ramírez E., Robles E., Sainz M.G., Ayala R., Campoy E. 2009. Calidad Microbiológica del Acuífero de Zacatepec, Morelos, México. "*Revista Internacional de Contaminación Ambiental*", 25(4), 247-255.
- Ramírez Flores, E., Robles Valderrama E., Ayala Patiño R., Martínez Rodríguez B. 2012. Calidad amebológica del agua de pozos utilizados para suministro de agua potable en el Estado de Hidalgo. *Ingeniería-Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán*, Vol. 16, No.3, 2012, ISSN 1665-529-X.
- Ramírez JA, Lacasaña M. 2001. Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Arch Prev Riesgos*; 4(2):67-75.
- Ramos, O.R.; Sepúlveda, M.R. y Villalobos, M.F. 2003: «Agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis». Universidad Autónoma de Baja California. Ed. Plaza y Valdés, México.
- Ranganathan K., Jeyapaul S. y Sharma D., 2007. Assessment of water pollution in different bleaching based paper manufacturing and textile dyeing industries in India. *Environ. Monit. Assesss.*, 134, 363-372.
- Rioja-Rodríguez, H., Solís-Vivanco R., Schilman A., Montes S., Rodríguez S., Ríos, C. 2010. Intellectual function in Mexican children living in mining area environmentally exposed to manganese. *Revista Environmental Health Perspect* [online]. 118 (10): 1465 -1770
- Robles E., Ramírez E., Martínez B., Sainz M.G., González M.E. 2011. Comparison of the water quality of two aquifers established in different development zones of Mexico. "*Universal Journal of Environmental Research and Technology*", 1(2), 203-211.
- Robles V. E., Ramirez F. E., Ayala P. R., Duran D. A., Sainz M. M., Martinez P. M. E., Martinez R. B., Gonzalez A. M. E. 2010. Calidad de los tres pozos de la zona centro del acuífero Cuautla-Yautepec, Morelos, México. *BIOCYT* 3(11): 159-175

- Rosas, I., Belmont, R., Armienta, M.A. & Baez, A. 1999. Arsenic concentrations in water, soil, milk and forage in Comarca Lagunera, Mexico. *Water Air and Soil Pollution*, 112: 133-149.
- Rosenstock L. 2005. Textbook of clinical occupational and environmental medicine. 2nd Ed. W.B.Saunders & Co.
- Rudge CV, Rollin HB, Nogueira CM, Thomasen Y, Rudge MC, Odland JO. 2009. The placenta as a barrier for toxic and essential elements in paired maternal and cord blood samples of South African delivering women. *J Environ Monit.*;11(7):1322-30
- Salas, Hernán, Leticia Rivermar y Paola Velasco (2011). *Nuevas Ruralidades. Expresiones de la transformación rural en México*. México: UNAM-IIA / Juan Pablos Editor.
- Saltzman B, Gross S, Yeager D, Meiners B, Gartside P. 1990. Total Body burdens and tissue concentrations of lead, cadmium, copper, zinc and ash in 55 human cadavers. *Environ Res*; 52:126-145.
- Salzman MB, Smith EM, Koo C. 2002. Excessive oral zinc supplementation. *J Pediatr Hematol Oncol*; 24(7):582-584
- Sánchez, C.I. 2010. Perfil sociodemográfico y epidemiológico de la población expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio, ubicada en la vereda Manuel Sur del municipio de Ricaurte y los barrios Brisas del Bogotá y La Victoria del municipio de Girardot. *Investig. Enferm*, 12(2), pp.93–116.
- Sánchez, J. A., Álvarez, T., Pacheco, J. G., Carrillo, L., & González, R. A. 2016. Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(4), 75-96.
- Sarfo D.K. 2017. Rapid detection of mercury contamination in water by surface enhanced Raman spectroscopy, *RSC*, Vol. 7, pp. 21567-21575.
- Shimada, A.M. 2005. *Nutrición animal*. 3 Ed. México (México): Trillas, 388 p.
- Smedley P.L., Kinniburgh D.G., 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17, 517-568.
- Smedley, P.L. 2003. Arsenic occurrence in Mexican groundwater: towards a better understanding and mitigation. Report OMM/PROMA No. 17 for the World Meteorological Organisation & CONAGUA.

- Stevens, G. 2008. Characterizing the epidemiological transition in Mexico: National and subnational burden of diseases, injuries, and risk factors. *PLoS Medicine*, 5(6), 125, DOI: 10.1371/journal.pmed.0050125
- Téllez J, Carvajal RM, Gaitán AM. Aspectos Toxicológicos Relacionados con la Utilización del Cromo en el proceso Productivo de Curtiembres. *Revista Facultad de Medicina Universidad Nacional de Colombia* 2004;52(1):50-61.
- Trauth R., Xanthopoulos. (1997). Non-point pollution of groundwater in urban areas. "Water Research", 31(11), 2711-2718.
- Uzcátegui J., Araujo Y. y Mendoza L. 2011. Residuos de plaguicidas organoclorados y su relación con parámetros físico-químicos en suelos del municipio Pueblo Llano, estado Mérida. *Bioagro* 23, 115-120.
- Van Leewen, CJ; Hermes, JL. 1995. *Risk Assessment of Chemicals: An Introduction*. Holanda. Kluwer Academic Publisher. 673 p.
- Vargas M. F. 2005. La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Rev. Esp. Salud Publica* vol.79 no.2
- Vásquez G, Castro G, González I, Pérez R, Castro T. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *ContactoS [Revista en Internet]* [Acceso 27 de agosto de 2019]; (60):41-8. Disponible en: Disponible en: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n60ne/Bio-agua.pdf>
- Victoria I., Maraver F., Sánchez-Valverde F. y Armijo F. 2015. Contenido en nitratos de aguas de consumo público españolas. *Gac Sanit*;29(3):217–220
- Westrell, T. 2004. Microbial risk assessment and its implications for risk management in urban water systems (84 pp.).
- Woolf A., Wright R., 2002. Amarasiriwardena C., Bellinger D. A child with chronic manganese exposure from drinking water. *Environ Health Perspect*; 110: 613-618.
- World Health Organization (WHO). 1992. Arsenic and Arsenic Compounds. *Environmental Health Criteria* 224.
- World Health Organization (WHO). 2004 *Guidelines for drinking-water quality*. Vol 1. Recommendations, 2nd ed. Geneva.
- World Health Organization (WHO). 2005. Inorganic Lead. *Environmental Health Criteria*. Geneva (Suiza), 165 p

- World Health Organization (WHO).2002. Guidelines for drinking-water quality, third edition, incorporating first and second addenda.
- Wyatt, C.J., Fimbres, C., Romo, L., Mendez, R.O. & Grijalva, M. 1998. Incidence of heavy metal contamination in water supplies in Northern Mexico. *Environmental Research*, 76: 114-119.
- Yang C, Chiu H, Cheng B, Hsu T, Cheng M, Wu T. 2000. Calcium and magnesium in drinking water and the risk of death from breast cancer. *J Toxicol Environ Health* 60: 231–24.
- Yang C.Y., Chiu, H.F., 1998. Calcium and magnesium in drinking water and risk of death from rectal cancer. *Int. J. Cancer* 77, 528–532.