



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA**

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”



**EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y FACTORES AMBIENTALES EN LA
PRESENCIA DE METALES PESADOS EN EL BRÓCOLI QUE SE COMERCIALIZA EN
LA CENTRAL DE ABASTOS DE HUIXCOLOTLA**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

Erika Alejandra Hernández Sanabria

Directora de tesis:

Dra. María Elena Ramos Cassellis



Octubre 2023



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



"La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra"

**EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y FACTORES
AMBIENTALES EN LA PRESENCIA DE METALES PESADOS
EN EL BRÓCOLI QUE SE COMERCIALIZA EN LA CENTRAL DE
ABASTOS DE HUIXCOLOTLA**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

Erika Alejandra Hernández Sanabria

Comité tutorial:

Directora	Dra. María Elena Ramos Cassellis
Co-Director	Dra. María Dolores Castañeda Antonio
Tutor	Dr. Manuel Huerta Lara
Integrante Comité Tutorial	Dr. Ricardo Munguía Pérez
Integrante Comité Tutorial	Dr. José Víctor Rosendo Tamariz Flores

Octubre 2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis directoras de tesis la Dra. María Elena Ramos Cassellis y la Dra. Ma. Dolores Castañeda Antonio, por confiar en mí y fungir como guías a lo largo de este proyecto.

También quiero agradecer al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada para la realización de este proyecto de investigación y lograr este grado académico.

Finalmente, agradezco a la Vicerrectoría de investigación de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del Eje IV. Modelo de investigación abierta y compartida. Objetivo 13. Formar recursos humanos que impacten positivamente el contexto social y científico como consecuencia de su accionar en una comunidad para lograr una educación desarrolladora de la transformación. Indicador establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2021-2025.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Matías por ser la luz y el motor de mi vida, a Toño por creer en mí, por su paciencia, entrega y amor. Y muy especialmente a mis suegros por su apoyo incondicional, sin ustedes esto no habría sido posible.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	3
DEDICATORIA.....	4
I. INTRODUCCIÓN	11
II. JUSTIFICACIÓN.....	12
III. MARCO TEÓRICO	14
3.1 Antecedentes.....	14
3.1.1 Contaminación de alimentos a nivel mundial	14
3.1.2 Metales pesados en <i>Brassica oleracea</i> var. <i>Itálica</i>	15
3.1.3 Técnica de espectrometría de absorción atómica para la detección de metales.....	16
3.2 Marco conceptual	17
3.2.1 Tipo de investigación mixta secuencial.....	17
3.2.2 Enfoque del trabajo.....	17
3.2.4 Teorías que soportan la investigación.....	17
3.2.4 Metales pesados.....	19
3.2.4 Absorción de metales pesados por las plantas.....	19
3.2.5 Distrito de riego 030.....	21
3.2.6 Pb fuentes y efectos a la salud humana.....	23
3.2.7 Cu y sus efectos a la salud humana.....	24
3.2.8 Mn fuentes y efectos en la salud humana	24
3.2.9 Fe fuentes y efectos en la salud humana	25
3.2.10 Bioacumulación y biomagnificación	26
3.2.11 <i>Brassica oleracea</i> var. <i>itálica</i> (brócoli).....	26
3.2.12 Requerimientos del cultivo de brócoli	27
3.2.13 Seguridad Alimentaria.....	28
3.2.14 Prácticas agrícolas en la presencia de metales pesados en el brócoli.	29
3.2.14.1 Metales pesados en Pesticidas y Fertilizantes	29
3.2.14.2 Acuífero del Valle de Tecamachalco	30
3.2.15 Propiedades del suelo como factores ambientales en la presencia de metales pesados en el brócoli.	32
3.3 Marco legal.....	34

3.3.1 Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, bienes y servicios	34
3.3.2 NOM-199-SSA1-2000. Salud ambiental. Niveles de Pb en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente.....	34
3.3.3 Norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales	34
3.3.4 Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-127-SSA1-2017, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.....	35
3.3.5 CODEX ALIMENTARIUS.....	35
IV. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	36
4.1 Pregunta de investigación.....	37
V. HIPÓTESIS.....	37
5.1 Hipótesis general.....	38
VI. OBJETIVOS	38
6.1 Objetivo general.....	38
6.2 Objetivos particulares	38
VII. METODOLOGÍA.....	39
7.1 Localización.....	39
7.2 Triangulación metodológica	40
7.3 Estudio del sistema de producción de brócoli.....	41
7.4 Aplicación de la encuesta a productores de brócoli	41
7.5 Búsqueda y obtención de los datos de las propiedades del suelo (pH, Materia orgánica y Arcilla) utilizando metadatos	41
7.6 Elaboración de mapas a partir de sistemas de información geográfica.....	42
7.7 Fase de campo	42
7.7.1 Muestreo de campo.....	42
7.8 Fase de laboratorio	43
7.8.1 Lavado y preparación de las muestras	43
7.8.2 Digestión por la vía húmeda para Pb, Cd, Cu, Cr	44
7.8.3 Espectrometría de absorción atómica	46
7.9 Análisis estadísticos.....	47
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47

8.1.1 Localidades en donde se cultiva brócoli	48
8.1.3 Empleo de jornaleros y participación familiar en la producción de brócoli.	50
8.1.4 Prácticas agrícolas que inciden en la presencia de metales pesados en el brócoli	51
8.1.5 Afectaciones en la producción de brócoli por el cambio climático	58
8.1.6 Aspectos económicos en del sistema de producción de brócoli.....	59
8.2 Concentraciones de metales pesados analizados por espectrometría de absorción atómica	63
8.3 Mapas a partir de sistemas de posicionamiento geográfico.	70
8.3.1 Pozos en las zonas de estudio.....	71
8.3.2 Unidades de suelo presentes en las zonas de estudio	74
8.4 Propiedades del suelo como factor ambiental en la presencia de metales pesados en el brócoli	76
8.4.1 pH	77
8.4.2 Materia orgánica	79
8.4.3 Arcilla	81
8.5 Diagrama del sistema complejo a partir de una cadena agroalimentaria.....	85
IX. CONCLUSIONES	88
X. LITERATURA CITADA.....	90
XI. ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Ingesta recomendada de Fe para niños, hombre y mujeres.</i>	26
Tabla 2.	<i>Composición nutricional del brócoli.</i>	27
Tabla 3.	<i>Longitudes de onda a la que se midieron las muestras en el espectrofotómetro.</i>	47
Tabla 4.	<i>Concentración de los metales pesados en brócoli en los Reyes de Juárez, Puebla y Palmarito Tochapan. Los valores máximos permisibles son de acuerdo con las normas internacionales y nacionales.</i>	66
Tabla 5.	<i>Metales pesados encontrados en brócoli de Palmarito Tochapan y Los Reyes de Juárez Puebla.</i>	68
Tabla 6.	<i>Análisis de Varianza (ANOVA) realizada en el software estadístico Minitab con el nivel de confianza del 95%.</i>	69
Tabla 7.	<i>Prueba Tukey en metales pesados analizados en el brócoli de ambas zonas de estudio.</i>	70
Tabla 8.	<i>pH en suelos de Los Reyes de Juárez, Puebla y su movilidad respecto a los metales pesados: Pb, Cu, Mn, Fe.</i>	78
Tabla 9.	<i>pH en suelos de Palmarito Tochapan y su movilidad con respecto a los metales pesados: Pb, Cu, Mn, Fe.</i>	79
Tabla 10.	<i>Contenido de materia orgánica en los Reyes de Juárez y Palmarito Tochapan.</i>	81
Tabla 11.	<i>Contenido de Arcilla en los Reyes de Juárez y Palmarito Tochapan.</i>	83
Tabla 12.	<i>Contenido de arcilla, limo y arcilla (clase textural del suelo) en Reyes de Juárez.</i>	84
Tabla 13.	<i>Contenido de arcilla, limo y arcilla (clase textural del suelo) en Palmarito Tochapan.</i>	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismos involucrados en la acumulación de metales pesados en plantas.....	20
Figura 2. Regiones que se benefician con el agua de la presa Manuel Ávila Camacho “Valsequillo (Tomado de)	22
Figura 3. Diagrama general de la investigación.	39
Figura 4. Ubicación geográfica de la Central de abastos de Huixcolotla, Puebla.....	40
Figura 5. Muestras de brócoli etiquetadas para su refrigeración.....	43
Figura 6. Digestión de las muestras de brócoli.	45
Figura 7. Muestras digeridas y colocadas en frascos.....	45
Figura 8. Calibración del Instrumento.	46
Figura 9. Municipios donde se cultiva brócoli para su posterior venta en la Central de abastos de Huixcolotla.....	48
Figura 10. Razones por las que los productores se dedican a la siembra y venta de brócoli.	50
Figura 11. Porcentajes de participación familiar, mano de obra o ambos en la producción de brócoli.	51
Figura 12. Medios para mejorar el crecimiento y desarrollo del brócoli.....	54
Figura 13. Prácticas para el control de plagas y enfermedades.....	55
Figura 14. Método de abastecimiento de agua a cultivos de brócoli, por medio de Pozo y Mixto.	56
Figura 15. Zonas cercanas a las parcelas de cultivo de los dieciocho productores de brócoli encuestados.	57
Figura 16. El cultivo de brócoli afectado por el cambio climático.	59
Figura 17. El cultivo de brócoli como sustento económico.....	60
Figura 18. Número de ha que poseen los productores de brócoli.	61
Figura 19. Número de veces en el año que se cultiva brócoli.	61
Figura 20. Lugares en donde los 18 productores de brócoli encuestados venden su cosecha.....	62
Figura 21. Porcentaje consumo local, nacional y de exportación.....	63

Figura 22. Diferencias de medias en concentraciones de los metales obtenidos en ambas zonas de estudio.....	70
Figura 23. Pozos pertenecientes al Municipio de los Reyes de Juárez	72
Figura 24. Pozos pertenecientes al Municipio de Quecholac.	73
Figura 25. Tipo de suelo en Palmarito Tochoapan.	75
Figura 26. Tipos de suelo en los Reyes de Juárez.	76
Figura 27. Diagrama del sistema.	87

I. INTRODUCCIÓN

En Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 007, de Tecamachalco que lo conforman los municipios de: Santa Clara Huitziltepec, Tecamachalco, Quecholac, Palmar de Bravo, Tochtepec, Huixcolotla, Tepeyahualco de Cuauhtémoc, General Felipe Ángeles, Los Reyes de Juárez Atoyatempan, Acatzingo, Molcaxac, Santo Tomas Hueyotlipan, Cuapixtla de Madero, Tepexi de Rodríguez, San Francisco Mixtla, Ixcaquixtla, Zacapala (Simón, 2017); se siembran distintos tipos de hortalizas, además esta zona representa un lugar estratégico para su venta debido a su cercanía con la central de abastos de Huixcolotla considerada una de las más importantes en el estado de Puebla. Una de las hortalizas de gran importancia en esta zona es el brócoli, la cual genera ingresos económicos para las Unidades de Producción familiar (UPF) y fuente de empleo para jornaleros, debido a que se necesita un mayor número jornaleros para el cultivo de brócoli a diferencia de otras hortalizas (SAGARPA-SIAP, 2010).

Además del valor económico, el brócoli genera una contribución positiva para la sociedad, ya que es un alimento con alto valor nutricional, útil en la prevención de enfermedades como el cáncer, además de que la ingesta suficiente de este alimento aporta al organismo nutrientes, vitaminas y minerales (Fundación UNAM, 2019, SIAP, 2020a).

Por otro lado, la contaminación por metales pesados en nuestro país es un problema que ha venido en aumentado con el paso de los años debido a las actividades humanas (Covarrubias y Peña, 2017), estos contaminantes sumamente persistentes pueden ser absorbidos por las plantas ya sea vía área, suelos contaminados o por el riego con agua contaminada (Casierra *et al.*, 2010), en el caso de los suelos la contaminación por metales pesados proviene del uso excesivo de plaguicidas y fertilizantes (Rodríguez *et al.*, 2019).

Cabe destacar que si bien algunos de los metales como el Fe, Mn, Cu, Zn, entre otros son importantes para las funciones biológicas en cantidades moderadas,

el aumento de estos metales en el organismo modifica procesos fisiológicos y bioquímicos del cuerpo (Londoño *et al.*, 2016). Además, existen otros metales como el Pb que no tienen función esencial en el cuerpo, pero si mengua la salud (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes [PRTR], s.f.)

Debido a que la contaminación por metales pesados representa una afectación a la seguridad alimentaria y salud pública (Rodríguez *et al.*, 2019) y a la importancia social y económica para los municipios que comprenden el DDR 007 de Tecamachalco, Puebla, este trabajo contempla determinar la presencia de metales pesados en esta hortaliza, conocer las prácticas agrícolas y aquellos factores ambientales que causan su acumulación.

II. JUSTIFICACIÓN

Brassica olerace var. itálica (brócoli) es un alimento clasificado por la FAO como de alto contenido nutrimental, siendo este producto con alta demanda a nivel nacional e internacional (Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios [SFA], 2011). A nivel internacional este vegetal se consume en 2.1 Kg anual per cápita (Centro de estudios para el desarrollo Rural Sustentable y Soberanía Alimentaria, 2020), en México se consume 1kg por persona al año (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA], 2016). Nuestro país ocupa la quinta posición en producción mundial de esta crucífera con 631,512.0 ton, además de que, su comercialización en los principales mercados nacionales proviene mayoritariamente de seis estados: Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, San Luis Potosí y Puebla (CEDRSSA, 2020) este último ocupa el tercer lugar a nivel nacional en valor de la producción de brócoli posicionándose en 2017 con 47,097 toneladas (ton) siendo un valor de \$158,993,000 (Ruíz *et al.*, 2013).

El territorio que abarca el DDR de Tecamachalco, posee algunas características de importancia, tiene escasa presencia de ríos, pero existen canales

de riego provenientes de la presa Manuel Ávila Camacho, pertenecientes al distrito de riego 030 (DR030) (Gutiérrez *et al.*, 2003). De acuerdo al análisis de agua de esta presa por el investigador de la BUAP Antonio Valdez García, esta agua está contaminada por plomo (Pb), cromo (Cr), mercurio (Hg), cadmio (Cd), Hierro (Fe), arsénico (As) y cobre (Cu) (Mangas *et al.*, 2006). Además, en la presa de Valsequillo se determinaron concentraciones de Hg, Pb, zinc (Zn), talio (Tl) y Cu que superan hasta 100 veces lo permitido por la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-127-SSA1-2017 (Mangas *et al.*, 2006).

Por otro lado, la zona está inmersa dentro del acuífero del Valle de Tecamachalco, uno de los más sobreexplotados en el país (Carrillo-Huerta y Gómez-Bretón, 2019). El acceso al agua mediante pozos profundos durante todo el año permite a los productores sembrar durante todos los ciclos agrícolas (Torres, 2011).

De igual modo, el uso indiscriminado de fertilizantes principalmente fosfatos, plaguicidas, estiércol y purines que contienen metales pesados como: Cd, Pb, Cu y Zn (Rodríguez *et al.*, 2019) sobre los cultivos, influye en su acumulación en suelo y su distribución en las plantas (Kabata, 2004).

Por tanto, este trabajo vislumbra conocer las prácticas agrícolas y aquellos factores ambientales que propician la presencia de metales pesados como el Pb, Cu, Fe y manganeso (Mn) en brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) que se comercializa en la Central de abastos de Huixcolotla, con el propósito de fortalecer la importancia de realizar una producción de un alimento inocuo, que no implique un riesgo tanto para la salud como para la economía de región, pues esta especie representa una importante fuente económica para los productores y las UPF de la zona, además de ser un alimento que se consumen tanto nacional como internacionalmente.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

3.1.1 Contaminación de alimentos a nivel mundial

Se ha reportado a nivel mundial el problema de la contaminación de alimentos por metales pesados a partir de distintas fuentes, ya sea por los sistemas hídricos, la deposición atmosférica, las actividades industriales, el uso de fertilizantes, entre otras. En China 600 millones de habitantes de este país se encuentra en riesgo alto por exposición al agua contaminada por metales pesados, siendo esta agua 70% el recurso hídrico de ese país. Debido a este recurso hídrico, el 20% del suelo cultivable presenta metales pesados lo que ha generado contaminación en la producción de arroz (Rodríguez *et al.*, 2013).

India uno de los países mayor contaminados en el mundo, no es la excepción, se han encontrado acumulación de metales pesados como Cd, Pb, Zn, Ni, Cr y Cu, en alimentos como la calabaza, coliflor, berenjena, amaranto, tomate, rábano, trigo y arroz. Al igual que China, también debido a que frecuentemente utilizan agua contaminada para uso agrícola (Reyes *et al.*, 2016).

En América Latina, encontramos el caso de la cuenca del río Bogotá que al igual que muchos ríos de México recibe descargas de aguas residuales tanto industriales como urbanas. En este país cultivos hortícolas como el repollo, el brócoli, apio y lechuga contienen concentraciones de Pb, Cd, As y Hg (Miranda *et al.*, 2008).

Lamentablemente, este problema ambiental también aqueja a nuestro País, tal es el caso de la bioacumulación de Pb, Cd, Cr, As y Hg en cultivos de Actopan e Ixmiquilpan, en el Valle del Mezquital, estado de Hidalgo. El estudio se realizó en nopales, magueyes, habas y maíz regados con aguas negras. Los resultados arrojaron altas concentraciones de Pb (valores hasta 22.86 mg kg⁻¹) y relativamente

altas en Hg y As (valores hasta 0.69 y 1.45 mg kg⁻¹, respectivamente), (Prieto *et al.*, 2007).

En el estado de Puebla, el municipio de Atlixco reporta presencia de metales pesados como Cr, Cu, Mn, Pb y Zn en hortalizas, siendo el Mn, Pb y Zn los que se encuentran en mayor concentración. El estudio fue realizado en hortalizas como maíz, alfalfa, cebolla, ejote calabaza, epazote, hierbabuena, cilantro, jitomate y nopal, que rebasan los límites admisibles por las normas de Estado Unidos de América y de la Unión Europea (Jano Tolama, 2017).

3.1.2 Metales pesados en *Brassica oleracea* var. *Itálica*

Las especies de la familia Brassicaceae se han utilizado como plantas modelo para el estudio de diversos factores ambientales, entre estos, los metales en el suelo, ya que esta familia posee un gran número de especies acumuladoras de metales como *Brassica juncea* (L.) la cual acumula niveles altos de Cd, Ni, Zn, Cu, Se y Pb, por lo que se ha empleado para la fitoextracción en suelos contaminados por metales (Casierra *et al.*, 2010). En el caso del repollo que es una hortaliza (*Brassica oleracea* L), acumula gran cantidad de metales pesados que llega a ser un riesgo para la salud humana (Kabata Pendias y Pendias, 2000). En términos económicos las especies del género *Brassica* son cultivos importantes, por ser ricos en proteínas, vitaminas, glucosinolatos, carotenoides y fibras (Casierra *et al.*, 2010).

De acuerdo con Riveros Villa (2017), cultivos de las especies *Brassica oleracea* L (repollo) y *Brassica oleracea* var. *itálica* (brócoli) regados con agua del río Higuera que se encuentra contaminada por metales pesados, en ambas hortalizas la concentración de Pb superó la concentración máxima permisible en alimentos para lactantes y niños de corta edad establecidos por Unión Europea, por tanto, este grupo de población no debería consumir repollo ni brócoli contaminados porque pasan los 0.02 mg kg⁻¹ de Pb. En el caso del Cd la parte comestible de repollo y brócoli no sobrepasó los niveles máximos establecidos por la Unión Europea con 0.20 mg kg⁻¹ (Riveros Villa, 2017).

Por otro lado, en muestras de brócoli provenientes de Guanajuato y del estado de Puebla que se comercializan en establecimientos localizados en el área metropolitana de Monterrey y analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica, dieron como resultado acumulación de aluminio (Al) en *Brassica oleracea* var. *italica* en concentraciones de 3.53 mg/L superando el límite recomendado por la Agencia de protección del medio ambiente de Estados Unidos de Norteamérica (EPA) que recomienda un límite de 0.05 a 0.2 mg/L para Al en el agua potable, así mismo, se reporta en brócoli presencia de Pb y Cd en concentraciones menores a 0.02 mg/L y menores a 0.05 mg/L respectivamente, sin embargo, estas concentraciones no superan las establecidas por la EPA para estos metales (Núñez *et al.*, 2008).

En el brócoli puede translocar y acumular metales pesados como el Pb el que se ha encontrado en raíces e inflorescencias y en menor grado en tallo y hojas. El Cd se ha encontrado en mayor grado en hojas e inflorescencias y en menores concentraciones en raíces y tallo Cd, este metal tiene una alta movilidad y capacidad para transferir los metales y es de acumulación acentuada en las hojas, lo que lo convierte en un riesgo evidente principalmente en hortalizas de hoja. (Yaacob *et al.*, 2018; dos Santos *et al.*, 2021). Además, del Pb y Cd se reporta acumulación de Cu en raíces (Dos Santos *et al.*, 2021).

Otros estudios como los de Kalavrouziotis y colaboradores (2008), reportan que el riego con aguas residuales municipales tratadas en cultivos de brócoli, provocan acumulación de Pb, Cd y Cu en las partes comestibles de la planta, principalmente en las cabezas florales, siendo el contenido de Pb entre 9.82–10.4 µg /g lo que indica que la reutilización de esta agua no es segura para riego agrícola. De acuerdo al Codex límite permisible de Pb en las partes comestibles de la planta es de 0,3 mg/kg (Kalavrouziotis *et al.*, 2008).

3.1.3 Técnica de espectrometría de absorción atómica para la detección de metales

La espectrometría de absorción atómica es un proceso por el cual se pueden determinar de manera cuantitativa más de 60 elementos de la tabla periódica, principalmente en el rango de $\mu\text{g/ml}$ - ng/ml . Este tipo de técnica se puede emplear para procesar muestras tanto líquidas como sólidas, entre sus múltiples aplicaciones sirve para el análisis de aguas, muestras geológicas, muestras orgánicas, metales, muestras químicas y farmacéuticas, petróleo y sus subproductos (Razmilic, s.f.).

3.2 Marco conceptual

3.2.1 Tipo de investigación mixta secuencial

Esta investigación es de tipo mixta ya que permite la integración de métodos cuantitativos y cualitativos para entender de manera más completa el fenómeno. Siendo secuencial, como una variante del enfoque mixto, lo cual quiere decir que es a través de dos etapas separadas, la primera en donde se lleva a cabo la recolección y el análisis de los datos cualitativos, para posteriormente realizar una segunda etapa en donde se realiza la recolección y el análisis de los datos cuantitativos, esta segunda etapa sirve para contrastar, complementar y/o validar los hallazgos de la primera etapa (Hernández-Sampieri et al., 2010).

3.2.2 Enfoque del trabajo

El enfoque de esta investigación es mixto, en este tipo de enfoques se recolectan, analizan e integran datos cuantitativos y cualitativos, lo que permite tener una perspectiva más completa y amplia del fenómeno a estudiar (Hernández-Sampieri et al., 2010).

3.2.4 Teorías que soportan la investigación

3.2.4.1 Cadena agroalimentaria

Una cadena agroalimentaria es el conjunto de actividades y actores involucrados en la creación de un producto, manejarlo, venderlo, hasta finalmente

entregarlo a su destino final (Woller, 2008). La cadena agroalimentaria inicia con la decisión de producir y en qué cantidades y finaliza hasta que el producto es consumido. Durante ese proceso una variedad de distintas disciplinas como la economía, la sociología, las ciencias de la salud, la ingeniería, la agronomía, la entomología, la patología, la planificación, las ciencias políticas, las ciencias de los alimentos interactúan contribuyendo en la maniobra y precepción del sistema (La Gra *et al.*, 2016).

3.2.4.2 Teoría de sistemas complejos

Se define como sistema complejo aquellos sistemas que tienen características adaptativas y con carencia de linealidad. Los componentes o elementos que conforman el sistema, interaccionan entre sí provocando una conducta que no puede explicarse si estos elementos se estudian de manera aislada, únicamente puede explicarse de manera conjunta (Maldonado, 2014).

Para Morin (1990), se considera un pensamiento complejo cuando se cumple ciertas condiciones como: unir al objeto o sujeto con su entorno, no considerar al objeto como objeto, sino como sistema que plantea los problemas complejos de la organización.

La teoría de sistemas complejos abarca cuatro premisas (Maldonado, 2014):

1. La complejidad involucra una filosofía del movimiento, esto quiere decir que los sistemas complejos son irreversibles, inesperados y aperiódicos.
2. Tiempos de la complejidad, refiriéndose a que los sistemas complejos no son deterministas, excluyen la idea de que el pasado determina el presente, que el futuro puede anticiparse.
3. La ruptura epistemológica, científica y cultural. Se refiere a que existen tres clases de ciencia y tres clases de método científico.
4. Los sistemas complejos crean, una revolución científica en curso.

3.2.4 Metales pesados

“Los metales pesados son aquellos elementos químicos que bajo condiciones biológicas reaccionan perdiendo uno o más electrones para formar un catión” (Cornelis y Nordberg, 2007). Presentan un número atómico superior a 20 sin incluir los metales alcalinos y alcalinotérreos (Navarro *et al.*, 2007). Poseen un peso atómico entre los 63.55 y 200.59 UMA y un peso específico mayor a 4 g/cm³ (Chata, 2015). Los metales pesados se encuentran de forma natural en concentraciones distintas en los ecosistemas, algunas de las causas de concentraciones de metales pesados en la naturaleza son debido a la actividad volcánica, meteoros, erosión y procesos de formación de suelo, no obstante, las actividades antropogénicas como la minería, los drenajes urbanos, el uso de combustibles fósiles, la industria a través de sus emisiones, residuos y sus vertidos en los cuerpos de agua hacen que las concentraciones de metales aumenten y sean un factor de riesgo para la población y el medio ambiente (Navarro *et al.*, 2007).

Dependiendo de la concentración, el tiempo y vía de exposición son los efectos que tienen los metales pesados en la salud humana, pudiendo causar daño en los riñones, retrasos en el desarrollo y en caso de exposición severa, son causa de muerte. Según la lista de contaminantes de orden prioritario de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (USEPA) se consideran metales tóxicos al: As, Hg, selenio (Se), Pb, titanio (Ti), Cr, cobalto (Co), Ni, Cu, Zn, Cd. Siendo carcinógenos el Pb inorgánico y sus compuestos, el As tanto orgánico como inorgánico, Cd, Fe, Ni y los compuestos del Cr (IARC, 2012).

3.2.4 Absorción de metales pesados por las plantas

Los metales que se encuentran en el suelo entran en contacto con la zona de absorción de la raíz o bien son arrastrados por el movimiento del agua hacia la raíz (Santiago, 2011), posteriormente los metales son transportados al tallo por medio del xilema hasta la parte aérea de la planta (Figura 1), es decir las hojas,

flores e inflorescencias, una vez allí entran a la célula vegetal donde son almacenados en la vacuola celular (Xiong, 1997).

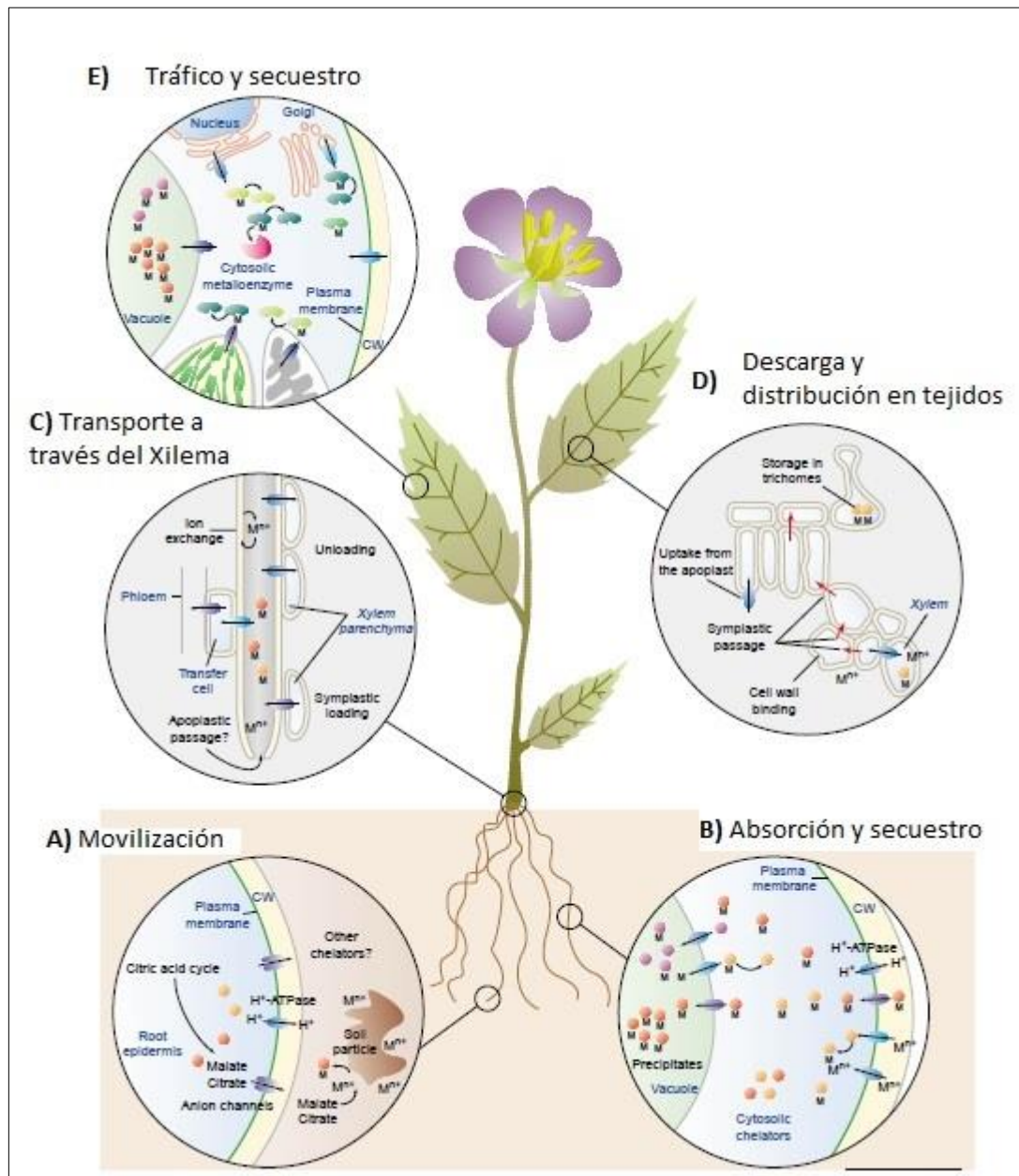


Figura 1. Mecanismos involucrados en la acumulación de metales pesados en plantas. A) Los iones metálicos se movilizan por acidificación de la parte del suelo cercana a las raíces de las plantas (rizósfera) y por secreción de agentes quelantes. B) La absorción de iones metálicos hidratados o complejos quelantes metálicos se

lleva a cabo por varios sistemas de absorción que reside en la membrana plasmática de la célula vegetal. Ya en la célula, los metales son secuestrados y transportados a la vacuola celular. C) Los metales son transportados a través del Xilema, dentro de este los metales están presentes como iones hidratados o como quelatos metálicos. D) Después de alcanzar el apoplasto de la hoja, los metales son capturados y movilizados de célula a célula a través de los plasmodesmos. E) El tráfico intracelular de los metales es gracias a proteínas metalochaperonas y transportadores localizados en endomembranas Adaptado de “Clemens *et al.*, 2002)

3.2.5 Distrito de riego 030

El Distrito de Riego 030 Valsequillo, se creó en 1944, tuvo como objetivo transformar los sistemas de producción agrícola del Valle de Tecamachalco, Tlacotepec y Tehuacán. Este distrito de riego abastece la parte central del Estado de Puebla, sobre el Valle de Tecamachalco, Tlacotepec y Tehuacán (Figura 2), aproximadamente entre los paralelos 18°43'55" y 18°36'20" de latitud norte a los meridianos 97°52' y 97°34' de longitud al oeste de Greenwich (Barrios *et al.*, 2017). Los municipios que se benefician con esta agua son:

Tecali de Herrera, Tecamachalco, Atoyatempan, Santa Isabel Tlanepantla, Santo Tomas Hueyotlipan, Molcaxac, Xochitlán Todos Santos, Tehuacán, Tepanco de López, Tlacotepec de Benito Juárez, San José Miahuatlán, Huitziltepec, Tepeyahualco, Huixcolotla, Tochtepec, Yehualtepec, Cuapiaxtla (Gutiérrez, 2015).

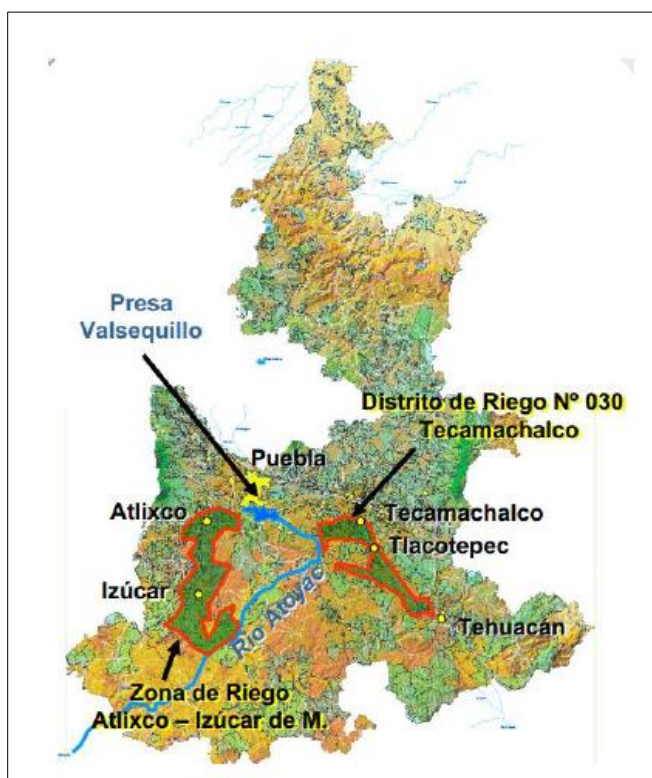


Figura 2. Regiones que se benefician con el agua de la presa Manuel Ávila Camacho “Valsequillo (Tomado de Bonilla *et al.*, 2015).

De acuerdo al estudio realizado por Mangas y col. (2006), en la Presa Manuel Ávila Camacho reportaron concentraciones de 90 mg L^{-1} de Hg, 60 mg L^{-1} de Pb, 170 mg L^{-1} de Zn, y 50 mg L^{-1} de Cu que superan hasta 100 veces lo permitido por la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-127-SSA1-2017.

De igual modo, los mismos autores determinaron que el agua contiene concentraciones de cianuro que van de los $100\text{-}150 \text{ mg L}^{-1}$, 100 veces superiores a lo permitido en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 en donde el rango de los $2 \text{ a } 3 \text{ mg L}^{-1}$ y en donde la concentración letal de cianuros para seres humanos es de 50 mg L^{-1} (Mangas *et al.*, 2006).

3.2.6 Pb fuentes y efectos a la salud humana

Las fuentes contaminación de alimentos con Pb son muy diversas, sin embargo, referente a los recursos abióticos, las principales fuentes son el aire, suelo y agua. En el caso del aire, anteriormente se deriva de la contaminación por las industrias y de los escapes de los automóviles, ya que algunas gasolinas contienen Pb, por lo que la cercanía de las autopistas o tierras de cultivo pueden ocasionar su deposición en plantas (FAO, s.f.-a). La contaminación de los alimentos a partir de agua, ocurre por los drenajes, por deposición atmosférica y en los hogares debido a las tuberías de Pb en los sistemas de distribución de agua. Así mismo, en el caso del suelo agrícola puede ser por el uso constante de plaguicidas, fertilizantes y lodos residuales (FAO, s.f.-a).

El Pb origina que el sistema inmunológico ataque sus propias células tomándolas como invasoras (autoinmunidad), lo que causa posteriormente artritis reumatoide, enfermedades renales y enfermedades en el sistema circulatorio, (Navarrete *et al.*, 2012). Por otro lado, daña la capacidad intelectual y la función motora para realizar movimientos rápidos, ya que actúa sobre el cerebro y el sistema nervioso periférico (CSG, 2019).

A partir de estudios epidemiológicos realizados en nuestro país, entre 1978 y 2010 se encontró Pb en la sangre de mujeres, niños, adultos, poblaciones urbanas y población no ocupacionalmente expuesta de dos veces el valor límite que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000 (CSG, 2019).

En el estado de Puebla se considera la intoxicación por Pb como una de las enfermedades asociadas al río Atoyac, principalmente en la población infantil. La intoxicación por Pb, causa pérdida de las habilidades del desarrollo, comportamiento agresivo, bajo rendimiento escolar, dificultad para dormir e irritabilidad (UNAM, 2017). Otros síntomas reportados en la población son: anemia, dolores de cabeza, pérdida de la audición estreñimiento y dificultad para embarazarse (Secretaría de Salud Gobierno de Puebla, 2020).

3.2.7 Cu y sus efectos a la salud humana

El Cu es un metal de color rojizo, se encuentra de manera muy amplia en el medio ambiente, en las rocas y sedimentos, en la vegetación en descomposición, a partir de la actividad volcánica y los incendios forestales. Por otro lado, las actividades antropogénicas derivan en un aumento de los niveles de Cu, convirtiéndose en nocivo para el ambiente y la salud, tales actividades son: las minas de Cu, las fábricas que producen Cu y sus compuestos, las aguas residuales urbanas, el uso de combustibles fósiles y la combustión de desperdicios (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades y [ATSDR], 2004). Así mismo, en la agricultura también se usan compuestos de Cu como en el caso de los abonos de fosfato y los pesticidas que contienen sulfato de Cu (Londoño *et al.*, 2016).

De acuerdo con la EPA, el Cu no ha sido clasificado como un metal cancerígeno. Sus efectos en la salud humana, van desde irritación en la nariz, boca y ojos, náuseas, dolores de cabeza, vómito, dolor de estómago mareos y diarrea. La ingestión de niveles altos de Cu produce daño en riñones e hígado y finalmente la muerte (ATSDR, 2004).

3.2.8 Mn fuentes y efectos en la salud humana

El Mn es metal pesado considerado como parte de los elementos más abundantes de la corteza terrestre (Nordberg, 2013). De forma natural se encuentra formando compuestos químicos con otros elementos como oxígeno, azufre y cloro. Está presente en el agua, aire y suelo, así como en la mayoría de los alimentos (Ramírez y Azcona, 2017). Además, el Mn es utilizado en los fertilizantes, en el proceso de producción del acero y vidrio, como decolorante textil y en el curtido de pieles. El metilciclopentadienil manganeso tricarbonilo (MMT) se ha utilizado como aditivo antidetonante en gasolinas e inhibidor de humos (Nordberg, 2013).

Por otro lado, las principales fuentes de exposición al Mn son: los alimentos, riesgo ocupacional, agua potable y suelo, así como el aire (ATSDR, 2012). Dado que la principal vía de absorción es por medio del tracto gastrointestinal, a través de la ingesta diaria se adquieren entre 2.3 y 8.8 mg que permiten conservar la salud, sin embargo, si se sobrepasa esas cantidades puede ser tóxico para el ser humano, causando efectos asociados con la alteración de las habilidades motoras, pérdida de memoria y alteraciones en la capacidad de aprendizaje (Ramírez y Azcona, 2017). En sangre el Mn puede permanecer de 8 a 12 horas, sin embargo, en huesos permanece años (entre 8 y 9 años). Además, se acumula en órganos como el hígado y cerebro (Ramírez-Ayala y Azcona-Cruz, 2017).

3.2.9 Fe fuentes y efectos en la salud humana

El Fe es el segundo metal más abundante en el planeta (Nordberg, 2013), es esencial para la vida, pero en cantidades elevadas puede resultar tóxico (Toxqui *et al.*, 2010). Este metal está presente en distintos procesos metabólicos, ya que es componente de enzimas y otros complejos moleculares. Algunas de sus funciones son: transporte de oxígeno a través de la hemoglobina; síntesis de ADN, transporte de electrones, síntesis, degradación y almacenamiento de neurotransmisores, serotonina, dopamina y ácido gamma aminobutírico (GABA) (Toxqui *et al.*, 2010), sin embargo, la absorción excesiva de Fe puede darse debido a dos situaciones, una de estas es cuando una persona tiene una ingesta de Fe muy alta que sobrepasa el sistema de regulación de la absorción, lo cual provoca dolores de cabeza, fatiga, mareo, pérdida de peso, coloración grisácea, dificultad para respirar. El Fe se acumula en hígado y bazo y posteriormente en tejidos de todo el cuerpo, cuando esto sucede es causa de otras enfermedades más graves como diabetes, fallo cardíaco, así como daño severo al músculo cardíaco (Amatriain, 2000).

La Tabla 1 muestra la ingesta de Fe recomendada al día.

Tabla 1. *Ingesta recomendada de Fe para niños, hombre y mujeres.*

Población	Ingesta de Fe recomendada
Niños/Niñas	de 7 a 9 mg/día
Hombres	10-15 mg/día
Mujeres	10-18 mg/día

Nota. La ingesta de Fe recomendada, también depende de otros factores como la edad, la lactancia y gestación. Información de la tabla tomada de (Toxqui *et al.*, 2010)

3.2.10 Bioacumulación y biomagnificación

Los metales pesados y otros compuestos orgánico sintéticos no son biodegradables, lo que les confiere una tendencia acumularse en los organismos vivos. Dado que algunos organismos no tienen los mecanismos para excretar estas sustancias ni metabolizarlas, las cantidades mínimas consumidas por un largo periodo de tiempo se acumulan dentro de estos y tienden causar toxicidad. Cuando el problema de bioacumulación se agrava y escala en la cadena trófica se llama biomagnificación (Nebel,1999).

3.2.11 *Brassica oleracea* var. *itálica* (brócoli).

El brócoli pertenece a la familia *Cruciferae* o *Brassicaceae* y su nombre científico es *Brassica oleracea*. var *itálica* (Zárate, 2013). Esta planta está compuesta por la raíz, el tallo principal que posee de 3 a 6cm de diámetro y de donde emergen hojas dispuestas en forma helicoidal que llegan a medir entre 50 cm de longitud y 30 de anchura (Zárate, 2013). El tallo posee ramificaciones las cuales dan sostén a las inflorescencias racimosas, las cuales tienen un diámetro que oscila entre los 30 cm, con rebrotes laterales que no sobrepasan los 10 cmm,

estas inflorescencias son la parte comestible del brócoli (Zárate, 2013). A continuación, se presenta la Tabla 2 sobre los componentes nutricionales del brócoli.

Tabla 2. *Composición nutricional del brócoli.*

Composición nutricional de 100 g de brócoli fresco	
Agua (%)	91
Proteína (g)	5.45
Vitamina A (UI)	3500
Vitamina B1 (mg)	100
Vitamina B2 (mg)	210
Vitamina B3 (mg)	0.64
Vitamina B6 (mg)	0.16
Vitamina C (mg)	118
Calcio (mg)	130
Fósforo (mg)	76
Hierro (mg)	1.3
Sodio (mg)	27
Potasio (mg)	325

Nota: Información de la tabla tomada de (Rozano *et al.*, 2004) y (Zamora, 2016).

Por otra parte, el brócoli también presenta antinutrientes como lo son las sustancias antitiroideas, específicamente compuestos tóxicos llamados tioglucósidos que impiden la formación de hormonas tiroideas, por lo que no se debe abusar su consumo (Martínez, 2017).

3.2.12 Requerimientos del cultivo de brócoli

El cultivo del brócoli se lleva a cabo a una temperatura mínima de 6 °C y máxima es a los 30 °C, su crecimiento óptimo es entre los 16 y 18 °C, mientras que el crecimiento nulo se da a partir de los 5°C. La planta se puede desarrollar en un amplio rango de texturas de suelos, prefiriendo suelos con buen drenaje (Zamora, 2016). El establecimiento y desarrollo de brócoli se lleva a cabo en un tiempo de 75 a 90 días, las plantas se protegen median fertilizantes y plaguicidas. Con respecto al riego, este se realiza cada 15 días durante las etapas de crecimiento del brócoli (Torres, 2011).

3.2.13 Seguridad Alimentaria

Se define como seguridad alimentaria cuando todos los individuos que conforman la sociedad poseen en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que compensan sus necesidades energéticas diarias y predilecciones alimentarias para llevar una vida activa y sana.

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la seguridad alimentaria se basa en cuatro dimensiones que deben realizarse simultáneamente para que se logre esta seguridad alimentaria, estas dimensiones son:

- ✓ Disponibilidad física: Se refiere a lo oferta o existencia de los alimentos en cantidades suficientes, que su producción sea de calidad adecuada, así como su comercio neto.
- ✓ Acceso económico y físico a los alimentos: A partir de la inquietud por la insuficiencia en el acceso a los alimentos, se han creado políticas que permitan adquirir los objetivos de la seguridad alimentaria, pues el hecho de que exista una buena oferta de alimentos a nivel nacional e internacional, no garantiza el acceso a estos a nivel hogares.
- ✓ Utilización: Esta dimensión está más relacionada con el aspecto fisiológico, el cómo nuestro cuerpo aprovecha los alimentos a partir la correcta preparación de estos, la dieta variada, distribución de alimentos

sanos en el hogar que nos permitan satisfacer nuestras necesidades nutrimentales.

✓ Estabilidad en el tiempo: Se requiere que las tres dimensiones mencionadas anteriormente no fluctúen en el tiempo, para que las personas siempre tengan acceso a alimentos nutritivos aún en el caso de que se presenten acontecimientos repentinos como crisis económica como la falta de empleo y el aumento de los precios, inestabilidad política, cambio en las condiciones climáticas (sequía e inundaciones) (FAO, 2011).

3.2.14 Prácticas agrícolas en la presencia de metales pesados en el brócoli.

Los cultivos están expuestos a múltiples factores que pueden dificultar su desarrollo tal es el caso de la variabilidad climática que vivimos actualmente, las plagas, la falta o el exceso de lluvia, entre otros (SENASICA, 2017)

Las prácticas de cultivo se refieren a aquellas acciones llevadas a cabo por el agricultor para el cuidado de su producción, como, por ejemplo: la plantación ya sea con semilla o plántula, el riego, la fertilización, la protección contra plagas y enfermedades, etc. (González y Ayuso, 2021). Por otro lado, la NOM-EM-034-FITO-2000 define a las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) como el un conjunto “métodos de cultivo, cosecha, selección, almacenamiento y transporte de productos agrícolas para verificar que cumpla con los requisitos fitosanitarios y disminuir los riesgos de contaminación tanto biológica como química y física”.

3.2.14.1 Metales pesados en Pesticidas y Fertilizantes

Los metales pesados están presentes en los sistemas agrícolas, mediante los fertilizantes tanto químicos como orgánicos, así como los plaguicidas que se usan de manera intensiva. En fertilizantes se han identificado metales como: Cd, Cr, Molibdeno (Mo), Pb y Zn. En plaguicidas se reporta la presencia de Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn; En el caso de fertilizantes de origen orgánico como el estiércol, se

reporta Cu, As, Zn (Alloway, 2013). Por otro lado, Defarge *et al.*, (2018), reporta concentraciones de As, Co, Cr, Ni y Pb que superan los niveles admisibles en agua por la Unión Europea y la Pb en distintos tipos de herbicidas basados en Glifosato, fungicidas e insecticidas.

En México la NOM-EM-034-FITO-2000 establece los requisitos y especificaciones para la aplicación y certificación de BPA en los métodos de producción de frutas y hortalizas frescas. Estos requisitos son de uso obligatorio en todo el País para aquellas empresas de producción que pretenden obtener esta certificación.

3.2.14.2 Acuífero del Valle de Tecamachalco

El agua es uno de los recursos naturales básico para la seguridad alimentaria, la salud humana y la actividad económica, pero cada vez este recurso hídrico es menor debido al aumento de la población y sequías prolongadas, tal es el caso del acuífero del valle de Tecamachalco que se encuentra en la porción central del estado de Puebla, posee una extensión superficial de 3,600 km². Colinda al Noroeste con la sierra de Soltepec, con el volcán de la Malinche al norte, al sur y suroeste con la sierra de Zapotitlán y con la sierra del Tenzo al oeste, (CONAGUA, 2020). Este acuífero abastece 29 municipios contenidos de manera total o parcial: Acatzingo, Amozoc, Cañada Morelos, Cuapiaxtla de Madero, Cuautinchán, Chapulco, Esperanza, General Felipe Ángeles, Huitziltepec, Mixtla, Molcaxac, Nicolás Bravo, Quecholac, San Salvador Huixolotla, Los Reyes de Juárez, Palmar de Bravo, Santiago Miahuatlán, Santo Tomas Hueyotlipan Tecali de Herrera, Tecamachalco, Tepatlaxco de Hidalgo, Tepanco de López, Tepeaca, Tepeyehualco de Cuautémoc, Tlacotepec de Benito Juárez, Tochtepec, Tlanepantla, Xochitlán Todos Santos y Yehualtepec; por lo que el acuífero se clasifica de acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2015, como zona de disponibilidad uno (CONAGUA, 2020).

El acuífero del Valle de Tecamachalco es uno de los más explotados en el país, se calcula un déficit de 68.37 millones de m³ anuales en la disponibilidad media de agua subterránea. La explotación del acuífero es en 81% para fines agrícolas, 17.40% para uso público urbano, 0.40 para fines industriales y 1.20% para otros fines (CUPREDER, 2011).

Aunado a la explotación del acuífero, no hay una recarga adecuada del acuífero debido a que no existen ríos o flujos de importancia en la región que lo alimenten, por lo que la recarga de este depende de la precipitación pluvial que se infiltra en las partes elevadas de la zona, por flujos subterráneos horizontales, agua proveniente de la parte sur del acuífero Oriental por la sierra de Soltepec, por medio de la infiltración del agua proveniente de los sistemas de riego del DR030 y por las fugas en las tuberías de los sistemas urbanos (CUPREDER, 2011).

Además, de acuerdo al Dr. Ernesto Mangas Ramírez del equipo multidisciplinario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla que elaboró un Plan Estatal Hídrico para gestión gubernamental, menciona que, en cuestión de riego agrícola, estima que entre 15 y 20 años disminuirá el líquido establecido para este fin en la zona de Tecamachalco, por lo que es vital generar estrategias para aumentar la infiltración de la lluvia y recargar a este manto acuífero (BUAP, 2018).

De acuerdo con Florescano y col. (1980), se puede definir a la sequía como “Fenómeno de origen meteorológico que surge cuando la lluvia o el escurrimiento natural en un momento dado es menor al valor normal, y cuando esta deficiencia es lo bastante importante y extensa para provocar efectos en las actividades humanas”.

El índice de severidad de sequía (IS) en Tecamachalco es severo. Se han presentado casos en donde no ha llovido en los meses en donde se esperan lluvias. De acuerdo a lo anterior, la mayoría de los cultivos del municipio de Tecamachalco son de riego debido a la poca agua de lluvia disponible en la zona (Centro De Universitario Para La Prevención De Desastres Regionales [CUPREDER], 2011).

Por otro lado, en un comunicado periodístico, se menciona que en la última década las lluvias han escaseado, lo que ha provocado una disminución y en algunos casos pérdidas de las cosechas, ya que a pesar de recibir el agua de la presa Manuel Ávila Camacho, los campesinos consideran que el "agua del cielo" como suelen llamar a la lluvia, ayudar a mejorar el crecimiento de la planta.

En el mismo reportaje, el agricultor entrevistado señaló que, derivado de la falta de lluvia en la región, los agricultores prefieren invertir en terrenos de riego que, en terrenos de temporal, ya que, seguir con el riego de temporal implica pérdidas en los cultivos y, por tanto, en su economía.

Por otro lado, el acuífero de Tecamachalco no solo sufre por la falta de agua sino también por la contaminación que presenta por las corrientes superficiales provenientes del río Atoyac y causas con aguas residuales (CONAGUA, 2009).

3.2.15 Propiedades del suelo como factores ambientales en la presencia de metales pesados en el brócoli.

El suelo es la parte exterior de la corteza terrestre compuesta por material fragmentado, materia orgánica, agua, aire, microfauna (SEMARNAT, s.f.). Se origina por la acción del tiempo y la interacción continua del mismo material con el clima, el tipo de vegetación, el relieve y de materiales parentales como rocas y minerales originarios (FAO, s.f.-b). En México existen 25 de las 30 unidades de suelo reconocidas por la FAO, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la ISRIC (Centro Internacional de Referencia e Información de Suelos), algunos de estos son los leptosoles, regosoles, calcisoles, feozems, vertisoles, siendo los tres primeros los de mayor distribución en México (SEMARNAT, s.f.).

Los metales pesados se encuentran en la corteza terrestre, sin embargo, pueden aumentar su concentración en suelos debido a distintos procesos naturales como el

intemperismo, la erosión, el desgaste de los cerros y volcanes, pero también a procesos antropogénicos como la minería, las industrias, el vertido de residuos y la actividad agrícola, esta última debido al uso indiscriminado de fertilizantes, plaguicidas y el reúso de agua en la agricultura (Barrón, s.f.). Al aumentar la concentración de metales pesados en los suelos, estos pueden volverse tóxicos para las plantas y escalar en la cadena alimentaria (Prieto *et al.*, 2009).

Las propiedades del suelo influyen en las concentraciones de metales en este y su disponibilidad hacia las plantas (Rooney *et al.*, 2006; Zhao *et al.*, 2006.). Algunos componentes que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son: el pH, potencial redox, el contenido de materia orgánica, la presencia de carbonatos, capacidad de intercambio catiónico y/o aniónico y el contenido de arcillas presentes en el suelo (Prieto *et al.*, 2009). La mayoría de los metales tienden a aumentar su nivel biodisponible en suelos con pH ácido, con algunas excepciones como en el caso del As, Mo, Se y Cr que están más disponibles a pH alcalino. Por otro lado, hay una relación entre la presencia de carbonatos en el suelo y el pH, pues la presencia de los primeros provoca que los valores altos de pH de los suelos se mantengan y por tanto los metales pesados tienden a precipitarse.

Por su parte, la materia orgánica es importante para la fertilidad de los suelos y la productividad de las plantas. Se refiere al total de compuestos orgánicos, como acumulación de restos de vegetales y animales en el suelo y que con la acción de factores edáficos, biológicos y climáticos se transforman a lo largo del tiempo. La materia orgánica varía dependiendo del relieve, tipo de suelo y las actividades antropogénicas (Sánchez, 2016).

Finalmente, suelos arcillosos son más propensos a adsorber los metales pesados, mientras que los suelos arenosos no poseen la capacidad de fijación de metales pesados, por tanto, los metales se infiltran en el subsuelo y pueden llegar a contaminar los niveles freáticos.

3.3 Marco legal

3.3.1 Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, bienes y servicios

Esta Norma Oficial Mexicana describe los métodos de prueba de espectrometría de absorción atómica para la detectar metales como Cd, As, Pb, estaño (Sn), Cu, Fe, Zn y Hg presentes en alimentos, bebidas, agua purificada y agua potable. Esta norma aplica en territorio nacional para personas físicas o morales que requieran efectuar este método en productos nacionales o de importación, para fines oficiales.

3.3.2 NOM-199-SSA1-2000. Salud ambiental. Niveles de Pb en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente

Norma oficial mexicana que establece los niveles de Pb en sangre y las acciones básicas de prevención y control en población expuesta no ocupacionalmente.

El valor sobre la concentración permisible de Pb en sangre en mujeres embarazadas, mujeres lactantes y niños, es de 10 mg/dl. Para la población expuesta no ocupacionalmente es de 25 mg/dl.

3.3.3 Norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

Establece los parámetros máximos admisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes dentro del territorio nacional, con el propósito de proteger su calidad y adecuar sus usos, y de carácter obligatorio para los actores involucrados de realizar dichas descargas. Esta norma reconoce como metales pesados, los siguientes: As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn y cianuros.

De acuerdo con las descripciones de esta norma, la concentración de metales pesados, cianuros y contaminantes básicos para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible. Los valores de interés en esta investigación son los correspondientes al As y Pb en ríos y suelo para uso agrícola. En ríos en el caso del As es 0.2 mg/L Promedio mensual (P.M.) y 0.4 mg/L promedio diario (P.D.), en el caso del Pb 0.5 mg/L P.M. y 1 mg/L P.D. En el suelo para As los valores máximos permisibles son: 0.2 mg/L P.M. y 0.4 mg/L P.D. Para Pb 5 mg/L P.M. y 10 mg/L P.D.

3.3.4 Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-127-SSA1-2017, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua

El propósito de esta medida es establecer los parámetros admisibles de calidad que debe cumplir el agua para uso y consumo humano. Esta norma es de carácter obligatorio en el territorio mexicano para las instituciones encargadas de los sistemas de abastecimiento de agua privados como públicos.

De acuerdo a esta norma los límites máximos permisibles para metales pesados de nuestro interés, refiere 0.01 mg/L para Pb. En el caso del As, el límite máximo permisible para todas las localidades se ajustará de manera gradual dependiendo de los habitantes de la población y el año, podrá pasar de 0.025 mg/L a 0.01 mg/L para el 2022 y 2025.

3.3.5 CODEX ALIMENTARIUS

El código de alimentación o mejor conocido como Codex Alimentarius son normas, códigos de comportamientos, directrices y recomendaciones de la Comisión del Codex Alimentarius. Esta comisión conformada por 165 países incluido México, es mayor organismo internacional en materia de normas de alimentación, ligado a la FAO y la organización mundial de la Salud (OMS).

El propósito del Codex Alimentarius es el certificar comportamientos adecuados y éticos en el mercado internacional de los alimentos, proporcionando a los productores y comerciantes ciertas normas y códigos a seguir para avalar la calidad y seguridad de los alimentos. Estos códigos o normas son sobre el etiquetado de los alimentos, importación y exportación de alimentos, sistemas de inspección y certificación, residuos de medicamentos veterinarios y uso de plaguicidas. Además, de velar por la higiene alimentaria, nutrición y prevenir la contaminación de los alimentos por el uso de agentes contaminantes como bacterias patógenas, sustancias químicas que puedan provocar enfermedades graves en la salud del consumidor y que perjudiquen el comercio, turismo, la economía y fuentes de empleo (FAO, 2005).

IV. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El brócoli representa uno de los alimentos más cultivados en México ocupando el quinto lugar en producción mundial, se siembran 31,900 hectáreas de brócoli, que representa 3.3% de la producción de hortalizas. A nivel estatal, a partir de información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de SAGARPA en Puebla, señala que el estado se ubica como el tercer mayor productor nacional de brócoli, ya que en el año 2017 se cosecharon 47,097 ton. Dentro de los municipios del Estado de Puebla que destacan por su superficie cosechada son: Palmar de Bravo (826 ha), Quecholac (379 ha), Los Reyes de Juárez (174 ha), Acatzingo (105 ha), Tecamachalco (97.5 ha), Libres (110 ha), por mencionar algunos.

En el DDR de Tecamachalco, se comercializa esta hortaliza como muchas otras, en, la central de abastos de Huixcolotla, Puebla. De acuerdo con Arvizu y col. (2015), el ingreso total por hectárea (ha) cultivada de brócoli es de \$67,500 con una ganancia neta de \$21,028 por ha. En cuanto a la mano de obra se contratan 72 jornaleros para llevar a cabo el proceso de producción del brócoli por ha, dejar de hacer esta actividad traería pérdidas de empleos, así como grandes pérdidas

económicas a los productores, pues en muchos casos es su principal fuente de ingreso (Arvizu *et al.*, 2015).

Por otro lado, además de su importancia económica, el brócoli es un alimento con un alto valor nutrimental considerado uno de los alimentos llamados “superfood”, 100 g de brócoli aportan vitamina A, B1, B2, vitamina E, vitamina C y minerales como, fósforo y hierro. Cabe destacar, de que posee propiedades que ayudan a combatir distintos tipos de cáncer, además de retrasar el envejecimiento (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural SADER, 2018).

Por otra parte, el riego de los cultivos de brócoli en la región se realiza a partir de riego de temporal y agua de pozo, estos últimos pertenecen al acuífero del Valle de Tecamachalco, el cual presenta contaminación por diversas fuentes (Hernández *et al.*, 2018). Así mismo los hábitos de siembra como el uso intensivo de fertilizantes y plaguicidas con presencia de metales pesados podrían provocar la acumulación de estos en plantas. A su vez ciertas propiedades del suelo como el pH, la materia orgánica y la arcilla posibilitarían la movilidad y absorción de estos metales por parte de la planta (Sahuquillo *et al.*, 2003).

Por lo anterior se determinará la presencia de metales pesados en cultivos *Brassica oleracea* var. *italica* en el DDR de Tecamachalco, para conocer si este tipo de cultivo se comercializa de manera inocua en la Central de Abastos de Huixcolotla, este lugar es donde se venden gran parte de las hortalizas cultivadas en esta región.

4.1 Pregunta de investigación

¿Qué prácticas agrícolas y factores ambientales propician la presencia de metales pesados en cultivos de brócoli que se comercializan en la Central de Abastos de Huixcolotla, Puebla?

V. HIPÓTESIS

5.1 Hipótesis general

El riego, el uso de fertilizantes y plaguicidas son prácticas agrícolas que propician la presencia de metales pesados en el brócoli. Mientras que los factores ambientales que contribuyen a esta contaminación son, las posibles influencias de las propiedades del suelo (pH, arcilla y materia orgánica).

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Evaluar las prácticas agrícolas y los factores ambientales que propician la presencia de metales pesados en cultivos de brócoli que se comercializa en la Central de Abastos de Huixcolotla, Puebla.

6.2 Objetivos particulares

- ✓ Estudiar el sistema de producción de brócoli que se comercializa en la Central de abastos de Huixcolotla, Puebla por triangulación metodológica.
- ✓ Conocer las prácticas agrícolas que contribuyen a la contaminación en la producción de brócoli por información recabada por encuestas.
- ✓ Búsqueda de los factores ambientales implicados en la presencia de metales pesados en brócoli comercializado en la Central de abastos de Huixcolotla, Puebla utilizando metadatos.
- ✓ Determinar la presencia de metales pesados como: Pb, Cu, Mn y Fe a partir de muestras de *Brassica oleracea* var. Itálica de la Central de abastos de Huixcolotla.

VII. METODOLOGÍA

Se realizó una investigación mixta secuencial, en la cual se realizan cinco fases las cuales observan a continuación (Figura 3).



Figura 3. Diagrama general de la investigación.

7.1 Localización

El estudio se realizó en la Central de Abastos de Huixcolotla que se encuentra en la parte Centro sur del estado de Puebla (Figura 4). Se seleccionó esta central debido a su relevancia económica, social y cultural para los productores de esta región, ya que estos últimos cuenta con mayor disponibilidad en este lugar para ofrecer y negociar el precio de sus mercancías. Por otro lado, el 60% de las hortalizas cultivadas en la región se venden en este sitio. También porque se encuentra sobre carreteras de importancia, pues esta Central de Abastos está ubicada sobre la carretera federal Puebla-Tehuacán y tiene salida muy próxima a la Autopista Puebla-Veracruz que va hacia al sur de nuestro país (Arvizu *et al.*, 2015).



Figura 4. Ubicación geográfica de la Central de abastos de Huixcolotla, Puebla.

7.2 Triangulación metodológica

La triangulación metodológica se refiere al uso de diferentes estrategias en el estudio de un mismo fenómeno, utilizando tanto técnicas cuantitativas como cualitativas. El propósito de este método de investigación además de aportar validez al estudio, ofrece la oportunidad de ampliar y profundizar la comprensión del fenómeno en cuestión (Okuda y Gómez, 2005). Por lo anterior para llevar a cabo esta investigación, se realizaron distintas estrategias como: el estudio del sistema de producción de brócoli mediante la búsqueda bibliográfica, la aplicación de encuestas, la investigación de las propiedades del

suelo, la elaboración de mapas, el trabajo en campo y el análisis de metales pesados en el laboratorio.

7.3 Estudio del sistema de producción de brócoli

El estudio del sistema de producción de brócoli, se realizó a partir de la revisión de bibliografía en plataformas, documentos procedentes de fuentes fidedignas, además para la búsqueda se utilizaron bases de datos como SCOPUS y EBSCO.

7.4 Aplicación de la encuesta a productores de brócoli

Se realizaron encuestas para estudiar el sistema de producción de brócoli y poder conocer las prácticas agrícolas que inciden en la presencia de metales pesados en el brócoli. Estas encuestas se realizaron a partir de una muestra no probabilística y un muestreo por conveniencia a dieciocho productores de brócoli en la Central de abastos de Huixcolotla durante el mes de marzo del 2022. Las encuestas consistieron en cuestionarios semiestructurados con preguntas abiertas y opción múltiple. Se procuró que la encuesta presentara preguntas acerca de las prácticas del cultivo, importancia del brócoli para ellos y adicionalmente factores económicos. Posteriormente los datos obtenidos en las encuestas fueron reescritos en un documento Excel versión 2210, para posteriormente ser analizados mediante gráficos de sectores o también llamados diagramas de pastel.

7.5 Búsqueda y obtención de los datos de las propiedades del suelo (pH, Materia orgánica y Arcilla) utilizando metadatos

La búsqueda de los datos sobre las propiedades del suelo y la clase textural se realizó a partir de mapas digitales (predicción) sobre pH, materia orgánica, arcilla, limo y arena escala 1:4,000,000 y con resolución:1km

(CONABIO, 2020). Los mapas son a cuatro profundidades: 0 a 5 cm, 5 a 15 cm, 15 a 30 cm y 30 a 60 cm. Se eligieron estas profundidades debido a que el sistema radicular del brócoli se extiende por aproximadamente de 60 a 80 cm de profundidad, siendo los a 40 cm de profundidad donde se concentran la mayor concentración de raíces secundarias, terciarias y raicillas (Tesén, 2021). Así mismo, la capa arable está entre los 0 a 30 cm de profundidad y la mayoría de la actividad radical ocurre en el estrato 0 a 30 cm en cultivos de riego (Fertilab, s.f.)

Los datos ráster de los mapas obtenidos de la CONABIO fueron cargados al programa QGIS, en donde se ubicaron las localidades de Palmarito y Los Reyes de Juárez. Posterior a partir de cada pixel (cada pixel es una resolución de 1km), se obtuvo el pH y los porcentajes de arcilla y materia orgánica, con estos datos se elaboraron tablas comparativas.

7.6 Elaboración de mapas a partir de sistemas de información geográfica

Para determinar los factores ambientales que propician la acumulación de metales pesados en el brócoli, se empleó un software de código abierto (QGIS), versión 3.22.8. Para poder realizar los mapas se utilizaron fuentes institucionales del estado mexicano como INEGI, CONAGUA y CONABIO que nos permitieron descargar información cartográfica, hidrográfica y edafológica en formato shape file y formato raster del Estado de Puebla, estos datos nos permitieron realizar mapas sobre:

Pozos que se encuentran en la localidad de Palmarito Tochapan y Los Reyes de Juárez.

7.7 Fase de campo

7.7.1 Muestreo de campo

Se realizó un muestreo por conveniencia para recolectar muestras de Brócoli de manera aleatoria en la central de abastos de Huixcolotla, en el mes de agosto. Las piezas de brócoli fueron colocadas en bolsas de plástico resellables con su respectiva etiqueta, esta contenía los siguientes datos: Fecha, hora, lugar de procedencia del brócoli, características de la muestra y nombre de quien toma la muestra (Figura 5). Posteriormente, las muestras se mantuvieron en refrigeración y fueron transportadas al Laboratorio de Ecología Molecular Microbiana en el Centro de Investigaciones de Ciencias Microbiológicas, BUAP, para realizar la digestión por la vía húmeda.



Figura 5. Muestras de brócoli etiquetadas para su refrigeración.

7.8 Fase de laboratorio

7.8.1 Lavado y preparación de las muestras

Las muestras de brócoli se lavaron con agua potable para retirar cualquier partícula de tierra que pudieran tener y evitar que algún tipo de contaminante pudiera afectar los resultados. Posteriormente, las muestras de brócoli (Tallo, hojas

e inflorescencias) fueron cortadas en trozos pequeños del mismo tamaño. Con el propósito de obtener porciones representativas para su análisis, se utilizó el método de cuarteo el cual consiste en dividir en cuatro partes iguales (A, B, C, D) los trozos de brócoli, para posteriormente eliminar las partes opuestas A y C o B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de aproximadamente 10 g.

7.8.2 Digestión por la vía húmeda para Pb, Cd, Cu, Cr

Después de realizar el método de cuarteo para cada muestra (pieza de brócoli), se pesaron en una balanza granataria aproximadamente 10 g de cada muestra, los cuales se depositaron en un matraz Erlenmeyer. Adicionalmente se pesó 1 g de la muestra y se dejó en una estufa de secado a 50 °C durante 7 días para posteriormente medir la humedad. Al matraz con la muestra representativa de brócoli se le añadieron 15 ml de ácido nítrico (HNO_3), el matraz fue sellado con papel parafilm y aluminio para posteriormente ser colado en una bolsa de plástico. Las muestras se digestaron en una autoclave a una temperatura de 121 °C durante aproximadamente 15 minutos, hasta la aparición del color traslúcido y se dejaron enfriar (Figura 6). Posteriormente, en una campana de extracción, el contenido del matraz Erlenmeyer se filtró, llevándose a un matraz aforado y se aforó con agua destilada a 25 ml, luego el contenido fue vaciado en frascos (Figura 7) para ser llevado al espectrofotómetro.



Figura 6. Digestión de las muestras de brócoli.



Figura 7. Muestras digeridas y colocadas en frascos.

7.8.3 Espectrometría de absorción atómica

Se llevó a cabo el análisis de los metales pesados (Pb, Cd, Cu, Mn y Fe) en colaboración con el laboratorio PARTNER, S.A. DE C.V. bajo Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, bienes y servicios, la cual establece los métodos de prueba de espectrometría de absorción atómica para la determinación estos metales. Se utilizó un espectrómetro marca Perkin Elmer. Se ajustó el instrumento de absorción atómica en las condiciones adecuadas para la determinación del analito de acuerdo a las indicaciones del manual del instrumento (Figura 8). Se introdujo el blanco de reactivos y las muestras a analizar previamente digerida, se registraron los valores de absorbancia para obtener las curvas de calibración. Una vez calibrado el instrumento se procedió a analizar cada una de las muestras. La Tabla 3 muestra las longitudes de onda a las qué fueron medidos los metales pesados.



Figura 8. Calibración del Instrumento.

Tabla 3. Longitudes de onda a la que se midieron las muestras en el espectrofotómetro.

Metales	Longitud de onda (nm)
Cu	324.75
Pb	283.31
Mn	279.48
Fe	248.33

7.9 Análisis estadísticos

El análisis estadístico de los resultados de las encuestas se llevó a cabo mediante estadística descriptiva, se creó una base de datos utilizando Microsoft Excel con dichos resultados, se obtuvieron los promedios observados para cada variable y se elaboraron diagramas de pastel. Para el análisis estadístico de los metales pesados (Pb, Cu, Mn y Fe), se utilizó el software estadístico Minitab versión 21, se realizó Análisis de Varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del $\alpha=0.05$ (Hernández *et al.*, 2014). Posteriormente, se aplicó una prueba post-hoc Tukey para determinar qué medias son las que difieren.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Encuestas para conocer el sistema de producción de brócoli.

A continuación, se describe las respuestas de los productores de brócoli que comercializan su cosecha en la Central de Abastos de Huixcolotla. Se describe las localidades en donde se cultiva el brócoli, motivo de la siembra, la contratación de mano de obra, así como participación familiar durante su producción, prácticas

agrícolas, afectaciones en la producción de brócoli por cambio climático y aspectos económicos del sistema de producción de brócoli.

8.1.1 Localidades en donde se cultiva brócoli

Los resultados de las encuestas a productores de brócoli indican que el brócoli que se comercializa en la Central de abastos de Huixcolotla proviene de los siguientes municipios: 44% de Quecholac, 22% de los Reyes de Juárez, 22% Palmar de Bravo, 6% Cuapixtla y otro 6% proviene de Tepeaca (Figura 9), siendo estas localidades y municipios las que reportan superficies sembradas y cosechadas en tierras de riego y temporal en 2020 (SIAP, 2020b). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Torres (2011) quien indica que los principales municipios con el mayor número de cultivos sembrados, entre estos el brócoli, son Quecholac, los Reyes de Juárez y Tepeaca.

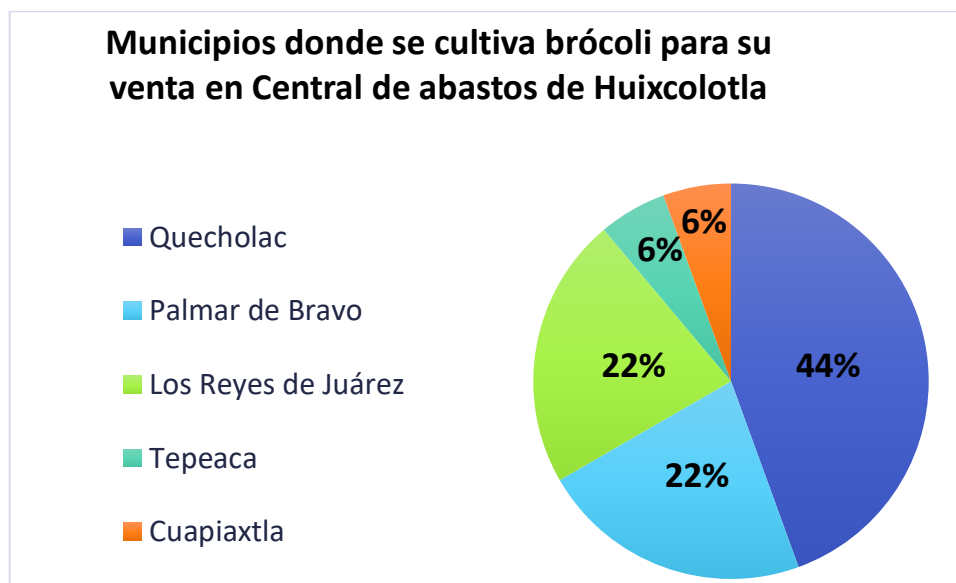


Figura 9. Municipios donde se cultiva brócoli para su posterior venta en la Central de abastos de Huixcolotla.

8.1.2 Motivo de la siembra de brócoli en la zona de estudio

El 33% de los productores encuestados siembran brócoli porque representa buena economía para ellos, el 28% siembra brócoli por herencia, ya que es una actividad aprendida de sus padres y posteriormente ellos quisieron dedicarse a la producción y comercialización de esta hortaliza. Así mismo, algunos productores mencionaron que esta actividad la aprendieron de sus jefes, lo que les permitió aprender a cultivar brócoli y venderlo para subsistir (Figura 10). Por otro lado, el 22% de los productores siembran brócoli debido a que es un vegetal con alta demanda en el mercado, de acuerdo con la FAO, alimentos como el brócoli y la coliflor son clasificados como de alto contenido nutrimental, lo que los convierte en productos con alta demanda, ya que contribuyen al cuidado de la salud humana a través de una dieta balanceada (SFA, 2011). Por su parte Torres (2011) menciona que la siembra de cultivos en esta región se enfoca más a la demanda en el mercado que al autoconsumo. Finalmente, un 17% mencionan que siembran brócoli ya que es una hortaliza que se da todo el año (Figura 10), esto puede deberse a características de la región como: su clima, el acceso al agua que tienen los productores durante todo el año, por parte de pozos profundos, lo que favorece el siembre durante todos los ciclos agrícolas (Torres, 2011).

Maldonado y col. (2017) señalan que la expansión del brócoli en los Reyes de Juárez, el Valle de Tepeaca y Palmarito Tochapan, localidad de Quecholac, se dio debido a su crecimiento en la demanda, pero también a otros factores como la adaptabilidad del cultivo a las condiciones climáticas, la disponibilidad del agua para riego en la región del Valle de Tepeaca-Tecamachalco, la creación de carreteras y centrales de abastos. Además de la transformación de la agricultura tradicional, ya que, si bien los agricultores no han dejado de sembrar por completo los cereales como el maíz, si hay un cambio en la agricultura de la región, ya que optan por hortalizas como el brócoli que les permiten mejores ingresos (Ramírez, 2008).

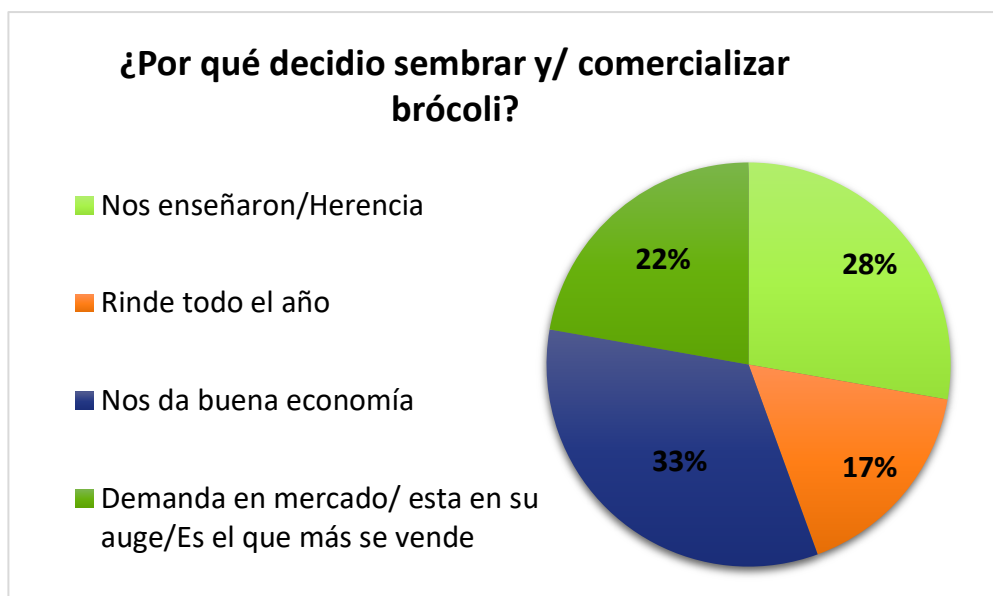


Figura 10. Razones por las que los productores se dedican a la siembra y venta de brócoli.

8.1.3 Empleo de jornaleros y participación familiar en la producción de brócoli.

El 39% de los productores de brócoli indican que participa únicamente la fuerza trabajo familiar en la producción de brócoli, un 50% mencionaron que utilizan un sistema mixto, es decir contratan mano de obra, pero también participa la familia (Figura 11). Finalmente, el 11% contratan exclusivamente mano de obra externa para la producción de brócoli en la región. De acuerdo a Ramírez y col. (2015), en esta zona de estudio, existe la presencia de las UPF, las UPF son aquellas tierras en donde por lo general habita una familia, la superficie les generan un sustento económico y en donde para su cultivo participa directamente la fuerza de trabajo familiar. De acuerdo con la definición de la FAO, el propósito de las UPF en una sociedad rural es el de convertir la vulnerabilidad, la pobreza e inseguridad alimentaria y en una ventaja alimentaria que consiste en generar alimentos básicos, pero al mismo tiempo incremento en el ingreso familiar, lo que resulta de importancia en la dinámica socioeconómica de la población (Ramírez *et al.*, 2015).

Por otro lado, Torres (2011), señala que en esta región el brócoli demanda una gran cantidad de mano de obra, a pesar de que los productores usan como estrategia la mano de obra familiar, la mayor cantidad de mano de obra se concentra en los jornaleros, empleándose en promedio 54 jornaleros por ha, principalmente para la siembra, el deshierbe y corte. En el caso del maíz en donde se necesita 17 jornales en promedio por ha, el brócoli requiere de 76 jornaleros por ha (SAGARPA-SIAP, 2010). Otros reportes como el de Maldonado y col (2017) Las UPF de la zona contratan de uno a dos jornaleros de manera permanente y de cinco a diez jornaleros agrícolas por ciclo productivo.

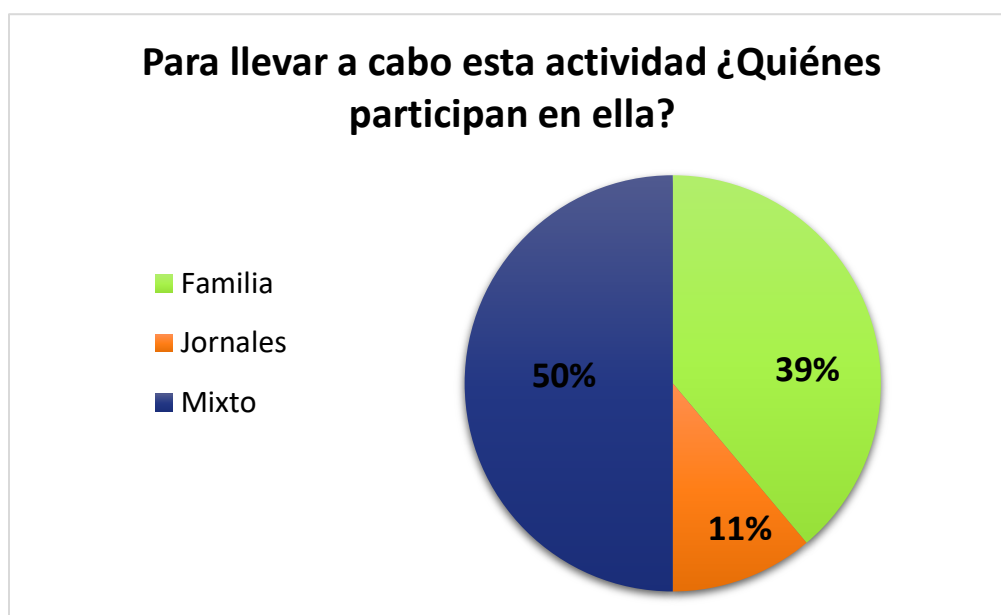


Figura 11. Porcentajes de participación familiar, mano de obra o ambos en la producción de brócoli.

8.1.4 Prácticas agrícolas que inciden en la presencia de metales pesados en el brócoli

El 56% de los productores usan tanto fertilizante químico como estiércol o composta, un 39% utiliza únicamente fertilizante comercial y el 5% usa estiércol o composta (Figura 12). En este último refieren utilizar gallinaza o estiércol de borrego. El uso del fertilizante comercial es gran medida para ayudar al crecimiento del brócoli, pues este suele dañarse cuando hay temperaturas muy bajas o altas, refieren que gastan más fertilizante cuando hay cambios extremos en la temperatura. Esto concuerda con Arvizu y col. (2015), los cuales reportan que el 72% de un total de 165 productores encuestados en el DDR de Tecamachalco, entre los cuales producen brócoli, consideran que la aplicación de insumos agrícolas es una actividad importante para poder mejorar la calidad de sus cultivos y un 56% de estos lo hacen para aumentar rendimientos. Aunque los fertilizantes se relacionan directamente con un mejor rendimiento y producción en la agricultura, lo que acarrea beneficios a los productores siempre y cuando se utilicen de manera moderada, cuando estos son utilizados intensivamente causan contaminación ambiental, tal es el caso de los fertilizantes nitrogenados que provocan en el suelo un incremento en el índice salino (Chavira y Castellanos, 1987), acidificación de los suelos (Ginés y Mariscal, 2002) y la ausencia o la muerte de microfauna del suelo (González, 2019) lo que afecta la producción y por tanto acarrearán pérdidas económicas. De acuerdo a Alloway (2013) en fertilizantes de origen químico se han identificado metales como: Cd, Cr, Mo, Pb y Zn y en fertilizantes de origen orgánico como el estiércol, se reporta Cu, As, Zn (Alloway, 2013). Laegreid y col. (1999), afirman que los fertilizantes fosforados son una de las principales fuentes de Cd, derivado del mineral apatita que, junto con el fósforo presenta concentraciones de Cd que varían entre 8 y entre 8 y 500 mg/kg. Por su parte, Martí y col. (2002) reportan la presencia de Pb y Cd en fertilizantes fosfatados simples, binarios o completos y nitrogenados. Con base en datos de ONU (2022) reportan que otro oligoelemento potencialmente tóxico encontrado en fertilizantes es el Hg. Estos metales pueden entrar a la cadena alimentaria por la absorción de las plantas y causar daño a la salud (ONU, 2022).

Por otro lado, el 100% de los productores encuestados utilizan plaguicidas como fungicidas e insecticidas para combatir las plagas (Figura 13), esto es debido a que el 57.6% de los productores en DDR de Tecamachalco se enfrentan principalmente a problemas de plagas durante la producción hortícola (Arvizu *et al.*, 2015). Torres (2011), reporta que en la región se utilizan principalmente plaguicidas organofosforados, carbamatos y piretroides; a pesar de su toxicidad se siguen usando este tipo de agroquímicos debido al desconocimiento sobre su toxicidad y el manejo inadecuado de estos.

Una de las plagas que refieren es el “chahuistle” para referirse a distintas especies de hongos que causan enfermedades en sus cultivos, otra plaga es la mosca barrenadora o como ellos la llaman “arrocillo”, los agricultores mencionaron en las encuestas que este tipo de plaga provoca un hueco profundo en el tallo del brócoli. La mosca de la col (*Delia radicum*) es un díptero fitófago de la familia Anthomyiidae que habita en crucíferas, mayormente del género Brassicae, el problema que acarrea esta plaga es en su etapa larvaria, pues estas se alimentan de la raíz y del sistema radical de la planta, ocasionando daños comerciales en la cosecha (Medina y Xamaní, 2012).

Las plaguicidas son sustancias persistentes, pueden permanecer en el suelo desde semanas a hasta años dependiendo del tipo de plaguicida, afectando la fertilidad del suelo, los microorganismos de este y favoreciendo la erosión (Condarco-Aguilar y Rejel-Encinas, 2016). Además, a partir de la escorrentía e infiltración originada por las lluvias y/o el riego, ocasionan contaminación en los cuerpos de agua, superficial y subterránea (Herrero *et al.*, 2013). En plaguicidas se reporta la presencia de Cu, As, Hg, Pb, Mn (Alloway, 2013). Defarge y col. (2018) reporta concentraciones de As, Co, Cr, Ni y Pb que supera los niveles admisibles en agua por la Unión Europea y la OMS en distintos tipos de herbicidas basados en Glifosato, fungicidas e insecticidas.

Dado que el 100% de los encuestados indican que usan plaguicidas, se puede suponer que estos últimos pudieran ser otra fuente de ingreso de

contaminantes presentes en la producción del brócoli, ya que se ha identificado la presencia de metales como: Cr, Co, Pb y Ni en once plaguicidas basados en glifosato (Defarge *et al.*, 2018).

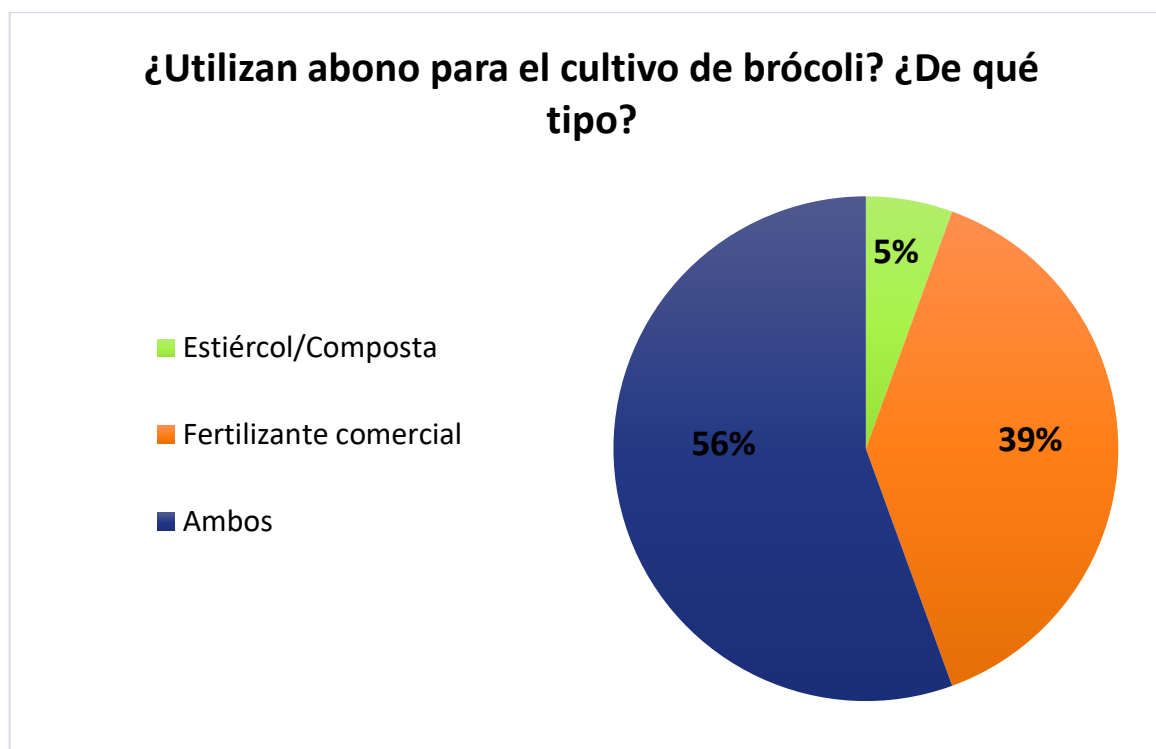


Figura 12. Medios para mejorar el crecimiento y desarrollo del brócoli.



Figura 13. Prácticas para el control de plagas y enfermedades.

El 94% de los productores usan agua proveniente de pozo junto con un sistema de riego para abastecer de agua a sus cultivos y el 6% mencionó que usan un sistema mixto, es decir usan agua de pozo, pero también utilizan el agua proveniente del canal (Figura 14). Cabe recalcar que los pozos que se encuentran en la zona de estudio pertenecen al acuífero de Tecamachalco, el cual presenta contaminación debido a diferentes factores como: la ausencia de plantas de tratamiento de las corrientes superficiales principalmente aquellas provenientes del río Atoyac (CONAGUA, 2009), la descarga de aguas residuales de industrias que se encuentran instaladas en la zona y que ocupan 278 sitios para descargas de sus aguas, aguas domiciliarias principalmente de Tecamachalco, Acajete, Acatzingo y Tepeaca que se vierten en las barrancas (Hernández *et al.*, 2018). Además, ya que no existen ríos o de importancia en la región, la recarga del acuífero de Tecamachalco, depende de la precipitación pluvial, el agua que se infiltra de los sistemas de riego específicamente del DR030 y por las fugas en las tuberías de los sistemas de abastecimiento urbanos (CUPREDER, 2011).

El riego del brócoli en el Valle de Tecamachalco y Tepeaca (incluyendo los Municipios de Los Reyes de Juárez y Quecholac), se realiza a través del sistema de riego por gravedad o riego rodado, en donde se inunda totalmente la parcela durante la etapa de crecimiento del brócoli, este riego se lleva a cabo cada 15 días que es cuando los productores tienen acceso al recurso por medio de la explotación de pozos profundos (Torres, 2011).

El tipo de riego que se realiza en esta región también puede influir en la movilidad de los metales pesados en el suelo. Un estudio de Loredó-Tovías y col. (2022), en donde se evaluó la concentración de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas bajo distintas prácticas agrícolas entre estas el uso de riego rodado, reportan que las concentraciones de estos metales generalmente incrementan al utilizar riego rodado, mientras que, utilizando un riego por cintilla o por goteo, reduce en 12, 10, 4.6, 25 y 5% la concentración de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn, respectivamente, en comparación con el riego rodado en conjunto con el suelo de abonado orgánico reducen moderadamente la concentración e índice de transferencia de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn en la parte comestible de lechuga.

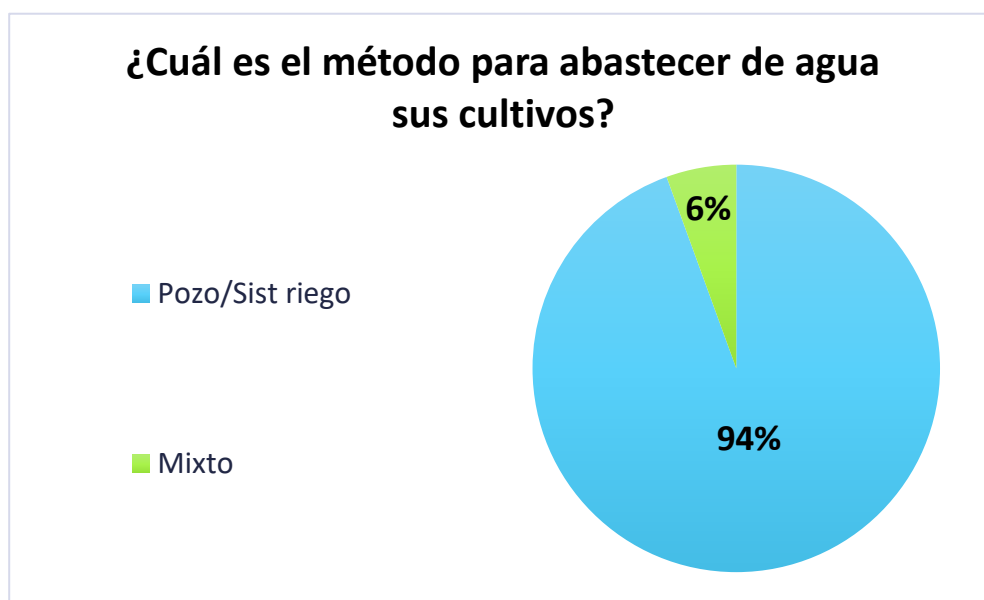


Figura 14. Método de abastecimiento de agua a cultivos de brócoli, por medio de Pozo y Mixto.

En la encuesta se realizó la pregunta ¿Qué hay alrededor de sus parcelas de cultivo? Sin embargo, únicamente el 11% menciona que se encuentran cercanos al canal de riego y un 22% tiene o están cerca de pozos profundos para el riego de sus cultivos (Figura 15). No obstante, el 50% menciona que cercanos a sus parcelas solo existen tierras y/o terrenos, el 11% está cercano a una zona industrial y un 6% a cerros.

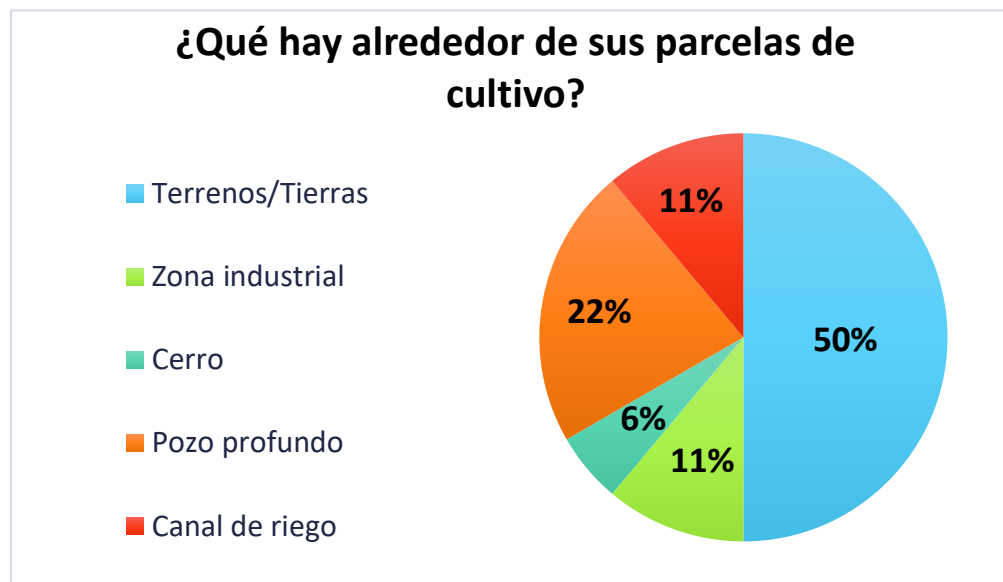


Figura 15. Zonas cercanas a las parcelas de cultivo de los dieciocho productores de brócoli encuestados.

8.1.5 Afectaciones en la producción de brócoli por el cambio climático

El 100% de los encuestados (Figura 16), mencionó que les afecta de alguna u otra manera el cambio climático, 28% de estos productores mencionan que las bajas temperaturas causan que las inflorescencias o la cabeza del brócoli crezca de manera más lenta, también mencionan que el brócoli se quema o se marchita, concordando con Miller y col. (1985), los cuales indican que las bajas temperaturas se relacionan con una formación prematura de la cabeza floral. Por otro lado, *Brassica oleracea* var. *italica* soporta heladas solo en estado juvenil, la formación de la cabeza floral de alta calidad se logra a temperaturas entre 14 y 16° C (Wurr *et al.*, 1996).

El 33% de los encuestados mencionan el intenso calor como otro de los factores que afecta su cultivo, refieren que con las altas temperaturas proliferan más las plagas como Chahuistle y el Arrocillo. Además, se acelera el crecimiento de la cabeza floral del brócoli lo que provoca su deformación. De acuerdo a Zamora (2016) a muy altas temperaturas las cabezas florales se deforman ocasionando una baja en calidad en el brócoli.

Por otra parte, al 23% le afecta el exceso de lluvia provocando manchas amarillas en la planta y su rápida pudrición. Al 16% les afecta la falta de lluvia, lo que induce el crecimiento lento de la planta y bajo peso. Los productores refieren que la escasez o ausencia de lluvia les acarrea un mayor gasto económico, pues deben pagar más agua para riego y consumir más fertilizante. Las UPF se enfrentan ante muchas limitantes, ya que no cuenta con acceso a recursos financieros como créditos bancarios, financian la producción de brócoli con recursos propios o de recursos generados por realizar alguna otra actividad (Maldonado *et al.*, 2017).

Los cultivos de brócoli son uno de los que menos se adapta ante el calentamiento, en 2019 hubo déficit en la producción de brócoli en toda Europa por cuestiones climatológicas, entre estas el exceso de lluvias y los picos de calor (Euroganadería, 2019).

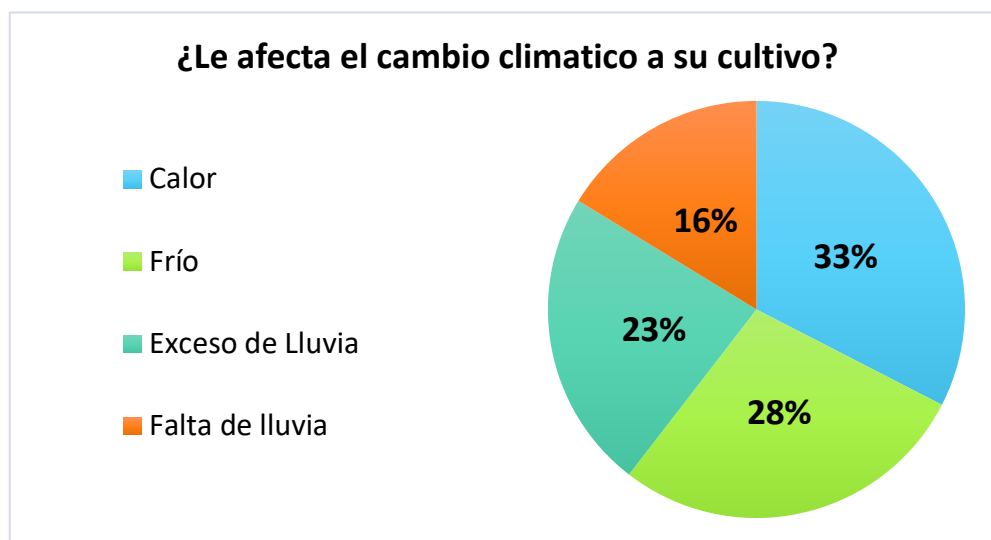


Figura 16. El cultivo de brócoli afectado por el cambio climático.

8.1.6 Aspectos económicos en del sistema de producción de brócoli

En la encuesta también se abordaron algunos aspectos económicos, se le preguntó a los encuestados si el ingreso que recibe por su cosecha cubre las necesidades de su familia. El 44% menciona que a veces, el 39% que no y el 17% que sí (Figura 17). Los encuestados mencionaron que esto es dependiendo del precio del brócoli, ya que este fluctúa, cuando está a muy bajo precio no cubre sus necesidades básicas, sin embargo, cuando el brócoli se vende a buen precio, cubre sus necesidades básicas y les permite tener un dinero extra. Los precios de brócoli en el mercado nacional son muy diversos, dependen de la temporada y del estado de la república, en el caso de Puebla, durante junio del 2022 el precio al mayoreo de brócoli es de \$12.06 y el precio al consumidor \$16.63, siendo este precio el más bajo comparado con otros estados como Guanajuato donde el precio al consumidor es de \$37.15 y San Luis Potosí en \$36.45 (SIAP, 2022).

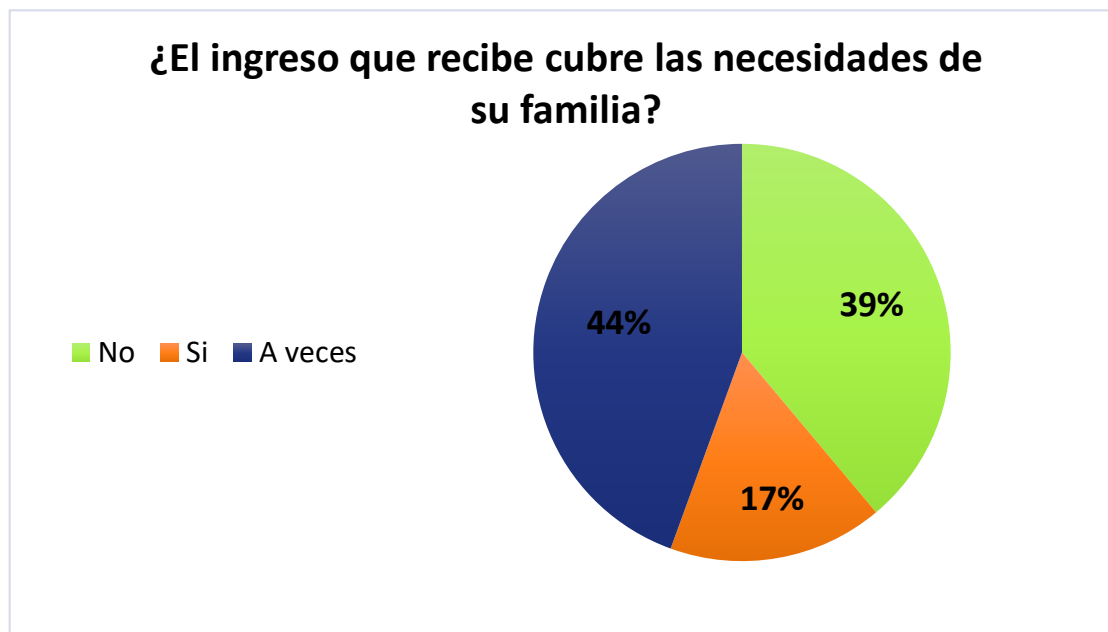


Figura 17. El cultivo de brócoli como sustento económico.

Por otra parte, el 72% de los productores de brócoli posee de 1 a 2 ha, el 17% más de 5 ha y el 11% de 3 a 4 ha (Figura 18). Las UPF son poseedoras de entre 0.25 a 10 ha, de las cuales entre 0.25 a 5 ha se destinan para el cultivo del brócoli (Maldonado, 2017). Así mismo, un 67% de los productores cultiva el brócoli entre 4 y 5 veces en el año y un 33% de dos a tres veces al año (Figura 19). Torres (2011), reporta que los productores de brócoli de esta región siembran tres veces al año, y que el número de veces que se siembra brócoli en el año, depende de la superficie con que estos cuentan para la siembra, a mayor superficie mayor número de veces que se siembra brócoli en el año, a menor superficie se siembra dos veces al año.

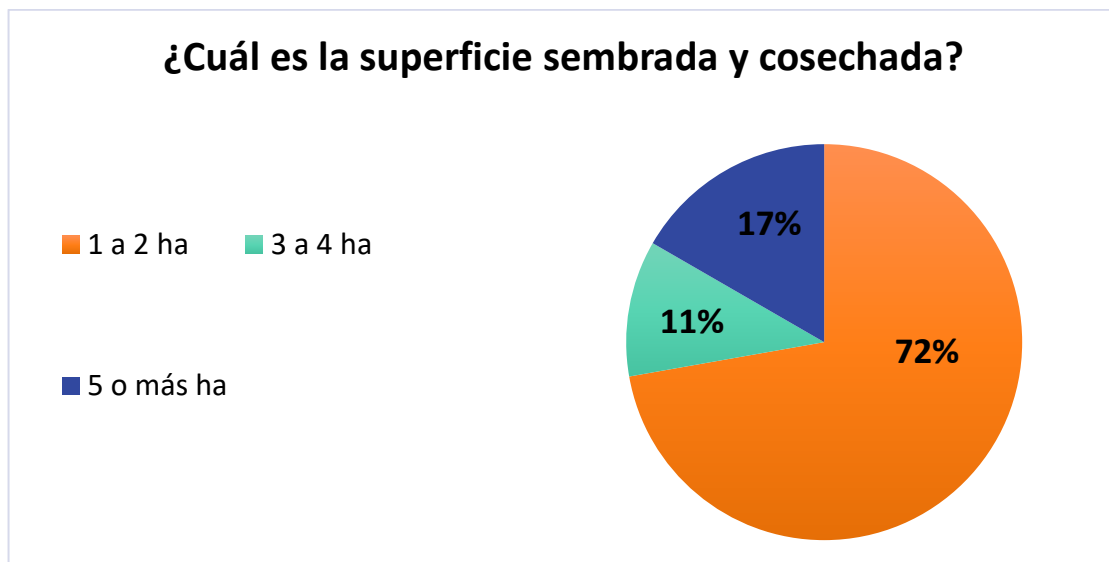


Figura 18. Número de ha que poseen los productores de brócoli.

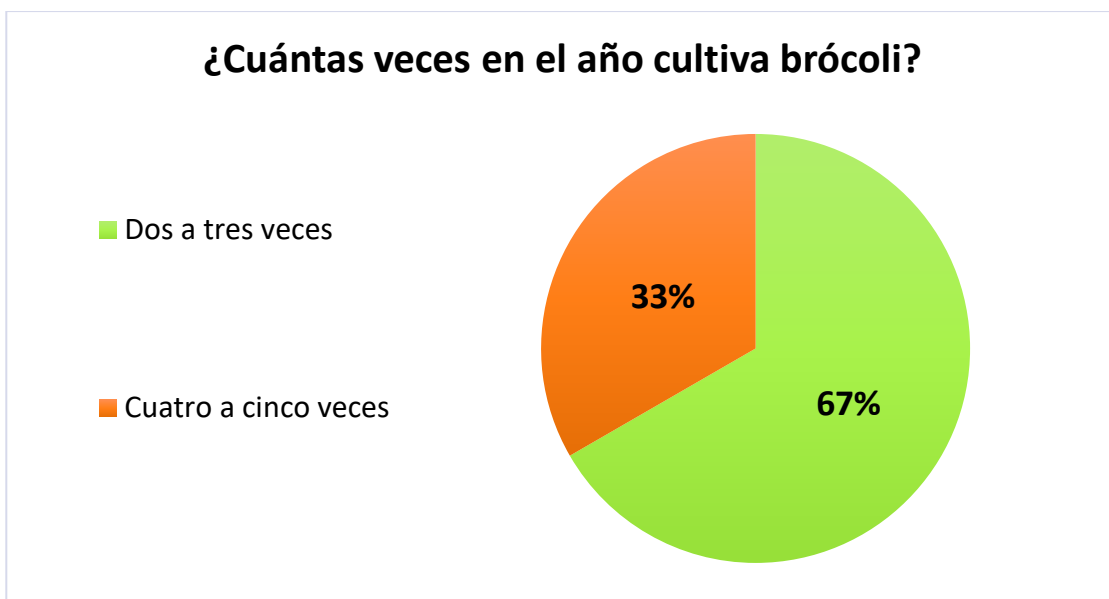


Figura 19. Número de veces en el año que se cultiva brócoli.

Finalmente, se les preguntó a los productores de brócoli durante la encuesta a quién venden su cosecha, el 72% lo venden en la Central de abastos de

Huixcolotla, el 16% trata con intermediarios, un 4% vende su producción a algún establecimiento de confianza, como recauderías que se encuentran en la zona y un 4% a tiendas de autoservicios, refieren vender al Walmart y Soriana (Figura 20), el 49% es de consumo local, 32% nacional y 19% exportación (Figura 21). Esto concuerda con lo reportado por el Walmart México y Centro América (s.f.) menciona que la Fundación Walmart de México financió proyectos en la comunidad de San Miguel Xaltepec y Palmar de Bravo que cosechan brócoli, este proyecto consistió en brindarles a los agricultores capacitación agrícola, agroquímica, impulsar procedimientos orgánicos para mejorar el cultivo de esta hortaliza. Esto permitió que a los agricultores se les pagara un precio justo por su cosecha y a su vez mejorar sus condiciones de vida al abrirse los canales de comercio en tiendas como: Superama, Walmart y otras cadenas de autoservicios.

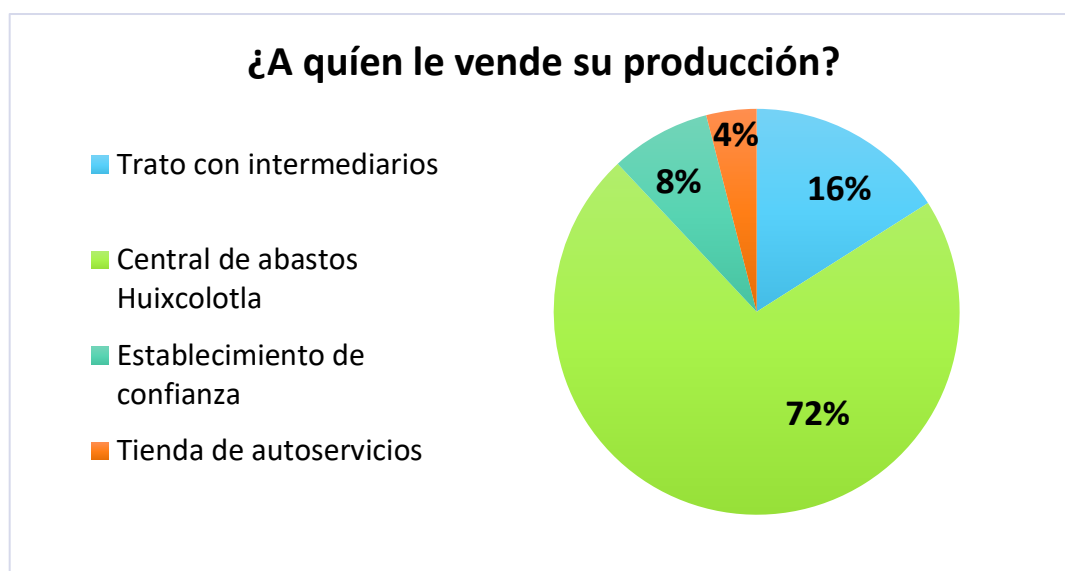


Figura 20. Lugares en donde los 18 productores de brócoli encuestados venden su cosecha.



Figura 21. Porcentaje consumo local, nacional y de exportación.

8.2 Concentraciones de metales pesados analizados por espectrometría de absorción atómica

Los resultados obtenidos del análisis espectrofotométrico se obtuvieron en mg/L ya que las muestras se encontraban de forma líquida, sin embargo, dado que las muestras originales son sólidas, los resultados se presentan en mg/kg. A nivel nacional las normas que detallan los límites máximos permisibles de metales, se especifican para agua potable, por ello, se ha tomado como referencia las normas establecidas a nivel internacional. La Tabla 4 muestra la media de las concentraciones de metales pesados en brócoli de la localidad de Palmarito Tochapán perteneciente al municipio de Quecholac y el Municipio de los Reyes de Juárez Puebla, junto con el límite máximo permisible de acuerdo a la Unión Europea (UE), Codex alimentarius FAO, NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe

someterse el agua para su potabilización" y NOM-EM-034- $\pm$ -2000 Requisitos y especificaciones para la aplicación y certificación de Buenas Prácticas Agrícolas en los procesos de producción de frutas y hortalizas frescas.

Los valores muestran que la concentración de Pb encontrada en el brócoli proveniente de municipio de los Reyes de Juárez la concentración de Pb en el brócoli, supera los límites máximos permisibles por la Unión Europea, el Codex Alimentarius, y la NOM-127-SSA1-1994, sin embargo, no supera los límites máximos permisibles por la NOM-EM-034-FITO-2000 mg/l (Tabla 4). Con respecto al brócoli proveniente de Palmarito Tochapan, la concentración de Pb supera los límites máximos permisibles para la Unión Europea y el Codex Alimentarius. Así mismo, supera las concentraciones que deben presentar en agua para uso y consumo humano y la norma para requisitos y especificaciones en la aplicación y certificación de Buenas Prácticas Agrícolas en los procesos de producción de frutas y hortalizas frescas (NOM-EM-034-FITO-2000).

No se ha reportado un nivel por debajo del cual no se puedan detectar los efectos adversos para la salud de la exposición al Pb (OMS, 2022). Este metal, ingresa al cuerpo y se distribuye por el organismo hasta llegar a órganos como cerebro, hígado, riñones y se acumula con el paso del tiempo en huesos y dientes (OMS, 2022). Además, su disminución tarda de 20 a 30 años (UNAM, 2017). La población infantil es más vulnerable al Pb ya que absorben este metal cuatro a cinco veces más que los adultos (OMS, 2022).

Algunos de efectos del Pb van desde anemias en la población afectada, disfunción renal, afectaciones a órganos reproductores como alteraciones en la producción de espermatozoides, afectaciones en el desarrollo de cerebro y sistema nervioso que este asociado a reducción del cociente intelectual, cambios de comportamiento como conductas antisociales, disminución de la capacidad de concentración lo que repercute bajo rendimiento escolar (OMS, 2022).

La EPA ha determinado que el Pb es posiblemente carcinogénico en humanos, ya que únicamente se han hecho estudios en ratas y ratones los cuales desarrollaron tumores de riñón cuando se les administró dosis altas de este metal (ATSDR, 2007).

En el caso de Cu en ambas zonas de estudio, las concentraciones de este metal están por debajo de los límites máximos permisibles por la Unión Europea y la NOM-EM-034-FITO-2000, pero está por encima de la norma agua para uso y consumo humano.

Si bien el Cu, es un micronutriente de importancia biológica vital para las células, ya que se relaciona con la formación de mielina y melanina, producción de energía, participa en la producción de la hormona tiroidea, favorece la cicatrización, entre muchas más funciones, en grandes cantidades es altamente tóxico, a pesar de que el hígado posee gran capacidad de excreción del Cu, algunos síntomas de intoxicación por Cu son: dolor abdominal, calambres estomacales, náuseas y vómitos, diarrea, daño hepático y fallo renal (Feoktistova Victorava y Clark Feoktistova, 2018). Además, junto con el Fe, están relacionados en el desarrollo de enfermedades como el Parkinson y Alzheimer (Arnal, 2010).

Con respecto a las concentraciones de Mn en ambas zonas de estudio, supera los límites máximos con respecto a la Unión Europea, agua para uso y consumo humano y la NOM-EM-034-FITO-2000.

El Mn se acumula en hígado, cerebro y huesos, en estos últimos permanece de 8 a 9 años. Es un potente neurotóxico, relacionado con alteraciones en las habilidades motoras, falla de memoria, alteraciones en la capacidad de aprendizaje, además daños a la salud a nivel cardiovascular, endocrino y hepático (Ramírez y Azcona, 2017). De acuerdo al portal Data México del Gobierno Federal, en 2020 las principales discapacidades presentes en la población de los Reyes de Juárez fue la discapacidad motriz (0.77% de la población) siendo, además, la edad avanzada y accidentes, 89 casos por enfermedad y 41 casos por nacimiento, además el 0.72%

de la población presenta discapacidad para recordar, de los cuales 66 casos por enfermedad y 90 por nacimiento. El 0.84% de la población del municipio de Quecholac presenta discapacidad motriz, se reportan 185 casos por enfermedad y 101 casos por nacimiento. El 0.66% de la población de Quecholac presenta discapacidad para recordar, reportando 149 casos por enfermedad y 154 por nacimiento (Data México, s.f.).

Finalmente, los valores de Fe tanto de los Reyes de Juárez como de Palmarito Tochapán rebasan ambas normas mexicanas la NOM-127-SSA1-1994 y la NOM-EM-034-FITO-2000. El Fe se acumula en hígado, bazo, otros tejidos, el exceso de este metal en el organismo provoca hem siderosis cuando hay un aumento de Fe en el tejido sin dañar su estructura y función de este último y hemocromatosis en donde sí se daña el tejido. Algunos síntomas de la hem siderosis son: dolores de cabeza, fatiga, mareos, pérdida de peso y coloración grisácea, esta última a causa de la deposición de Fe en los tejidos (Amatriain, 2000). Por otro lado, altos niveles de Fe se relacionan con la *Diabetes mellitus* tipo 2, ya que contribuye al estrés oxidativo, aumentando el riesgo de dicha enfermedad (Arredondo-Olgún et al., 2015).

Tabla 4. Concentración de los metales pesados en brócoli en los Reyes de Juárez, Puebla y Palmarito Tochapán. Los valores máximos permisibles son de acuerdo con las normas internacionales y nacionales.

Metales (mg/kg)	Concentraciones Los Reyes de Juárez (mg/kg)	Concentraciones Palmarito (mg/kg)	UE mg/kg	Codex Alimentarius mg/kg	NOM-127-SSA1-1994 mg/L	NOM-EM-034-FITO-2000 mg/l
Pb	4.997±1.709	6.326±3.113	0.3	0.3	0.01	5
Cu	2.965±0.888	3.057±1.575	10	ND	2.00	4
Mn	7.536±3.104	11.343±4.235	0.05	ND	0.15	0.15
Fe	38.376±17.278	55.486±29.684	ND	ND	0.30	0.3

Nota. Tabla de creación propia con medias y desviación estándar de los metales analizados en brócoli. Información de la tabla con base en (Jano Tolama, 2017), (FAO,1995), REGLAMENTO (UE) 2021/1317, NOM-127-SSA1-1994 y NOM-EM-034-FITO-2000.

Por otro lado, las concentraciones más altas de Pb, Fe, Cu y Mn son de las muestras de brócoli provenientes de Palmarito Tochapán (Tabla 5), mientras que las concentraciones más bajas de estos metales se hallaron en el brócoli que proviene de los Reyes de Juárez, exceptuando al Cu, en donde la concentración más baja de este metal se analizó en Palmarito.

Valores similares a la concentración más alta de Pb de las muestras provenientes de Palmarito Tochapán, se reportan en otras hortalizas como: 11.67 mg/kg en perejil y cebolla, así como 12.049 mg/kg en habas (Jano Tolama, 2017), también se ha encontrado 7.1746 mg/kg en nopal (Prieto *et al.*, 2007). Por su parte Mejía y col. (1990), reportan rangos entre 1.6 a 15.6 mg/kg de Pb en alfalfa y maíz. En Mn, se han encontrado concentraciones de 13.33 y 15.00 mg/kg en maíz, las cuales son similares a las concentraciones más altas de Mn en brócoli y en el caso Cu se reporta 6.67 mg/kg en ejote y maíz (Jano Tolama, 2017), en esta última hortaliza también ha encontrado 2.4 y 3.6 mg/kg de Cu (Larenas, 2010); por su parte Aragón y col. (2016), reportan concentraciones 1.38 mg/kg en coliflor, 2.66 y 3.67 mg/kg en hortalizas de hoja verde. Los anteriores resultados concuerdan con las concentraciones de Cu encontradas en el brócoli proveniente de Palmarito Tochapán.

Por otro lado, en Fe se ha reportado la misma concentración que en brócoli (29.77 mg/kg) en hortalizas de hoja verde, además de concentraciones similares a las encontrados como 46.75 y 120.10 mg/kg. Así mismo, Mahender y col. (2019) reportan rangos de 60 a 300 mg/kg de Fe en arroz, lo que concuerda con las tres concentraciones más altas de Fe obtenidas en brócoli.

Tabla 5. Metales pesados encontrados en brócoli de Palmarito Tochapán y Los Reyes de Juárez Puebla.

Zona de estudio	Concentraciones de metales en mg/kg en brócoli			
	<i>Pb</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>
	Prom/DS	Prom/DS	Prom/DS	Prom/DS
Palmarito	5.0833 ± 0.014	21.071 ± 0.002	1.161 ± 0	7.917 ± 0.002
	2.643 ± 0.010	29.773 ± 0.009	1.682 ± 0.001	4.839 ± 0.056
	3.932 ± 0.021	40.375 ± 0.006	2.333 ± 0	8.614 ± 0.001
	5.667 ± 0.022	51.667 ± 0.003	2.667 ± 0	11.125 ± 0
	5.667 ± 0.011	52.500 ± 0.005	2.917 ± 0	11.750 ± 0.152
	6.800 ± 0.022	62.000 ± 0.003	3.500 ± 0.001	13.000 ± 0.001
	7.900 ± 0.004	69.000 ± 0.009	3.950 ± 0.001	15.600 ± 0.001
	12.917 ± 0.013	117.500 ± 0.007	6.250 ± 0	17.900 ± 0.002
Los Reyes de Juárez	6.708 ± 0.009	71.250 ± 0.020	3.083 ± 0	7.083 ± 0.001
	6.700 ± 0.013	52.000 ± 0.267	3.600 ± 0.002	6.550 ± 0.038
	4.906 ± 0.019	40.938 ± 0.003	2.438 ± 0.001	12.000 ± 0.005
	2.501 ± 0.013	23.178 ± 0.006	1.601 ± 0	4.834 ± 0.002
	6.281 ± 0.013	41.250 ± 0.001	2.656 ± 0.001	11.281 ± 0.002
	6.143 ± 0.005	35.321 ± 0.010	2.714 ± 0	9.786 ± 0.002
	3.134 ± 0.013	22.249 ± 0.006	2.983 ± 0.001	4.522 ± 0.002
	3.602 ± 0.013	20.819 ± 0.006	4.641 ± 0.002	4.234 ± 0.002

Nota. DS= desviación estándar

La Tabla 5 también muestra las concentraciones de Pb, Fe, Cu y Mn en el brócoli proveniente del municipio de los Reyes de Juárez, Puebla. En Pb se reportan concentraciones similares a las concentraciones más altas encontradas en el brócoli, en perejil 6.67 y nopal 6.57 mg/kg (Jano Tolama, 2017) y en habas 6.44 (Prieto *et al.*, 2007). Por otra parte, en Fe se reporta en maíz 36, 31.6, 52.9, 74.3, 42.7 mg/kg estas concentraciones son similares a las encontradas en el brócoli (Larenas, 2010). Además, en un estudio realizado en la misma central de Abastos en Huixcolotla, se han reportado concentraciones de Fe como 46.75 y 29.8 mg/kg

en hortalizas de hoja verde (Aragón *et al.*, 2016). Cabe señalar que también se analizó Cr, por medio de espectrometría de absorción atómica, no obstante, este metal estaba por debajo del nivel de detección.

A pesar de que matemáticamente se hallaron en el brócoli proveniente de Palmarito Tochapán las concentraciones más altas de los cuatro metales analizados (Pb, Cu, Mn y Fe) en comparación con las muestras de los Reyes Juárez, hablando en términos estadísticos los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) señalan que no hay diferencias significativas entre las concentraciones de los cuatro metales en Los Reyes de Juárez comparado con Palmarito Tochapán ($\alpha=0.05 < p=0.080$), sin embargo, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de cada metal ($\alpha=0.05 > p=0.000$) (Tabla 6).

Tabla 6. *Análisis de Varianza (ANOVA) realizada en el software estadístico Minitab con el nivel de confianza del 95%.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Región	1	499.0	499.0	3.17	0.080
Metal	3	20401.1	6800.4	43.15	0.000
Error	59	9299.3	157.6		
Falta de ajuste	3	737.1	245.7	1.61	0.198
Error puro	56	8562.2	152.9		
Total	63	30199.4			

A continuación, se muestra la prueba de Tukey (Tabla 7), podemos decir que con un nivel de confianza de 95% únicamente existen diferencias significativas entre Fe respecto al resto de los metales: Pb, Cu y Mn (Figura 22).

Tabla 7. Prueba Tukey en metales pesados analizados en el brócoli de ambas zonas de estudio

Metal	N	Media	Agrupación
Fe	16	46.93	A
Mn	16	9.44	B
Pb	16	5.661	B
Cu	16	3.011	B

Nota. Método de Tukey realizado en Minitab, las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

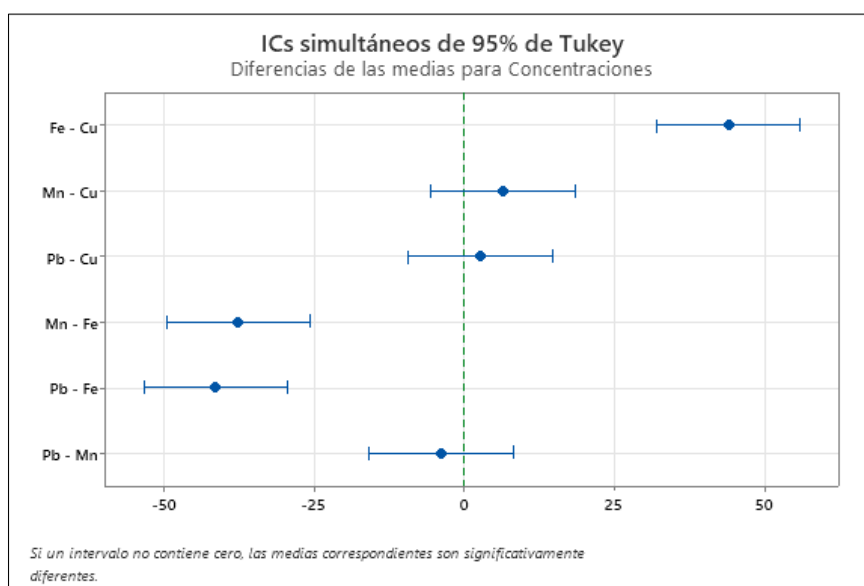


Figura 22. Diferencias de medias en concentraciones de los metales obtenidos en ambas zonas de estudio. Gráfico obtenido por medio del análisis estadístico en Minitab.

8.3 Mapas a partir de sistemas de posicionamiento geográfico.

A continuación, se muestran los mapas de pozos de Palmarito Tochapán y Los Reyes de Juárez. Adicionalmente se describen las unidades de suelo presentes en ambas zonas.

8.3.1 Pozos en las zonas de estudio

Teniendo presente que cuando se realizó la encuesta todos los productores provenientes de Palmarito Tochapan (44%) así como la totalidad de los productores de los Reyes de Juárez (22%) utilizan pozos profundos y sistema de riego para abastecer de agua a sus cultivos. Se presentan a continuación los mapas de los pozos en operación en el municipio de los Reyes de Juárez, Puebla y el municipio de Quecholac al cual pertenece Palmarito Tochapan, estos pozos pertenecen al acuífero del Valle de Tecamachalco con clave 2101, este último perteneciente a la cuenca del Balsas (CONAGUA, 2020).

De acuerdo con Hernández y col. (2018), un 78% de los pozos correspondientes al acuífero de Tecamachalco son de uso agrícola. Cabe señalar que, de acuerdo al portal del Gobierno Federal de México en 2014, hay registro de 46 pozos de riego agrícola en los Reyes de Juárez (Gobierno de México, 2014). Así mismo, Méndez (2022), indica que este municipio cuenta con 77 pozos de uso agrícola, sin embargo, a partir de la carta topográfica escala 1: 50,000 INEGI (2020) únicamente muestra 27 pozos en este municipio (Figura 23). No obstante, de acuerdo con Hernández y cols. (2018) entre los años 2000 a 2014 se observó un incremento en la densidad de aprovechamiento de agua subterránea (mayor concentración de pozos) en el municipio de los Reyes de Juárez.

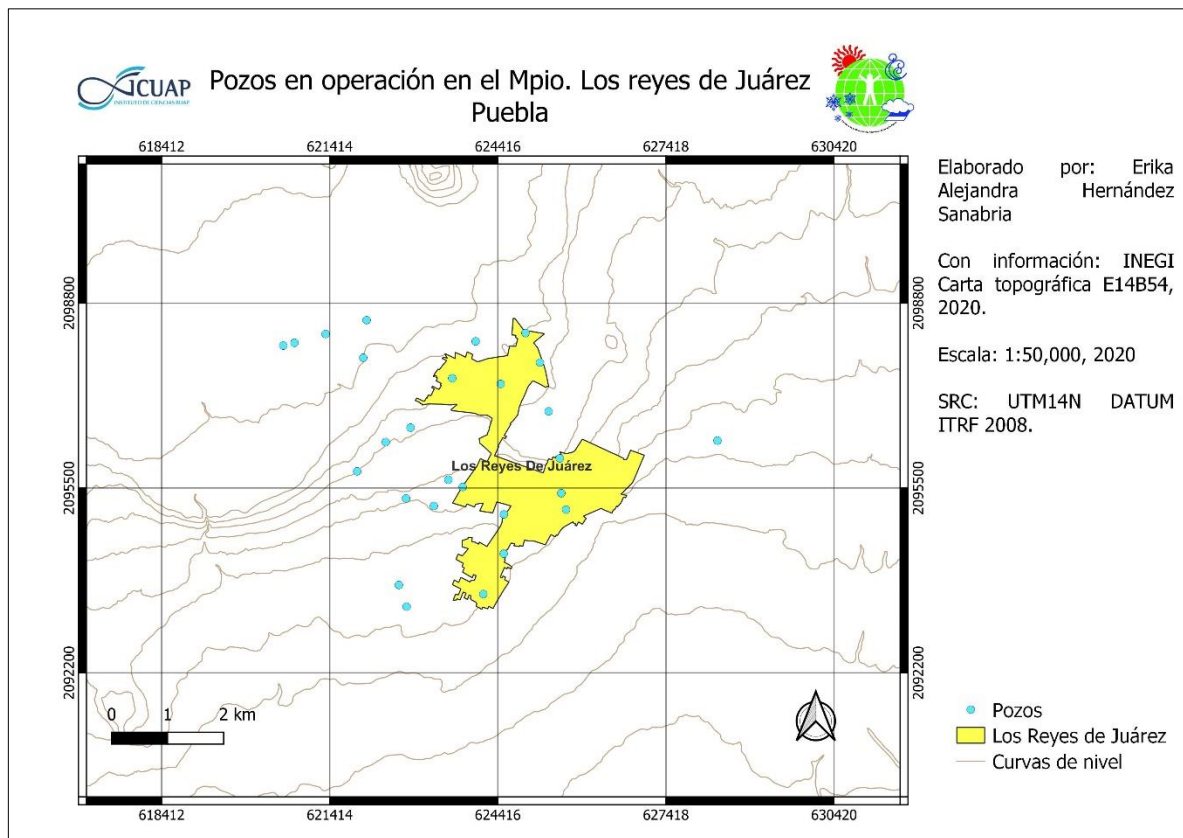


Figura 23. Pozos pertenecientes al Municipio de los Reyes de Juárez. Nota. Mapa de elaboración con información de carta topográfica E14B54 escala 1: 50,000 INEGI (2020).

Por otro lado, la figura 24 muestra los 6 pozos piezométricos que se tienen registrados en el mapa digital de CONAGUA, sin embargo, Hernández y col. (2018), mencionan la existencia de 1,006 pozos de uso agrícola en el acuífero del Valle de Tecamachalco, siendo Quecholac, junto con el municipio de Palmar de Bravo las áreas de mayor concentración de pozos. Aunado a lo anterior se estiman la existencia de entre 350 a 400 pozos clandestinos en este acuífero (Gómez, 2018).

Cabe resaltar que se solicitó información sobre el número de pozos y ubicación de los mismos al Ayuntamiento del Municipio de los Reyes de Juárez y la Unidad de Transparencia del Municipio de Quecholac al cual pertenece Palmarito

Tochapan, pero no obtuvimos respuesta por parte de ellos. Además, se realizó la búsqueda de los pozos registrados en la carta topográfica E14B55 del INEGI correspondiente a la zona de Quecholac, sin embargo, la carta no presentaba registro de pozos en esta área.

Finalmente, una proporción de aproximadamente de 11,000 hectáreas forman parte del DR030 proveniente de la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo), esta zona se encuentra inmersa dentro de la región del acuífero del Valle de Tecamachalco, debido a la existencia de pozos en operación en esta zona hay casos en los que se mezcla el agua del acuífero con aguas del canal de Valsequillo (Gómez, 2018). Gutiérrez (2015) menciona que se han encontrado altos niveles de contaminación por metales pesados y otros elementos tóxicos en la Presa Manuel Ávila Camacho, así como en el DR030. Por su parte, estudios como el de Mangas y col. (2006), indican la presencia de metales pesados como Hg, Pb, Zn, Ti y Cu en esta presa.

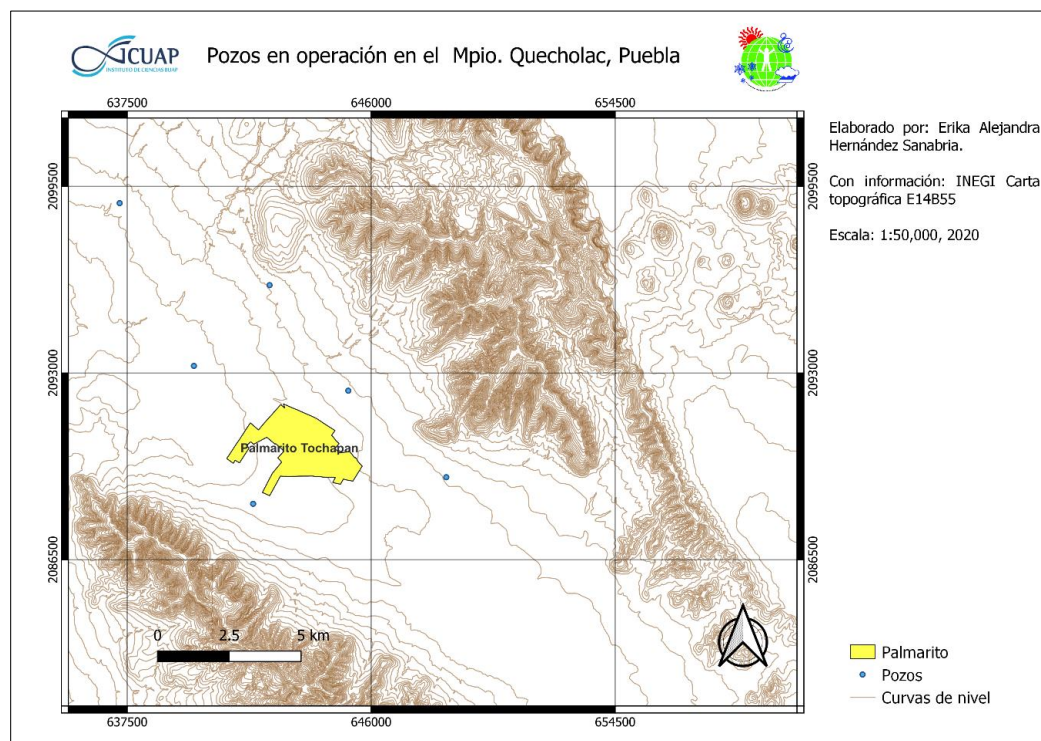


Figura 24. Pozos pertenecientes al Municipio de Quecholac. Nota. Mapa de elaboración con información de carta topográfica E14B55 escala 1:50,000 INEGI (2020) y mapa digital de pozos piezométricos 2021, escala 1:288,895. CONAGUA (2021).

8.3.2 Unidades de suelo presentes en las zonas de estudio

Los siguientes mapas se elaboraron a partir de información edafológica de la CONABIO a escala 1:250,000. A esta escala la unidad de suelo predominante en Palmarito Tochapan (Figura 25) es Chernozem Páquico, este tipo de suelo tiene como característica representativa la presencia de una capa superior color negro, alta en materia orgánica y nutrientes (INEGI, 2004) además al ser Páquico presenta un horizonte superficial con 50 cm o más de espesor.

Por otro lado, se encuentra también unidades de suelo menos predominantes como suelo Phaeozem calcárico, son suelos de tierra parda u oscuros, posee una capa superficial oscura rica en nutrientes y materia orgánica. Además, el calificador calcárico indica que es un suelo que presenta 2% de carbonatos de calcio principalmente entre los 20 a 50 cm de la superficie de suelo (INEGI, 2015). Otra unidad de suelo asociada es el Regosol calcárico, suelos claros, pedregosos y frecuentes en zonas áridas de México (INEGI, 2015).

En la localidad de Los Reyes de Juárez, predominan dos unidades de suelo (Figura 26). Por un lado, existe la presencia de suelo Calcisol pétrico. Este tipo de suelo tiene más de 15% de carbonato de calcio en aproximadamente 15 cm de espesor. Este suelo es viable para la agricultura, si son fertilizados con fósforo, Fe, Zn y nitrógeno. Al ser pétrico puede presentar una capa fuertemente endurecida que comienza dentro de los 50 a 100 cm de la superficie del suelo. Así mismo, se encuentra asociado a este Calcisol, otra unidad suelo, Leptosol rendzico, suelos susceptibles a la erosión (INEGI, 2015).

En esta zona también se observa la presencia de suelo Chernozem páquico al igual que la zona de Palmarito Tochapan. También, Chernozem cálcico, este último hace referencia a que la presencia de carbonatos secundarios. Asociado a Chernozem, se encuentra Calcisol lúvico, son suelos con acumulación de arcilla de alta actividad capacidad de intercambio catiónico CIC en el subsuelo (INEGI, 2015).

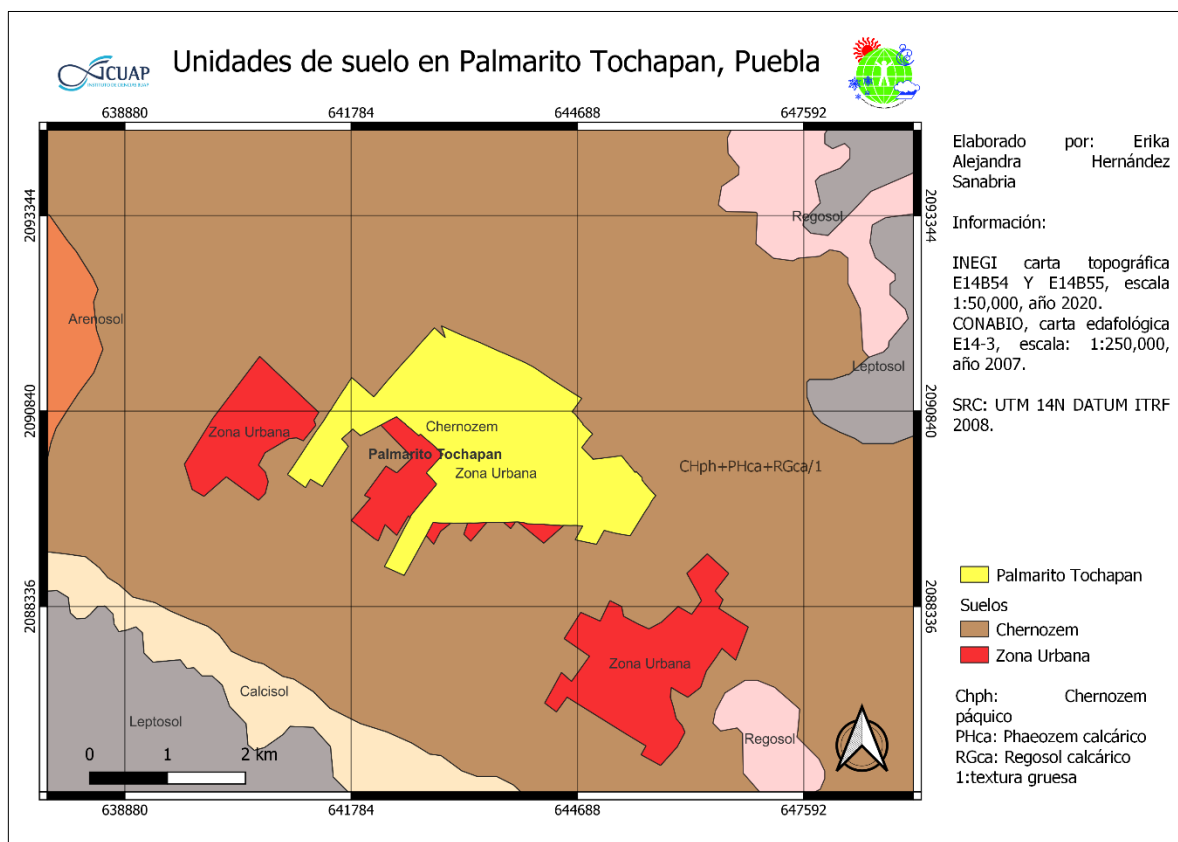


Figura 25. Tipo de suelo en Palmarito Tochoapan.

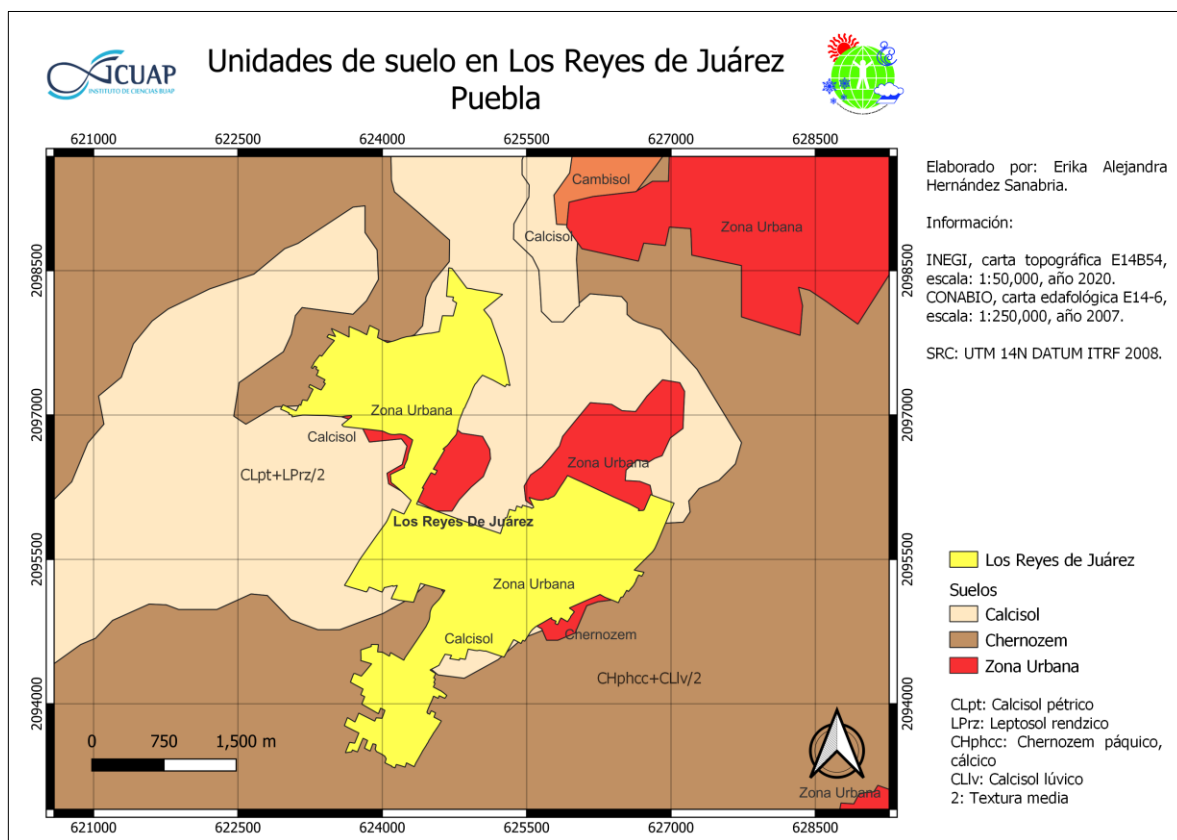


Figura 26. Tipos de suelo en los Reyes de Juárez.

8.4 Propiedades del suelo como factor ambiental en la presencia de metales pesados en el brócoli

La concentración de metales en el suelo, no necesariamente refleja la cantidad de metales que la planta puede absorber (Silveira *et al.*, 2003). Para que una planta extraiga los metales del suelo, estos deben estar biodisponibles, se define como biodisponibilidad a la parte de los metales pesados que están disponibles para absorción por las plantas, esta depende de solubilidad y la movilidad de los metales en la solución del suelo (Lasat, 2001). A su vez, los factores que influyen en la movilidad de los metales en el suelo son las características del suelo, la naturaleza de la contaminación y las condiciones ambientales (Sahuquillo *et al.*, 2003). Este trabajo se enfocó en el pH, la materia orgánica y el contenido de

arcillas debido a que son características del suelo que afectan la biodisponibilidad de los metales pesados (García *et al.*, 2002).

8.4.1 pH

El pH del suelo es el factor más importante que incide en la biodisponibilidad de los metales ya que se relaciona con los procesos de ingreso de metales a las raíces de las plantas pues afecta la solubilidad, absorción e intercambio de iones en el suelo (McBride *et al.*, 1997; Lasat, 2001).

El suelo de los Reyes de Juárez, Puebla posee un pH que varía entre las profundidades del suelo, en los primeros 5 cm del suelo, es fuertemente alcalino (8.05), de 5 a 15 cm de suelo es levemente alcalino (7.59), muy levemente alcalino (7.3) a profundidades de 15 a 30 y levemente alcalino de 30 a 60 cm del suelo (7.48) (Tabla 8). Por otro lado, el suelo de la localidad de Palmarito (Tabla 9) es levemente alcalino de 0 a 60 cm (7.50-7.86). La desorción de los metales pesados, el aumento en su concentración y biodisponibilidad se produce a pH ácidos, mientras que un aumento en el pH hace que los metales pesados sean removidos de la solución del suelo, se absorben por los coloides de este y por tanto, disminuyen su biodisponibilidad (Lasat, 2001).

García y col. (2002), mencionan que en suelos con un pH entre 5.5 y 9.5, el Pb tiende a ser prácticamente inmóvil en el suelo. Por su parte Bautista (2015) reporta la tasa de absorción de Pb por parte de la planta se reduce al aumentar el pH del suelo concordando con lo observado por Moreno y col. (1993) en donde los suelos con mayores concentraciones de metales pesados como el Pb, Cu, Cd y Zn son aquellos con valores de pH de 7.2, 7.4 y 7.8.

Para el metal Cu, García y col. (2002) indican que en pH neutros (7.0) hasta fuertemente alcalinos (9.5) el Cu tiende a ser moderadamente móvil. Así mismo de acuerdo a Toboada y cols. (1995), indican que, en suelos ácidos, aumenta la movilidad del Fe y del Mn. Lo anterior concuerda con lo mencionado por Balderas-

Plata y col. (2003) quienes indican que a pH ácidos entre 5.1 y 5.6 la disponibilidad y solubilidad del Mn aumenta, esa fracción disponible es absorbida por las plantas. Dado que en los Reyes de Juárez y Palmarito Tochapán las profundidades del suelo son alcalinas, los metales como el Mn y Fe permanecerían inmóviles y no estarían biodisponibles para la planta, concordando con lo reportado por Bautista (2015), quien menciona que la absorción del Mn por la planta decrece cuando el pH del suelo aumenta.

Tabla 8. *pH en suelos de Los Reyes de Juárez, Puebla y su movilidad respecto a los metales pesados: Pb, Cu, Mn, Fe.*

Los Reyes de Juárez				
pH a distintas profundidades	Pb	Cu	Mn	Fe
0 a 5 8.05	inmóvil	moderadamente móvil	inmóvil	inmóvil
5 a 15 7.59	inmóvil	moderadamente móvil	inmóvil	inmóvil
15 a 30 7.36	inmóvil	moderadamente móvil	inmóvil	inmóvil
30 a 60 7.48	inmóvil	moderadamente móvil	inmóvil	inmóvil

Nota. La tabla muestra las medias de metadatos obtenidos del mapa digital pH (predicción) escala 1:4,000,000, resolución:1km (CONABIO, 2020). Además, se retomó información de García *et al.*, 2002; Toboada *et al.*, 1995; Bautista, 2015.

Tabla 9. *pH en suelos de Palmarito Tochapán y su movilidad con respecto a los metales pesados: Pb, Cu, Mn, Fe.*

Palmarito Tochapán				
pH a distintas profundidades	Pb	Cu	Mn	Fe
0 a 5 cm 7.86	inmóvil	moderadamente móvil	inmóvil	inmóvil
5 a 15 cm 7.50	inmóvil	moderadamente móvil	inmóvil	inmóvil
15 a 30 cm 7.51	inmóvil	moderadamente móvil	inmóvil	inmóvil
30 a 60 cm 7.74	inmóvil	moderadamente móvil	inmóvil	inmóvil

Nota. La tabla muestra las medias de metadatos obtenidos del mapa digital pH (predicción) escala 1:4,000,000, resolución 1km CONABIO, (2020). Además, se retomó información de García *et al.*, 2002; Toboada *et al.*, 1995; Bautista, 2015).

8.4.2 Materia orgánica

La materia orgánica y su relación con los metales pesados es la formación de complejos estables, principalmente en ambientes con pH alcalino, los metales son absorbidos por la materia orgánica del suelo (Yin *et al.*, 1996). A mayor cantidad de materia orgánica, mayor formación de complejos órgano-metálicos, disminuyendo su disponibilidad para las plantas ya que estas últimas no absorben complejos metálicos grandes (Alloway, 1995).

Por su parte, FAO (2018) menciona que el principal regulador del proceso de adsorción de contaminantes en el suelo es el contenido de materia orgánica, puesto que en esta existen un gran número de sitios para reacciones de complejación que incrementan los procesos de adsorción, a su vez esta capacidad de adsorción incide la biodisponibilidad de los metales para las plantas.

Los aniones por lo general están unidos de forma débil al suelo, no obstante, reaccionan con la materia orgánica por medio de puentes de hidrógeno y el intercambio de ligandos (Gevao, Semple y Jones, 2000). Los iones pueden pasar de estados catiónicos a neutrales o aniónicos a causa del pH, por lo que este parámetro es determinante en la adsorción de contaminantes en el suelo, aún con la presencia de materia orgánica (Rodríguez *et al.*, 2019).

La Tabla 10 muestra el contenido de materia orgánica en la localidad de Palmarito Tochapán y los Reyes de Juárez Puebla, se observa un bajo contenido de materia orgánica en los suelos de esta región, ya que de acuerdo con Molina (s.f.), los suelos con menos de 2% de materia orgánica tienen bajo contenido, y de 2 a 5% son de contenido medio y valores superior a 5% son altos en contenido de materia orgánica.

García y Dorronsoro (s.f.) indican que el Pb tiende a formar quelatos solubles muy estables por lo que puede migrar con mayor facilidad a lo largo del perfil suelo. Bautista (2015) reporta que la movilidad del Mn fluctúa con el aumento de materia orgánica. En el caso del Cu este mismo autor menciona que el Cu es uno de los metales menos móviles en el suelo. La materia orgánica contribuye a absorber fuertemente metales como el Cu por lo que no quedan disponibles para la planta (García y Dorronsoro, s.f.). Es arriesgado predecir el comportamiento del Cu en los suelos, puesto que la materia orgánica y el pH forman parte de la dinámica de este metal (Balderas-Plata, 2003). Si el pH aumenta la cantidad de Cu fijado a la materia orgánica disminuye, puesto que aumenta la concentración de grupos hidroxilo (OH^-), es decir hay menos lugares de absorción de Cu en la materia orgánica por tanto menos lugares con carga negativa pueden existir, y el ion dominante CuOH^+ no se fija con facilidad, por lo que su concentración disponible en el suelo puede ser alta (Balderas-Plata, 2003).

Cabe señalar que si bien el contenido materia orgánica en las localidades de Palmarito y Los Reyes de Juárez, Puebla es relativamente baja, por lo que, los metales estarían biodisponibles para las plantas, esto podría variar debido a que se

utilizan abonos orgánicos para el cultivo del brócoli, por tanto, los metales estarían menos biodisponibles. La adición de abonos orgánicos diversifica la presencia de organismos e intensifica el contenido de materia orgánica (Lin *et al.*, 2019), no obstante, existe una dualidad en este aspecto, debido a que, algunas veces los mismos abonos orgánicos contienen metales pesados como Cu, Pb, Ni, Cd As, Zn y Cr Hg (Alloway, 2013., Dueñas e Intriago, 2022, Apaza-Condori *et al.*, 2015).

De acuerdo con Moreno y col. (1993), reportan que contenidos de materia orgánica 1.4%, 1.5%, 1.7% y 1.14 % se relacionan con una mayor concentración de Pb, Cu, Cd y Zn en suelo, en comparación con suelos que poseen contenidos de 1.3%, 1% y 0.8% de materia orgánica.

Tabla 10. *Contenido de materia orgánica en los Reyes de Juárez y Palmarito Tochapán.*

Contenido de materia orgánica		
Profundidad del suelo (cm)	Los Reyes de Juárez (%)	Palmarito Tochapán (%)
0 a 5	2.19	1.89
5 a 15	1.98	1.74
15 a 30	1.64	1.58
30 a 60	1.08	1.20

Nota. La tabla muestra las medias de metadatos obtenidos del mapa digital Materia orgánica (predicción) escala 1: 4,000,000, resolución:1km (CONABIO, 2020).

8.4.3 Arcilla

Una de las características más importantes de los suelos y que afectan el comportamiento de los contaminantes es el contenido de arcilla (Rodríguez *et al.*, 2019).

La mayoría de las arcillas tienen cargas negativas en su superficie, siendo las responsables de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, haciendo que los metales permanezcan más tiempo en el suelo, reduciendo su solubilidad y biodisponibilidad (Kabata Pendias y Pendias, 2000). Después de la materia orgánica, el tipo de arcilla y el contenido de esta es uno de los factores que ejercen control sobre la adsorción (Rodríguez *et al.*, 2019). La adsorción es el proceso por medio del cual las moléculas de un líquido interactúan con un sólido, quedando retenidas en el sólido durante un tiempo (Navarro *et al.*, 2007).

El Pb se coliga principalmente con minerales de arcilla (Nolan *et al.*, 2003). Arcillas como las esmectitas, vermiculitas, imogolitas pueden absorber Cu (Bautista, 2015). González (1995), menciona que las arcillas montmorillonitas tienen más capacidad de retención del Cu.

La Tabla 11 muestra las medias de los porcentajes de arcilla presentes en los Reyes de Juárez, Puebla a una profundidad de 5, 15, 30 y 60 cm del suelo, observándose que el porcentaje de arcilla en Los Reyes de Juárez es de 24, 27 y 30% aproximadamente, mientras que Palmarito Tochapán, presentan 20, 24 y 28% aproximadamente. De acuerdo con Moreno y col. (1993) reportan que contenidos de arcillas de 20 a 23% existe una mayor concentración de Pb, Cu, Cd y Zn en suelo en comparación con suelos que poseen entre 10 a 15% de arcilla. Por otro lado, porcentajes de arcilla similares a los encontrados en los suelos de Los Reyes de Juárez y Palmarito Tochapán (Tabla 11) los reportan Balderas-Plata y col. (2003), en donde a partir de un análisis de correlación múltiple, contenidos de arcilla de 22%, 24%, 28%, 29% y 33% presentan una correlación positiva con Fe, esto podría deberse a que el contenido de arcilla es un factor importante para la no asimilabilidad de este metal y el movimiento de este metal en el suelo.

Los contenidos de arcilla y también de materia orgánica en el suelo son aptos para adsorber los metales anteriores, siguiendo dos vías antagónicas, pueden quedar muy fijados a las arcillas y materia orgánica, lo que aminoraría su acción o dicha retención puede conservar estos metales en forma cambiante, posibilitando la

absorción por el vegetal (Moreno *et al.*, 1993). Aunque la primera vía permita que los elementos tóxicos queden atrapados, una variación del medio como el pH, puede provocar la fuga de estos, por esta razón aún cuando los metales estén fijados, si su concentración es elevada constituye toxicidad potencial tanto para su distribución en el medio como su acumulación en plantas (Moreno *et al.*, 1993). Sin embargo, los suelos de ambas zonas de estudio son de clase textura franco arcillo arenoso (Tabla 12 y Tabla 13) ya que el contenido de arcilla en el suelo de ambas zonas de estudio es menor respecto al contenido de arena, son suelos con una buena aireación y drenaje, de textura media (Castellanos, 2000). Además, al ser suelos con característica arenosa, no poseen gran capacidad para retener los metales pesados en el suelo, por lo que estos pasarían rápidamente al subsuelo llegando a contaminar los niveles freáticos (García y Dorronsoro, s.f.) y por tanto disminuyendo su presencia en el brócoli.

Tabla 11. *Contenido de Arcilla en los Reyes de Juárez y Palmarito Tochapán.*

Porcentaje de arcilla		
Profundidad del suelo (cm)	Los Reyes de Juárez	Palmarito Tochapán
0 a 5	24.67	20.18
5 a 15	24.36	20.55
15 a 30	27.52	24.05
30 a 60	30.35	28.42

Nota. La tabla muestra las medias de metadatos obtenidos del mapa digital

Arcilla (predicción) escala 1: 4,000,000, resolución:1km (CONABIO, 2020).

Tabla 12. *Contenido de arcilla, limo y arcilla (clase textural del suelo) en Reyes de Juárez.*

	Los Reyes de Juárez			
Profundidad del suelo	% Arena	%Limo	% Arcilla	Clase
0 a 5 cm	58.9	16.43	24.67	Franco arcillo arenoso
5 a 15 cm	54.52	21.12	24.36	Franco arcillo arenoso
15 a 30 cm	51.43	21.05	27.52	Franco arcillo arenoso
30 a 60 cm	49.36	23.29	30.35	Franco arcillo arenoso

Nota. La tabla muestra las medias de metadatos obtenidos del mapa digital Arena, Limo, Arcilla y (predicción) escala 1: 4,000,000, resolución:1km (CONABIO, 2020), la clase se obtuvo a partir del diagrama triangular de las clases de textura según el USDA (FAO, 2019).

Tabla 13. *Contenido de arcilla, limo y arcilla (clase textural del suelo) en Palmarito Tochapán.*

	Palmarito Tochapán			
Profundidad del suelo	% Arena	%Limo	% Arcilla	Clase
0 a 5 cm	56.2	23.62	20.18	Franco arcillo arenoso
5 a 15 cm	52.22	27.23	20.55	Franco arcillo arenoso
15 a 30 cm	52.64	23.31	24.05	Franco arcillo arenoso
30 a 60 cm	49.22	22.36	28.42	Franco arcillo arenoso

Nota. La tabla muestra las medias de metadatos obtenidos del mapa digital Arena, Limo, Arcilla y (predicción) escala 1: 4,000,000, resolución:1km (CONABIO, 2020), la clase se obtuvo a partir del diagrama triangular de las clases de textura según el USDA (FAO, 2019).

8.5 Diagrama del sistema complejo a partir de una cadena agroalimentaria

A continuación, se presenta el diagrama del sistema complejo que parte de una cadena agroalimentaria que para fines de esta investigación es la del brócoli (Figura 27). Se observan a los actores involucrados como lo son las UPF y los jornaleros, así como el conjunto de actividades que se desarrollan a lo largo de la producción, el manejo postcosecha, comercialización, en donde finalmente se llega al consumo. Además, el diagrama muestra los posibles factores tanto sociales como ambientales que propician la presencia de metales pesados en el brócoli que se comercializa en la Central de Abastos de Huixcolotla.

Dentro de la etapa de Producción se puede observar el cultivo de brócoli como práctica cultural al ser una actividad aprendida ya sea de padres a hijos o de sus antiguos jefes. En las actividades de producción como siembra, deshierbe y corte, participa tanto la familia como la mano de obra que en este caso son los jornaleros.

En relación a las prácticas agrícolas que propician la presencia de metales pesados en el brócoli es el uso de fertilizantes químicos y orgánicos (gallinaza y estiércol). Además del uso de plaguicidas (insecticidas y fungicidas).

Por otro lado, el riego mediante pozos es una de las principales fuentes de los metales pesados, debido a que el agua del acuífero de Tecamachalco se encuentra contaminada por diversas fuentes el río Atoyac, el DDR030 y las descargas de origen urbano e industrial (CUPREDER, 2011; Hernández *et al.*, 2018). Al mismo tiempo, en el diagrama se observan los factores ambientales como lo son el pH, la materia orgánica y la arcilla, ya que estas características del suelo, influyen en la movilidad de los metales pesados y su posterior retención de metales por parte del brócoli.

En la etapa de manejo postcosecha y comercialización, se incluyen actividades como la cosecha, transporte del brócoli a partir de vehículos propios y/o rentados (Figura 27). El precio del brócoli en el mercado actualmente fluctúa entre \$15 y \$18 el kg (SIAP, 2023), así mismo su venta es a través de intermediarios, establecimiento de confianza, tienda de autoservicios y la Central de Abastos de Huixcolotla.

En la fase de consumo, el brócoli proveniente de la Central de Abastos de Huixcolotla es un producto de consumo local, nacional y de exportación. Finalmente, algunas enfermedades recurrentes en la población como la discapacidad para recordar y motriz, la *Diabetes mellitus*, insuficiencia renal y hepática, cánceres y tumores malignos (Data México, s.f.; secretaria de Salud del Estado de Puebla, 2022) pudieran estar asociadas a los metales pesados encontrados en esta investigación como Mn, Fe, Pb y Cu.

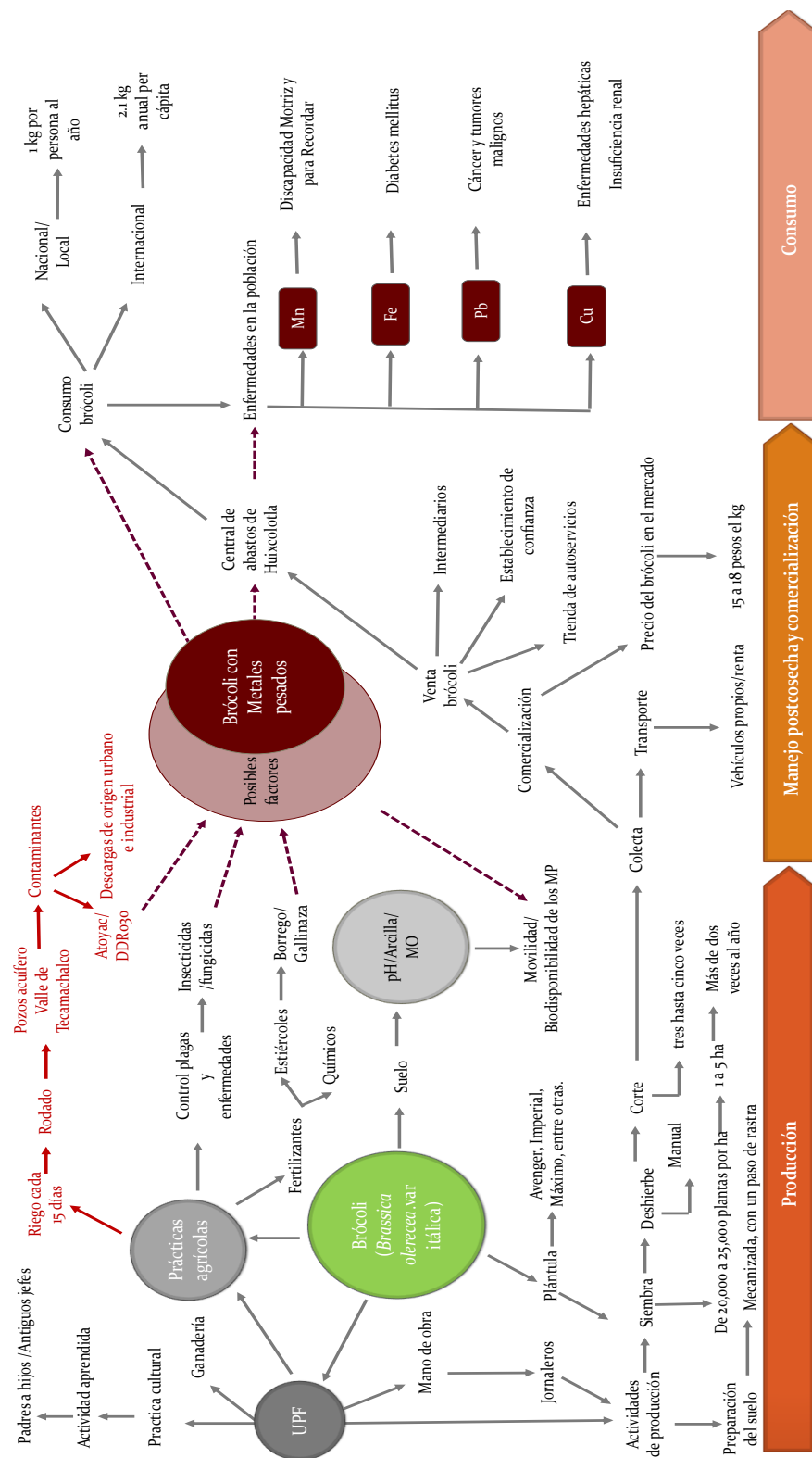


Figura 27. Diagrama del sistema.

Nota: Elaboración propia.

IX. CONCLUSIONES

Durante esta investigación se pudo identificar que esta hortaliza representa fuente de ingresos para las familias de los productores, así como fuente de empleo. Así mismo, se identificaron las prácticas agrícolas como el uso de fertilizantes, plaguicidas y riego mediante pozo, en la producción de brócoli que comercializan en la Central de Abastos de Huixcolotla.

Se detectó la presencia de metales como Pb, Cu, Mn, Fe en el brócoli que se comercializa en la Central de Abastos de Huixcolotla, cuyas concentraciones podrían ser nocivas para la salud de las personas, al ser superiores a los límites máximos permisibles de normas internacionales como el Codex Alimentarius y el reglamento de la Unión Europea, así como normas nacionales como la NOM-127-SSA1-1994 y la NOM-EM-034-FITO-2000.

Las prácticas agrícolas como: el uso de fertilizantes, plaguicidas y el riego mediante pozo, inciden en la presencia de metales pesados en esta hortaliza.

El pH del suelo no es un factor ambiental que influye en la retención de los metales en el brócoli debido a que es un pH básico, por lo que estos contaminantes permanecerían de moderadamente a casi inmóviles en el suelo bajo las condiciones reportadas.

La materia orgánica es posiblemente un factor que influye en la presencia de metales en el brócoli que se comercializa en la Central de abastos de Huixcolotla, ya que los porcentajes reportados son relativamente bajos, por lo que, los metales estarían biodisponibles para las plantas, no

obstante, esto podía variar debido al uso de fertilizantes de origen orgánico en los cultivos.

Bajo los porcentajes de arcilla reportados anteriormente, los metales pueden quedar retenidos en el suelo, por lo que no influirían en la presencia de metales pesados en el brócoli. Así mismo, dado que la textura del suelo en ambas zonas es franco arcillo arenosa, el suelo no posee gran capacidad para retener los metales pesados en el suelo, por lo que estos pasarían rápidamente al subsuelo, disminuyendo su presencia en el brócoli.

Finalmente, quiero mencionar que este trabajo permite dirigir la mirada a esta región agrícola, para poder implementar alternativas sustentables que minimicen la contaminación del brócoli, puesto que si bien su cultivo es importante social y económicamente hablando, sin la implementación de nuevas tecnologías en su producción como uso de biofertilizantes y bioplaguicidas, así como la gestión por parte de autoridades e instituciones de técnicas como la biorremediación en los pocos cuerpos de agua existentes en la zona incluyendo el DR030 y el acuífero del Valle de Tecamachalco, el problema continuará avanzando y poniendo en riesgo no solo la salud del consumidor, sino la agricultura misma, el trabajo de jornaleros y el bienestar de las familias productoras de brócoli.

X. LITERATURA CITADA

1. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR]. (2004). *Resumen de salud pública Cobre* [Archivo PDF].
2. Aguilar Barojas, S. (2005). Fórmulas para de la muestra en investigaciones de salud. *Salud Tabasco*, vol. 11, núm. 1-2.
3. Alloway, B.J. (1995). The origin of the heavy metals in soils. Alloway (Ed.), *Heavy metals in soils*. (London 2nd. Edition, pp 38-57). Blackie Academic and Professional
4. Alloway, B.J. (2013). *Heavy Metals in Soils, Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Editorial Springer.
5. Amatriain, M. (2000). Efectos del exceso del Hierro sobre la salud. *Medicina Naturista*, 2, 92-95.
6. Apaza-Condori, E.E., Mamani-Pati, F. Saniz-Mendoza, H. (2015). Evaluación de metales pesados en el proceso de compostaje orgánico de residuos de hojas de coca. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 3(2), 95-102.
7. Aragón, H., Campero, Y.I., Castañeda, M.D., y Santamaría, J.D. (junio, 2016). *Estudio comparativo de metales pesados en hortalizas de la región de Huixcolotla, Puebla* [Presentación de cartel. Simposio de Modelos Microbianos de importancia para la salud, investigación básica y biotecnología.
8. Arnal, N. (2010). Intoxicación por cobre. Efectos sobre la composición lipídica y el sistema de defensa antioxidante [Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Médicas UNLP]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/5427>
9. Arredondo-Olguín, M., Andrews, M., Olivares, M y Soto, N. (2015). Inflamación como mediador entre el metabolismo de hierro y diabetes/obesidad. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 65, suplemento 1.
10. Arvizu, E.; Jiménez, S. L.; Jiménez, M.; Quispe, L. A.; Villa, I. M. y Ávila, J. A. (2014). Análisis de la producción y comercialización de hortalizas: caso del mercado de Huixcolotla, Puebla. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(4):687-694.
11. Arvizu, E; Mayett Moreno, Y; Martínez Flores, J y Olivares Benítez, E. (2015). Mercados rurales agrícolas de Huixcolotla y Zacapoaxtla, Puebla: Potencial para el

Desarrollo Económico Regional. Revista Global de Negocios, Vol. 3, No. 2, 71-82.
<http://www.theibfr2.com/RePEc/ibf/rgnego/rgn-v3n2-2015/RGN-V3N2-2015-6.pdf>

12. ATSDR. (2007). *Resumen de salud Pública Plomo* [Archivo PDF].
https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html

13. ATSDR. (2012). *Toxicological profile for Manganese* [Archivo PDF].
<https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=102&tid=23>

14. Balderas-Plata, M. A., Cajuste-Lenom J., Lugo-de la Fuente, J. A., Vázquez-Alarcón, A. (2003). Suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho. *Terra Latinoamericana*, 21(4), 449-459.

15. Barrios, J.M., Zaldívar, P., Rodríguez, I., y Alcántara, A. (2017). *Eficiencia de Conducción del Agua en el Canal Principal del Distrito de Riego 030 Valsequillo* [Archivo PDF].
<https://www.riego.mx/congresos/comeii2017/assets/documentos/ponencias/extenso/COMeII-17037.pdf>

16. Barrón, H. (s.f.). Contaminación por metales pesados en suelo y agua de la zona chinampera de San Nicolás Tetelco, Tláhuac, Distrito Federal [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana].
<https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/2095>

17. Bautista, F. (2015). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán 1999.
https://www.researchgate.net/publication/236954595_Introduccion_al_estudio_de_la_contaminacion_del_suelo_por_metales_pesados

18. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla [BUAP]. (2018). En cinco años tendrán problemas con el abastecimiento de agua.

19. Bonilla, N.; Vázquez, L.; Silva, S.; Cabrera, C. (2015). Estudio fisicoquímico de la calidad del agua para riego del canal principal que abastece al distrito de riego 030 "Valsequillo". Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 2° Congreso Virtual sobre Tecnología, Educación y Sociedad.

20. Carrillo-Huerta, M.M y Gómez-Breton. (2019). La tecnología en el uso sostenible del agua para riego en México. El caso del acuífero de Tecamachalco, Puebla, 2017. *PANORAMA ECONÓMICO*, 15(30), 27-56.

21. Casierra, F., Gonzalez, L., y Ulrichs, C. (2010). Crecimiento de plantas de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. Itálica) afectadas por exceso de zinc. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4(2). 163-174.
22. Castellanos, J. Z. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas Agrícolas, Plantas y ECP. 2ª edición. INTAGRI. México. 186 p.
23. Centro de estudios para el desarrollo Rural Sustentable y Soberanía Alimentaria [CEDRSSA]. (2020). *Análisis de la producción y consumo de hortalizas* [Archivo PDF]. http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/88Ana%CC%81lisis_produccio%CC%81n_consumo_hortalizas.pdf.
24. Chata, A. (2015). Presencia de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) En Agua y Leche En la Cuenca del Río Coata 2015 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/1930>
25. Chavira, J.G y J. Z. Castellanos. (1987). Sales solubles. En: Análisis químicos para evaluar la fertilidad del suelo. Eds. Soc. Mex. Ciencias del Suelo. p. 109-125.
26. Ciencias BUAP. (21 de marzo del 2018). Un equipo multidisciplinario de la BUAP elaboró el Plan Estatal Hídrico para la próxima gestión gubernamental. Disponible en: <https://www.buap.mx/content/en-cinco-a%C3%B1os-municipios-poblanos-tendr%C3%A1n-problemas-con-el-abastecimiento-de-agua>
27. Clemens, S., Palmgren, M y Krämer, U. (2002). A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. *TRENDS in Plant Science*, 7(7), 309-315.
28. CONABIO. (2020). Contenido de Arcilla 0-05 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.
29. CONABIO. (2020). Contenido de Arcilla 05-15 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.
30. CONABIO. (2020). Contenido de Arcilla 15-30 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

31. CONABIO. (2020). Contenido de Arcilla 30-60 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

32. CONABIO. (2020). Contenido de Limo 0-05 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

33. CONABIO. (2020). Contenido de Limo 05-15 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

34. CONABIO. (2020). Contenido de Limo 15-30 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

35. CONABIO. (2020). Contenido de Limo 30-60 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

36. CONABIO. (2020). Materia Orgánica 0-05 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

37. CONABIO. (2020). Materia Orgánica 05-15 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

38. CONABIO. (2020). Materia Orgánica 15-30 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

39. CONABIO. (2020). Materia Orgánica 30-60 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

40. CONABIO. (2020). PH 0-05 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

41. CONABIO. (2020). PH 05-15 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

42. CONABIO. (2020). PH 15-30 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

43. CONABIO. (2020). PH 30-60 cm (Predicción), escala: 1:4000000. edición: 1.0. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CDMX.

44. CONAGUA. (2009). Acuerdo por el que se dan a Conocer los Estudios Técnicos del Acuífero 2101 Valle de Tecamachalco y se Modifican los Límites. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5327360

45. CONAGUA. (2020). *Actualización de la Disponibilidad Media Anual de agua en el Acuífero Valle De Tecamachalco (2101), Estado De Puebla* [Archivo PDF]. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/puebla/DR_2101.pdf

46. CONAGUA. (2021). Mapa de pozos piezométricos 2021. Escala 1:288,895. Estados Unidos Mexicanos. Comisión Nacional del Agua Subdirección General Técnica Gerencia de Aguas Subterráneas.

47. Condarco-Aguilar, G. Coordinador General Plagbol y Rejel-Encinas, S. Coordinadora de Comunicación Plagbol. 2016. Dirección electrónica: <http://es.slideshare.net/fundacionplagbol/cartilla-informativa-plaguicidas-salud-y-medio-ambiente>

48. Consejo de salubridad en general (CSG). (27 de noviembre del 2019). *Programa de acción inmediata para el control de la exposición a plomo en México*. [Archivo pdf]. [http://www.csg.gob.mx/descargas/MundoQuimico/Acuerdo CSG Plomo Final-12 feb 2020-10pm.pdf](http://www.csg.gob.mx/descargas/MundoQuimico/Acuerdo_CSG_Plomo_Final-12_feb_2020-10pm.pdf)

49. Cornelis, R., y Nordberg, M. (2007). *General Chemistry, Sampling, Analytical Methods, and Speciation*. Handbook on the toxicology of metals. 20-35.

50. Covarrubias, S.A y Peña Cabriales, J.J. (2017). Contaminación Ambiental por Metales Pesados en México: Problemática y Estrategias de Fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7-21.

51. CUPREDER. (2011). *Atlas de riesgos del municipio de Tecamachalco* [Archivo PDF]. http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/2011/vr_21154_AR_TECAMACHALCO.pdf

52. Data México (s.f.). Los Reyes de Juárez Municipio de Puebla. <https://datamexico.org/es/profile/geo/los-reyes-de-juarez>

53. Data México (s.f.). Quecholac Municipio de Puebla. <https://datamexico.org/es/profile/geo/quecholac>
54. Defarge, N; Spiroux, J y Séralini, G.E. (2018). Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. *Toxicology Reports*, 5, 156–163.
55. Domenech, X. (1995). *Chemistry of soil: effects of contaminants*. Miraguano, Madrid.
56. Dos Santos, C. A., do Amaral Sobrinho, N. M. B., da Mota Gonçalves, R. G., Costa, T. G. A., & do Carmo, M. G. F. (2021). Toxic Metals in Broccoli by Combined Use of Acidity Correctives and Poultry Litter Under Mountain Tropical Conditions. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 80(3), 507–518. <https://doi.org/10.1007/s00244-021-00817-3>
57. Dueñas, J.P e Intriago, F.G. (2022). Contenido de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en abonos orgánicos y las materias primas para su elaboración. *La Técnica: Revista de las Agrocencias* 27, 26-35.
58. Euroganadería. (31 de Julio del 2019). El brócoli en decadencia. <https://www.euroganaderia.eu/ganaderia/julio/el-brocoli-en-decadencia> 6426 140 8541 0 1 in.html
59. FAO. (1995). Norma General Del Codex Para Los Contaminantes Y Las Toxinas Presentes En Los Alimentos Y Piensos (CODEX STAN 193-1995). https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193s.pdf.
60. FAO. (2005). *Alimentos producidos orgánicamente* [Archivo PDF]. <https://www.fao.org/3/a0369s/a0369s.pdf>
61. FAO. (2011). Una introducción a los conceptos básicos de seguridad alimentaria. Disponible en: <https://www.fao.org/3/al936s/al936s00.pdf>
62. FAO. (2019). Textura del suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://bit.ly/2MmvZe0>
63. FAO. (s.f.-a). Proyecto de código de prácticas para la prevención y reducción de la presencia de plomo en los alimentos. Disponible en: <https://www.fao.org/3/j2262s/j2262s17.htm>

64. FAO. (s.f.-b). Portal de Suelos de la FAO. <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
65. Feoktistova- Victorava, L., y Clark- Feoktistova, Y. (2018). Metabolism of copper. Its consequences for human health. *Medisur*, 16(4), 579-587.
66. Fertilidad de los suelos S. de R.L.[Fertilab]. (s.f.). *Manual de muestreo 4Edición* [Archivo PDF]. <https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas Tecnicas/pdf nota/Como tomar la muestra para el analisis foliar.pdf>
67. Florescano, E., Sancho, J., y Pérez, D. (1980). Las sequías en México, historia, características y efectos. *Comercio Exterior*, 2(7), 747-757.
68. Fundación UNAM. (2019) *Identifica UNAM propiedades anticancerígenas en brócoli, col y otros*. <https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/identifica-unam-propiedades-anticancerpigenas-en-brocoli-col-y-otros/>
69. García, C., Moreno, J.L., Hernández, Ma. y Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. CSIC - Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA) (Ed.), Ciencia y Medio Ambiente (125-138). Valladares.
70. García, Rolando. (2012). Sistemas complejos Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. Obtenido de: <https://soldatsfromavalon.wordpress.com/2012/08/26/rolando-garcia-sistemas-complejos/>
71. Gevaio, B., Semple, K.T. y Jones, K.C. (2000). Bound pesticide residues in soils: a review *Environmental Pollution* (Barking, Essex: 1987), 108(1): 3–14.
72. Gobierno de México. (24 de septiembre del 2014). SAGARPA y municipio de Los Reyes de Juárez realizan Expo Hortícola 2014. <https://www.gob.mx/agricultura%7Cpuebla/es/articulos/sagarpa-y-municipio-de-los-reyes-de-juarez-realizan-expo-horticola-2014>
73. Gómez, E. (2018). La acción del estado y la preservación del Acuífero de Tecamachalco [Tesis de Doctorado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla] <https://hdl.handle.net/20.500.12371/676>
74. González J.A y Ayuso, M.C. (2021). *Manual de cultivo de brócoli* [Archivo PDF]. <http://cicytex.juntaex.es>

75. González, S. (1995). Copper upper critical levels for plants on copper-polluted soils and the effect of organic additions en Adriano, D.C., Chen, Z., y Yang, S (Ed.), Biochemistry of trace elements. (Science and Technology Letters, pp. 195-203).
76. Gutiérrez, L., Cuervo, M. J., y Ortiz, E. O. (2003). Regiones naturales y de planeación para el estado de Puebla. *Análisis Económico*, 18 (37), 257-296.
77. Gutiérrez, A. (2015). Organización social y riego en el distrito de riego 030 Valsequillo, Puebla [Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados]. <http://hdl.handle.net/10521/3763>
78. Hernández-Sampieri, R; Fernández-Collado, C y Baptista-Lucio, Pilar. (2010). Metodología de la Investigación. 5 ed. McGrawHillEducation.
79. Hernández, D., Schilman, A., Montes, S., Rodríguez, Y., Rodríguez, S., Solis, R., Ríos, C y Riojas, H. (2011). Environmental exposure to manganese and motor function of children in Mexico. *NeuroToxicology* 32 (5), 615-621.
80. Hernández, L., Villarreal, L. A., Ramírez, B., Ocampo, I., Jaramillo, J. L., y Ortiz, B. (2018). Distribución espacial y temporal de aprovechamientos de agua del acuífero del Valle de Tecamachalco, Puebla. *Ambiente Y Desarrollo*, 22(42), 1-11. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd22-42.deta>
81. Herrero, E., Andrades, M.S., Álvarez-Martín, A., Pose-Juan, E., Rodríguez-Cruz, M.S. y Sánchez-Martín, M.J. (2013). Occurrence of pesticides and some of their degradation products in waters in a Spanish wine region. *Journal of Hydrology* 486:234-245.7
82. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs132.pdf
83. Ibañez, J.J. y Manríquez, F.J. (12 de febrero 2015). Phaeozems o Feozems (WRB, 1998). Madrid Blogs Un universo invisible bajo nuestros pies. <https://www.madrimasd.org/blogs/>
84. INEGI, (2007). Conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250000 Serie II. (Continuo Nacional). Aguascalientes, Ags., México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
85. INEGI. (2019). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica. Escala 1:50 000. Estados Unidos Mexicanos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

86. INEGI. (2020). Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica. Escala 1:50 000. Estados Unidos Mexicanos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

87. INEGI. (2020, 29 de octubre). Características de las defunciones registradas en México durante 2019 [Comunicado de prensa]. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/EstSociodemo/DefuncionesRegistradas2019.pdf>

88. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2004). Guía para la Interpretación de Cartografía Edafológica. México: INEGI.

89. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2015). Guía para la interpretación de cartografía: edafología: escala 1:250 000: serie III. México: INEGI.

90. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (s.f.). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21154a.html>

91. International Agency for research on Cancer [IARC]. (2012). Agents Classified by the IARC Monographs. Volumes 1–106. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsGroupOrder.pdf>

92. Jano Tolama, H.R. (2017) *Concentración de metales pesados en hortalizas de la localidad de Atlixco y su posible riesgo en la salud humana* [Tesis de Maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/544>

93. Kabata Pendias, A y Pendias, H. (2000). *Trace elements in soils and plants*. CRC Press.

94. Kabata, A. (2004). Soil–plant transfer of trace elements—an environmental issue. *Geoderma*, Volumen 122 (2-4), 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.004>

95. Kalavrouziotis, I.K., Robolas, P., Koukoulakis, P.H., Papadopoulos, A.H. (2008). Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro- and micro-elements status of soil and of Brassica oleracea var. Italica, and B. oleracea var. Gemmifera. *Agricultural Water Management*, 95(4), 419-426. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.11.004>

96. La Gra, J., Kitinoja, L y Alpízar, K. (2016). Metodología de evaluación de cadenas agroalimentarias para la identificación de problemas y proyectos Un primer

paso para la disminución de pérdidas de alimentos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/8610>

97. Laegreid, M; Bockman, OC y Kaarstad, O. (1999). *Agricultura Fertilizantes y Medio Ambiente*. Cabi Publishing in association with Norks hydro ASA.

98. Lasat, M. (2001). The uses of plants for removal of toxic metal from contaminated soil. US-EPA.

99. Lin, W., Lin, M., Zhou, H., Wu, H., Li, Z., & Lin, W. (2019). The effects of chemical and organic fertilizer usage on rhizosphere soil in tea orchards. *PloS One*, 14(5), e0217018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217018>

100. Londoño, L.F., Londoño, P.T., Muñoz, F.G. (2016). Los riesgos de los Metales Pesados en la salud Humana y Animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. DOI:10.18684/BSAA(14)145-153

101. López, M y Grau, J.M. (2004). Lo Editorial INIA.

102. Loredó-Tovías, M., Alcalá-Jáuregui, J.A., García-Arreola, M.E., Carballo-Méndez, F.J., Rodríguez-Fuentes, H., Buendía-García, A., y Rodríguez-Ortiz, J.C. (2022). Concentración y transferencia de metales pesados en lechuga (*Lactuca sativa* L.) irrigadas con aguas tratadas. *Tierra Latinoamericana*, 40, 1-12. e1045. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1045>

103. Maldonado Montalvo, J; Ramírez Juárez, J; Espinoza Méndez J y Ramírez Pérez N. (2017). El sistema de producción del brócoli desde la perspectiva del campo social de Pierre Bourdieu. *Estudios Sociales Revista de investigación científica*, vol. 27 (50). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572017000200009#B11

104. Maldonado, C. (2014). ¿Qué es un sistema complejo? *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, [en línea] 14(29), pp.71-93. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41438646004>

105. Mangas, E.; Sánchez, M.; Molina, H.; García, L.; Muñoz, I. y Zumaquero, J. (2006). Análisis de las políticas de rehabilitación de presas: el caso de la “presa de Valsequillo” en el estado de puebla. Asociación Mexicana de Ciencias Para el Desarrollo Regional, A.C. Disponible en: <https://docplayer.es/33161207-Analisis-de-las-politicas-de-rehabilitacion-de-presas-el-caso-de-la-presa-de-valsequillo-en-el-estado-de-puebla.html>

106. Martí, L; Burba, J.B; y Cavagnaro, M. (2002). Metales Pesados En Fertilizantes Fosfatados, Nitrogenados Y Mixtos. *Rev. FCA UNCuyo*. Vol. 34(2), 43-48.
107. Martínez, F. (12 de julio 2017). *Los antinutrientes, compuesto naturales que interfieren con la absorción de nutrientes*. Restauración colectiva. <https://www.restauracioncolectiva.com/>
108. McBride, M., Sauve, S., y Hendershot, W. (1997). Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*, 48, 337-346.
109. Medina, B y Xamaní, M. (2012). Control de la mosca de la col (*Delia radicum* L.) Importancia del momento de siembra en rábano. Encuentros Phytoma. No. 237.
110. Méndez, A. (4 de agosto del 2022). Falta de agua, el gran problema de campesinos de la región de Los Reyes de Juárez. Lo de hoy Puebla. <https://puebla.lodehoy.com.mx/estado/2022/08/04/20353/falta-de-agua-el-gran-problema-de-campesinos-de-la-region-de-los-reyes-de>
111. Miller, C.H.; T.R; Konsler and W.J. Lamont. (1985). Cold stress influence on premature flowering of broccoli. *Hort Science* 20: 193-195.
112. Miranda, D; Carranza, C; Rojas, C.A; Jerez, C.M; Fischer, G y Zurita J. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista colombiana de Ciencias Hortícolas*- Vol. 2 No.2.
113. Molina, E. (s.f.). *Análisis de suelos y su interpretación* [Archivo PDF]. <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>
114. Moreno, A.M., Pérez, L., Cano, M.A., y González, J. (1993). Contenido en metales pesados y relación con parámetros edáficos en suelos agrícolas de la comunidad de Madrid. *Ecología*, 7, 27-35.
115. Morin, E. (1990). *Introducción al pensamiento complejo*. Editorial Gedisa.
116. Navarrete Reyes, M; Alvarado de la Pena, A; Antuna, D; García Vargas, A; González Valdez, L y Vazquez Alarcon, E. (2012). Metales pesados: importancia y análisis. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Disponible en:

https://www.academia.edu/28124752/METALES_PESADOS_IMPORTANCIA_Y_ANALISIS?bulkDownload=thisPaper-topRelated-sameAuthor-citingThis-citedByThis-secondOrderCitations&from=cover_page

117. Navarro Aviño J.P.; Aguilar Alonso I y Lopez Moya J.R. (2007) Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Revista científica y técnica de Ecología y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/125>

118. Navarro, G. 2000. Química agrícola. Mundi-Prensa. Madrid, España.

119. Navarro, S., Vela, N., Navarro, G. (2007). An overview on the environmental behaviour of pesticide residues in soils. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 5(3): 357.

120. Nebel, B. J. (1999). Ciencias ambientales, Ecología y desarrollo sostenible. Prentice Hall.

121. Nolan, A.L., McLaughlin, M.J., y Mason, S.D. (2003). Chemical Speciation of Zn, Cd, Cu and Pb in Pore Waters of Agricultural and Contaminated Soils Using Donnan Dialysis. *Environmental Science and Technology*, 37(1), 90-98.

122. Nordberg, G. (2013). Metales: Propiedades químicas y Toxicidad. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo* (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo., Vol. 2, pp. 63–78). Editorial Publisher.

123. Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000 Salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente. Diario Oficial de la federación. 18 de octubre del 2002. [Consultado el 4 de octubre del 2023]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=751988&fecha=18/10/2002#gsc.tab=0

124. Norma Oficial Mexicana (con carácter de emergencia) NOM-EM-034-FITO-2000 Requisitos y Especificaciones para la Aplicación y Certificación de Buenas Prácticas Agrícolas en los Procesos de Producción de Frutas y Hortalizas Frescas.(31 de octubre del 2000).[Consultado el 4 de octubre del 2023]. Disponible en: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/fito/fito034em.pdf>

125. Norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 [en línea]. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario oficial de la federación. 6 de enero de

1987. [Consultado el 20 de septiembre del 2021]. Disponible en: <http://siga.jalisco.gob.mx/Assets/documentos/normatividad/nom001semarnat1996.htm>

126. Norma Oficial Mexicana NOM-109-SSA1-1994 [en línea]. Bienes y servicios Procedimientos para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. [Consultado el 25 de noviembre del 2021] Diario oficial de federación. 4 de noviembre de 1994. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881801&fecha=21/09/1995

127. 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. Diario oficial de la federación. 28 de abril de 1994. [Consultado el 25 de noviembre del 2021].

128. Norma oficial mexicana PROY-NOM-127-SSA1-2017 [en línea]. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Diario oficial de la federación. 6 de diciembre del 2019. [Consultado el 20 de septiembre del 2021]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5581179&fecha=06/12/2019

129. 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)*.

130. Okuda Benavides, M; Gómez-Restrepo, C. (2005). Métodos en investigación cualitativa: triangulación. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 34, (1), 118-124.

131. OMS. (31 de agosto de 2022). Intoxicación por plomo y salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health#:~:text=El%20plomo%20presente%20en%20los,exposici%C3%B3n%20al%20plomo%20es%20prevenible.>

132. ONU. (2022). Efectos de plaguicidas y fertilizantes sobre el medio ambiente y la salud y formas de reducirlos. [PDF]. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34463/JSUNEPPE_Sp.pdf

133. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1999). ¿Qué es el Codex Alimentarius? Disponible en: <https://www.fao.org/noticias/1999/codex-s.htm>
134. Padrón, J. (2007). Tendencias epistemológicas de la investigación científica en el siglo XXI. Cinta de Moebio, [en línea] (28), pp.1-28. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10102801> para el siglo XXI, Buenos Aires, Ediciones Paidós.
135. Penelo, L. (12 de octubre del 2018) Brócoli: propiedades, beneficios y valor nutricional. La vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/comer/verduras/20181012/452286868035/alimentos-brocoli-valor-nutricional-beneficios-propiedades.html#:~:text=Comer%20br%C3%B3coli%20es%20excelente%20para,%2C%20f%C3%B3sforo%2C%20magnesio%20y%20zinc.&text=Sus%20nutrientes%2C%20como%20la%20zeaxantina,protector%20de%20la%20salud%20ocular.>
136. Prieto García, F; Méndez Marzo, M.A; Martínez Pezina, F.H y Prieto Méndez, J. (2007). Presencia de metales pesados en cultivos del Valle del Mezquital, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, Vol. 3 No. 2.
137. Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44.
138. Puga Martínez, J. (18 de junio del 2018). Reconoce Conagua que aguas negras de Valsequillo se usan para cultivos. *La Jornada de oriente*. <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/2008/06/18/puebla/ecl102.php>
139. Ramírez, G., Sánchez, P., y Montes, R. (2015). Unidad de producción familiar como alternativa para mejorar la seguridad alimentaria en la etnia Yaqui en Vítam, Sonora, México. *Revista de Paz, Interculturalidad y Democracia*, 11(5), 113-136.
140. Ramírez, J. (2008). Ruralidad y estrategias de reproducción campesina en el Valle de Puebla, México. *Cuadernos Desarrollo Rural* (5) 60, 37-60
141. Ramírez, J. J. y T. Christian (Coord.) (2011) *Recomposición territorial de la agricultura campesina en América Latina. Agricultura y Pluriactividad en la reproducción social del campesinado en el altiplano poblano*, México. Edit. Plaza y Valdez, pp. 177-196.

142. Ramírez, R y Azcona, M.I. (2017). Toxic effects of manganese. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 22, 71-5.
143. Razmilic, B. (s.f.). Espectroscopía de absorción Atómica. FAO. <https://www.fao.org/3/ab482s/AB482S04.htm>
144. Razmilic, B. (s.f.). Espectroscopia de Absorción Atómica. Merck Química Chilena Soc. Ltda. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ab482s/ab482s04.htm>
145. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes [PRTR]. (s.f.). PB (Plomo y Compuestos). Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. <https://prtr-es.es/Pb-Plomo-y-compuestos,15610,11,2007.html>
146. Reyes, Y.C; Vergara, I; Torres, O; Díaz, M y González E. (2016). Contaminación por metales pesados en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, Vol. 16 N.º 2. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
147. Riveros Villa, F. (2017). Nivel de contaminación con metales pesados en suelos agrícolas y sus efectos en hortalizas en el valle Higuera, Huánuco. *Investigación Valdizana*, 8(2), 42–51. Recuperado a partir de <https://revistas.unheval.edu.pe/index.php/riv/article/view/274>
148. Rodríguez Lado, L; Sun, G; Berg, M; Zhang, Q; Xue, H; Zheng, Q; y Johnson, C. A. (2013). Groundwater arsenic contamination throughout China. *Science* (New York, N.Y.). Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23970694>.
149. Rodríguez, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma, FAO
150. Rooney, C.P., Zhao, F.J. y McGrath, S.P. (2006). Soil factors controlling the expression of copper toxicity to plants in a wide range of European soils. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25: 726-732.
151. Rozano, V; Santiago Quiroz, C; Acosta Pulido, J; Pimentel Ayaquica, L y Quiñones Ramírez, E. (2004). Hortalizas, las llaves de la energía. *Revista Digital Universitaria*. Disponible en: http://www.revista.unam.mx/vol.6/num9/art88/sep_art88.pdf
152. Ruíz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A. Martínez P. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.

153. Sahuquillo, A., Rigol, A., y Rauret, G. (2003). Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. *Trends in Analytical Chemistry*, 22(3) 152-159.

154. Sánchez, G. (2016). Ecotoxicología del Cadmio Riesgo para la Salud de la Utilización de Suelos Ricos en Cadmio [Tesis de Doctorado, Universidad Complutense]. <https://eprints.ucm.es/50902/>

155. Sánchez, P. (2016). *Manejo de la materia orgánica para la producción sostenible* [Archivo PDF] <http://repositorio.iica.int/handle/11324/6949>

156. Santiago, M.C. (2011). Caracterización química y fitorremediación de los jales mineros de “El fraile”, de Taxco de Alarcón Gro. México [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Guerrero]. <http://ri.uagro.mx/handle/uagro/297>

157. Scientific European Federation of Osteopaths (S.E.F.O.) Pruebas Post Hoc. (s.f.). Disponible en: <https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/PRUEBAS-POST-HOC.pdf>

158. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2018). Brócoli, un superalimento cultivado por los poblanos. <https://www.gob.mx/agricultura%7Cpuebla/articulos/brocoli-un-superalimento-cultivado-por-los-poblanos>

159. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación “Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SAGARPA- SIAP]. (2010)” Gobierno Federal, México, pp. 22-42. Disponible en: www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/maiz96-10.pdf

160. Secretaria de salud del Estado de Puebla. (7 de abril del 2022). *Enfermedades del corazón y diabetes entre las principales causas de muerte en los poblanos: Salud*. Gobierno de Puebla. <https://ss.puebla.gob.mx/noticias/item/2265-enfermedades-del-corazon-y-diabetes-entre-las-principales-causas-de-muerte-en-los-poblanos-salud>

161. Secretaria de Salud Gobierno de Puebla (12 de junio del 2020). *Enfermedades asociadas al río Atoyac*. <http://ss.puebla.gob.mx/cuidados/ninas-y-ninos/item/302-enfermedades-asociadas-con-el-rio-atoyac>

162. Secretaria de salud. (2020) Perfil Nacional de Riesgos 2020 [PDF]. [https://epidemiologia.salud.gob.mx/gobmx/salud/documentos/pnr/Perfil Nacional de Riesgos DGE2020.pdf](https://epidemiologia.salud.gob.mx/gobmx/salud/documentos/pnr/Perfil_Nacional_de_Riesgos_DGE2020.pdf)
163. SEMARNAT. (s.f.). Los suelos de México. Gobierno de México. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen/03_suelos/cap3.html#1
164. SENASICA. (22 de mayo del 2017). *Buenas Prácticas Agrícolas*. <https://www.gob.mx/senasica/articulos/para-una-produccion-agricola-exitosa?idiom=es>
165. Servicio Nacional de Sanidad e Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA]. (14 de junio de 2016). *El brócoli, un aliado para tu salud*. <https://www.gob.mx/senasica/articulos/brocoli-un-aliado-para-tu-salud>
166. SIAP. (2020b). *Datos abiertos estadística de producción agrícola septiembre*. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
167. SIAP. (2022) *Márgenes de comercialización Hortaliza Brócoli* [Archivo PDF.] <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:0fhSjNoBJikJ:https://www.gob.mx/siap/documentos/margenes-de-comercializacion-de-frutas-y-hortalizas-abril-2018&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=mx>
168. SIAP. (2023). *Márgenes de comercialización Hortaliza Brócoli febrero 2023* [Archivo PDF]. http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos/MC/may23/brocoli_may_2023.pdf
169. SIAP. (24 de marzo del 2020a). El brócoli aporta gran cantidad de nutrientes y vitaminas a nuestro organismo. <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-brocoli-casi-un-super-alimento>
170. Silveria, M.L.A., Alleoni, L.R.F., y Guilherme, L.R.G. (2003). Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola*, 60 (4): 793-806.
171. Simón, C. (2017). *Opciones de inserción a los Mercados de los pequeños productores de Hortalizas en el DDR 007, Tecamachalco, Puebla* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Chapingo]. <http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/390>
172. Sistema Nacional de Información e Integración de mercados [SNIIM]. (2022). Secretaría de Economía Precios de Frutas y Hortalizas. Precios Diarios, Cuadros Comparativos.

173. Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León [SIEMCALSA]. (2008). *Los metales en Castilla y León* [Archivo PDF]. <https://es.readkong.com/page/en-castilla-y-le-n-2596292>
174. Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios [SFA]. (2011). Monografía de Cultivos Brócoli [PDF]. <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Estudios/Documents/monografia/brocoli.pdf>
175. Superintendencia de Riesgos del Trabajo [SRT]. (2019). *Guía de actuación y diagnóstico de enfermedades profesionales, exposición al Plomo y sus compuestos* [Archivo PDF]. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_de_actuacion_y_diagnostico_-_exposicion_al_plomo_0.pdf.
176. Tesén, V.H. (2021). Rendimiento Y calidad de dos cultivares de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck.) Bajo tres densidades de siembra [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5134/tesen-gallardo-victor-hugo.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
177. Toboada, Ma., Gómez Ma., y Paz, A. (1995). Variación espacial de la movilidad de Fe, Mn, Cu y Zn. *Caderno Lab. Xeológico de Laxe*, 20, 7-18.
178. Torres, Daniel. (2011). Caracterización del sistema de producción de brócoli y efecto de la fertilización órgano mineral en la dinámica del nitrógeno [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. <https://repositorio.chapingo.edu.mx>
179. Toxqui, L., De Piero, A., Courtois, V., Bastida, S., Sánchez, F.J., y Vaquero, P. (2010). Deficiencia y sobrecarga de hierro; implicaciones en el estado oxidativo y la salud cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 25(3), 350-365.
180. UNAM. (27 de octubre de 2017). *Niños, principales Víctimas de Intoxicación por Plomo*. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2017_713.html
181. Universidad Nacional Autónoma de México. (2017). Niños, principales víctimas de intoxicación por plomo. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2017_713.html
182. Walmart México y Centro América. (s.f.). *Pequeños Productores de Puebla mejoran habilidades comerciales y transforma sus comunidades*. <http://www.walmartmexico.com/sala-de-prensa/2016/10/11/pequenos-productores-de-puebla-mejoran-habilidades-comerciales-y-transforman-sus-comunidades>

183. Woller, T. (2008). Seminario PROTLUCUEM sobre los beneficios del TLC con la Unión Europea. *Procedimientos regulatorios para exportar frutas y hortalizas a la UE* [Archivo PDF]. http://www.siam.economia.gob.mx/work/models/Protlcuem/pdf/Wally_Austin.pdf
184. Wurr, D.C.E.; J.R. Fellows and K. Phelps. (1996). Investigating trends in vegetable crops response to increasing temperature associated with climate change. *Sci. Hort.* 66, 255-263.
185. Xiong, Z. T. (1997). Bioaccumulation and physiological effects of excess lead in a roadside pioneer species *Sonchus oleraceus* L. *Environmental Pollution, Volumen 97*(3), 275-279. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(97\)00086-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(97)00086-9)
186. Yaacob, A., Yap, C. K., Nulit, R., Omar, H., Al-Shami, S. A., Bakhtiari, A. R. (2018). Assessment of health risks of the toxic Cd and Pb between leafy and fruit vegetables collected from selected farming areas of Peninsular Malaysia. *Integrative Food, Nutrition and Metabolism*, 5(3), 1–9. <https://doi.org/10.15761/ifnm.1000215>
187. Yin, Y., Allen, H.E., Li, Y., Huang, C.P., y Sanders, P.F. (1996). Adsorption of mercury (II) by soil: effects of pH, chloride and organic matter. *J. Environ. Qual*, 25, 837-844
188. Zamora, E. (2016). *El cultivo del brócoli* [Archivo PDF]. Universidad de Sonora. <https://dagus.unison.mx/Zamora/BROCOLI-DAG-HORT-010.pdf>
189. Zhao, F.J., Rooney, C.P., Zhang, H., McGratht, S.P., (2006). Comparison of soil solution speciation and diffusive gradients in thin-films measurement as an indicator of copper bioavailability to plants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25: 733-742.
190. Zárate, W. (2013). *Diadegma insulare* como Alternativa de Manejo Biológico de *Plutella xylostella* L. en Brócoli *Brassica oleracea* variedad itálica [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4373/T19838%20ZARATE%20MARTINEZ,%20WILLIAM%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
191. Zilli Cese, N. (04 de abril de 2018). México, quinto productor mundial de brócoli (I). *El Economista*. <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Mexico-quinto-productor-mundial-de-brocoli-I-20180404-0116.html>

XI. ANEXOS

Anexo 1

Guía para la realización de encuesta				
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla				
Instituto de Ciencias (ICUAP)				
				
A quien corresponda: La presente encuesta está dirigida a los actores sociales dedicados al cultivo y comercialización de brócoli en la región de Tecamachalco, Puebla. La información dada por parte del encuestado es de carácter confidencial y únicamente será utilizada para fines académicos.				
Nombre del encuestado:				
Lugar:				
Fecha:				
Quien es la persona:	a) Productor	b) Integrante de la familia	c) Trabajador	d) Comerciante
Instrucciones: Marque la opción que sea de su preferencia				
Preguntas		ÍTEMS		
1.-¿ Por qué decidió sembrar y/o comercializar brócoli?				
2.- ¿El ingreso que recibe cubre las necesidades de su familia?				
3.- Para llevar a cabo esta actividad ¿Quiénes participan en ella?		a) No participa la familia	b) Participa la familia	c) Solo jornales
4.- ¿Cuál es la superficie sembrada y cosechada?				
5.- ¿Cuántas veces en el año cultiva brócoli?		a) Una vez al año	b) Dos o tres veces al año	c) Tres o cuatro veces al año
6.-¿Utilizan abono para el cultivo de brócoli? ¿De qué tipo?		a) No uso abono	b) Uso de estiércol/ composta	c) Uso de fertilizante comercial
7.- ¿Utiliza algún medio de control de plagas y enfermedades? ¿Cuál?				
8.- ¿Le afecta el cambio climático a su cultivo?				
9.- ¿A quién le vende su producción? ¿Dónde la vende?		a) Trato con intermediarios	b) Establecimiento de confianza	c) Central de abastos de Huixcolotla
10.- ¿El producto que vende es para consumo nacional o internacional?		a) Local	b) Producto nacional	c) Producto de exportación
11.- ¿Qué hay alrededor de sus parcelas de cultivo?		a) Cercano a ríos o arroyos	b) Cercano a canal de riego	c) Zona industrial
12.- ¿Cuál es el método abastecer de agua a sus cultivos?		a) Pozo/Sist. Riego	b) Canal/Río	c) Mixto