



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**



**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

*“La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra”*

**CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN  
HORTALIZAS DE LA LOCALIDAD DE ATLIXCO  
Y SU POSIBLE RIESGO EN LA SALUD HUMANA**

TESIS

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**HILDA RICELA JANO TOLAMA**

Asesor de tesis:

**Dr. Jorge Antonio Yáñez Santos**

Co Asesor de tesis:

**Dr. José Víctor Tamariz Flores**

Noviembre 2017





**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**



**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

*“La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra”*

**CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN  
HORTALIZAS DE LA LOCALIDAD DE ATLIXCO  
Y SU POSIBLE RIESGO EN LA SALUD HUMANA**

TESIS

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**HILDA RICELA JANO TOLAMA**

Comité tutorial:

Asesor y Tutor	Dr. Jorge Antonio Yáñez Santos
Co Asesor de tesis	Dr. José Víctor Tamariz Flores
Integrante Comité Tutorial	Dra. María Lilia Cedillo Ramírez
Integrante Comité Tutorial	Dr. Fernando Hernández Aldana

Noviembre 2017





**C. HILDA RICELA JANO TOLAMA**

Por este conducto me permito comunicarle que los miembros del jurado integrado por:

<i>Dr. Fernando Hernández Aldana</i>	<i>Presidente</i>
<i>Dra. María Lilia Cedillo Ramírez</i>	<i>Secretario</i>
<i>Dr. Elías Pezzat Said</i>	<i>1er. Vocal</i>
<i>Dra. Gladys Linares Fleites</i>	<i>2do. Vocal</i>
<i>Dra. Sonia Emilia Silva Gómez</i>	<i>Suplente</i>

designado para la defensa de su tesis "*Concentración de metales pesados en hortalizas de la localidad de Atlixco y su posible riesgo en la salud humana*" han manifestado mediante su voto que ésta cumple con los méritos suficientes para ser defendida como tesis de grado de Maestría en Ciencias Ambientales, por lo que este Posgrado le autoriza la impresión de la misma.

Sin otro asunto en lo particular, quedo de usted.

**A T E N T A M E N T E**

**"PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR"**

**H. PUEBLA DE Z., NOVIEMBRE 7 DE 2017**

**DR. RICARDO DARÍO PEÑA MORENO**

**SECRETARIO ACADÉMICO**

RDPM/anma  
c.c.p. Archivo  
c.c.p. Minutario



## AGRADECIMIENTOS

Con orgullo y aprecio doy las gracias a quienes han contribuido a la realización de esta tesis.

A CONACYT por la beca otorgada (291025) para la realización de este proyecto.

Agradezco a mis directores de tesis, los Dres. Antonio Yáñez y Tamariz Flores de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) por guiarme durante estos años, darme la oportunidad de trabajar en su laboratorio y brindarme su apoyo y confianza para llevar a término el trabajo.

Al Dr. Florencio García Zaraín cirujano maxilofacial responsable de la clínica de la Maestría en Rehabilitación Oral de la BUAP y a su equipo (las doctoras Natalia, Linda, Fany, Ligia, Majo, Gaby y Jesica) por acogerme y brindarme su apoyo al permitirme trabajar en su clínica para la recolección de muestras dentales requeridas para dicho trabajo.

A la Doctora Lilia Cedillo, la Dra. Gladys Linares, la Dra. Sonia Silva, al Dr. Fernando Hernández y al Dr. Elías Pezzat por la revisión cuidadosa del manuscrito así como por la redacción del mismo.

A los Maestros Cesar Calderón y Abel Cruz Montalvo del Departamento de investigación en Ciencias Agrícolas (DICA) por enseñarme y ayudarme a manejar



los equipos requeridos como el microondas (MARS) XP1500Plus y el espectrofotómetro de absorción atómica por llama.

Agradezco a la Dra. Rosa Andrés por su guía y apoyo en mi formación académica además de ofrecerme sus consejos tanto para la realización de este proyecto así como personales pero principalmente por brindarme su amistad y confianza.

A Diana y Fernando por su apoyo en las salidas de campo y de laboratorio al igual que Pao Silva por su apoyo en el trabajo de laboratorio y su compañerismo a lo largo de la maestría, gracias a ustedes el trabajo fue más divertido.

A Bere, Ivone y Alma por su compañerismo y amistad a lo largo del posgrado, por hacer más agradables y divertidos estos años.

En general agradezco al personal del Posgrado en Ciencias Ambientales de la BUAP, así como al personal de los laboratorios del Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas (DICA) y al laboratorio de Microbiología Oral de la Facultad de Estomatología de la BUAP por brindarme las facilidades para la realización de este trabajo.



## DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mi mamá por su total apoyo, a mis abuelitos que siempre serán una fuente de inspiración y de perseverancia, a mis tíos, tías y a los ya no tan pequeños Liliputienses, por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo y confianza incondicionalmente.

A mis amigas y fuentes de inspiración, que siempre han estado a mi lado desde los comienzos de mis estudios a Bere, Erika, Fer y Marisol con quienes siempre paso muy buenos y divertidos momentos. A Daniel por brindarme su amistad y a Miguel por haberme insistido a entrar en el posgrado.

A Ernesto por ayudarme en la realización de este proyecto en el uso de herramientas geotecnológicas, pero principalmente por brindarme su apoyo, confianza y motivaciones para superarme pero sobre todo por darme su amor incondicional.



# CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>20</b>
METALES PESADOS EN PLANTAS .....	20
METALES PESADOS EN PERSONAS .....	24
INOCUIDAD ALIMENTICIA.....	26
DERECHO AMBIENTAL .....	29
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>34</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>36</b>
<b>ENFOQUE DE TRABAJO</b> .....	<b>36</b>
TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	37
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>37</b>
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>38</b>
ZONA DE ESTUDIO .....	38
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	40



MUESTREO .....	40
LABORATORIO .....	42
VARIABLES RESPUESTA.....	43
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>53</b>
<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>61</b>
RECOMENDACIONES .....	62
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>72</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS GRÁFICAS Y CUADROS .....</b>	<b>75</b>



## RESUMEN

En las últimas décadas el desarrollo desmesurado de industrias ha incrementado las emisiones y desechos de metales pesados incrementando las intoxicaciones por estos, teniendo como consecuencias problemas relacionados con el aprendizaje y el crecimiento (Lucho-Constantino *et al.* 2005; Morales, 2013; Díaz, 2014). De acuerdo con Lucho *et al.* (2005) la demanda de agua para usos agrícolas, industriales comerciales y domésticos es cada vez mayor por lo que las aguas residuales se están convirtiendo en una fuente de agua marginal preferida. Por tal motivo la contaminación por metales pesados es uno de los más serios problemas de contaminación ambiental y uno de los más difíciles de resolver (Morales, 2013). Sin embargo existe poca información que se encuentre relacionada con la bioacumulación de metales pesados en la cadena suelo-hortaliza-humano principalmente en el estado de Puebla. Por tal motivo este trabajo pretende aportar información detallada sobre los niveles de concentración de metales pesados en hortalizas tomando en cuenta tres factores esenciales, que son la adsorción, fitotoxicidad y el riesgo en la cadena trófica. Por lo que se realizó un estudio sobre las concentraciones de metales pesados de cromo (Cr), cobre (Cu), manganeso (Mn) plomo (Pb) y zinc (Zn) en hortalizas, principalmente partes comestibles, de las colonias Diez de Abril, Emilio Portes Gil y San Juan Portezuelo del municipio de Atlixco, para determinar cuál es el metal en mayor concentración en las hortalizas examinadas y cuál de las tres zonas es la que presenta una mayor concentración de metales pesados. Encontrando así una prevalencia de manganeso para la colonia Emilio Portes Gil, plomo para San Juan Portezuelo y zinc para Diez de Abril.

Para el caso de la personas se obtuvieron piezas dentales las cuales fueron examinadas y se realizó la prueba de Kruskal Wallis en donde se observan diferencias estadísticamente significativas entre todos los metales con excepción del cobalto con cromo y cobre con manganeso. El metal que se presenta en mayor cantidad es el zinc seguido del plomo. El factor de bioconcentración (FBC) muestra la dificultad para acumular los metales como el cobre y manganeso mientras que existe una mayor bioacumulación de zinc seguida de cromo y finalmente de plomo.

## INTRODUCCIÓN

Los metales son elementos químicos situados a la izquierda y centro de la tabla periódica, estos se clasifican en metales alcalinos, alcalinotérreos y de transición. En todos estos grupos se encuentran metales relevantes desde el punto de vista toxicológico (Ferrer, 2003). Por lo que un compuesto tóxico es aquel capaz de dañar un sistema biológico, interfiriendo su funcionamiento normal o provocando la muerte (Moreno 2003). Se considera metal pesado aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a  $5 \text{ g/cm}^3$  cuando está en forma elemental o cuyo número atómico es superior a 20, excluyendo los metales alcalinotérreos aunque encajen elementos esenciales para las plantas y para los canales (Miranda *et al.* 2008) sin embargo el término de metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas un ejemplo es el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl) y plomo (Pb) (Prieto *et al.* 2009).

Los metales en forma inorgánica son los componentes fundamentales de los minerales de la corteza terrestre los cuales se encuentran en forma de minerales, sales u otros compuestos los cuales son determinados por las características litológicas de los materiales parentales y de sus procesos de formación por lo que se cuentan entre los agentes químicos tóxicos de origen natural más antiguamente conocidos por el hombre dado que no pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que tienen funciones metabólicas específicas pues son componentes estructurales o catalizadores de los procesos

bioquímicos para los seres vivos (Ferrer, 2003; Miranda *et al.* 2008; Prieto *et al.* 2009; Ruiz y Armienta, 2012; Wan *et al.* 2014).

La toxicidad de los metales pesados no depende solamente de su concentración total, sino de su disponibilidad y reactividad con otros componentes del sistema. La disponibilidad en los suelos se relaciona estrechamente con el pH, el tipo de materia orgánica y con la temperatura del suelo (Poggi-Varaldo *et al.* 2004).

Tanto las fuentes naturales como antropogénicas contribuyen importantemente a la emisión de elementos metálicos. Estos metales se convierten en contaminantes si su distribución en el ambiente se altera mediante actividades antropogénicas como la extracción minera, refinamiento de productos mineros o por la liberación al ambiente de efluentes industriales y emisiones vehiculares, principalmente por la inadecuada disposición de residuos metálicos afectando las relaciones de las plantas y otros organismos, lo cual origina la toxicidad de los ecosistemas, afectando el suelo, agua superficial y subterránea y de ambientes acuáticos (INECC, 2012; Miranda *et al.* 2008; Prieto *et al.* 2009; Ruiz y Armienta, 2012).

Los metales pesados pueden incorporarse a un sistema de abastecimiento de agua por medio de residuos industriales que son vertidos sin previos tratamientos, depositándose en lagos, ríos y distintos sistemas acuíferos. La movilidad relativa de los elementos en el suelo es importante en su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo hacia las aguas subterráneas (Prieto *et al.* 2009).

Los lodos de depuradora se reutilizan como enmienda en suelos, sin embargo estos

lodos contienen concentraciones elevadas de metales pesados constituyendo un riesgo de contaminación para el sistema edáfico e incluso para el hombre si se movilizan a aguas subterráneas o se acumulan en los productos agrarios, pudiendo pasar a la cadena alimentaria (Poggi-Varaldo *et al.* 2004).

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. La bioacumulación es un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (Prieto *et al.* 2009).

En un pequeño grado se pueden incorporar a los organismo vivos por vía del alimento (cadena alimenticia) a través del agua (contaminación del agua potable) y el aire (altas concentraciones cerca de las fuentes de emisión o producto) como medios de traslocación y dependiendo de su movilidad en dichos medios (Prieto *et al.* 2009)

Los metales pesados se pueden incorporar a los sistemas de abastecimiento de agua por medio de residuos industriales que son vertidos sin previo tratamiento a los sistemas acuíferos (Prieto *et al.* 2009). La demanda de agua para usos agrícolas, industriales comerciales y domésticos es cada vez mayor por lo que las aguas residuales se están convirtiendo en una fuente de agua marginal preferida ya que los costos asociados son bajos en comparación a otros (Lucho *et al.* 2005). La mayor parte del agua de riego es agua residual cruda consiste en una mezcla de agua de alcantarillado municipal y una parte de los efluentes industriales,

conteniendo así varias trazas potencialmente tóxicos de sustancias orgánicas e inorgánicas como los metales pesados, afectando la productividad de los suelos, la salud animal y humana (Lucho-Constantino *et al.* 2005; Díaz, 2014).

Los metales pesados que se incorporan al suelo por vía del agua residual pueden participar en diversos procesos como incorporación al ciclo del agua, principalmente en la fase relacionada con el suelo y el agua subterránea, también pueden acumularse en el suelo con diversos grados de disponibilidad o en el tejido vegetal. En el suelo, su actividad depende de transformaciones físicas y químicas como solubilización, precipitación, adsorción y los cambios en su estado de oxidación, procesos que determinan la estabilidad de los metales en el suelo (Vázquez-Alarcón *et al.* 2005).

La presencia de metales pesados en el suelo tiene efectos negativos sobre las plantas, aunque también han desarrollado mecanismos de resistencia a estos (Truchado, 2014). Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal de las plantas y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo (Prieto *et al.* 2009)

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de estos en la cadena alimenticia. En las plantas el concepto de

bioacumulación se refiera a la agregación de contaminantes, algunos de ellos son más susceptibles a ser fitodisponibles que otros (Prieto *et al.* 2009).

La acumulación de los metales pesados en la planta depende del movimiento de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta, el paso de los metales por las membranas de las células corticales de la raíz, el transporte de los metales desde las células corticales al xilema desde donde la solución con metales se transporta de la raíz a los tallos y la posible movilización de los metales desde las hojas hacia los tejidos de almacenamiento que son usados comúnmente como alimento a través del floema, quedando así disponibles a los seres humanos y animales herbívoros (John y Levanthal 1995).

Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, translocar y acumular nutrientes, sin embargo algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos y acumulados debido a que la presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos esenciales requeridos. La fitotoxicidad de los metales pesados se manifiesta particularmente en los suelo ácidos ocasionando reducción en la capacitación de los nutrientes provocando desórdenes metabólicos, causando estrés oxidante, afectando la fotosíntesis, la fluorescencia de la clorofila, resistencia estomal, el crecimiento y la formación de raíces laterales y secundarias, clorosis, crecimiento débil (Miranda *et al.* 2008; Ruiz y Armienta, 2012; Truchado, 2014). Algunos vegetales acumulan los metales en la pared celular, evitando así la presencia en el interior celular, en otros casos los metales son absorbidos en pequeñas cantidades

aunque su concentración externa sea muy grande, además pueden existir sistemas activos de extrusión de metales, a menudo se encuentra una compartimentación, siendo las vacuolas el principal lugar de acumulación (Núñez *et al.* 2008).

Las plantas capaces de absorber y acumular metales por sobre lo establecido como normal para otras especies en los mismos suelos se llaman hiperacumuladoras y se encuentran en suelos ricos en metales por condiciones geoquímicas naturales o contaminación antropogénica. Estas plantas tienen poca biomasa debido a que requieren mayor energía para llevar a cabo los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos (Kabata-Pendias, 2000)

La capacidad de las plantas para bioacumular metales y otros contaminantes varía según la especie y el contaminante. Estas diferencias en la absorción de metales es atribuida a la capacidad de retención del metal por el suelo y la interacción planta-raíz-metal. Las plantas vasculares son ligeramente más tolerantes lo cual se puede atribuir a factores genéticos y fisiológicos (Prieto-Méndez *et al.* 2009).

Las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno. Unas se basan en la estrategia de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Otras lo acumulan en la parte aérea en una forma no tóxica para la planta. La exclusión es más característica de especies sensibles y tolerantes a los metales y la acumulación es más común de especies que aparecen siempre en suelos contaminados (Prieto-Méndez *et al.* 2009).

Las plantas hiperacumuladoras pueden superar en 100 o más veces los valores normales de metales acumulados siendo muy tolerantes para uno o más. La hiperacumulación ha evolucionado en más de 400 especies de plantas repartidas en 45 familias botánicas siendo la familia Brassicaceae una de las que cuenta con más géneros de este tipo (Prieto-Méndez *et al.* 2009).

Una teoría sobre la hiperacumulación es la protección de la planta contra el estrés biótico causado por patógenos y herbívoros lo cual requiere ciertas condiciones como que el metal sea más tóxico para el patógeno o herbívoro que para la planta, que el metal impida la virulencia del patógeno y que el metal incremente la resistencia de la planta frente al factor causante del estrés biótico (Prieto *et al.* 2009).

El riesgo de exposición a contaminantes se ha medido con base en el efecto tóxico y la exposición. Para los elementos potencialmente tóxicos las evaluaciones se han basado en su efecto fitotóxico y la reducción del crecimiento en plantas. Se diferencia la concentración normal de la concentración umbral tóxica, en función de la reducción del crecimiento de las plantas, sin embargo la información de este valor es ambigua dado que otros factores pueden influir en la respuesta de la planta, incluyendo su naturaleza o la mezcla de varios contaminantes. Se ha observado que la adición al suelo de metales en concentraciones menores que los límites permisibles ha reducido la biomasa microbiana, por lo que la susceptibilidad de las especies de microorganismos y de animales superiores puede ser mucho mayor que la de las plantas (Vázquez-Alarcón *et al.* 2005)

Los metales pesados suponen una preocupación importante en Salud Pública por su toxicidad aguda y crónica y por la amplia variedad de fuentes de exposición ya sea de forma específica en la actividad laboral, en contacto a través del agua, alimentos y el ambiente ya que existen tres vías de entrada en el humano que son la inhalatoria en forma de partículas (gas o vapor) en forma elemental o en combinaciones inorgánicas y orgánicas, la dérmica a través de la piel y la oral cuando se ingiere (Ferrer, 2003; Núñez *et al.* 2008; Zubero *et al.* 2008).

Las características y efectividad del transporte de membrana condicionan la expresión de la toxicidad al determinar su tiempo de permanencia junto con sus dianas. Estas características dependen de diversos factores como la hidro o liposolubilidad, volatilidad, Pm y la existencia de mecanismos específicos de transporte. En relación con la absorción y la distribución, los compuestos organometálicos se benefician de una mejor difusión por lo que se absorben bien por vía digestiva e incluso pueden absorberse por vía cutánea. La vida media de los compuestos metálicos en el organismo es muy variable pero tienden a ser prolongada debido a la afinidad y acumulación en el hueso por ejemplo el Pb y Cd tienen vida media de 20 años mientras que el As y Cr de días aunque duran más tiempo en lugares de eliminación como en pelo y uñas (Ferrer, 2003).

Las dianas de toxicidad de los metales son proteínas, principalmente con actividad enzimática, afectando diversos procesos bioquímicos, membranas celulares y orgánulos, siendo los efectos tóxicos de los metales por interacción entre el ion metálico libre y la diana. Los metales pesados pueden producir una patología aguda

desarrollada rápidamente tras una dosis alta o crónica por exposición a dosis baja a largo plazo, aunque la primera es poco frecuente, ya que son escasas las intoxicaciones suicidas u homicidas mientras que las intoxicaciones crónicas son de origen laboral o procedentes de fuentes alimentarias produciendo efectos a largo plazo como la disminución del cloro en niños o carcinogénesis (Ferrer, 2003).

En las últimas décadas se han incrementado las emisiones y desechos de metales pesados causando padecimientos severos y en ocasiones sin aparente sintomatología principalmente en la población infantil. Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, mercurio y cadmio son muy tóxicas y acumulables por los organismos que los absorben, estos al ser ingeridos por el hombre a través del agua y alimentos son causales de provocar ceguera, amnesia, raquitismo o la muerte. Una de las principales vías de acceso de metales pesados al organismo se da mediante el tracto gastrointestinal (Díaz, 2014).

Los metales que generan mayor preocupación por su exposición ambiental, vía alimentaria principalmente son el plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd) y el mercurio ya que el Cr y el Cd son considerados cancerígenos por la Agencia de Investigación sobre el Cáncer (IARC) de la OMS, mientras que el Pb y el Hg por su neurotoxicidad y el Cr además es un alergénico. Esta preocupación ha aumentado debido a la amplia presencia de Pb en diferentes grupos alimenticios principalmente en frutas, verduras, bebidas alcohólicas, carne y pescados, mientras que para el caso del Cd se produce a través de la dieta de alimentos ricos en fibras, vegetales y frutas (Zubero *et al.* 2008).

Actualmente en México existen convenios internacionales de los que se han derivado compromisos y oportunidades para el control de la contaminación por metales pesados, algunos son el Convenio de Basilea 1989, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) 1990, Grupo de Trabajo para la Selección de Sustancias Químicas de la Comisión de la Cooperación de América del Norte y la Declaración para la Reducción de Riesgos por Plomo 1996 (INECC, 2012).

Desde el punto de vista toxicológico, los metales suelen presentar una acusada multiplicidad de efectos tóxicos. La especie química concreta del metal influye poderosamente en sus efectos tóxicos, así como en las variables toxicocinéticas de absorción, distribución y excreción (Moreno 2003).

La trascendencia toxicológica de los metales es enorme, ya se toma en cuenta su ubicuidad, la extensión de sus usos industriales, domésticos y su persistencia en el medio ambiente. Esta persistencia se tiene que valorar de acuerdo a las características del compuesto químico del que el metal forma parte, lo que determina su movilidad ambiental y su biodisponibilidad (Moreno 2003).

Cadmio (Cd). Es una impureza habitual en las menas de zinc. Sus aplicaciones más importantes son la fabricación de baterías, catalizadores y recubrimientos electrolíticos, pigmento amarillo en forma de sulfuro, barras de control de los reactores nucleares. Las emisiones de cadmio a la atmósfera es a partir de procesos

de combustión produciendo partículas de pequeño diámetro, inferior a 10  $\mu\text{m}$  en el intervalo de partículas respirables, sujetas a transporte de larga distancia, mientras que las partículas de emisiones desde fundiciones son de mayor tamaño y suelen depositarse a cortas distancias del punto de emisión. La absorción es más eficaz por vía inhalatoria y favorecida por deficiencias dietéticas en calcio y hierro y dieta baja en proteínas. El cadmio se concentra preferiblemente en riñones e hígado (50-70%) teniendo una vida media en el cuerpo humano de 30 años. La excreción se da principalmente por la orina. Los efectos agudos si neumonitis, edema pulmonar e incluso la muerte mientras que los efectos crónicos destacan enfermedades obstructivas pulmonares crónicas, degeneración de los túbulos renales, hipertensión y alteraciones óseas, en los efectos renales es la degeneración de las células de los túbulos, cambios en los glomérulos, pérdida de funcionalidad de los riñones, reacciones inflamatorias y fibrosis renal (Moreno 2003). Es uno de los metales traza del suelo más solubles y peligrosos debido a su alta movilidad y que en pequeñas concentraciones tiene efectos nocivos en las plantas por lo cual interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales como el calcio, magnesio, fósforo y potasio además de agua provocando desequilibrios nutricionales e hídricos. Uno de los síntomas principales es a clorosis producida por una deficiencia de hierro, fosfatos o por la reducción del transporte de magnesio. Existe una reducción de la actividad ATPasa de la membrana plasmática, alteraciones en la funcionalidad de la membrana plasmática y desequilibrios en el metabolismo del cloroplasto, inhibiendo la síntesis de clorofila y reduciendo la actividad de enzimas implicadas en la fijación de  $\text{CO}_2$  (Das *et al.* 1998, Rodríguez-Serrano *et al.* 2008)

Cobalto (Co). Se encuentra asociado al níquel. Las sales de cobalto se absorben bien en el intestino y la mayor parte de excreción se produce por vía urinaria y una pequeña parte a través de la excreción biliar y el sudor y leche materna. La mayor parte se almacena en los músculos y la concentración más elevada se da en el tejido adiposo. La ingestión crónica se relaciona con el desarrollo de bocio, y la aparición de miocardiopatía congestiva. Se encuentra clasificado en el grupo 2B como posiblemente cancerígeno por la IARC (1991) (Moreno 2003). Para el caso de las plantas, induce la reducción de la absorción de hierro y su distribución en los demás órganos produciendo una clorosis inducida, decrece la actividad catalasa y se incrementa la concentración de azúcar no reducida (Pérez, 1997).

Cobre (Cu). Se encuentra en todos los seres vivos, ya que es un componente esencial de múltiples enzimas. Los principales usos son en la fabricación de equipamiento eléctrico, material de construcción, maquinaria industrial y aleaciones. Presenta poca bioconcentración en organismos acuáticos y no se está sujeto a biomagnificarse en la cadena trófica. Los órganos donde se almacena son el hígado y la médula ósea y la excreción se da por vía biliar. La ingestión aguda por ingestión de sales solubles de cobre puede producir necrosis hepática provocando la muerte mientras que la exposición crónica está asociado a lesiones hepáticas en niños. No existen evidencias de efecto cancerígeno (Moreno 2003). El cobre en las plantas a pesar de ser un metal esencial, cuando se encuentra en altas concentraciones suele ser tóxico, en suelos con bajo contenido de arcilla y materia orgánica se pueden presentar casos de toxicidad, produciendo un amarillamiento en las hojas jóvenes,

inducir la deficiencia de hierro, zinc y molibdeno, cuando existe una alta acumulación en las raíces se producen daños en su membrana celular, el crecimiento de las raíces es rápidamente inhibido, entre otras provocado por modificaciones de la actividad enzimática. El cobre tiene una movilidad relativamente baja permaneciendo en los tejidos de las raíces y hojas hasta su senescencia, los órganos jóvenes generalmente son los primeros en desarrollar síntomas de deficiencia (Pearsson *et al.* 1996).

Cromo (Cr). Tiene múltiples aplicaciones como la tenería y la industria de tintes y pigmentos así como en la industria del acero y centrales térmicas siendo fuentes medioambientales. El cromo hexavalente provoca irritación de los tejidos expuestos provocando necrosis. La absorción es más rápida en el intestino que en el estómago distribuyéndose hacia los pulmones con una concentración 2-3 veces mayor que el resto de los tejidos excretándose principalmente a través de la orina y biliar, una pequeña parte se excreta mediante la leche, el sudor, pelo y uñas. Los efectos agudos son lesiones renales en glomérulos y túbulos. El cromo VI se encuentra clasificado como cancerígeno en el grupo 1 de la IARC (Moreno 2003). No existe evidencia que el cromo sea un elemento esencial para el metabolismo de las plantas, sin embargo, es un metal que funciona con distintos estados de oxidación, bivalente, trivalente y hexavalente siendo este último de gran importancia por su alta toxicidad. Una elevada concentración de cromo en las plantas puede provocar reducción en el crecimiento y productividad de las plantas relacionado con alteraciones nutricionales, tanto de absorción como de translocación de diversos elementos esenciales (Giardina *et al.* 2012).

Níquel (Ni). Se presenta en forma de sulfuro, óxido y silicatos, tiene numerosas aplicaciones como en las turbinas de gas y cohetes espaciales, en el recubrimiento electrolítico de metales, como catalizador y en aleaciones. No se tiene registro de que el níquel tienda a biomagnificarse en la cadena trófica tanto en ecosistemas acuáticos como terrestres. La absorción gastrointestinal es baja, sin embargo, tiende a acumularse en los riñones y pulmones, la excreción se da mediante la orina o por heces, el tiempo de vida media es corto entre 20-34 horas en plasma y 17-39 horas en orina. Los efectos agudos son la irritación intestinal, convulsiones y asfixia, cuando es por vía respiratoria provoca irritación pulmonar, asma, neumoconiosis, fibrosis pulmonar y edema pulmonar. Se encuentra clasificado dentro del grupo I de agentes cancerígenos de acuerdo con la IARC. (Moreno 2003).

Plomo (Pb). El 35% del plomo se utiliza para la fabricación de baterías para autos y carretillas de carga industrial, sin embargo, las principales fuentes de exposición ambiental son la ingesta de conservas en latas, ingestión de agua con plomo y la inhalación de humo y partículas generadas en combustiones industriales o el tráfico. Tanto plantas como animales pueden bioconcentrar el plomo, sin embargo, no se ha observado su biomagnificación en la cadena trófica. Los niños absorben más eficientemente que los adultos, y el plomo contenido en agua es mayor que la que se encuentra presente en alimentos. La máxima concentración se encuentra en los huesos siendo su vida media en estos superior a los 20 años, el plomo se intercambia fácilmente con la sangre, siendo así los huesos una posible fuente de plomo para todo el organismo. A demás de los huesos se deposita también en el

hígado, riñones y en el sistema nervioso central. La excreción se da a través de la orina, el sudor y en la leche materna. La intoxicación aguda es poco frecuente sin embargo los síntomas son sequedad de boca, sed, gusto metálico, náusea, dolor abdominal y vómito. En el sistema nervioso central consiste en parestesia, dolor, y debilidad muscular. La intoxicación crónica pueden ser síntomas gastrointestinales como cuadro específico de anorexia, dolor de cabeza y estreñimiento, gusto metálico y sequedad en la boca, espasmos intestinales y fuertes dolores abdominales. Los síntomas neuromusculares son debilidad muscular y cansancio seguida de una parálisis afectando los músculos del antebrazo, muñeca y dedos de la mano así como los pies. En el sistema nervioso central es más grave en los niños que en los adultos, los primeros síntomas son letargo, vómito, irritabilidad, pérdida de apetito y mareos desembocando una ataxia y reducción de la conciencia, produciendo un coma y la muerte, la tasa de mortalidad es elevada de hasta un 25%, mientras que los que se recuperan presentan retraso mental, convulsiones y atrofia óptica. En los efectos renales se encuentra la fibrosis intersticial asociada a la azotemia renal asintomática y reducción de la velocidad de filtración glomerular (Moreno 2003). En las plantas el plomo se almacena principalmente en las raíces, siendo mínima su presencia en las estructuras reproductivas. En general las plantas dicotiledóneas acumulan significativamente cantidades de plomo en raíces en comparación con las monocotiledóneas. La fitotoxicidad por plomo ocasiona procesos fisiológicos como la actividad enzimática, nutrición mineral, potencial hídrico, estatus hormonal y la estructura de la membrana, en cuanto a los síntomas visuales es la inhibición rápida del crecimiento radicular, reducción del área foliar, clorosis y aparición de manchas pardo-rojizas fenólicas en tallos, peciolo y hojas y

necrosis foliar, también se inhibe la germinación de las semillas y retarda el crecimiento de las plantas (García, 2006)

Zinc (Zn). Es un nutriente esencial, integrante de más de 200 enzimas, esencial para el metabolismo de la vitamina A e influye en el metabolismo del calcio. Presenta importantes aplicaciones industriales como la fabricación de acero galvanizado, ánodos de sacrificio, pilas y baterías eléctricas y múltiples aleaciones. No se ha encontrado bioconcentración en organismos terrestres pero si en acuáticos. El zinc se absorbe por vía gastrointestinal y la principal vía de excreción es la biliar seguida de la orina y en menor grado el sudor. La mayor concentración se da en el sistema reproductor masculino específicamente en la próstata, posteriormente en el hígado, riñón, páncreas y la tiroides, siendo su vida media de 162-500 días. La exposición aguda por ingestión provoca molestias gastrointestinales y diarrea. Los vapores de óxido de zinc desnaturalizan las proteínas de las células branquiales y alveolares formando complejos que pasan a la sangre provocando fiebres altas, escalofríos, fatiga, dolores musculares y torácicos, a veces confusión mental, alucinaciones y convulsiones. Se encuentra en el grupo D de la USEPA como no clasificable respecto a su actividad cancerígena (Moreno 2003). Es un elemento esencial para las plantas ya que participa en procesos metabólicos y es un componente de varias enzimas. Las raíces contienen mucho más zinc que la parte aérea y en condiciones de exceso se puede acumular en la canopia. Los síntomas son hojas de menor tamaño, clorosis en hojas nuevas, hojas con puntas necrosadas, retraso en el crecimiento de la planta y reducción del sistema radicular, además de competir con

el fósforo, hierro manganeso y cobre provocando deficiencias de estos en el tejido  
(Kabata-Pendias A. 2000).

## ANTECEDENTES

**Metales pesados en plantas.** Se han realizado a nivel mundial varios estudios de contaminación en plantas tal es el caso de Peles *et al.* (1998) realizan un estudio de concentración de metales pesados en plantas en suelos tratados con lodos en Butler Country, Ohio. Las plantas fueron separadas en hojas, raíces y semillas y analizaron cuatro metales como es el cadmio, cobre, plomo y zinc. En las plantas examinadas se encontraron niveles bajos de los cuatro metales analizados por lo que consideran un sitio ecológicamente seguro con depósitos de lodos, sin embargo, mencionan que existe un potencial de bioacumulación de metales por las plantas y por los animales en todos los niveles tróficos de estos sitios.

Poggi-Varaldo *et al.* (2004) quienes determinaron la absorción y acumulación de metales pesados en tres especies que son, veza (*Vicia sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*) y girasol (*Helianthus annuus*) en suelos enmendados con lodos de depuradora en condiciones de invernadero en Alcalá, España en el cual evalúan la capacidad de absorción y acumulación de plomo, cobre, níquel, zinc y cromo en parte aérea (tallos y hojas) y raíces en donde las cantidades de metales acumuladas en la planta fueron mayores en la cebada que en la veza y girasol en el caso de cobre, níquel y cromo.

Vázquez-Alarcón *et al.* (2005) realizan una aproximación de los valores de referencia de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelo para resolver un modelo que relaciona el límite permisible de acumulación con variables como dosis

de ingestión diaria de metales, tipo de alimentos que se consumen, transferencia de metales del suelo a los cultivos en alimentos producidos en áreas no contaminadas y contaminadas con metales pesados en el área que cubre el Distrito de Riego 03 en Tula, Hidalgo.

Reyes *et al.* (2006) realizaron un estudio de metales pesados en plantas provenientes de áreas afectadas por la minería aurífera en la reserva forestal Imataca, Venezuela, para determinar la contaminación por metales pesados con el fin de evaluar su potencial para labores de restauración, presentando valores de mercurio, cadmio y plomo encontrados en hojas de plantas extraídas de áreas de la minería aurífera abandonadas en diferentes estadios sucesionales del bosque tropical que ocupa la reserva. La concentración de metales pesados la determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, en el caso del mercurio con la técnica de vapor frío y en el caso de plomo y cadmio mediante atomización a la llama. Los resultados demostraron que las mejores especies para la reforestación para iniciar un proceso sucesional serían las pertenecientes a las familias Cyperaceae y Gramineae las cuales son fáciles de localizar y cuentan un manejo práctico.

Miranda *et al.* (2008) realizan un estudio sobre la acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas que son regadas con agua del río Bogotá a través del distrito de riego La Ramada, el cual su uso ha generado contaminación en las especies causando deterioro de la calidad de los productos, los cuales son consumidos en su mayoría frescos. Los cultivos analizados fueron la lechuga, apio, repollo y brócoli, en donde se analizan los niveles de metales

pesados como el plomo, cadmio, arsénico y mercurio, tanto en el agua, como en el suelo y en la parte comestible de las plantas. Para la determinación de los metales pesados se utilizó lo recomendado por la Association of Official Analytical Chemists usando la espectrofotometría de absorción atómica, para el cadmio el método 973, en el caso del plomo se utilizó absorción de llama análisis tipo III, para el arsénico la colorimetría, dietilditiocarbamato análisis tipo II y para el mercurio espectrofotometría de absorción atómica marca Varian Spectra AA 220 equipado con generador de hidruros. En los resultados se encontró que las concentraciones de cadmio en el agua de riego se encontraron cerca de los límites de la norma de la Unión Europea. En cuanto a las hortalizas, los niveles de concentración de plomo superaron la concentración máxima permitida en alimentos para lactantes y niños de corta edad establecida por la Unión europea, mientras que la hortaliza que presentó una mayor acumulación de metales pesados fue la lechuga. Los contenidos de metales pesados en el tejido foliar están ligados a los fisiológicos en los que se realizaron a cabo los muestreos debido a las diversas rutas metabólicas, cabe mencionar que no se encontró síntomas de deficiencia nutricional o de toxicidad visibles en las especies analizadas.

Núñez *et al.* (2008) realizan una determinación de metales pesados como son el aluminio, plomo, cadmio y níquel en el estado de San Luis Potosí en rábano, brócoli y calabacín, estos dos provenientes de los estados de Guanajuato y Puebla. Los resultados muestran que para plomo, cadmio y níquel las concentraciones se encuentran por debajo de los niveles permisibles de acuerdo a la unión Europea y la Agencia de Protección del medio Ambiente (EPA), el caso contrario ocurre para

aluminio el cual presenta una concentración significativa en rábano y brócoli, rebasando los límites establecidos por la EPA para aluminio en agua potable.

Prieto *et al.* (2009) hacen una revisión acerca de la contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados que provienen de suelos y agua, los cuales por su carácter no biodegradable, la toxicidad en los cultivos y su biodisponibilidad resultan peligrosas para los seres vivo, principalmente para las personas que las consumen, dividiendo a los contaminantes en dos grupos de acuerdo a los efectos que pudiesen causar, ya sea agudos o crónicos. Por lo que sugiere un desarrollo y crecimiento de una agricultura sostenible.

Ruiz y Armienta (2012) evalúan la acumulación de arsénico y metales pesados en maíz que se cultiva en suelos cercanos a jales o residuos mineros en Taxco, Guerrero, ubicando cuatro, empezando desde el más cercano a la zona, encontrando zinc y plomo como los elementos de mayor concentración en el sustrato y en la planta en raíz y parte aérea, mientras que el arsénico presentó concentraciones altas en todas las unidades experimentales. Sin embargo, en la planta la mayor concentración se encontró en la raíz que en la parte aérea.

Wan *et al.* (2014) realizan un estudio de bioacumulación y movilidad de metales pesados en plantas de arroz en nueve regiones en el sureste de China encontrando siete elementos como son el cobre, zinc, arsénico, molibdeno, plata, cadmio y plomo. El zinc, arsénico, cadmio y plomo estuvieron relacionados con la concentración de estos en el suelo. De acuerdo con la bioacumulación los metales

con mayor concentración fueron el molibdeno, seguido del zinc, cadmio plomo y arsénico, siendo el molibdeno y zinc los que mostraron valores significativamente altos de concentración.

**Metales pesados en personas.** Nowak y Kozlowski (1998) realizaron estudios de niveles de metales pesados en cabello y dientes, así como en el suelo y aire en Zwardon, Polonia donde encontraron correlaciones esenciales simultáneamente.

Tvinnereim *et al.* (2000) realizaron un estudio en dientes primarios extraídos durante 1990 y 1994 en 19 ciudades de Noruega en donde encontraron que existe una mayor concentración de metales pesados como el plomo, mercurio y zinc en dientes con caries que sin caries, al igual que los dientes con raíces presentaban mayor concentración de plomo y zinc que los dientes sin raíces.

Alomary *et al.* (2006) hicieron en cuatro lugares de Jordania un estudio donde indican que existe una clara relación entre las concentraciones de plomo y cadmio de acuerdo a la presencia de amalgamas, si fuman y el lugar donde viven obteniendo resultados significativos para estos, mientras que la edad el sexo y el uso de pasta de dientes no mostraron alguna relevancia, sin embargo se observa un incremento rápido de metales pesados entre las edades de 51 a 60 años.

Zubero *et al.* (2008) realizan un análisis de metales pesados como el plomo, cadmio, cromo y mercurio en una población adulta próxima a una planta de tratamiento de residuos urbanos de Bizkaia, en el cual tratan de analizar los niveles en sangre y

orina analizando dos áreas con alta densidad de tráfico del área metropolitana de Bilbao, y otra en una zona urbana de Bilbao con tráfico denso y alejada del área de influencia de la planta de tratamiento, y una cuarta área alejada de la planta , pero con baja densidad de tráfico. En cada zona se escogieron 320 participantes, es decir, 80 personas en cada zona, en un rango de edad de 20 a 44 años y otra de 45 a 69 años, a los cuales se les extrajo una muestra de sangre venosa para determinar plomo y otra de orina para determinar cromo, cadmio mercurio urinarios. Como prueba estadística se utilizó una chi cuadrada además de una t de student y ANOVA para comparar las medias y las variables con dos o más categorías. Se observó que no existían diferencias entre las zonas, sin embargo el análisis unifactorial mostró que los niveles de plomo se incrementaban con la edad y se asociaba con el consumo de productos locales de la huerta y el trabajo metalúrgico. En el caso del cadmio, este incrementa conforme a la edad además mencionan que en las clases sociales altas se encuentran los niveles más altos de concentración, así también como en mujeres y personas que fuman. En el caso del cromo, su concentración era más alta en las zonas alejadas a las plantas de tratamiento y en las clases sociales altas y por último el mercurio fue más elevado en mujeres que en hombres.

Malara *et al.* (2016) realizan una investigación de metales pesados y esenciales en dientes de personas que se encuentran expuestas a metales pesados en el ambiente encontrando concentraciones significantes de cadmio y plomo en las terceras molares y huesos circundantes a este en las personas que vivían cerca en

lugares con contaminación, sin embargo, se recomienda que se haga un estudio más detallado para excluir otros factores como la dieta, ocupación entre otros.

Asaduzzaman *et al.* (2017) mencionan que existe una relación con la alta concentración de metales pesados en la dentina de los dientes con la contaminación de emisiones de la industria y la urbanización, siendo la dentina un bioindicador de contaminación ambiental. Además observaron que existe un incremento en la concentración de metales pesados conforme aumenta la edad de igual forma se muestra que la dentina de las mujeres presenta una mayor concentración que la de los hombres y que existe una diferencia de metales respecto al tipo de diente.

Un estudio de metales pesados en el Estado de Puebla en personas es el de Díaz (2014) en el cual se determinó el nivel de plomo en sangre de humanos y la identificación de *Streptococcus mutans* como un bioindicador, sometiéndola a diferentes concentraciones de plomo para establecer una asociación entre la incidencia de caries dental y el nivel de plomo en la sangre, demostrando que éste microorganismo posee la capacidad de adaptación a condiciones de contaminación constante, además de establecer factores sociodemográficos como fueron el lugar de residencia, nivel socioeconómico y la alimentación.

**Inocuidad alimenticia.** De acuerdo con la Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria Mundial en la cumbre mundial sobre la alimentación (1996) mencionan que la pobreza es una causa importante de la inseguridad alimentaria y el progreso sostenible en su erradicación es fundamental para mejorar el acceso a los

alimentos. El terrorismo los conflictos, la corrupción y la degradación del medio ambiente contribuye de igual manera a la inseguridad alimentaria, por lo cual se tiene que conseguir una mayor producción de alimentos básicos como mínimo dentro del marco de la ordenación sostenible de los recursos naturales principalmente en los países industrializados y la pronta estabilización de la población mundial. Además de crear una estabilidad social para evitar la migración del campo a las ciudades, el cual es un problema al que se enfrentan varios países. En cuanto a la seguridad alimentaria urbana (2002) la cual hace hincapié que más de la mitad de la población mundial en el 2005 viviría en las ciudades, por lo cual proporcionar alimentos inocuos y accesibles sería una tarea grande, el problema se agrava en las ciudades del mundo en desarrollo, donde los índices de pobreza urbana a menudo rebasan el 50%. Y el problema es todavía más crítico en lugares donde la infraestructura y los servicios de transporte, almacenaje, mercados, mataderos ya se encuentran saturados, lo cual ocurre principalmente en los países en desarrollo. La producción urbana de alimentos entraña muchos riesgos, sobre todo de contaminación, por ejemplo en México, una zona agrícola urbana es regada con aguas residuales de la población cercana, sin embargo las autoridades no pueden hacer nada porque carecían de los medios económicos y técnicos necesarios. Por lo cual la FAO trata de ayudar a incrementar la seguridad alimentaria principalmente en las zonas rurales, al mejorar los sistemas de producción y comercialización, determinando a los grupos vulnerables previniendo los niveles de producción y creando sistemas de alerta para evaluar los déficits de alimentos.

Conforme a la OMS (2015) el acceso a alimentos inocuos y nutritivos en cantidad suficiente es fundamental para mantener la vida y fomentar la buena salud ya que los alimentos insalubres que contienen bacterias, virus, parásitos o sustancias químicas nocivas causan más de 200 enfermedades, que van desde la diarrea hasta el cáncer afectando a millones de personas al año, incluidos muchos niños. La inocuidad de los alimentos, la nutrición y la seguridad alimentaria están inextricablemente relacionadas. Los alimentos insalubres generan un círculo vicioso de enfermedad y malnutrición, que afecta especialmente a los lactantes, los niños pequeños, los ancianos y los enfermos. Sin embargo, al ejercer una presión excesiva en los sistemas de atención de la salud, las enfermedades transmitidas por los alimentos obstaculizan el desarrollo económico y social, y perjudican a las economías nacionales, al turismo y al comercio. En la actualidad, las cadenas de suministro de alimentos atraviesan numerosas fronteras nacionales por lo que la buena colaboración entre los gobiernos, los productores y los consumidores contribuye a garantizar la inocuidad de los alimentos. Además ante el crecimiento de la población mundial, la intensificación e industrialización de la agricultura y la producción ganadera para satisfacer la creciente demanda de alimentos plantean a la vez oportunidades y dificultades para la inocuidad de los alimentos, por lo que se prevé que el cambio climático también incidirá en la inocuidad de los alimentos, ya que los cambios de temperatura pueden modificar los riesgos que amenazan la inocuidad de los alimentos relacionados con la producción, almacenamiento y distribución de alimentos. La contaminación de los alimentos puede producirse en cualquiera de las etapas del proceso de fabricación o de distribución, aunque la responsabilidad recae principalmente en el productor. Así que estas dificultades

suponen una mayor responsabilidad para los productores y distribuidores de alimentos en lo que atañe a la inocuidad de los alimentos. Los incidentes locales pueden transformarse rápidamente en emergencias internacionales debido a la rapidez y el alcance de la distribución de los productos. En los últimos diez años se han registrado brotes de enfermedades graves transmitidas por los alimentos en todos los continentes, a menudo amplificadas por la globalización del comercio.

**Derecho ambiental.** Se encuentra el Convenio de Ginebra de 1979 sobre contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia la cual es la liberación a la atmósfera de sustancias o energía que tengan en otro país efectos perjudiciales para la salud, el medio ambiente o los bienes materiales, sin que sea posible distinguir las fuentes individuales y colectivas de dicha liberación. Existe una cooperación intergubernamental la cual se refiere a la elaboración de políticas adecuadas, el intercambio de información, la realización de actividades de investigación y la aplicación y desarrollo de un mecanismo de vigilancia, lo cual ha llevado a que el Convenio se complemente con ocho protocolos específicos, en el cual en este caso nos interesa el relacionado al ámbito de los metales pesados, en donde el protocolo fue firmado en 1998 y entró en vigor en 2003. Aunque no es específico los metales pesados en hortalizas, sino más bien en la atmósfera, cabe recordar que los metales pesados tienden a precipitarse y depositarse en el agua y suelo y ser absorbidos por medio de las raíces o cuando se encuentran dispersos en el ambiente suelen ser absorbidos mediante los tallos y principalmente por las hojas.

En casos más específicos de metales pesados en alimentos se cuenta con el Codex Alimentarius, que es un organismo de las Naciones Unidas responsable de regular los alimentos, el cual ha acordado nuevas normas para proteger la salud de los consumidores en todo el mundo, entre ellas las normas referentes a las frutas y hortalizas, pescado y productos pesqueros y piensos.

La Comisión del Codex Alimentarius, gestionada conjuntamente por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), establece normas internacionales de inocuidad y calidad de los alimentos a fin de fomentar la producción de alimentos más sanos y nutritivos para los consumidores de todo el mundo.

Los principios para establecer los niveles máximos en los alimentos son solamente para aquellos alimentos en que el contaminante pueda hallarse en cantidades tales que puedan resultar importantes para el computo de la exposición total del consumidor, tomando en consideración a política del Comité del Codex sobre Contaminantes de los Alimentos para la evaluación de la exposición a los contaminantes y las toxinas en los alimentos.

Igualmente a fin de garantizar los niveles elevados de salud pública, la Unión Europea (UE) establece una ley el contenido máximo de determinados contaminantes en los alimentos, los cuales no han sido añadidos de forma intencionada, sino que han llegado durante la producción, envasado transporte etc. Esta ley entró en vigor a partir del 9 de enero de 2007. Esta ley establece los

contenidos máximos de determinados contaminantes en los alimentos. Dentro del ámbito de aplicación se encuentran metales pesados como el plomo, cadmio, mercurio y estaño inorgánico. Menciona que no se pueden vender alimentos con contenidos de contaminantes superiores a los especificados en el anexo de la Ley. Estos límites abarcan la parte comestible de los alimentos y también se aplican a los alimentos compuestos o transformados, desecados o diluidos. El reglamento establece, además, los contenidos máximos más bajos de contaminantes que sean razonablemente posibles mediante prácticas correctas de fabricación y buenas prácticas agrícolas.

Dado que la población de los países de la Unión Europea está sometida a una exposición alta a la ingesta semanal tolerable de cadmio determinada por la Comisión Técnica Científica de Contaminantes de la Cadena Alimentaria (CONTAM) de la EFSA (Autoridad europea de Seguridad Alimentaria) en enero de 2009. Por lo que ha publicado un nuevo Reglamento de la Comisión, del 12 de mayo de 2014, por el que se modifica el Reglamento de la Comisión de 2006 en el que modifican los niveles máximos de control de cadmio en algunos productos alimenticios, añade nuevos productos alimenticios a la lista de control, da un plazo hasta 2018 a los Estados miembros para que impulsen políticas de mitigación de la presencia de cadmio en explotaciones agrícolas e industrias alimentarias y se emplaza a diciembre de 2016 para presentar un nuevo informe sobre los progresos realizados en la aplicación de las recomendaciones.

Para el caso de México se cuenta con la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, bienes y servicios. Métodos de prueba para la determinación de cadmio arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. Esta norma es de observancia en el territorio nacional para las personas físicas o morales que requieran efectuar este método en productos nacionales o de importación, para fines oficiales.

En la Ley General de la Salud en el Título Séptimo Promoción de la Salud, Capítulo I, Disposiciones Comunes en el Artículo 110 menciona que la promoción de la salud tiene por objeto crear, conservar y mejorar las condiciones deseables de salud para toda la población y propiciar en el individuo las actitudes, valores y conductas adecuadas para motivar su participación en beneficio de la salud individual y colectiva. Dentro del Artículo 111. La promoción de la salud comprende el control de los efectos nocivos del ambiente en la salud por lo que en el Capítulo IV Efectos del Ambiente en la Salud en el Artículo 116. Las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán las medidas y realizarán las actividades a que se refiere esta Ley, tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente. El Art. 118 corresponde a la Secretaría de Salud en donde debe determinar los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente; emitir las NOMs a que se deberá sujetarse el tratamiento del agua para uso y consumo humano; establecer criterios sanitarios para la fijación de las condiciones

particulares de descarga, el tratamiento y uso de aguas residuales o en su caso, para la elaboración de NOMs ecológicas en la materia. Art. 119 corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas, en sus respectivos ámbitos de competencia como desarrollar investigación permanente y sistemática de los riesgos y daños que para la salud de la población origine la contaminación del ambiente; vigilar y certificar la calidad del agua para uso y consumo humano. Finalmente el Artículo 122 en donde queda prohibida la descarga de aguas residuales sin el tratamiento para satisfacer los criterios sanitarios emitidos de acuerdo con la fracción III del artículo 118 así como de residuos peligrosos que conlleven riesgos para la salud pública, a cuerpos de agua que se destinan para uso o consumo humano.

## JUSTIFICACIÓN

En las últimas dos décadas el desarrollo desmesurado de industrias ha incrementado las emisiones y desechos de metales pesados aumentando las intoxicaciones por estos teniendo como consecuencias problemas relacionados con el aprendizaje y el crecimiento (Lucho-Constantino *et al.* 2003; Morales 2013; Díaz 2014).

De acuerdo con Lucho *et al.* (2005) la demanda de agua para usos agrícolas, industriales comerciales y domésticos es cada vez mayor por lo que las aguas residuales se están convirtiendo en una fuente de agua marginal preferida ya que los costos asociados son bajos en comparación a otros. Mientras que en países desarrollados la reutilización de aguas residuales se utiliza para el riego agrícola y en países en desarrollo dependen de crudo de aguas residuales para el riego agrícola.

La mayor parte del agua de riego es agua residual cruda la cual consiste en una mezcla de agua de alcantarillado municipal y una parte de los efluentes industriales, conteniendo así varias trazas potencialmente tóxicas de sustancias orgánicas e inorgánicas como los metales pesados, afectando la productividad de los suelos, la salud animal y humana (Lucho-Constantino *et al.* 2005, Morales, 2013). Por tal motivo la contaminación por metales pesados es uno de los más serios problemas de contaminación ambiental y uno de los más difíciles de resolver, aunque alguno

de ellos como el Fe, Zn, Cu son esenciales en pequeñas cantidades para el ser humano otros son considerados tóxicos como el As, Ni, Pb (Morales, 2013).

El uso de residuos y aguas residuales en la agricultura no se ha analizado detalladamente en la legislación ambiental mexicana. Ya que cuando se trata de diagnosticar el grado de acumulación de los metales en suelos mexicanos se utilizan índices establecidos para otros países además si se quiere recomendar o regular el uso de residuos para mantener un bajo riesgo de exposición de los humanos a contaminantes presentes en productos agrícolas el problema es la ausencia de límites permisibles de concentración en suelos y tejidos vegetales (Vázquez-Alarcón *et al.* 2005).

Además existe poca información que se encuentre relacionada con la bioacumulación de metales pesados en la cadena suelo-hortaliza-humano principalmente en el estado de Puebla. Por tal motivo este trabajo pretende aportar información detallada sobre los niveles de concentración de metales pesados en plantas como en seres humanos tomando en cuenta factores esenciales, que son la fitotoxicidad y el riesgo en la cadena trófica. También considerando que este problema engloba los factores ambientales, sociales y económicos de la comunidad.

## OBJETIVOS

### General

Realizar un estudio sobre las concentraciones de metales pesados de cadmio (Cd), cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) en las partes comestibles de hortalizas de las colonias Diez de Abril, Emilio Portes Gil y San Juan Portezuelo del municipio de Atlixco. Así como evaluar de igual manera la concentración de estos metales pesados en personas que residen en la ciudad de Puebla.

### Particulares

- a) Determinar cuál es el metal en mayor concentración en las hortalizas examinadas así como en las personas.
- b) Evaluar si existe una relación o similitud de los metales pesados encontrados en las hortalizas y en el maíz con los encontrados en las personas (dientes).
- c) Evaluar cuál de las tres zonas es la que presenta una mayor concentración de metales pesados en las hortalizas.

## ENFOQUE DE TRABAJO

Este trabajo al tratarse de un sistema complejo, ya que toma en cuenta el ambiente, al objeto de estudio, las variables respuesta y los efectos en las personas se realizará con un enfoque holístico ya que se analizarán todas las partes del sistema, con un enfoque empirista inductivo y se analizarán y explicarán las

interdependencias, es decir las variables y realizar inferencias probabilísticas, además que se van a realizar mediciones como la concentración de metales pesados tanto en planta como en personas, se realizarán además técnicas de laboratorio en condiciones controladas.

**Tipo de investigación.** El tipo de investigación es en un principio exploratoria, ya que no se cuenta con información relacionada con la concentración de metales pesados y el consumo de las personas, sin embargo también es una investigación de tipo correlacional ya que se pretende medir el grado de relación y la manera cómo interactúan las variables, además que no se pueden manipular las variables ya que la concentración de metales pesados en plantas en este trabajo se ha tomado de plantas que han sido regadas con aguas residuales, y no se puede manipular la concentración de metales en esta, en cuanto a las personas, no es ético administrar a un grupo distintas dosis de metales pesados, sino que se buscarán a personas que presenten altas concentraciones de metales.

## HIPÓTESIS

Existe una similitud de los metales pesados encontrados en las hortalizas de las colonias Diez de Abril, Emilio Portes Gil y San Juan Portezuelo y en las personas de la ciudad de Puebla.

## MATERIAL Y MÉTODO

**Zona de estudio.** El área de estudio se encuentra en las colonias Emilio Portes Gil del municipio de Ocoyucan, Diez de Abril, y San Juan Portezuelo, ubicados en el municipio de Atlixco, el cual se localiza entre los paralelos  $18^{\circ}48'$  y  $19^{\circ}00'$  de latitud norte, los meridianos  $98^{\circ}19'$  y  $98^{\circ}36'$  de longitud oeste y una altitud de 1600 m.s.n.m. (Figura 1). Colinda al norte con los municipios de Tochimilco, Tianguismanalco y Santa Isabel Cholula; al este con los municipios de Santa Isabel Cholula, Ocoyucan, Teopantlán y San Diego la Mesa Tochimiltzingo; al sur con los municipios de San Diego la Mesa Tochimiltzingo, Huaquechula y Atzizihuacán y al oeste con Atzizihuacán y Tochimilco. Además de contar con 122149 habitantes. En cuanto a la hidrografía se localiza en la región hidrológica del Río Balsas, en la cuenca del río Atoyac, subcuenca del río Nexapa y a la corriente Nexapa. El uso del suelo es utilizado principalmente para la agricultura (69%) de la cual el 66% es para la agricultura mecanizada continua, 1% para la agricultura con tracción animal continua mientras que el 33% no es apto para la agricultura.



Fuente:Elaboración propia. Abril 2016

**Figura 1.** Localización de las localidades San Juan Portezuelo, Emilio Portes Gil y 10 de Abril y las áreas de muestreo de las hortalizas.

Diez de Abril se localiza en el municipio de Atlixco, a una altitud de 1879 m.s.n.m. cuenta con 126 habitantes de los cuales 68 son hombres y 58 mujeres. El porcentaje de analfabetismo entre los adultos es del 5.71% y el grado de escolaridad es de 4.95.

La localidad de Emilio Portes Gil se encuentra en el municipio de Ocoyucan (Puebla) cuenta con 499 habitantes de los cuales 221 son hombres y 278 mujeres.

La localidad de San Juan Portezuelo se localiza en el municipio de Atlixco a una altitud de 1870 m.s.n.m. Hay 603 habitantes de los cuales 276 son hombres y 327 mujeres.

**Diseño experimental.** Se utilizó un arreglo por bloques y se seleccionaron las plantas al azar con el método de as de oro en parcelas de alfalfa, calabaza, cebolla, cilantro, ejote, epazote, hierbabuena, jitomate, maíz y nopal. Los bloques serán en las condiciones de hortalizas regadas con aguas residuales y regadas con aguas mezcladas. Las unidades experimentales serán cada planta de cada parcela del cultivo.

**Muestreo.** Se realizaron muestreos en las colonias Diez de Abril, Emilio Portes Gil y San Juan Portezuelo las cuales son regadas con aguas negras. Se colectaron cinco muestras de cada hortaliza. Cada muestra se depositó en una bolsa de papel con su etiqueta de muestreo. Posteriormente se depositaron en una estufa a 60°C para deshidratar las muestras, el tiempo que permanecieron fue de tres a siete días aproximadamente ya que dependió del tipo de cultivo. Al estar las muestras perfectamente secas, se procedió a triturarlas en un mortero de agar y luego pasarlas por un tamiz de 4 micras. Las muestras tamizadas se depositaron en frascos de plásticos etiquetados.

Por los problemas sociales suscitados en la zona de estudio que impidieron la colecta de las piezas dentarias y de sangre de las personas de la comunidad, se pidió permiso para trabajar en la clínica de la Maestría en Rehabilitación Oral de la

BUAP bajo la responsabilidad del Dr. Florencio García Zaraín cirujano maxilofacial.

Las piezas dentales (muelas molares) se extrajeron a 28 personas de la ciudad de Puebla (Figura 2) de las cuales 19 eran mujeres y 9 hombres entre las edades 9 y 59 años que acudieron y que estuvieron de acuerdo en donarlas.

A las personas se les realizó preguntas particulares como dirección, profesión, enfermedades y hábitos alimenticios para poder determinar si existe una relación en el consumo de alimentos y la posible presencia de metales pesados en el organismo.



Fuente: Elaboración propia. Junio 2017

Figura 2. Ubicación de las personas que donaron piezas dentales.

Las piezas dentales al ser extraídas fueron limpiadas, envueltas en una gasa estéril y guardadas en bolsas previamente etiquetadas para su posterior estudio.

**Laboratorio.** Las muestras tamizadas se obtuvieron extractos a través de una digestión ácida, para lo cual se colocaron .3 g. de la muestra más 5 mL. de concentrado de  $\text{HNO}_3$  y 1 ml. de peróxido de hidrógeno al 30% y se depositaron en celdas las cuales se colocaron en un carrito especial y se introdujeron en el microondas (MARS) XP1500Plus a una temperatura de  $200^\circ\text{C}$  durante cinco minutos a 400W de potencia. Al concluir el proceso de extracción se filtraron las muestras en un matraz para lo cual se utilizó un papel filtro de 40 micras. Posteriormente se aforó a 50 ml. y la muestra se guardó en frascos de plásticos etiquetados y se mantuvieron en refrigeración.

Posteriormente se llevó a cabo una espectrometría de absorción atómica por llama. Las lámparas utilizadas fueron las de cada metal para su análisis. Se ajustó el equipo de acuerdo a las indicaciones del manual de operaciones. Se inició con la configuración operacional del instrumento, así como del sistema de captura de datos. Para la calibración se verificó la sensibilidad del instrumento con las soluciones estándares de cada elemento, preparadas en las concentraciones marcadas en el manual de operación. Se ajustó el instrumento a cero con el blanco de calibración. Se elaboró una curva de calibración registrando los estándares del elemento. Finalmente para la determinación se introdujo el blanco de reactivos, las muestras a analizar y se registraron los valores de absorbancia.

En cuanto a las piezas dentales, al ser extraídas en el laboratorio se volvieron a limpiar las muestras con agua destilada y se pesó cada diente. Se depositó cada diente en un tubo con capacidad de 50 ml donde se le adicionó 10 ml. de ácido nítrico durante un tiempo de 48 horas hasta una semana a temperatura ambiente para su desmineralización. Al término de este tiempo se filtraron con papel filtro de 8  $\mu\text{m}$ . y se aforó a 20 ml. Las muestras fueron centrifugadas a 6000 rpm durante 15 minutos a una temperatura de 4°C en una centrífuga refrigerada marca MIKRO 22R Hettich con un rotor angular para 6 x 50 ml. Posteriormente a las muestras se les extrajo el sobrenadante. Finalmente se volvieron a filtrar las muestras usando filtro de membrana Millipore de 0.22  $\mu\text{m}$ . con la ayuda de jeringas de plástico desechables esterilizadas de 20 ml.

**Variables respuesta.** Las variables respuesta que se analizaron fueron las concentraciones de metales pesados en las hortalizas así como en el maíz y en las piezas dentarias de las personas y los efectos en estas.

## RESULTADOS

Se muestran los valores de las concentraciones de metales pesados junto con el límite máximo permisible de acuerdo a la Unión Europea (UE) y a la Legislación del Codex Alimentarius de metales pesados.

En el cuadro 1. se observa que los valores obtenidos sobrepasan los límites máximos a excepción del cilantro en relación con el cromo y el ejote con el cobre.

**Cuadro 1** Valores de los metales pesados en las hortalizas de la localidad Diez de Abril. Los valores máximos permisibles son de acuerdo a la Unión Europea.

Hortaliza	Cr .10 mg/Kg	Cu 10 mg/Kg	Mn .05 mg/Kg	Pb .20 mg/Kg	Zn 5 mg/Kg
Cebolla	6.67	10.00	0.00	11.67	108.33
Cilantro	10.00	16.67	153.33	51.67	30.00
Cilantro	10.00	18.33	158.33	81.67	35.00
Ejote	10.00	10.00	25.00	85.00	38.33
Ejote	18.33	10.00	25.00	80.00	56.67
Epazote	15.00	15.00	91.67	80.00	68.33
Epazote	13.33	16.67	95.00	63.33	56.67
Maíz	8.33	8.33	48.33	85.00	40.00
Maíz	23.33	8.33	26.67	66.67	36.67
Nopal	6.67	10.00	0.00	11.67	108.33
Perejil	5.00	46.67	0.00	6.67	31.67
Perejil	8.33	13.33	0.00	11.67	41.67

Fuente: Elaboración propia. Noviembre 2016. Valores límites permisibles European Comission. 2015. "Food contaminants"

En el Cuadro 2. se presentan los resultados de los metales en donde se observa que el ejote es el único que se encuentra por debajo del límite permisible para cobre, mientras que las demás hortalizas sobrepasan los valores máximos en los demás metales.

**Cuadro 2.** Valores de la concentración de metales en las hortalizas de la localidad Emilio Portes Gil. Los valores máximos permisibles son de acuerdo a la Unión Europea.

HORTALIZA	Cr .10 mg/Kg	Cu 10 mg/Kg	Mn . 05 mg/Kg	Pb .20 mg/Kg	Zn 5 mg/Kg
Alfalfa	5.00	28.33	53.33	38.33	45.00
Alfalfa	8.33	16.67	46.67	28.33	43.33
Ejote	10.00	8.33	28.33	25.00	16.67
Ejote	11.67	6.67	26.67	18.33	21.67
Hierbabuena	10.00	13.33	131.67	23.33	33.33
Hierbabuena	8.33	11.67	126.67	20.00	16.67
Hierbabuena	0	15.00	175.00	91.67	25.00
Hierbabuena	0	15.00	180.00	135.00	25.00
Nopal	5.00	11.67	645.00	25.00	20.00
Nopal	6.67	11.67	615.00	21.67	43.33

Fuente: Elaboración propia. Noviembre 2016. Valores límites permisibles European Comission. 2015. "Food contaminants"

En el Cuadro 3. se observa que todos los cultivos sobrepasan los límites permitidos en los cinco elementos estudiados a excepción del cultivo de maíz que es el que presenta concentraciones de cobre que se encuentran por debajo del límite permitido.

**Cuadro 3.** Valores de la concentración de los metales pesados en las hortalizas de la localidad San Juan Portezuelo. Los valores máximos permisibles son de acuerdo a la Unión Europea.

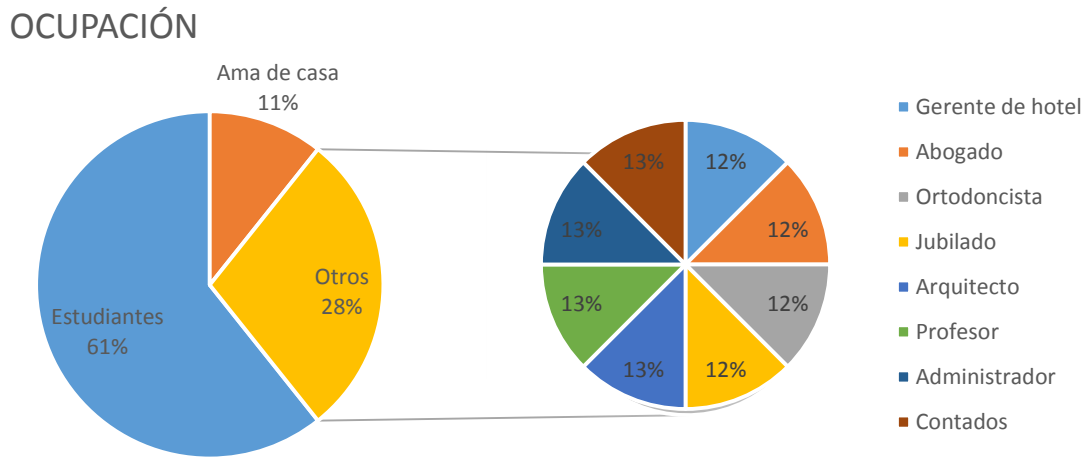
Hortaliza	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn
	.10 mg/Kg	10 mg/Kg	.05 mg/Kg	.20 mg/Kg	5 mg/Kg
Alfalfa	1.67	18.33	48.33	111.67	38.33
Alfalfa	0.00	13.33	46.67	151.67	36.67
Alfalfa	6.67	11.67	60.00	133.33	26.67
Alfalfa	8.33	10.00	56.67	128.33	26.67
Hierbabuena	8.33	16.67	85.00	78.33	26.67
Hierbabuena	11.67	16.67	83.33	118.33	25.00
Maíz	11.67	6.67	13.33	68.33	58.33
Maíz	13.33	8.33	15.00	76.67	45.00

*Fuente: Elaboración propia. Noviembre 2016. Valores límites permisibles European Commission. 2015. "Food contaminants"*

Existe una prevalencia de manganeso, plomo y zinc. En la localidad de Emilio Portes Gil se presenta en mayor proporción el manganeso sin embargo, en la localidad de San Juan Portezuelo existe una alta concentración de plomo.

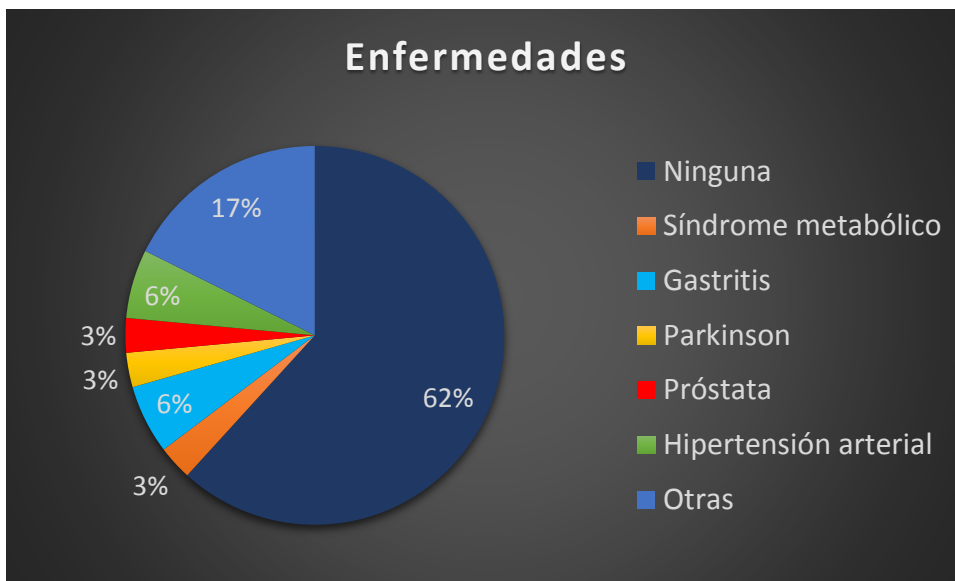
En cuanto a los resultados de las personas se registraron 18 mujeres y 8 hombres entre las edades de 9 a 62 años de los cuales la mayoría son estudiantes seguidas de amas de casa (Gráfica 1) y la mayoría cuenta con una buena salud debido probablemente a que la mayoría de las personas se encuentran en un rango de edad joven (Gráfica 2).

**Gráfica 1.** Ocupación de la población de muestra.



Fuente: Elaboración propia. Junio 2017

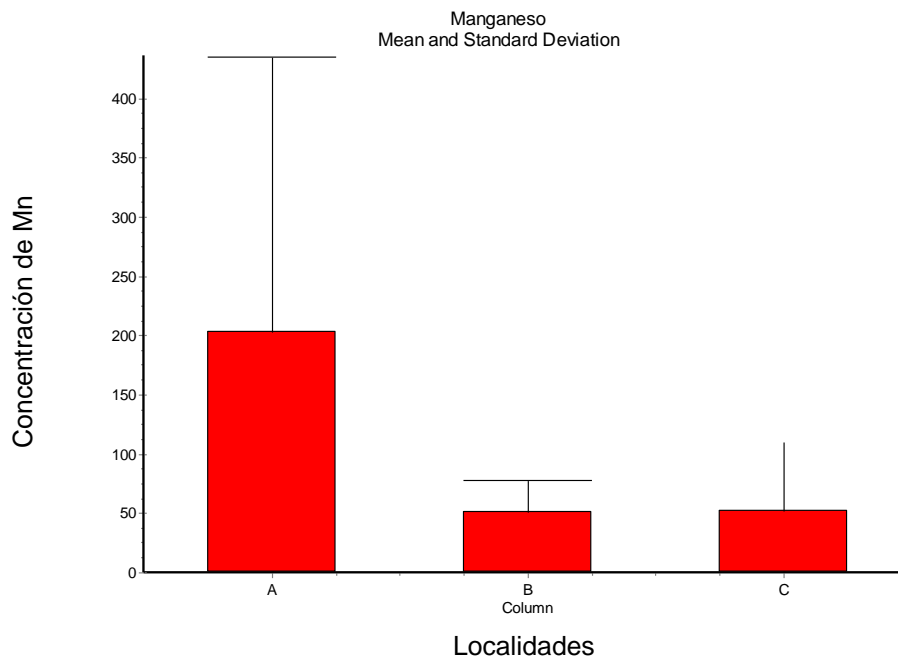
**Gráfica 2.** Enfermedades que presentan las personas muestreadas



Fuente: Elaboración propia. Junio 2017

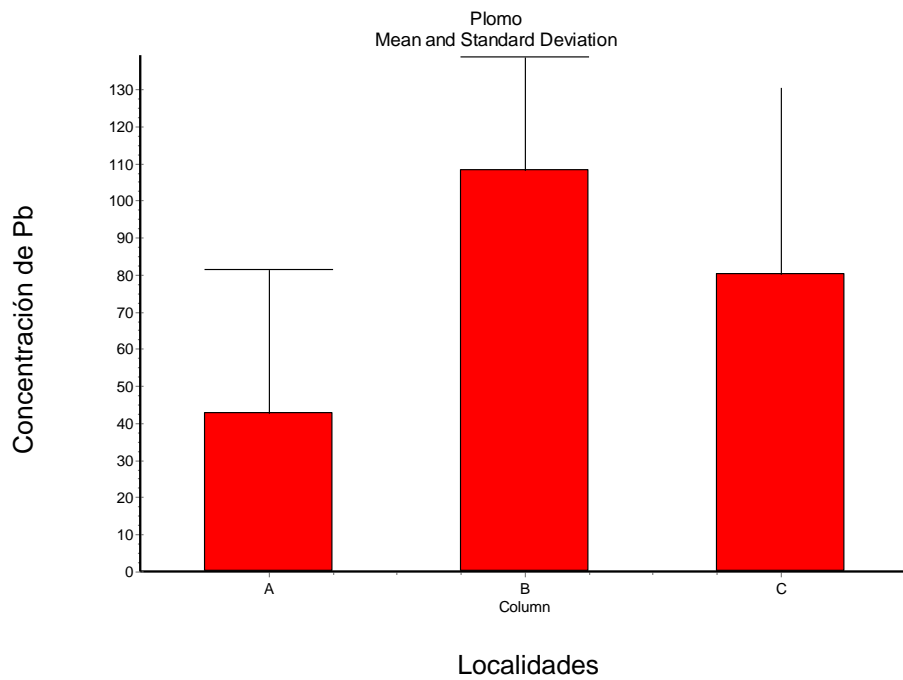
Se realizó la prueba de Kruskal Wallis para comparar los metales en las tres comunidades en donde se observan datos significativos ( $p < .05$ ) que el Mn ( $p = .0464$ ) se encuentra en mayor cantidad en Emilio Portes Gil, seguida de la colonia 10 de Abril y finalmente en San Juan Portezuelo (Gráfica 3). En el caso de Pb ( $p = .0122$ ) la mayor media se encontró en San Juan Portezuelo, seguida de 10 de Abril y en Emilio Portes Gil (Gráfica 4). Para Zn ( $p = .0201$ ) la mayor concentración se dio en la colonia 10 de Abril seguida de San Juan Portezuelo y en Emilio Portes Gil (Gráfica 5). Siendo así la colonia San Juan Portezuelo con mayor riesgo al presentar mayores niveles de plomo y ser este uno de los metales más tóxicos para los seres vivos

**Gráfica 3.** Concentración de Manganeseo en las colonias. A: Emilio Portes Gil, B: 10 de Abril, C: San Juan Portezuelo



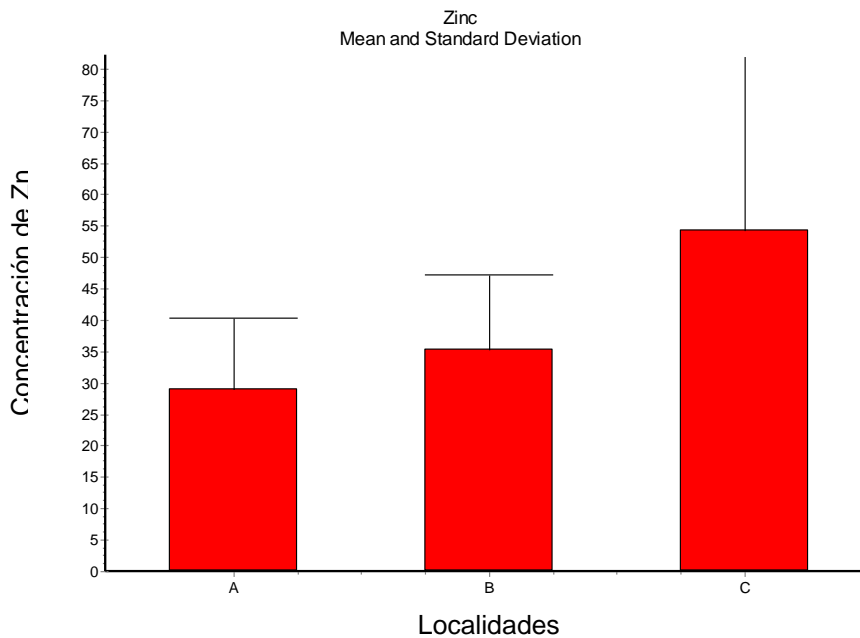
Fuente: Elaboración propia. Junio 2017

**Gráfica 4.** Concentración de Plomo en las colonias. A: Emilio Portes Gil, B: 10 de Abril, C: San Juan Portezuelo



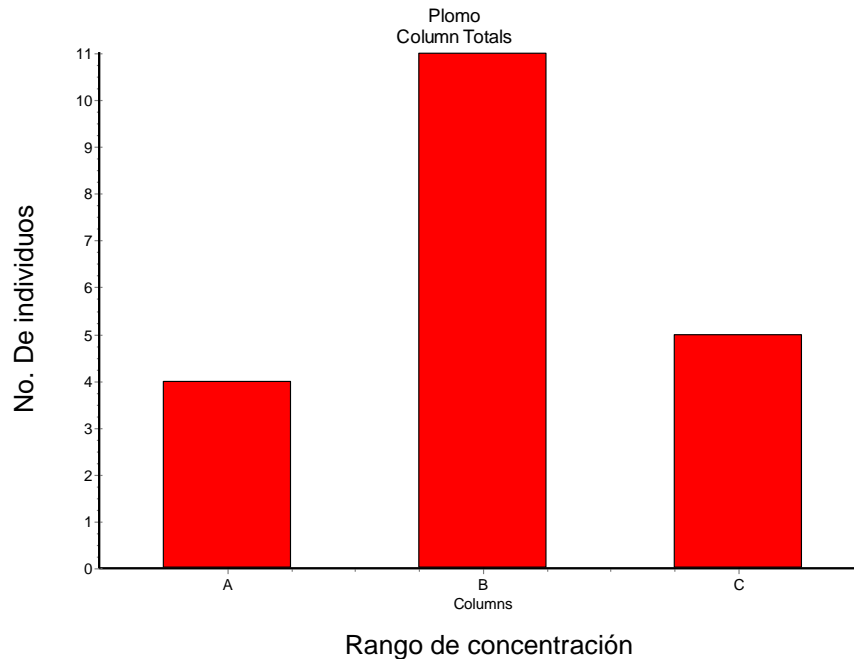
Fuente: Elaboración propia. Junio 2017

**Gráfica 5.** Concentración de Zinc en las colonias. A: Emilio Portes Gil, B: 10 de Abril, C: San Juan Portezuelo



Fuente: Elaboración propia. Junio 2017

**Gráfica 6.** Concentración de Plomo de acuerdo a las edades. A: concentración baja (54 - 65 mg/kg). B: concentración media (66 - 77 mg/kg). C: concentración alta (78 – máximo)



Fuente: Elaboración propia. Junio 2017

Para los metales pesados en piezas dentarias se obtuvieron las medias (Cuadro 4) y se realizó la prueba de Kruskal Wallis en donde se observan diferencias estadísticamente significativas entre todos los metales con excepción del cobalto con cromo y cobre con manganeso. El metal que se presenta en mayor cantidad es el zinc seguido del plomo (Cuadro 5).

**Cuadro 4.** Medias de las concentraciones de metales pesados en personas

METAL	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn
MEDIA	5.64	12.12	13.16	8.43	.02055	72.55	458.61

Fuente: Elaboración propia. Junio 2017

**Cuadro 5.** Diferencias entre los metales. NS: no significativo

	Co	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn
Cd	p<.05	p<.05	p<.05	p<.01	p<.001	p<.001
Co		p>.05 NS	p<.01	p<.001	p<.001	p<.001
Cr			p<.01	p<.001	p<.001	p<.001
Cu				p>.05 NS	p<.001	p<.001
Mn					p<.001	p<.001
Pb						p<.05

Fuente: Elaboración propia. Junio 2017

También se realizó una prueba de Chi cuadrada para observar si existía alguna relación de las concentraciones de metales pesados, en especial del plomo ya que es uno de los metales más tóxicos y que tiene una preferencia por acumularse en dientes, aunque se obtuvo una mayor prevalencia en el rango de las edades entre 9 y 20 años las diferencias no fueron significativas ya que se obtuvo una  $p=.6959$

Se calculó además el factor de bioconcentración (FBC) (Ruiz y Armienta, 2012) el cual se refiere a la capacidad de la persona en adquirir el o los metales pesados, movilizarlo y almacenarlo. Para calcular el FBC se calculó utilizando la ecuación:

$$FBC = \frac{[MP \text{ Personas}]}{[MP \text{ Plantas}]}$$

FBC es el factor de bioconcentración, MP son los metales pesados en las plantas y en las personas.

El FBC muestra la dificultad para acumular los metales como el cobre y manganeso mientras que existe una mayor bioacumulación de zinc seguida de cromo y finalmente de plomo (Cuadro 6).

*Cuadro 6.* Determinación del factor de bioconcentración (FBC) de las hortalizas de las tres localidades y de las piezas dentarias de la ciudad de Puebla. Las cifras en negritas representan los metales que son bioacumulables.

METAL	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn
PLANTA	8.48611	13.93981	101.93981	67.97222	39.57407
PERSONA	13.16	8.43	0.02055	72.55	458.61
FBC	<b>1.55076</b>	0.60474	0.00020	<b>1.06734</b>	<b>11.58864</b>

*Fuente: Elaboración propia. Junio 2017*

## DISCUSIÓN

De acuerdo con Prieto *et al.* (2009) existe una barrera suelo-planta que limita la traslocación de plomo a la cadena alimenticia ya sea por procesos de inmovilización química en el suelo o limitando el crecimiento de la planta antes de que el plomo absorbido alcance valores que puedan ser dañinos al ser humano. Sin embargo en los resultados obtenidos se aprecian altas concentraciones de plomo sin que la planta presente algún daño ya que Kabata-Pendias (2000) y Rodríguez *et al.* (2006) comentan que el plomo tiende a incrementarse rápidamente en los órganos de la planta que estas no toleran y mueren, por lo tanto no existe algún riesgo para el humano, al contrario de esto Miranda *et al.* 2008 menciona que altas concentraciones de plomo reducen drásticamente el crecimiento sin embargo, en su trabajo realizado en lechuga y apio no se evidenció en la planta donde el contenido de plomo determinado variaron entre 4.2 y 6 mg/l. por lo que coincide con este caso al presentar las hortalizas altas concentraciones de plomo y observar que llegan a una madurez para su consumo se podría afirmar que existe ya una fuerte amenaza para el consumidor.

De acuerdo con Miranda *et al.* 2008 los síntomas más generales de toxicidad por cadmio son atrofia y clorosis debido a una interacción directa e indirecta con el fierro, zinc, fósforo y manganeso, sin embargo, en el presente trabajo no se observa ningún síntoma, sin embargo, se observar en el Cuadro 5 que existe una relación de cadmio con el zinc y con el manganeso de acuerdo con la prueba estadística Kruskal Wallis.

Conforme al trabajo realizado por Prieto *et al.* (2009) muestra que el manganeso y zinc se encuentra en mayor concentración seguido del cadmio, cobre y plomo de igual manera Ruiz y Armienta (2012) encuentran al zinc en mayor concentración seguido del plomo, cobre y cadmio y Chaney (1980) los clasifica de acuerdo a su biodisponibilidad y riesgo para la cadena alimenticia teniendo en mayor biodisponibilidad y riesgo al cadmio, seguido por el zinc junto con el cobre, manganeso y níquel, posteriormente en el siguiente grupo se encuentra el plomo y finalmente en el último grupo el cromo. Sin embargo, en este caso se halla en la localidad de Emilio Portes Gil primero el manganeso mientras que en San Juan Portezuelo es el plomo y finalmente en 10 de Abril es el zinc por lo que coinciden al ser los metales en mayor concentración aunque en las diferentes zonas, esto se puede deber al tipo de suelo y las características de este.

Alloway (1995) presenta al maíz y la cebolla como plantas de baja acumulación de plomo y zinc respectivamente, sin embargo, se observa que la concentración de plomo en la localidad de San Juan Portezuelo es más baja que las demás hortalizas no es así en la localidad 10 de Abril donde se encuentra en cantidades similares a las demás hortalizas. En el caso de la cebolla es la que presentó una mayor cantidad de zinc junto con el nopal.

Prieto *et al.* (2009) comentan que el plomo es capaz de acumularse principalmente en raíces aunque se han reportado trazas de este elemento en granos como los de la cebada, por lo que se puede apreciar en este trabajo que en el caso de maíz los

valores obtenidos superan los valores permisibles aunque en la localidad de San Juan Portezuelo es de las hortalizas con menor cantidad, en la localidad de 10 de Abril se encuentra al parejo con las demás hortalizas. Ruiz y Armienta (2012) mencionan que en la parte aérea del maíz el plomo, fierro y cobre aumentan solamente en suelos muy contaminados mientras que el zinc y cadmio incrementan con relativamente menores contenidos de los mismos en el suelo, también se debe considerar la etapa fisiológica de desarrollo de la planta en este caso del maíz ya que se puede tener una mayor concentración en las raíces a una temprana edad.

Además Reyes *et al.* (2006) menciona que las mejores especies para reforestar una zona contaminada a causa de la minería aurífera son los de las familias Cyperaceae y Gramineae debido a la cantidad de metales que son capaces de acumular, por lo que el maíz es una planta excelente para la acumulación de metales representando un problema para los consumidores.

Prieto *et al.* (2009) mencionan que existe una triada en los elementos, en los suelos contaminados con plomo se suele encontrar cadmio y zinc por analogía entre sus propiedades y características metálicas, lo cual coincide en nuestro trabajo ya que encontramos altas cantidades de zinc al igual de plomo y en menor cantidad de cadmio.

Las concentraciones altas de zinc en las hortalizas se deben a su carácter esencial así como también lo mencionan Ruiz y Armienta (2012) y respecto a la baja concentración de cobre ya que posee una movilidad relativamente baja.

Lucho *et al.* (2005) y Prieto-Méndez *et al.* (2009) coinciden que en lugares regados con aguas residuales y como consecuencia la acumulación de metales pesados en los suelos se ha llegado a concentrar en plantas como maíz, trigo y alfalfa metales como el cadmio, níquel y plomo principalmente en el tejido foliar y en granos principalmente de trigo. Por lo que se coincide en que si se sigue utilizando este tipo de aguas residuales en largos plazos se puede llegar a tener un aumento en la contaminación metálica y rebasar el límite permitido como es el caso en las tres localidades donde ya se pueden observar estas consecuencias.

Como menciona Prieto-Méndez *et al.* (2009) el manganeso puede sustituir elementos esenciales como el calcio y el magnesio ya que es fácilmente absorbido por las plantas y tiene una mayor movilidad para llegar a las diferentes partes y órganos de las plantas afectándolas por lo que sería recomendable realizar estos estudios en las hortalizas de estas localidades debido a que se encontraron altas concentraciones de manganeso principalmente en la localidad de Emilio Portes Gil.

De acuerdo con Núñez *et al.* (2008) en las hortalizas adquiridas en el municipio de Monterrey N.L. analizadas como son el brócoli, calabacín y rábano provenientes de los estados de San Luis Potosí, Guanajuato y Puebla, el contenido de cadmio, níquel y plomo se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles conforme a la Unión Europea y la Agencia de Protección del medio Ambiente (EPA), en este caso durante la realización del trabajo se les preguntó a los productores sobre el consumo y la distribución de las hortalizas mencionándonos que una parte

son consumidas por ellos mismos y la otra es transportada a la Ciudad de México, lo que indica que las hortalizas cultivadas en el estado son transportadas y consumidas en otros estados, por lo que se debería de tener un mayor control sobre estas ya que pueden presentar concentraciones de metales pesados que sobrepasen los valores permisibles y ser nocivos para la salud.

Los suelos hortícolas urbanos, periurbanos y rurales deben ser monitoreados al igual que las aguas con los que están siendo regados considerando el riesgo de entrada de metales pesados en la cadena trófica como pasa en la zona de muestreo.

Los altos niveles de metales pesados como el cadmio, cobre, cromo, manganeso, plomo y zinc que se encuentran en los suelos y las aguas negras que son utilizadas para el riego de hortalizas pueden ser acumulados en estos sistemas y afectar la salud animal y principalmente la salud humana, sin embargo aunque esto ya se ha estudiado con anterioridad no se han tomado las medidas adecuadas para dar una solución a este problema.

Las concentraciones de metales pesados en huesos y dientes reflejan una exposición crónica, así como los huesos revelan una rotación más rápida de numerosos elementos, los niveles más bajos de plomo, manganeso y cobre son característicos de personas que viven en áreas más limpias de acuerdo con Malara *et al.* (2016) sin embargo, encontramos en el presente trabajo concentraciones altas de estos elementos principalmente de plomo, en cambio en el caso del manganeso

no se encuentra presente en los dientes. Este dato coincide Asaduzzaman *et al.* (2017) ya que menciona que existe una baja concentración de manganeso por debajo de bario, cobre y cromo, lo cual vuelve a coincidir con las concentraciones de cobre y cromo en ese mismo orden. Mientras que niveles moderados de metales pesados en la dentina se encuentra el plomo por debajo del zinc, coincidiendo nuevamente.

De acuerdo con Nowak y Kozlowski (1997) las concentraciones de cobre, plomo y cromo se encuentran en el mismo rango, sin embargo, en nuestro trabajo se encuentran en diferentes concentraciones siendo el plomo el que se halla en mayor concentración. De igual forma consideraron los suelos cercanos de diferentes fuentes de emisión para localizar la razón de la contaminación del suelo encontrando el níquel y el cobre como los metales en mayor concentración. Encontraron al plomo y manganeso en una forma intercambiable entre el suelo y los dientes, en este caso al no ser en suelo pero si en hortalizas se encuentran que el plomo es transferido a las personas, sin embargo, no localizamos niveles de manganeso en los dientes. Las altas concentraciones de plomo en los dientes se pueden deber a que existen bajos niveles de calcio en los dientes de los pacientes.

Tvinnereim *et al.* (2000) encontraron altas concentraciones de plomo en todos los grupos de dientes (con caries - sin caries) siendo significativo en caninos y molares mientras que para zinc solo fue significativo en molares siendo este último con mayor concentración seguida del plomo lo que coincide en el presente trabajo ya que se observan datos similares en las cantidades de zinc mientras que para el

plomo en el presente trabajo se presenta una mayor concentración, sin embargo, Alomary *et al.* (2006) menciona que varían las concentraciones de plomo y de cadmio en los diferentes tipos de tiempo así como también Tvinnereim *et al.* (2000) encuentran mayor concentración de plomo en los dientes incisivos, lo que podría suponer que en la población analizada de la ciudad de Puebla podrían tener una concentración mayor de plomo ya que se analizaron solamente molares dado a la metodología.

En el caso del zinc observaron mayor concentración en los molares principalmente los que habían presentado caries, coincidiendo en nuestro trabajo al ser este metal el que se encuentra en mayor concentración. La alta concentración de zinc y mercurio en dientes con caries se debe probablemente a las amalgamas usadas principalmente en 1980's. en nuestro caso se revisaron las muestras obtenidas, las cuales no presentaban caries o amalgamas a excepción de una, la cual presentó una mayor concentración de zinc coincidiendo con Tvinnereim *et al.* (2000). Sin embargo, Alomary *et al.* (2006) hallan datos significativos en la presencia de plomo y cadmio en dientes con amalgamas, en este caso solamente coincide en la alta concentración de plomo ya que en cadmio se mantienen valores semejantes a los dientes sin amalgamas.

Alomary *et al.* (2006) no encuentra diferencias significativas en las concentraciones entre plomo y cadmio de acuerdo a la edad, pero existe un incremento rápido entre las edades que van de 51- 60 años, coincidiendo en el presente trabajo al no observar diferencias significativas, sin embargo, se observa mayor concentración

de plomo en las edades comprendidas entre los 9 – 20 años. Este resultado llama la atención ya que Nowak y Kozlowski (1997) hallan una clara influencia de la edad y la concentración de plomo además Zubero *at al.* (2008) menciona que los niveles de plomo y cadmio se acumulan en varios órganos así como en el tejido ósea aumentando conforme a la edad.

Zubero *at al.* (2008) encuentra niveles de plomo en personas que consumen productos de huerta, y de cadmio en poblaciones de clase social más elevado debido a su mayor consumo de productos de origen vegetal, sin embargo, en este caso la población mencionó tener una alimentación variada al consumir de manera similar vegetales y carnes.

## CONCLUSIONES

Se encontraron que las hortalizas de las localidades 10 de Abril, Emilio Portes Gil y San Juan Portezuelo presentan altas concentraciones de metales pesados, rebasando los niveles permitidos por las normas de Estado Unidos de América y de la Unión Europea, mostrando de los cinco metales pesados una mayor concentración de manganeso, plomo y zinc mientras que en las personas de la ciudad de Puebla de los siete metales estudiados demostraron altas concentraciones sin embargo, el zinc y el plomo fueron los que presentaron una mayor concentración en las terceras molares.

Por medio del factor de bioconcentración se observó que el zinc es el que presenta una mayor bioconcentración seguida del cromo y del plomo, mientras que el cobre y el manganeso no presentaron una bioacumulación.

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que existe un riesgo en la cadena trófica ya que están pasando metales potencialmente tóxicos para los consumidores, principalmente las personas lo cual puede provocar en un futuro un problema de salud pública serio.

Debido a los problemas sociales que se presentaron en la zona de muestreo, no se pudo realizar de manera precisa la relación de los metales encontrados en las plantas comestibles con las piezas dentarias de las personas de la ciudad de

Puebla, por lo que pueden existir otros factores que interfieran en los resultados obtenidos.

Se cumple con los objetivos planteados, sin embargo por los inconvenientes suscitados en la zona de muestreo no se demostró con exactitud la relación de los metales pesados encontrados en las plantas y en las piezas dentarias de las personas.

En cuanto a la hipótesis planteada si se observa que existe similitud de los metales pesados encontrados en las partes comestibles de las plantas y en las piezas dentarias.

Los factores social y económico tanto de las empresas como pobladores están dañando el ambiente ocasionando la existencia de metales pesados en plantas comestibles que a largo o corto plazo probablemente afecte la salud de los consumidores.

**Recomendaciones.** Lo ideal sería solucionar el problema desde raíz, lo cual sería con el control del tratamiento de aguas residuales de las empresas, posteriormente sería la limpia de ríos y afluentes que han quedado contaminados desde hace ya varios años, para así obtener aguas más limpias que puedan ser utilizadas para el riego agrícola, ya que el uso de aguas de pozo se encuentra muy limitada para las comunidades, además de que estas se llegan también a contaminar a través de la filtraciones del subsuelo.

Elaborar normas que regulen los límites permitidos de metales pesados en las hortalizas, ya que no existen para la República Mexicana y sólo se basan principalmente en las de la Unión Europea o la de Estados Unidos de América, dejando así un vacío en la seguridad alimentaria para la población.

Se da a conocer que las plantas comestibles contienen altas cantidades de metales pesados y que no hay normas mexicanas que regulen los límites permisibles. Además que no se cumplen las sanciones a empresas y a ciudadanos que dañan el ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

2009. "Norma General del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos". Roma pp.48

2015. "Contenido máximo de determinados contaminantes en los alimentos".  
*Summaries of EU legislation.*

Alomary A., Al-Momani I. y Massadeh A. 2006. Lead and cadmium in human teeth from Jordan by atomic absorption spectrometry: Some factors influencing their concentrations. *Science of the Total Environment*. **369**:69-75

Asaduzzaman K., Khandaker M., Binti N., Mohd Y. Salihu M., Bradley D. y Mahmoud O. 2017. Heavy metals in human teeth dentine: A bio-indicator of metals exposure and environmental pollution. *Chemosphere*. **176**:221-230.

Chaney R. 1980. Health risks associated with toxic metals in municipal sludge. Bitton G., Damro D., Davidson G. and Davidson J. (eds.) Sludge-Health risks of land application. pp 59-83.

Das P., Smantaray S. y Rout G. 1998. Studies on cadmium toxicity in plants: A review. *Environmental Pollution*. **98**:29-36

Díaz R. 2014. Determinación de la concentración de plomo, cadmio y cromo como contaminantes ambientales en pacientes previo tratamiento de ortodoncia y su efecto sobre cepas de *Streptococcus mutans*. Tesis doctoral, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla 56 pp.

European Comission. 2015. "Food contaminants"

Ferrer A. 2003. Intoxicación por metales. *ANALES Sis San Navarra* **26**:141-153

Food and Agriculture Organization (FAO) / Organización Mundial de la Salud (OMS). 2007. "Codex Alimentarius: Frutas y hortalizas frescas". Roma pp. 204

Food and Agriculture Organization (FAO) 1996. Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria Mundial y Plan de Acción de la Cumbre Mundial sobre la alimentación. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación, Roma.*

Food and Agriculture Organization (FAO). 2002. "Seguridad alimentaria urbana". *Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación. Departamento de Agricultura. Roma.*

García D. 2006. "Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de *Zea mays* L. expuestas a la toxicidad por plomo" Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España. 129 pp.

Giardina E., Heredia O., Castro M. y Efron D. 2012. Fitotoxicidad del cromo sobre *Phaseolus vulgaris*. *Agronomía y Ambiente*. **32**:75-80

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2012. Metales pesados. [en línea], disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-agre-metales>

John D. and Leventhal J. 1995. Bioavailability of metals. Ch. 2 in: Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models Edward A. du Bray, Editor U.S. Department of the interior U.S. Geological Survey. Denver Colorado. pp 95-831.

Kabata-Pendias A. 2000. Trace elements in soils and plants. Third Edition CRC Press, Boca Raton, USA 413p.

Ley General de Salud. México. Pp 143

Lucho-Constantino C., Álvarez-Suárez M., Beltrán-Hernández R., Prieto-García F. y Poggi-Varaldo H. 2005 Multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environment international* **31**:313-323.

Lucho-Constantino C., Prieto-García F., Razo L. Rodríguez-Vázquez R. y Poggi-Varaldo H. 2005. Chemical fraction of boron and heavy metals in soils

irrigated with wastewater in central Mexico. *Agriculture ecosystems and environment* **108**:57-71.

Malara P., Fischer A. y Malara B. 2016. Selected toxic and essential heavy metals in impacted teeth and the surrounding mandibular bones of people exposed to heavy metals in the environment. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. **11**:56-67.

Miranda D., Carranza C., Andrés C., Jerez C., Fischer G. y Zurita J. 2008. Accumulation of heavy metals in soil and plants of four vegetable crops irrigated with water of Bogota river. *Revista colombiana de ciencias hortícolas* **2**:180-191.

Morales S. 2013. “Estudio de los metales contenidos en aire, agua y sedimentos en un área urbano-rural con influencia industrial ubicada en la Zona Metropolitana de Puebla, México”. Tesis doctoral, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios Sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, México D.F. 256 pp.

Moreno, A y Ferrer, J. 2014. “Seguridad Alimentaria y control de cadmio en alimentos, siete puntos que explican lo que está pasando”. *Centro Tecnológico AINIA*.

Moreno, M. (2003). *Toxicología ambiental. Evaluación de riesgo para la salud humana*. España: Mc Graw-Hill. 370 pp.

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

Nowak B. y Kozlowski H. 1998. Heavy metals in human hair and teeth the correlation with metal concentration in the environment. *Biological Trace Element Research*. **62**:213-227.

Núñez A., Martínez S., Moreno S., Cárdenas m., García G., Hernández J., Rodríguez A. y Castillo I. 2008. Determinación de metales pesados (aluminio, plomo, cadmio y níquel) en rábano, brócoli y calabacín. *Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)* 1-15.

Organización Mundial de la Salud (OMS). 2015 Inocuidad de los alimentos.

Pearsson J., Rengel Z., Jenner C. y Graham R. 1996. Manipulation of xylem transport affects Zn and Mn transport into developing wheat grains of cultured ears. *Physiologia Plantarum*. **98**:229-234

- Peles J., Brewer S. y Barret G. 1998. Heavy metal accumulation by Old-field plant species during recovery of sludge-treated ecosystems. *The American Midland Naturalist*. **140**(2):245-251.
- Pérez A. 1997. "Dinámica y efectos de cobalto en el sistema suelo-planta". Tesis doctoral, Universidad de Alicante, Alicante, España. 433 pp.
- Poggi-Varaldo H., Rios-Leal E., Esparza-García F., García-Mena J., Sastre-Conde I., Zitomer D., Macarie H. y Garibay-Orijel C. 2004. Absorción y acumulación de metales pesados en trece especies vegetales en suelos enmenados con lodos depurados. *Environmental biotechnology and engineering* 1-13
- Prieto J., González C., Román A. y Prieto F. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and subtropical Agroecosystems*. **10**:29-44.
- Reyes G., Bermúdez A., De Abreu O., Alvarado J. y Dominguez J. 2006. Metales pesados en plantas provenientes de áreas afectadas por la minería aurífera en la reserva forestal Imataca, Venezuela. *Universidad, ciencia y tecnología*. **10**:2459-262.
- Rodríguez-Serrano M., Martínez-de la Casa N., Romero-Puertas M., Del Río L. y Sandalio L. 2008. *Toxicidad del cadmio en plantas. Ecosistemas*. **17**(3):139-146.

- Ruiz E. y Armienta M. 2012. Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. *Revista Internacional contaminación Ambiental*. **28**(2):103-117.
- Truchado D. 2014. Efectos de los metales pesados en las plantas. [en línea], disponible en: <https://toxamb.wordpress.com/2014/12/11/efectos-de-los-metales-pesados-en-las-plantas/>
- Tvinnereim H., Eide R. y Riise T. 2000. Heavy metals in human primary teeth: some factors influencing the metal concentrations. *The Science of the Total Environment*. **255**:21-27
- Vázquez-Alarcón A., Cajuste L., Carrillo-González R., Zamudio-gonzález B., Álvarez-Sánchez E. y Castellanos-Ramos J. 2005. Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del valle del Mezquital, Hidalgo. *Terra Latinoamericana* **23**:447-455.
- Wan T., Liu S., Tang Q. y Cheng J. 2014. Heavy metal bioaccumulation and mobility from rice plants to *Nilaparvata lugens* (homoptera:Delphacidae) in China. *Environmental Entomology*. **43**:654-661.
- Zubero M., Aurrekoetxea J., Ibarluzea J., Arenaza M., Basterretxea M., Andrés R. y Sáñez J. 2008. Metales pesados (Pb, Cd, Cr y Hg) en población general

adulta próxima a una planta de tratamiento de residuos urbanos de Bizkaia.

*Revista Española de Salud Pública.* **82**:481-492.

## ANEXO

Encuesta realizada a las personas donadoras de piezas dentales



### BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



**No. DE COLECTA:**

**FECHA DE COLECTA**

**EDAD:**

**SEXO:**

**No. PIEZAS DENTALES:**

**DIRECCIÓN:**

**MPIO.**

**UBICACIÓN ALIMENTOS:**

**ALIMENTACIÓN:**

**OCUPACIÓN:**

**ENFERMEDADES:**

**Cuadro 7. Datos obtenidos de las personas a las que se les fueron extraídas las piezas dentales**

ID	PERSONA	PESO	EDAD	SEXO	LATITUD	LONITUD	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn
1	1	2.304	56	F	19.064169	-98.211369	4.69	10.16	17.97	4.69	0.78	66.41	64.84
2	1	2.309			19.064169	-98.211369	4.68	9.35	19.49	5.46	0.00	67.04	99.00
3	2	1.965	14	F	19.007581	-98.210087	3.66	9.16	13.74	2.75	0.00	54.96	16.49
4	3	2.117	26	F	18.9999916	-98.2221237	5.10	8.50	16.15	2.55	0.00	61.22	57.82
5	3	1.935			18.9999916	-98.2221237	5.58	13.02	21.40	2.79	0.00	70.70	78.14
6	3	1.711			18.9999916	-98.2221237	5.26	10.52	17.88	1.05	0.00	68.38	28.40
7	5	1.543	16	F	19.0529607	-98.1281701	7.00	15.17	24.50	4.67	0.00	90.99	66.49
8	5	3.112			19.0529607	-98.1281701	3.47	7.52	12.15	1.74	0.00	42.22	37.60
9	7	1.79			19.0558339	-98.206608	5.03	11.06	18.10	2.01	0.00	74.41	54.30
10	9	2.056	27	F	19.0071285	-98.1750121	5.25	11.38	16.63		0.00	64.79	61.28
11	9	1.48			19.0071285	-98.1750121	7.30	15.81	24.32	94.86	0.00	91.22	88.78
12	9	2.084			19.0071285	-98.1750121	5.18	12.09	18.14	45.78	0.00	63.92	70.83
13	10	1.873	67	M	19.0556019	-98.1317049	5.77	12.49	19.22	4.81	0.00	75.92	2767.75
14	11	2.013	20	F	19.106565	-98.215406	5.37	12.52	16.10	0.89	0.00	63.49	66.17
15	11	1.617			19.106565	-98.215406	6.68	15.58	18.92	2.23	0.00	87.94	3228.20
16	12	1.944	62	M	19.0421382	-98.248879	5.56	12.04	14.81	0.93	0.00	78.70	75.93
17	13	1.632	21	M	18.9925158	-98.2336749	6.62	15.44	17.65	1.10	0.00	81.62	89.34
18	13	2.257			18.9925158	-98.2336749	4.79	10.37	11.17		0.00	59.81	64.60
19	13	2.303			18.9925158	-98.2336749	4.69	10.16	12.51	0.78	0.00	57.84	70.34
20	13	2.421			18.9925158	-98.2336749	4.46	8.92	10.41		0.00	57.99	44.61
21	14	1.667	49	M	18.9974637	-98.2275475	6.48	12.96	14.04	5.40	0.00	82.06	3152.97
22	16	1.396	16	F	19.0480509	-98.237827	7.74	15.47	10.32		0.00	97.99	3765.04
23	16	1.804			19.0480509	-98.237827	5.99	14.97	11.97	1.00	0.00	77.83	84.81
24	17	2.419	18	F	19.0487641	-98.1747436	4.46	9.67	8.93		0.00	58.04	50.60
25	17	1.787			19.0487641	-98.1747436	7.05	14.10	11.08		0.00	81.59	79.57

26	18	2.305	14	M	19.0312816	-98.2435388	4.69	10.15	8.59		0.00	57.79	40.61
27	18	1.632			19.0312816	-98.2435388	6.62	13.24	8.82		0.00	84.93	54.04
28	19	2.256	17		19.0889521	-98.1646029	5.59	11.17	5.59		0.00	65.43	73.40
29	19	1.904			19.0889521	-98.1646029	6.62	14.18	17.96		0.00	76.58	94.54
30	19	2.014			19.0889521	-98.1646029	5.36	14.30	10.72		0.00	73.29	89.37
31	19	1.872			19.0889521	-98.1646029	5.77	14.42	11.54		0.00	85.58	93.27
32	20	1.935	9	F	19.0756309	-98.1870473	4.65	10.23	0.93		0.00	60.47	104.19
33	20	1.944			19.0756309	-98.1870473	5.56	11.11	2.78		0.00	66.67	22.22
34	21	1.715	59	M	18.9556378	-98.1048179	5.25	11.55	4.20		0.00	77.67	53.53
35	23	2.306	20	M	19.1001938	-98.1978506	5.46	10.15	5.46		0.00	62.45	2248.05
36	24	2.21	25	F	19.0479584	-98.2156683	5.70	12.22	7.33		0.00	72.49	64.34
37	24	1.541			19.0479584	-98.2156683	8.18	16.35	9.34		0.00	98.12	113.30
38	25	1.517	19	M	19.1686952	-98.2160886	7.12	13.05	9.49		0.00	98.48	112.72
			29.211										

Fuente: Elaboración propia. Junio 2017

# ÍNDICE

## FIGURAS, GRÁFICAS Y CUADROS

<b>FIGURA 1</b> .....	<b>39</b>
<b>FIGURA 2</b> .....	<b>41</b>
<b>GRÁFICA 1</b> .....	<b>47</b>
<b>GRÁFICA 2</b> .....	<b>47</b>
<b>GRÁFICA 3</b> .....	<b>48</b>
<b>GRÁFICA 4</b> .....	<b>49</b>
<b>GRÁFICA 5</b> .....	<b>49</b>
<b>GRÁFICA 6</b> .....	<b>50</b>
<b>CUADRO 1</b> .....	<b>44</b>
<b>CUADRO 2</b> .....	<b>45</b>
<b>CUADRO 3</b> .....	<b>46</b>
<b>CUADRO 4</b> .....	<b>50</b>
<b>CUADRO 5</b> .....	<b>51</b>
<b>CUADRO 6</b> .....	<b>52</b>
<b>CUADRO 7</b> .....	<b>73</b>