



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**“EFLUENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES TOTORA Y LA CONTAMINACIÓN DE LAS HORTALIZAS
POR METALES PESADOS EN LA COMUNIDAD DE TOTORA-
AYACUCHO 2017-2018”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORA EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

AUTORA:

CÓRDOVA MIRANDA, ALCIRA IRENE

ASESOR:

DR. AMAYA PINGO, PEDRO MANUEL

JURADO:

DRA. TAFUR ANZUALDO, VICENTA IRENE

DRA. NAUPAY VEGA, MARLITT FLORINDA

DRA. ESENARRO VARGAS, DORIS

LIMA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A la memoria de Elías y Eufemia
mis padres, quienes fueron grandes
maestros de la educación.

Con amor a mis hijas
Zinia del Carmen y María del Carmen,
a mi esposo Guido por su apoyo constante
en la ejecución del presente trabajo.

AGRADECIMIENTO

A los docentes del Doctorado de la Universidad Nacional Federico Villarreal por su dedicación y esmero en impartir sus conocimientos y compartir sus experiencias.

A la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, que a través del convenio con CAREC, financiaron mis estudios de doctorado.

Al Ing. Alex Tineo Bermúdez por su orientación, observaciones y sugerencias en el desarrollo de la tesis.

Al Dr. Pedro Amaya Pingo por su tiempo y sugerencias en la asesoría y desarrollo de la tesis.

Al Sr. Alfredo López Yupanqui por su información, apoyo incondicional en el área de estudio y su disposición en todo momento para contribuir en el logro de la investigación.

A todas las personas que directa o indirectamente han contribuido en el desarrollo y culminación de la investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1 Delimitación Espacial.....	5
1.2.2 Delimitación Temporal.....	5
1.2.3 Delimitación Social.....	6
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.4 ANTECEDENTES.....	7
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
1.7 OBJETIVOS.....	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos.....	13
1.8 HIPÓTESIS.....	14
Hipótesis general.....	14
Hipótesis específicas.....	14

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 BASES TEÓRICAS	15
2.1.1 Metales pesados en hortalizas	15
2.1.2 Contaminación de plantas por metales pesados	17
2.1.3 Uso de aguas residuales en la agricultura.....	20
2.1.4 Riesgos a la salud por metales pesados	23
2.1.5 Contaminación ambiental.....	41
2.2 MARCO LEGAL	51
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	52
2.4 MARCO FILOSÓFICO	56
CAPÍTULO III MÉTODO	60
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	60
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	60
3.2.1 Población.....	60
3.2.2. Muestra.....	60
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	60
3.3.1 Variable independiente.....	60
3.3.2 Variable dependiente	61
3.4 INSTRUMENTOS	62
3.5 PROCEDIMIENTOS	63
3.5.1 Procedimiento general para el desarrollo de la investigación	63
3.5.2 Ubicación del área de estudio.....	63
3.5.3 Determinación de metales pesados en los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá y en agua de suministro	65

3.5.4 Determinación de metales pesados en los suelos de cultivo	66
3.5.5 Determinación de metales pesados en las Hortalizas	67
3.6 ANÁLISIS DE DATOS	69
CAPÍTULO IV RESULTADOS	70
4.1 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	70
4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN	86
CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS	91
5.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	91
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES.....	96
CAPÍTULO VII RECOMENDACIONES	98
CAPÍTULO VIII REFERENCIAS	99
CAPITULO IX ANEXOS.....	112
ANEXO 1	113
ANEXO 2	116
FICHA DE MUESTREO	116
ANEXO 3	118
ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN AGUA POR ICP-OES	118
ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN SUELO POR ICP-OES	119
ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN HORTALIZAS POR ICP-OES .	120
ANEXO 4 MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	123

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 <i>Operacionalización de variables</i>	62
Tabla 3.2 <i>Simbología utilizada de las fuentes de agua de riego y hortalizas.</i>	69
Tabla 4.1 <i>Metales pesados en suelo (regadas con agua servida, Ss y con agua de caño, Sc)</i>	75
Tabla 4.2 <i>Metales pesados en agua servida y agua de caño</i>	76
Tabla 4.3 <i>Metales pesados, cadmio, cromo y plomo, en rabanito, regadas con agua servida y con agua de caño</i>	76
Tabla 4.4 <i>Metales pesados, cadmio, cromo y plomo, en espinaca, regadas con agua servida y con agua de caño</i>	76
Tabla 4.5 <i>Metales pesados, cadmio, cromo y plomo, en lechuga, regadas con agua servida y con agua de caño.</i>	77
Tabla 4.6 <i>Análisis de varianza del contenido de cadmio en tres hortalizas regadas con dos fuentes de agua.</i>	79
Tabla 4.7 <i>Absorción de Cadmio por tres hortalizas regadas con dos fuentes de agua.</i>	80

Tabla 4.8	
<i>Análisis de varianza del contenido de cromo en tres hortalizas regadas con dos fuentes de agua.</i>	82
Tabla 4.9	
<i>Absorción de Cromo por tres hortalizas regadas con dos fuentes de agua.</i>	82
Tabla 4.10	
<i>Análisis de varianza del contenido de plomo en tres hortalizas regadas con dos fuentes de agua.</i>	84
Tabla 4.11	
<i>Límite máximo permisible de metales pesados en agua para consumo humano.</i>	87
Tabla 4.12	
<i>Estándares nacionales de caudal ambiental para agua categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales.</i>	87
Tabla 4.13	
<i>Límite máximo permisible de metales pesados en hortalizas.</i>	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 2.1</i> Fuentes de Contaminación por Metales Pesados en Aire, Suelo, Agua y Planta.	20
<i>Figura 2.2</i> El uso de aguas residuales en la agricultura. Foto: Gabriel Barceló.	23
<i>Figura 2.3</i> Esquema de Relación Existente entre la Contaminación de los tres Vectores Ambientales: Aire, Agua y Suelo.	42
<i>Figura 2.4</i> Esquema General del Proceso de Contaminación.	43
<i>Figura 3.1</i> Ubicación del Área de Estudio.	64
<i>Figura 3.2</i> Preparación de las Parcelas para Sembrar Rabanito, Espinaca y Lechuga para ser Regadas con Agua Servida.	64
<i>Figura 3.3</i> Preparación de las Parcelas para Sembrar Rabanito, Espinaca y Lechuga para ser Regadas con Agua de Suministro de Totorá.	65
<i>Figura 3.4</i> Efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.	65
<i>Figura 3.5</i> Muestreo de Agua de los Efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.	66
<i>Figura 3.6</i> Muestreo de Suelo.	66
<i>Figura 3.7</i> Distribución de Parcelas para el Sembrado de Hortalizas.	68
<i>Figura 4.1</i> Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga, Regadas con Agua Servida.	70
<i>Figura 4.2.</i> Parcelas sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga Regadas con agua de Caño.	71
<i>Figura 4.3</i> Parcelas Regada con Agua Servida a los 18 días.	71
<i>Figura 4.4</i> Parcelas Regada con Agua de Suministro (caño) a los 18 días.	72

<i>Figura 4.5</i> Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga luego de 30 días (Regada con agua servida).	72
<i>Figura 4.6</i> Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga luego de 30 días (Regada con agua de caño).	73
<i>Figura 4.7</i> Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga luego de 37 días (Regada con agua servida).	73
<i>Figura 4.8</i> Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga luego de 37 días (Regada con agua de caño).	74
<i>Figura 4.9</i> Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga luego de 45 días (Regada con agua servida).	74
<i>Figura 4.10</i> Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga luego de 45 días (Regada con agua de caño).	75
<i>Figura 4.11</i> Concentración de Cadmio (mg/Kg) en Rabanito, Espinaca y Lechuga, Regadas con Agua Servida y con Agua de Caño.	77
<i>Figura 4.12</i> Concentración de Cromo (mg/Kg) en Rabanito, Espinaca y Lechuga, Regadas con Agua Servida y con Agua de Caño.	78
<i>Figura 4.13</i> Concentración de Plomo (mg/Kg) en Rabanito, Espinaca y Lechuga, Regadas con Agua Servida y con Agua de Caño.	78
<i>Figura 4.14</i> Absorción de Cadmio (mg/Kg) por Tres Hortalizas Regadas con dos Fuentes de Agua.	80
<i>Figura 4.15</i> Absorción de Cromo (mg/Kg) por Tres Hortalizas Regadas con dos Fuentes de Agua.	83

RESUMEN

El objetivo de la investigación de tesis fue determinar la incidencia de los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá en la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la Comunidad de Totorá-Ayacucho 2017-2018. Se utilizó el Diseño Experimental en Parcelas Divididas, en Bloques Completos Aleatorizados, en un arreglo factorial de 2F x 3E. Se sembraron tres hortalizas: rabanito, espinaca y lechuga, las que fueron regadas con dos fuentes de agua, los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (agua servida) y agua de suministro de la comunidad de Totorá (agua de caño), hasta el punto de maduración, necesario para cada hortaliza. La determinación del contenido de los metales pesados cadmio, cromo y plomo en las hortalizas se determinó por ICP-OES. En las hortalizas regadas con agua servidas la absorción de cadmio fue: espinaca 0,42 mg/Kg y está por encima del límite permisible; lechuga 0,176 mg/Kg, ligeramente por debajo del límite permisible; rabanito < 0,10 mg/Kg, está por debajo del límite permisible. La absorción de cromo de las hortalizas regadas con agua servida fue: lechuga 2,63 mg/Kg, está por encima del límite permisible; espinaca 1,04 mg/Kg, está por encima del límite permisible y rabanito 1,00 mg/Kg que está por encima del límite permisible. Los valores de la absorción de plomo de las hortalizas regadas con agua servida, están por encima del límite máximo permisible. Se recomienda realizar la investigación en otras hortalizas, debido a que los niveles de cromo y plomo en rabanito; cadmio y cromo en espinaca y cromo en lechuga, están por encima de los LMP.

Palabras clave: metales pesados, hortalizas, aguas residuales.

ABSTRACT

The objective of the thesis research was to determine the incidence of effluents from the Totora Wastewater Treatment Plant in the contamination of vegetables by heavy metals in the Community of Totora-Ayacucho 2017-2018. The Experimental Design was used in Divided Plots, in Randomized Complete Blocks, in a factorial arrangement of 2F x 3E. Three vegetables were planted: radish, spinach and lettuce, which were irrigated with two water sources, the effluents from the Wastewater Treatment Plant (water served) and water supply from the Totora community (tap water), to the point of maturation, necessary for each vegetable. The determination of the content of heavy metals cadmium, chromium and lead in vegetables was determined by ICP-OES. In the vegetables irrigated with water served, the absorption of cadmium was: spinach 0.42 mg / Kg and is above the permissible limit; lettuce 0.176 mg / Kg, slightly below the allowable limit; radish < 0.10 mg / Kg, is below the permissible limit. The chromium absorption of the vegetables irrigated with waste water was: lettuce 2.63 mg / Kg, it is above the permissible limit; Spinach 1.04 mg / Kg, is above the allowable limit and radish 1.00 mg / Kg that is above the allowable limit. The values of lead absorption of vegetables irrigated with waste water are above the maximum permissible limit. It is recommended to carry out research in other vegetables. Because the levels of chromium and lead in radish; Cadmium and chrome in spinach and chrome in lettuce, are above the LMP.

Keywords: heavy metals, vegetables, wastewater.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La presencia de metales pesados en los alimentos de origen vegetal se debe generalmente al suelo y al agua utilizada para el riego de estos. Las hortalizas son necesarias en la dieta diaria y el contenido de metales pesados debe estar dentro de niveles permisibles para el consumo, de modo que no causen afecciones a la salud humana (Hashemi, Salehi, Aminzare, Raeisi, & Afshari, 2017).

Gran parte de las hortalizas cultivadas en la comunidad de Totorá son regadas con aguas de los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá, (PTAR Totorá) desconociéndose el contenido de metales pesados tales como cadmio, cromo y plomo, por lo que es necesario conocer cómo influye el agua de riego en la absorción de éstos metales por las hortalizas.

En la Comunidad de Totorá se siembran una gran variedad de hortalizas, entre ellas para el presente estudio, se sembraron rabanito, espinaca y lechuga, en un diseño de parcelas divididas, en bloques completos aleatorizados, diseño factorial 2Fx3E (F: dos fuentes de agua; E: tres especies de hortalizas), para determinar cómo influye el agua de riego en la contaminación de metales pesados, tales como cadmio, cromo y plomo en las tres hortalizas sembradas.

Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá, contienen metales pesados, y éstos influyen directamente en la contaminación por metales pesados en las hortalizas regadas con ellas.

La determinación de metales pesados en las hortalizas se realizó por Espectroscopia de Emisión por Plasma Inductivamente Acoplado, en un Espectrómetro de emisión Óptico por Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES), en el Instituto de Corrosión y Protección de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

En el Capítulo I se describe el planteamiento del problema, los antecedentes, la justificación y los objetivos de la investigación.

En el Capítulo II se muestra el marco teórico referidos a la contaminación de las hortalizas por metales pesados, el uso de aguas residuales en la agricultura, asimismo, literatura sobre los riesgos a la salud por metales pesados, contaminación ambiental y marco legal, y el marco conceptual, que sustenta la investigación.

En el Capítulo III se describe el método empleado, las hipótesis, instrumentos y procedimientos seguidos para el desarrollo de la presente investigación.

En el Capítulo IV se presentan los resultados que sustentan la investigación, asimismo, contrastación de las hipótesis y el análisis e interpretación de los resultados.

En el capítulo V se presenta la discusión de los resultados de la investigación, las conclusiones y recomendaciones.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las hortalizas ocupan un lugar importante dentro de la alimentación diaria en nuestro país, por el contenido de vitaminas y minerales como potasio, calcio, magnesio, cloro, hierro, cobre, manganeso y yodo entre otros (INEI, 2017, p. 19).

Según el INEI (2017), las hortalizas más consumidas son la cebolla con 11,3 kilos al año o 900 gramos al mes en la zona urbana y 9,9 kilos al año en la zona rural y en Ayacucho el promedio de consumo es de 10,9 kilos/año. Le sigue en importancia el consumo de coles con 2,1 kilos al año en la zona urbana y 2,6 kilos en la zona rural, superior al promedio del país (2,2 kilos al año). El consumo de apio es de 1,1 kilos al año y 0,9 kilos al año en el área urbana y rural respectivamente y el promedio nacional de 1,1 kilos al año. El consumo de lechuga en la zona rural (0,8 kilos/año) es la mitad de lo que consume el área urbana (1,7 kilos/año) y el promedio nacional de 1,5 kilos/año. Otra hortaliza en su consumo son las zanahorias con un promedio de 6,9 kilos al año en el área urbana, rural y promedio del país (ibid., pp. 28-29).

La Comunidad de Totorá se encuentra ubicada al noreste de la ciudad de Ayacucho, pertenece al Distrito de Jesús Nazareno de la provincia de Huamanga.

La población de Totorá es de bajos recursos económicos, la mayoría de los pobladores se dedica al cultivo de hortalizas tales como, lechuga, espinaca, vainita,

col, cebolla, apio y otros de tallo corto. Las hortalizas en la comunidad de Totorá son regadas con aguas extraídas del conducto emisor de aguas servidas proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá Ayacucho, que desembocan en el río Alameda, cuyas aguas también son usadas para el riego de hortalizas, asimismo, utilizan agua canalizada de otras fuentes para el riego de hortalizas.

El crecimiento demográfico en la ciudad de Ayacucho (BCRP, 2018) hace que el volumen de agua residual a tratar sea cada vez mayor, por lo que la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá trabaja con una sobrecarga, por la que las unidades de tratamiento trabajan deficientemente, logrando una menor remoción de microorganismos, desechos orgánicos e inorgánicos (metales pesados), así como, descarga un efluente con mayor contaminación, el cual es empleado en el riego de hortalizas en la comunidad de Totorá que luego son comercializadas en la ciudad de Ayacucho.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Es necesario identificar las hortalizas que absorben metales pesados por encima del límite máximo permisible y que son dañinas para la salud. Hoy en día se conoce mucho más sobre los efectos de estos metales, cuya exposición está relacionada con problemas de salud como retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón e incluso con casos de muerte (Latif, y otros, 2018). Es necesario generar información de los metales pesados que se encuentran en el agua y hortalizas que permitan buscar un manejo sostenible en la producción de hortalizas en la comunidad de Totorá.

En la actualidad no se conocen los niveles de contaminación por metales pesados de las hortalizas en la comunidad de Totorá, debido a que estas son regadas con aguas extraídas del conducto emisor de aguas residuales proveniente de la planta de tratamiento Totorá, que desembocan en el río Alameda. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos, por lo que la ingesta de hortalizas contaminadas puede provocar síntomas de intoxicación (Latif, y otros, 2018).

Las hortalizas en la comunidad de Totorá son regadas con aguas extraídas del conducto emisor de aguas residuales provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá, desconociéndose hasta la fecha los niveles de contaminación por metales pesados, tales como cadmio, cromo y plomo, no solo de las hortalizas sino también de las aguas de riego, las cuales afectan la salud del consumidor.

¿Cuáles son las hortalizas que absorben metales pesados por encima del límite máximo permisible y son dañinas para la salud humana?

1.2.1 Delimitación Espacial

El área de investigación se sitúa en la Comunidad de Totorá, distrito de Jesús Nazareno, provincia de Huamanga, Departamento de Ayacucho.

1.2.2 Delimitación Temporal

La investigación se realizó de setiembre del 2017 a junio de 2018.

1.2.3 Delimitación Social

La investigación beneficiará a la población consumidora de hortalizas y a la Comunidad de Totora.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema general

¿En qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totora inciden en la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la Comunidad de Totora-Ayacucho 2017-2018?

Problemas específicos

- a. ¿En qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totora incide en la contaminación de las hortalizas por cadmio en la Comunidad de Totora-Ayacucho?
- b. ¿En qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totora incide en la contaminación de las hortalizas por cromo en la Comunidad de Totora-Ayacucho?
- c. ¿En qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totora incide en la contaminación de las hortalizas por plomo en la Comunidad de Totora-Ayacucho?

1.4 ANTECEDENTES

Según Nuñez, y otros (2008), las principales fuentes de contaminación de hortalizas es la ambiental debido al plomo de la gasolina de los carros, a las emisiones de diferentes procesos industriales, los fertilizantes utilizados, el pH del suelo, el riego de vegetales con agua contaminada, etc. Las muestras fueron adquiridas en establecimientos localizados en el área metropolitana de Monterrey y analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica con digestión vía seca. (ibid., p. 1). El resultado de los análisis arroja que, en cuanto al contenido de plomo, cadmio y níquel, todas las muestras presentaron una concentración por debajo del límite de detección del equipo, lo mismo sucedió con el aluminio en calabacín. Sin embargo, una concentración considerable de este elemento fue detectada en rábano y brócoli (Nuñez, y otros, 2008). La Agencia de protección del medio ambiente de Estados Unidos de Norteamérica (EPA) recomienda un límite de 0,05 a 0,2 mg/L para aluminio en el agua potable. De acuerdo con esto las muestras de rábano y brócoli no están dentro de los límites establecidos, ya que se obtuvo una concentración de 3,32 mg/L y 3,53 mg/L respectivamente (Nuñez, y otros, 2008).

Por su lado, Turcios (2010), analizó la posible presencia de elementos tóxicos (cadmio, plomo, arsénico y cobre) en brócoli cosechado de la forma tradicional en la parcela San José, Tecpán, municipio de Chimaltenango, ya que debido a su clima y características del suelo (suelo profundo volcánico que tiende a ser ácido, textura media), este departamento es el que más siembra, cosecha y cultiva el vegetal en mención (ídem, pp. 6, 7). El muestreo fue realizado colectando el vegetal por medio del método de diagrama de Lot-plot Shainin, seguidamente realizó un proceso de

deshidratación y degradación de materia orgánica en digestión seca a 550°C, que posteriormente llevó a una disolución que lo analizó por espectroscopía de absorción atómica, siendo la técnica recomendada por la "Association Oficial of Analytical Communities", (AOAC). El resultado de los análisis muestra que, en cuanto al contenido de plomo, cobre y arsénico, las muestras vegetales presentaron concentración por debajo del límite recomendado para consumo según Pearson, utilizando este valor de referencia, porque en Guatemala y en las Normas Codex, no existen valores de referencia para estos metales. Se concluye que no existe riesgo de intoxicación por medio de cobre, cadmio, plomo y arsénico por el consumo de brócoli que se cultiva en la parcela San José, municipio de Tecpán, Chimaltenango (Turcios, 2010).

Rodriguez y Patiño (2010), midieron los niveles de arsénico, plomo, cadmio, cromo y mercurio en las hortalizas, para implementar acciones que favorezcan la protección de la salud pública. No todos los metales presentan valores de referencia. La acelga arrojó nivel detectable para 4 metales pesados (plomo, cromo, mercurio y arsénico). El Cilantro fue la única hortaliza que no absorbió los metales valorados en este estudio. Finalmente, el brócoli fue la hortaliza con mayor proporción de muestras contaminadas por plomo (p. 14).

Olivares y otros (2013), reportan los niveles de Cu, Pb, Cd y Zn en suelos y hortalizas cultivadas de una zona altamente urbanizada de la ciudad de La Habana. Estudiaron a 17 fincas dedicadas a la agricultura urbana en un área de dos kilómetros alrededor del vertedero de "Calle 100" durante los años 2006 y 2007. Tomaron

muestras de suelo y de todas las hortalizas listas para cosechar. Los niveles de los metales pesados en los suelos de cultivo variaron en los siguientes rangos: Cd (0,24-2,1 mg/kg), Cu (38,4-81,3 mg/kg), Pb (18,1-138,5 mg/kg) y Zn (44,1-294,7 mg/kg). Para Zn y Pb, los suelos de algunas fincas (un 35 y 52 % respectivamente) superaron los rangos en que estos metales se encuentran en los suelos agrícolas cubanos. Para el Pb, el 23 % de los suelos superaron los niveles considerados como fitotóxicos y límites en algunas normas internacionales. El 12,5 % de las muestras de hortalizas colectadas sobrepasaron los límites máximos permisibles de este contaminante en los alimentos destinados al consumo humano establecidos por la norma cubana. Los resultados indican la necesidad de tener una estricta vigilancia de los cultivos hortícolas de la zona (Olivares, y otros, 2013, p. 285).

La investigación de Hoyos (2014), tiene como objetivo determinar la concentración de plomo y cadmio por bioacumulación en *Brassica oleracea* subsp. *capitata* (L.) Metzg. y *Raphanus sativus* L., regadas con aguas a diferentes concentraciones de cada metal. Para ello trabajaron con 20 plantas de *B. oleracea* subsp. *capitata* (L.) Metzg. y *R. sativus* L., con 14 días de desarrollo vegetativo, trasplantadas aleatoriamente y de forma individual en pozas experimentales con suelo homogenizado franco arenoso libre de metales plomo y cadmio (ibid., pág. 70). Éstas, asimismo, fueron sometidas a tratamientos de 0, 150 y 300 mg/L de cada metal con 4 repeticiones durante 60 días, se recolectaron muestras de suelo, raíz y parte aérea de cada especie vegetal para los análisis correspondientes de plomo y cadmio por espectrofotometría de absorción atómica Perkin Elmer. Los resultados con un nivel de confianza del 95% refieren que en la parte aérea de *B. oleracea* subsp. *capitata* (L.) Metzg., en la raíz de *R. sativus* L.,

y en el suelo donde fueron cultivadas, existe diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones de plomo y cadmio de un tratamiento a otro. Se concluye, por tanto, que en la parte aérea de *B. oleracea* subsp. *capitata* (L.) Metzg., y en la raíz de *R. sativus* L., el plomo y el cadmio se bioacumulan con mayor concentración en soluciones de 300 mg/L, lo que demuestra que existe una relación direccional ascendente con las soluciones concentradas de los diferentes tratamientos (Hoyos, 2014).

Mirabent (2015), realizó una investigación en organopónicos de La Rubia y Planta Mecánica pertenecientes a la ciudad de Camagüey, Cuba, con el objetivo de determinar concentraciones de metales en hortalizas y parámetros físico-químicos en aguas de regadíos. Las hortalizas analizadas en el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología Ciudad de La Habana, a partir del Método de Absorción Atómica con Llama, fueron las ofertadas en el momento del muestreo, y se determinó concentraciones de cadmio, plomo, cobalto, hierro, manganeso, zinc, cobre y níquel; empleando Normas establecidas por MINSAP, encontrándose valores elevados de hierro y manganeso, como los más significativos; sin embargo no existen normas que establezcan los límites máximos admisibles (LMA) de algunos de los metales analizados en hortalizas (ibid., pp. 5, 35, 53).

Estupiñan (2016) seleccionó la metodología de la US-EPA para la evaluación de riesgo en la salud humana por consumo de hortalizas irrigadas con agua que contiene metales pesados. Para ello analizó los datos disponibles del estudio adelantado por el *Hospital Pablo VI de Bosa* sobre la presencia de metales pesados en aguas y hortalizas

cultivadas en la localidad de Bosa, ubicada en la cuenca baja del río Tunjuelo, al suroccidente de la ciudad de Bogotá y limita por el norte con la localidad de Kennedy, por el sur con la localidad de Ciudad Bolívar y el municipio de Soacha, por el oriente con las localidades de Kennedy y Ciudad Bolívar, y por el occidente con el municipio de Mosquera, ubicada en el tramo IV del río Tunjuelo. Los resultados de la evaluación indicaron riesgo de presentarse efectos no cancerígenos por exposición a cadmio por consumo de vegetales de la zona. La acelga fue la hortaliza que mayor probabilidad presentó de superar la unidad en el cociente de peligro $HQ > 1$, con valores entre el 39,9% y 34,1%, seguido de la lechuga (23,6% y 19,1%) y el apio (10,4% y 8,1%). Así mismo el riesgo agregado o índice de peligro HI por ingesta de todas las hortalizas superó la unidad $HI > 1$ en un 100%. (ídem, pp. 79, 82, 119).

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se justifica por la necesidad de conocer los niveles de contaminación por metales pesados de los efluentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá-Ayacucho y de las hortalizas cultivadas en la comunidad de Totorá, regadas con dichos efluentes, con la finalidad de prevenir y recomendar el uso adecuado de estos efluentes, que contienen materia orgánica e inorgánica.

Asimismo, se justifica porque se pretende generar información de los metales pesados que se encuentran en los efluentes y en las hortalizas que permitan buscar un manejo sostenible en la producción de hortalizas en la comunidad de Totorá.

La existencia de pocos trabajos de investigación relacionados al tema en el área de estudio hará que esta investigación sea de interés de la comunidad y de todos los afectados, asimismo será un aporte a la investigación científica.

La Importancia de la investigación radica en que la cuantificación de metales pesados tales como: cadmio, cromo y plomo en los efluentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá-Ayacucho y las hortalizas en la comunidad de Totorá, permitirá comparar el contenido de estos metales con los estándares de evaluación establecidos para cada caso, donde, si la concentración de estos contaminantes se encuentran por encima del límite máximo permisible, están generando contaminación en las hortalizas y por tanto en la salud de los consumidores.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Para la realización del presente trabajo, no hubo limitaciones, se tuvo facilidades para utilizar un terreno, aunque no tan extenso, para el sembrado de las hortalizas, asimismo se tuvo acceso a los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá para el riego de las hortalizas, y también el agua de suministro de totorilla (agua de caño) para el riego de las hortalizas.

Los análisis de los metales pesados en el suelo, agua y hortalizas se realizaron en el Laboratorio de Corrosión de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

La metodología empleada permitió realizar un buen estudio de campo para la recopilación de los datos, asimismo, se contó con la colaboración de algunos pobladores de la comunidad de Totorá.

Los recursos utilizados fueron los necesarios para la culminación del presente trabajo.

1.7 OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar en qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden en la contaminación de las hortalizas, por metales pesados en la comunidad de Totorá-Ayacucho 2017-2018.

Objetivos específicos

- a. Determinar en qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá incide en la contaminación de las hortalizas por cadmio en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.
- b. Determinar en qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá incide en la contaminación de las hortalizas por cromo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.
- c. Determinar en qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá incide en la contaminación de las hortalizas por plomo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.

1.8 HIPÓTESIS

Hipótesis general

Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la Comunidad de Totorá-Ayacucho 2017-2018.

Hipótesis específicas

- a. Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por cadmio en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.
- b. Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por cromo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.
- c. Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por plomo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 BASES TEÓRICAS

2.1.1 Metales pesados en hortalizas

Cadmio en Hortalizas

Juarez (2012), señala que, el contenido promedio en base húmeda de Cd en hortalizas es de 0,06 mg/kg para betarraga, 0,32 mg/kg para huacatay, 0,06 mg/kg para lechuga, 0,02 mg/kg para nabo y 0,04 mg/kg para rabanito (p. 60). Por otro lado, Garcia (2017) encontró que las concentraciones de cadmio en lechuga presentaron una media de 0,084 ppm.

Cromo en Hortalizas

Según Juarez (2012), el contenido promedio en base húmeda de Cr en hortalizas es de 0,07 mg/kg para betarraga, 0,11 mg/kg para huacatay, 0,06 mg/kg para lechuga, 0,02 mg/kg para nabo y 0,04 mg/kg para rabanito (p. 61).

Plomo en Hortalizas

Juarez, H. (2012), señala que, el contenido de Pb en hortalizas fue menor de 0,05 mg/kg. Ninguna muestra de hortalizas debe superar el LMP fijado de 0,30 mg/kg (p. 61). Para este mismo metal, Garcia (2017) encontró que las concentraciones de plomo en lechuga presentó una media de 1,279 ppm.

Prieto, Gonzales, Roman, & Prieto (2009), señalan que, los altos niveles de metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en suelos y agua negra, utilizada para riego agrícola, radican principalmente en que pueden ser acumulados en estos sistemas de suma importancia para la agricultura. Por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad puede resultar peligrosos (p. 29). De igual manera, Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales (2016) señalan que, estudios recientes reportan la presencia de metales pesados y metaloides tales como mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) en hortalizas tales como la lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa.

La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo (y por tanto, también su solubilidad), metales como el cadmio (Cd) y el zinc (Zn), se pueden absorber en mayor grado en plantas como rábanos y zanahorias; en las hojas de los rábanos se llegan a acumular mayores contenidos del metal, provocando en las hojas un marchitamiento y disminución en la longitud de sus raíces y de la biomasa; para zanahorias se reporta en igual grado acortamiento en raíces y acumulación mayor en las mismas del metal; la biodisponibilidad de algunos metales presentes en el suelo, para las plantas, tienen mayores niveles de absorción. Por ejemplo, la absorción del Mn disponible en suelos por parte de las plantas es mayor que para el Zn, seguidos en orden por el Cd, el Cu, y por último y menos biodisponible, para pasar la barrera suelo raíz- planta, el Pb (Prieto, Gonzales, Roman, & Prieto, 2009, pp. 35, 36).

2.1.2 Contaminación de plantas por metales pesados

Según Prieto, et al. (2009) y Londoño-Franco, Londoño-Muñoz, & Muñoz-García (2016), los altos niveles de metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en suelos y agua negra utilizada para riego agrícola radican principalmente, en que pueden ser acumulados en estos sistemas, de suma importancia para la agricultura. Por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad, puede resultar peligrosos. La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo (y por tanto, también su solubilidad), metales como el cadmio (Cd) y el zinc (Zn), se pueden absorber en mayor grado en plantas como rábanos y zanahorias; en las hojas de los rábanos se llegan a acumular mayores contenidos del metal, provocando en la hojas un marchitamiento y disminución en la longitud de sus raíces y de la biomasa; para zanahorias se reporta en igual grado acortamiento en raíces y acumulación mayor en las mismas del metal, la biodisponibilidad de algunos metales presentes en el suelo, para las plantas, tienen mayores niveles de absorción. Por ejemplo, la absorción del Mn disponible en suelos por parte de las plantas es mayor que para el Zn, seguidos en orden por el Cd, el Cu y por último y menos biodisponible, para pasar la barrera suelo raíz- planta, el Pb (Prieto, Gonzales, Roman, & Prieto, 2009, pp. 29, 35, 36).

Para Loayza (2008) y Duran (2010), los metales pesados pueden ser absorbidos por las plantas dependiendo de su disponibilidad en el suelo y de los mecanismos de selectividad propios de cada especie, variedad o genotipo.

Señalan que, algunos metales pesados constituyen elementos esenciales en el metabolismo de las plantas, como, por ejemplo, el manganeso (Mn), níquel (Ni), cobre (Cu), cinc (Zn) o molibdeno (Mo); mientras que otros, como el arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) son fitotóxicos. Los metales pesados se pueden acumular en distintos órganos según su movilidad en la planta, este proceso es altamente específico para la relación metal-planta. El grupo de metales pesados de mayor riesgo lo constituyen el grupo de metales cuya concentración en la planta no es tóxica para ellas, pero si para el hombre o para los animales, como por ejemplo, el cadmio (Cd), cobalto (Co) y selenio (Se). Por tal motivo, es necesario regular en los cultivos el contenido de metales potencialmente tóxicos para la salud humana y/o animal (Duran, 2010).

Según Ruiz & Armienta (2012), las plantas han desarrollado mecanismos específicos para absorber, translocar y acumular nutrientes:

Mecanismo I. La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso de su entrada en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen de: el movimiento de los metales desde la solución del suelo a la raíz de la planta, el paso de los metales por las membranas de las células corticales de la raíz, el transporte de los metales desde las células corticales al xilema desde donde la solución con metales se transporta de la raíz a los tallos, y la posible movilización de los metales desde las hojas hacia los tejidos de almacenamiento usados como alimento (semilla, tubérculos y frutos) por el floema (Loayza, 2008).

Mecanismo II. La absorción foliar es otro mecanismo de ingreso de sustancias potencialmente tóxicas a las plantas, como los metales pesados. La absorción foliar es mediada por una fase de penetración cuticular y un mecanismo de carácter metabólico que considera la acumulación de los elementos contra la gradiente de concentración (Loayza, 2008).

Las especies vegetales incluyendo algunos cultivos, tienen la capacidad de acumular metales en sus tejidos. Las plantas capaces de absorber y acumular metales por sobre lo establecido como normal para otras especies en los mismos suelos se llaman hiperacumuladoras y se encuentran principalmente en suelos que son ricos en metales por condiciones geoquímicas naturales o contaminación antropogénica. Las plantas hiperacumuladoras generalmente tienen poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metales en sus tejidos (Jara-Peña, y otros, 2014)

La capacidad de las plantas para bioacumular metales y otros posibles contaminantes varía según la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes. Por ejemplo, los tallos de arveja (*pisum sativum*) acumulan más cadmio que plomo en suelos tratados con dosis crecientes de metales. Estas diferencias en la absorción de metales pueden ser atribuidas a la capacidad de retención del metal por el suelo y a la intersección planta-raíz-metal. Pero es importante anotar que el comportamiento de la planta frente a los metales pesados depende de cada metal (Loayza, 2008 y Reyes, 2016).



Figura 2.1 Fuentes de Contaminación por Metales Pesados en Aire, Suelo, Agua y Planta. (Reyes Y. , 2016).

2.1.3 Uso de aguas residuales en la agricultura

García (2015) señala que, el riego con aguas servidas es una práctica habitual para un gran número de agricultores en situación de inseguridad alimentaria o que corren riesgo de incurrir en ella, especialmente en Asia y África, como también en América Latina y el Caribe.

La mayor parte de las aguas servidas empleadas para el riego de cultivos a nivel mundial, no recibe ningún tipo de tratamiento y no se suele tomar ningún tipo de medida de protección para la salud que minimice los efectos perjudiciales. Si bien el riego con aguas servidas entraña graves riesgos para la salud, en muchas ocasiones es la única manera de obtener el aporte hídrico necesario para la práctica agrícola, convirtiéndose por lo tanto en un elemento clave e indispensable para garantizar la

seguridad alimentaria en determinados contextos con escasos o nulos recursos económicos, en los que no existe alternativa, al menos a corto plazo (García J. , 2015).

La escasez de agua existente en la actualidad podría agravarse en determinados contextos regionales debido a los efectos del cambio climático, circunstancia que le infiere una mayor trascendencia a la utilización de las aguas servidas como un “mal menor” (García J. , 2015 y FAO, 2017)).

Según Juárez (2012), el uso de aguas urbanas en la agricultura es una forma eficiente para conservar el agua, reciclar nutrientes y reducir la contaminación de las aguas superficiales. Con frecuencia esta es la única opción con que cuentan los agricultores (peri) urbanos. Existen significativos riesgos para la salud asociados con el uso de aguas residuales no tratadas y la política oficial ha sido tratar estas aguas antes de su utilización. Sin embargo, en la mayoría de los casos su uso se hace sin planificación por parte de los agricultores pobres de los países en desarrollo, que carecen de los recursos para ensamblar instalaciones para el tratamiento del agua. Por ello, las autoridades tratan de restringir el uso de aguas residuales no tratadas o simplemente lo ignoran. Ninguna de estas dos actitudes es adecuada y se necesitan soluciones innovadoras para optimizar los beneficios y minimizar los impactos negativos para la salud (Juárez, 2012 y FAO, 2017).

La principal desventaja de usar agua de desecho no tratada para el riego es la presencia de bacterias, virus y parásitos que pueden representar riesgos para la salud de los agricultores y las comunidades que están en contacto prolongado con el agua de

desecho, y también a los consumidores de productos irrigados con esta agua (García J. , 2015). La Organización Mundial de la Salud formuló normas para el uso seguro de las aguas residuales en la agricultura la cual está en actual revisión (Ayres & Duncan, 1996; OMS, 2016). Las revisiones que se están dando al presente son en conformidad con el Marco de Estocolmo que provee una herramienta para controlar los riesgos para la salud de todas las exposiciones microbianas relacionadas con el agua. El marco de Estocolmo promueve un enfoque flexible para fijar las normas, permitiéndoles a los países adaptar las normas a sus propias circunstancias sociales, culturales, económicas y ambientales (OMS, 2016).

Guadarrama y Galván (2015), sostienen que la escasez de agua para uso urbano y la dependencia del riego para la producción agrícola en zonas de rápido crecimiento demográfico, han contribuido a que a nivel internacional aumente el interés en el reúso del agua. Existen riesgos para la salud debido a la presencia de microorganismos y contaminantes como los metales pesados y mutagénicos; los primeros impactan a corto plazo, debido a la contaminación de alimentos que pueden provocar, y los segundos impactan a largo plazo, contribuyendo a la salinización de suelos, en detrimento de la productividad para eventualmente derivar en el abandono de terrenos. El reúso del agua residual en la agricultura se ha convertido en una necesidad, la cual debe ser considerada como una alternativa, aunque no ha sido evaluada en los aspectos de contenido y migración de contaminantes, en particular de metales pesados (FAO, 2017). Algunos de los metales pesados pueden formar parte natural del suelo en cantidades que no resultan tóxicas para los seres vivos; sin embargo, la industrialización ha provocado un aumento de la presencia de estos en las aguas

residuales que se utilizan para riego, con el consecuente riesgo para la salud humana y ambiental. El proceso de migración y fijación de contaminantes dentro de un sistema cerrado dependerá de la capacidad de absorción por parte de los subsistemas agua-suelo-planta, aplicación de tasas de riego (concentración del contaminante), y de la persistencia y toxicidad de los contaminantes (Guadarrama & Galván, 2015 y Cisneros, Sanz, & Teran, 2015).



Figura 2.2 El uso de aguas residuales en la agricultura. Foto: Gabriel Barceló.

(Cisneros, Sanz, & Teran, 2015).

2.1.4 Riesgos a la salud por metales pesados

Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales (2016), señalan que, estudios recientes reportan la presencia de metales pesados y metaloides tales como mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) en hortalizas tales como la lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa. Esta contaminación, proviene, entre otros causales, del uso para riego de aguas afectadas. Por su elevada toxicidad, el impacto causado en salud por exposición prolongada o por bioacumulación de metales pesados resulta alarmante. Dependiendo del tipo de metal o

metaloide, se producen afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollos cancerígenos (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales, 2016).

A nivel global, se han reportado casos que dan cuenta de las afecciones en la salud por causa del consumo de alimentos contaminados por metales pesados. Un caso relevante ocurrió en Japón en la década de los cincuenta, en donde la población ubicada en las riberas del río Jintsu, aguas abajo de una zona minera de zinc (Zn), plomo (Pb) y cobre (Cu), se vio afectada por el consumo de arroz proveniente de cultivos contaminados con cadmio (Cd) procedente de los vertimientos de las minas. Esta ingesta produjo una enfermedad conocida como *Itai-Itai* o *osteoartritis* la cual afecta principalmente el tejido óseo. De otra parte, en la población infantil de Torreón, Coahuila ubicada en Norte-centro de México se han reportado casos por envenenamiento principalmente por plomo (Pb) proveniente de actividades industriales que incorporan este metal a la cadena alimenticia y al agua (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales, 2016).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016) y algunas autoridades ambientales, han establecido niveles de riesgo en función de la concentración de metales en aguas de consumo humano y alimentos. Los mapas realizados en algunas regiones del mundo muestran un importante incremento en la concentración por encima de los límites establecidos, que las clasifica como de alto riesgo. Así, para el caso del arsénico, la población en riesgo de exposición supera los 150 millones, esto obliga a fortalecer los programas de saneamiento apoyados en tecnologías emergentes como la bio y nanotecnología para el desarrollo de procesos y estrategias

experimentales en tareas de detección, cuantificación y remediación (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales, 2016).

En la actualidad se acepta de forma generalizada que la distribución, movilidad, disponibilidad biológica y toxicidad de los elementos químicos no es función de la concentración total de los mismos, sino que dependen de la forma química en la que se encuentren. Es necesario conocer las especies químicas de los elementos para comprender las reacciones químicas y bioquímicas en las que intervienen, y por tanto, obtener información relativa al carácter esencial y tóxico de los elementos químicos. Los análisis de especiación se convertirán en una herramienta esencial para la evaluación de riesgos en el medioambiente, permitiendo que se realicen diagnósticos y controles de los elementos trazas más efectivos. En última instancia, este tipo de investigación puede dar lugar a una legislación ambiental basada en la concentración máxima permisible de especies químicas, en vez de una legislación basada en concentraciones totales de los elementos (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales, 2016).

Cadmio

Rodriguez-Serrano, Martínez-de la Casa, Romero-Puertas, del Río, & Sandalio, (2008), indican que, el cadmio es un elemento no esencial y poco abundante en la corteza terrestre, pero que, a bajas concentraciones puede ser tóxico para todos los organismos vivos. La contaminación ambiental por cadmio ha aumentado como consecuencia del incremento de la actividad industrial, afectando de forma progresiva a los ecosistemas. Señalan tres factores antropogénicos de contaminación de cadmio

(Cd), como los siguientes: i) Emisiones atmosféricas, por la actividad minera, ya que el cadmio se extrae como subproducto del Pb, Zn, Cu y otros metales, así como, las incineradoras municipales, y emisiones industriales procedentes de la producción de pigmentos para cristales, anticorrosivos, baterías de Ni/Cd, e insecticidas; ii) Depósitos directos, por el uso de fertilizantes fosfatados como principal fuente de contaminación de Cd en suelos agrícolas, así como los fangos procedentes de aguas residuales que se utilizan en agricultura; y iii) Contaminación accidental, ocurre eventualmente por procesos industriales, residuos de la minería y corrosión de estructuras galvanizadas, generando la contaminación de tierras (Rodríguez-Serrano, Martínez-de la Casa, Romero-Puertas, del Río, & Sandalio, 2008).

La principal fuente de contaminación de cadmio en el ser humano es la ingesta de vegetales contaminados con este metal. Químicamente, el cadmio se puede encontrar disuelto en el agua contenida en el suelo, adsorbido en superficies orgánicas e inorgánicas, formando parte de minerales, precipitado con otros compuestos del suelo o incorporado a estructuras biológicas. Sin embargo, la biodisponibilidad del cadmio para la planta depende de numerosos factores físicos, químicos y biológicos que modifican su solubilidad y el estado del metal en el suelo. Uno de los principales factores es el pH del suelo, el potencial redox, la temperatura y el contenido en arcillas, materia orgánica, y agua. Por último, es importante destacar el tipo de cultivo del que se trate, ya que no todas las plantas acumulan cadmio en igual medida (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales, 2016).

Según Sanchez (2016), la población en general está expuesta al cadmio a través de la contaminación del aire, agua, suelos, alimentos y el tabaco, siendo la dieta la principal fuente de exposición al cadmio para no fumadores. La deposición atmosférica de cadmio, las actividades mineras y la aplicación de fertilizantes y enmiendas en los campos pueden conducir a la contaminación de suelos y a la absorción de cadmio por los cultivos para el consumo humano. Se han determinado altas concentraciones de cadmio en mariscos, productos de casquería como el hígado y el riñón, en semillas oleaginosas, granos de cacao y en ciertas setas. Cereales como el arroz y el trigo, vegetales de hoja verde, patatas y hortalizas de raíz como la zanahoria contienen las concentraciones más altas de cadmio, y se estima que más de 80% de la ingesta del metal procede de este tipo de alimentos. La ingesta de cadmio con los alimentos varía entre 8 y 25 μg por día, lo cual es significativamente mayor que los valores recomendados por algunos organismos internacionales. El consumo puede ser mayor en países asiáticos como Japón, o en ciertos grupos de la población con hábitos dietéticos específicos, como por ejemplo los vegetarianos. La absorción intestinal de cadmio es del 1-5 % del total ingerido, y depende de factores como la ingesta de proteínas o la presencia de vitamina D y otras moléculas como ácido fítico. Aquellos individuos con dietas pobres en calcio o proteínas, o bien con déficit de hierro, presentan una absorción de cadmio mayor (hasta del 10-20%). El consumo de tabaco es otra fuente importante de exposición al cadmio (Sanchez G., 2016 y Casermeiro, 2017).

Para Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales (2016), el cadmio forma parte de la composición natural de algunas rocas y suelos y provoca una liberación al medio

ambiente cercana a 25 000 toneladas. De otra parte, por vía antrópica las concentraciones en el ambiente pueden ser incrementadas considerablemente, ya que es un metal ampliamente utilizado en la industria y productos agrícolas, esto ha producido un progresivo aumento en su producción. El 5% del metal es reciclado y debido a su notable movilidad, provoca una importante ambiental. La población está expuesta al cadmio por diversas vías: i) Oral, a través del agua y la ingesta de comida contaminada con este elemento (hojas de vegetales, granos, cereales, frutas, vísceras animales y pescado) (Salud, 2011, p. 68). En algunos países de Europa y Norte América la ingesta diaria de cadmio varía entre 10 y 40 $\mu\text{g}/\text{día}$, por: i) La inhalación de partículas durante actividades industriales en personas laboralmente expuestas, donde la concentración de cadmio puede tener valores superiores a 50 $\mu\text{g}/\text{L}$. ii) El cigarrillo, cuyo nivel de cadmio está asociado al suelo donde crece el tabaco. Estudios realizados muestran que la concentración de cadmio en la sangre para no fumadores varía entre 0,4 a 1,0 $\mu\text{g}/\text{L}$, mientras que en fumadores los valores varían entre 1,4 a 4 $\mu\text{g}/\text{L}$. iii) Finalmente, por vía dérmica, aunque las concentraciones absorbidas son muy reducidas. El cadmio que ingresa por vía respiratoria o por vía oral, se transporta a la sangre y se concentra en el hígado y el riñón. El cadmio tiene la capacidad de acumularse en estos órganos vitales lo que produce daños irreversibles aún para concentraciones reducidas (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales, 2016).

De igual manera, estos autores señalan que, el tiempo de permanencia en estos órganos puede ser muy elevado. Así, el tiempo de vida media del cadmio en el riñón puede alcanzar los 30 años. Al cadmio se le reconoce como uno de los metales pesados con mayor tendencia a acumularse en las plantas. El cadmio causa severos

desequilibrios en los procesos de nutrición y transporte de agua en las plantas. La favorabilidad de acumulación de cadmio en las plantas ha llevado a considerarlas como potenciales candidatos para tareas de fitorremediación de este metal (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales, 2016).

Cromo

Gomez y Magaña (2004), señalan que, el cromo (Cr) es un elemento mineral esencial que ha recibido atención considerable ya que se le atribuyen algunos efectos benéficos sobre la función biológica del ser humano. El cromo químicamente existe en varios estados de oxidación desde -2 hasta +6. Los estados de oxidación más estables son el trivalente (+3) y el hexavalente (+6). El Cr+3 es la forma con más estabilidad química y se enlaza a ligandos que contienen nitrógeno, oxígeno o radical sulfuro, formando complejos octaédricos; por su parte, el Cr+6 es tóxico para el organismo (Gomez & Magaña, 2004, p. 348).

La cantidad de ingesta del cromo es de 50 a 200 $\mu\text{g}/\text{día}$ y su contenido en los alimentos es variable. Se absorbe en el intestino delgado, especialmente en el yeyuno. El mecanismo de absorción no se conoce con precisión, se cree que es por difusión o por una proteína transportadora. Aminoácidos como la metionina y la histidina, así como la vitamina C, favorecen la absorción del cromo, en tanto los fitatos y los antiácidos la inhiben (Gomez & Magaña, 2004).

En el cuerpo humano los órganos que almacenan altas cantidades de cromo son el riñón, hígado, músculo, bazo, corazón, páncreas y hueso. Se excreta principalmente

por el riñón y en menor cantidad en el sudor, heces y en el cabello. El cromo ejerce acción en la expresión o actividad del receptor de insulina. La acción biológica del cromo es la regulación de la secreción de la insulina, con la finalidad de tener una mayor efectividad de la molécula de insulina (Gomez & Magaña, 2004).

El cromo desempeña papeles adicionales particularmente en el metabolismo de la glucosa y los lípidos. Así mismo, tiene acción sobre la actividad de la lipoproteína lipasa y existen reportes de su acción en el metabolismo del colesterol. Algunos estudios demuestran que con un suplemento de cromo se incrementan las lipoproteínas de alta densidad (HDL), con una disminución de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) sin un mecanismo de acción bien definido (Gomez & Magaña, 2004).

Se reportan deficiencias de este elemento en personas ancianas; aparentemente las concentraciones de cromo disminuyen con la edad y en ciertas enfermedades como las cardiovasculares y la diabetes mellitus. Aunque el cromo es esencial para la acción de la insulina, existen limitaciones en la estimación del cromo nutricional en cada individuo (Gomez & Magaña, 2004).

Granados-Silvestre, Ortiz-López, Montúfar-Robles, & Menjívar-Iraheta (2014) señalan que, el cromo es un elemento traza que se encuentra en bajas concentraciones en individuos diabéticos, por eso su administración puede ayudar a mejorar el control glucémico. Los complementos con cromo trivalente como parte del tratamiento de pacientes con diabetes tipo 2 y otras enfermedades relacionadas con resistencia a la insulina, comenzaron a indicarse en 1975, enseguida del descubrimiento de una

sustancia que se encuentra en la levadura de cerveza que ayudaba a disminuir la intolerancia a la glucosa relacionada con la edad (el ensayo se efectuó en ratas de edad avanzada).

Esta sustancia activa se identificó como CR^{3+} . En 1977 el CR^{3+} se declaró un nutriente esencial, después de observar que los pacientes hospitalizados que recibían nutrición parenteral deficiente en CR^{3+} experimentaban significativas elevaciones de la glucosa plasmática y que sus concentraciones de glucosa se normalizaban luego de agregar CR^{3+} a su dieta (Granados-Silvestre, Ortiz-López, Montúfar-Robles, & Menjívar-Iraheta, 2014).

La adición de cromo a la dieta mantiene la tolerancia a la glucosa, reduce la grasa corporal, incrementa la masa muscular magra y la sensibilidad a la insulina. En este contexto existen controversias en cuanto a la efectividad del cromo; sin embargo, las discrepancias pueden ser por la dosis indicada en cada estudio. Se reporta que una dosis de 100 mg/día de cromo no es efectiva, pero sí lo es de 200 y 1000 mg diariamente (Granados-Silvestre, Ortiz-López, Montúfar-Robles, & Menjívar-Iraheta, 2014).

Para Armendariz-Anguiano, Bacardí-Gascón, & Jiménez (2007), la absorción intestinal de cromo es baja tanto en humanos como en animales, variando desde 0,5% hasta 2%, dependiendo de la ingesta dietaria y el resto es excretado por las heces, orina y bilis. La excreción normal de cromo por la orina es de 0,05-0,5 $\mu\text{g}/\text{día}$. Una vez que es absorbido, el cromo es distribuido y almacenado en varios tejidos, con mayor

concentración en riñones, músculo e hígado, también se encuentra en el bazo y tejido óseo. El contenido de cromo en el cuerpo se puede ver reducido por varias causas; las dietas altas en azúcares simples (más del 35% de las calorías de la dieta) pueden incrementar la excreción urinaria de cromo; las infecciones, el ejercicio intenso, el embarazo y la lactancia, el trauma físico, incrementan las pérdidas de cromo y pueden causar su deficiencia, especialmente si las ingestas de cromo son bajas (Armendariz-Anguiano, Bacardí-Gascón, & Jiménez, 2007).

Plomo

Valdivia (2005) señala que, el plomo puede ser inhalado y absorbido a través del sistema respiratorio o ingerido y absorbido por el tracto gastrointestinal; la absorción percutánea del plomo inorgánico es mínima, pero el plomo orgánico si se absorbe bien por esta vía. Después de la ingestión de plomo, éste se absorbe activamente, dependiendo de la forma, tamaño, tránsito gastrointestinal, estado nutricional y la edad; hay mayor absorción de plomo si la partícula es pequeña, si hay deficiencia de hierro y/ o calcio, si hay gran ingesta de grasa o inadecuada ingesta de calorías, si el estómago está vacío y si se es niño, ya que en ellos la absorción de plomo es de 30 a 50 % mientras que en el adulto es de 10%. Luego de su absorción el plomo se distribuye en compartimentos, en primer lugar, circula en la sangre unido a los glóbulos rojos, el 95% del plomo está unido al eritrocito; luego se distribuye a los tejidos blandos como hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central que son los órganos blanco de toxicidad; luego de 1 a 2 meses el plomo se difunde a los huesos donde es inerte y no tóxico. El metal puede movilizarse del hueso en situaciones como inmovilidad, embarazo, hipertiroidismo, medicaciones y edad avanzada. El plomo

cruza la placenta y la barrera hematoencefálica. Finalmente se excretará por la orina en un 90%, y en menor cantidad en la bilis, piel, cabello, uñas, sudor y leche materna. Hay que recordar que en el hueso está depositado el 90% del plomo y que una disminución de la plumbemia sin quelación indica esta distribución a tejido blando y hueso (Fontana, y otros, 2013).

De igual manera, señala que, el plomo es tóxico para las enzimas dependientes del zinc, los órganos más sensibles a la toxicidad son el sistema hematopoyético, el sistema nervioso central y el riñón (Fontana, y otros, 2013).

Lascano (2013) y Azcona-Cruz, Ramírez, & Vicente-Flores (2015) señalan que, el Plomo (Pb) es un metal no esencial, altamente tóxico para el ser humano, que afecta a diversos órganos y tejidos. Su presencia en el organismo es atribuida a la contaminación ambiental, debido principalmente a sus usos como aditivo en combustibles y en pinturas. También puede estar presente en cañerías de agua, baterías, juguetes, artículos escolares, cerámicos, imprentas y diversas actividades industriales. Más recientemente, se ha informado sobre nuevas formas de contaminación de suelos, que se transforman así en potenciales focos de intoxicación.

El Pb ingresa al organismo principalmente por vía respiratoria y gastrointestinal. Una vez en el torrente sanguíneo, se acumula dentro de los glóbulos rojos, donde interfiere en la síntesis del grupo hemo, ocasionando anemia. Luego de aproximadamente un mes, se redistribuye a diferentes órganos y tejidos, generando alteraciones en el sistema nervioso, hematopoyético, cardiovascular, reproductivo y

renal. Finalmente, se deposita en tejidos duros como huesos, uñas y dientes, donde puede permanecer acumulado durante toda la vida (Azcona-Cruz, Ramírez, & Vicente-Flores, 2015).

Rubio y otros (2004) y Londoño-Franco, Londoño-Muñoz, & Muñoz-García, (2016) indican que, el plomo tiene la capacidad de bioacumularse por lo que su concentración en plantas y animales se magnifica a lo largo de la cadena alimentaria. El plomo y sus derivados se encuentran en todas partes del medio ambiente, como, por ejemplo, en el aire, en las plantas y animales de uso alimentario, en el agua de la bebida, en los ríos, océanos y lagos, en el polvo, en el suelo, en las plantas.

En el suelo de terrenos no cultivados se han encontrado de 8 a 20 mg Pb/Kg mientras que en terrenos cultivados puede llegar a encontrarse por encima de 360 mg Pb/Kg y cerca de fuentes de contaminación industrial, el suelo alcanza contenidos de 10 g Pb/Kg o más (Rubio, 2004, pp. 72, 73).

La dieta es una fuente importante de exposición de plomo. Un adulto sano no expuesto al plomo ingiere diariamente de 0,3 a 0,5 mg de este metal, el 80% del mismo es eliminado por el riñón. Si la ingesta es superior a 0,6 mg/día el plomo se acumula y puede provocar una intoxicación. Sin embargo, el contenido medio de plomo en los productos alimenticios no parece ser causa de alarma, pero debe proseguirse la acción a largo plazo con el objetivo de continuar reduciendo los contenidos medios de plomo en los productos alimenticios (Rubio, 2004, p. 73).

Cualquier vía de ingestión de plomo tiene su punto final en el hígado, el cual metaboliza los compuestos que a él llegan, eliminando una parte por la bilis. Cuando existe una insuficiencia hepática o la concentración del metal es excesiva se elimina por el sudor, la saliva, el páncreas y por la orina. Se excreta fundamentalmente por orina (80%) y de forma secundaria por heces, saliva y faneras. En el caso de baja exposición al plomo, existe un equilibrio entre el aporte del tóxico y la eliminación. Pero, pasado un cierto nivel, comienza a acumularse. Este nivel depende no sólo del grado de exposición, sino también de la edad y de la integridad de órganos como el hígado y el riñón. La semivida del plomo circulante es de unos 25 días, la del plomo de los tejidos blandos de unos 40 días y la del plomo depositado en los huesos puede ser de hasta 30 años. Por ello, el plomo en hueso puede ser utilizado para describir, en el tiempo, el contenido corporal del mismo (Londoño-Franco, Londoño-Muñoz, & Muñoz-García, 2016).

Prieto, Gonzales, Roman, & Prieto (2009), señalan que, el riñón es el órgano más dañado en las poblaciones expuestas a los efectos del cadmio (Cd). Las enfermedades crónicas obstructivas de las vías respiratorias están asociadas a la exposición prolongada e intensa por inhalación. Hay pruebas de que esa exposición al Cd puede contribuir al desarrollo de cáncer del pulmón, aunque las observaciones en trabajadores expuestos han sido difíciles de interpretar a causa de la presencia de factores que inducen a confusión. El Cd presente en los alimentos es la principal fuente de exposición para la mayoría de las personas. En la mayoría de las zonas no contaminadas con Cd la ingesta diaria media con los alimentos se encuentran entre 10-40 µg. En zonas contaminadas se ha observado que alcanza varios cientos de µg al día.

En zonas no contaminadas, la absorción debida al consumo de tabaco puede igualar la ingestión de Cd a partir de los alimentos. Basándose en un modelo biológico, se ha estimado que con una diaria de 140-260 μg de cadmio durante toda la vida, o una ingesta acumulativa de unos 2000 mg o más, se produce en el ser humano una asociación entre la exposición al cadmio y una mayor excreción de proteínas de bajo peso molecular en la orina (Prieto, Gonzales, Roman, & Prieto, 2009).

En cuanto al cromo (Cr), están presentes en el ambiente a niveles bajo. Bajo las condiciones normales, la exposición al Cr no representa ningún riesgo toxicológico. Las concentraciones en el agua de río suelen estar en un rango de 1-10 $\mu\text{g}/\text{L}$ y no constituyen una amenaza para la salud. La ingesta diaria a través de comida varía considerablemente entre regiones. Valores típicos se extienden 50 a 200 $\mu\text{g}/\text{día}$ y no representan tampoco un problema de toxicidad. En forma de cromo (III) es un nutriente esencial y es relativamente no- tóxico para hombre. Sin embargo, el Cr (VI) es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. La gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición al Cr. El Cr (VI) es conocido porque causa varios efectos sobre la salud. Cuando es un compuesto en los productos de la piel, puede causar reacciones alérgicas, como es erupciones cutáneas. Después de ser respirado el Cr (VI) puede causar irritación de la nariz y sangrado de la nariz. Otros problemas de salud que son causado por el Cr (VI) son: Erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético y cáncer de pulmón (Prieto, Gonzales, Roman, & Prieto, 2009).

En cuanto al plomo (Pb), Prieto, Gonzales, Roman, & Prieto (2009) señalan que, el ser humano puede tener una amplia variedad de efectos biológicos según el nivel y la duración de la exposición. Se han observado efectos en el plano subcelular y efectos en el funcionamiento general del organismo que van desde la inhibición de las enzimas hasta la producción de acusados cambios morfológicos y la muerte. Dichos cambios se producen a dosis muy diferentes; en general, el ser humano que se está desarrollando es más sensible que el adulto. Se ha mostrado que el Pb tiene efectos en muchos procesos bioquímicos; en particular, se han estudiado mucho los efectos en la síntesis del hemo en adultos y niños (Pb-H). Se observan niveles más altos de porfirina eritrocitaria sérica y mayor excreción urinaria de coproporfirina y de ácido delta-aminolevulínico cuando las concentraciones de Pb-H son elevadas (ibíd., p. 38).

Con niveles más bajos se observa inhibición de las enzimas dehidratasa del ácido delta-aminolevulínico y reductasa de la dihidrobiopterina. Como resultado de los efectos del plomo en el sistema hematopoyético disminuye la síntesis de hemoglobina y se ha observado anemia en niños a concentraciones de Pb-H superiores a 40 µg/dl. Por razones neurológicas, metabólicas y comportamentales, los niños son más vulnerables a los efectos del plomo que los adultos. Se sabe que el plomo provoca en los tubos proximales del riñón lesiones que se caracterizan por aminoaciduria generalizada, hipofosfatemia con hiperfosfaturia relativa y glucosuria acompañada de cuerpos de inclusión nuclear, modificaciones mitocondriales y citomegalia de las células epiteliales de los tubos proximales. Los efectos tubulares se manifiestan después de una exposición relativamente breve y suelen ser reversibles, mientras que los cambios escleróticos y la fibrosis intersticial, que dan lugar a una disminución de

la función renal y a una posible insuficiencia renal, requieren una exposición crónica a niveles elevados de plomo (Prieto et. al, 2009).

Estos mismos autores señalan que, los altos niveles de metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en suelos y agua negra, utilizada para riego agrícola, radican principalmente, que pueden ser acumulados en estos sistemas de suma importancia para la agricultura. En las últimas dos décadas, surge un particular interés de establecer lineamientos básicos de gestión y manejo ambiental de los cultivos. Resulta de particular interés, el desarrollo y crecimiento de una agricultura sostenible, que a su vez lleve un estricto control del manejo de plagas, producción de semillas certificadas y sobre todo, conservación del recurso suelo (Prieto et. al, 2009, p. 39).

De igual manera, Reyes (2016) señala que el plomo es un metal pesado que se ha utilizado durante muchos años debido a su resistencia a la corrosión, ductibilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel (p. 68).

Las principales vías de exposición son: i) inhalación de partículas de plomo por combustión de algunos materiales. ii) La ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados. Tiende a distribuirse en diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes, donde se va acumulando con el paso del tiempo. La intoxicación por plomo varía de acuerdo a la edad de la persona y su nivel de exposición (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales, 2016).

Estos autores señalan que, la presencia de metales en el ambiente se da por vía natural y antropogénica. Se movilizan en matrices de agua, suelo y aire. Los metales son persistentes, es decir, no pueden ser creados o degradados, ni mediante procesos biológicos ni antropogénicamente. Una vez que han entrado en los ecosistemas acuáticos, se transforman a través de procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre varias especies con distintas características físico-químicas, por ejemplo, material particulado ($>0,45 \mu\text{m}$), coloidal ($1 \text{ nm}-0,45 \mu\text{m}$) y especies disueltas ($=1 \text{ nm}$). La materia particulada y coloidal, tanto orgánica como inorgánica, desempeña un papel clave en la coagulación, la sedimentación y en los procesos de adsorción, los cuales influyen en los tiempos de residencia y transporte de los metales trazas desde la columna de agua a los sedimentos y a otras matrices (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales, 2016, pp. 67, 68).

La inhalación y la ingesta de alimentos son dos de las causas más sobresalientes de contaminación. Los efectos tóxicos dependen del tipo de metal, de la concentración y en algunos casos de la edad de la población expuesta. Algunos estudios que evalúan la contaminación de metales pesados en alimentos, carne y leche, han encontrado que el cadmio, el mercurio, el plomo y el arsénico, son cuatro de los elementos que por su impacto en la salud y concentración deben ser cuidadosamente evaluados y monitoreados (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales, 2016).

El cadmio (Cd) forma parte de la composición natural de algunas rocas y suelos y provoca una liberación al medio ambiente cercana a 25000 toneladas. De otra parte, por vía antrópica las concentraciones en el ambiente pueden ser incrementadas

considerablemente. Ya que es un metal ampliamente utilizado en la industria y productos agrícolas, esto ha producido un progresivo aumento en su producción. El 5% del metal es reciclado y debido a su notable movilidad, provoca una importante contaminación ambiental. La población está expuesta al cadmio por diversas vías: Oral, a través del agua y la ingesta de comida contaminada con este elemento (hojas de vegetales, granos, cereales, frutas, vísceras de animales y pescado) (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales, 2016).

En algunos países de Europa y Norte América la ingesta diaria de cadmio varía entre 10 y 40 $\mu\text{g}/\text{día}$. La inhalación de partículas durante actividades industriales en personas laboralmente expuestas, donde la concentración de cadmio puede tener valores superiores a 50 $\mu\text{g}/\text{L}$. Estudios realizados muestran que las concentraciones de cadmio en la sangre para no fumadores varían entre 0,4 a 1,0 $\mu\text{g}/\text{L}$, mientras que en fumadores los valores varían entre 1,4 a 4 $\mu\text{g}/\text{L}$. Finalmente, por vía dérmica, aunque las concentraciones absorbidas son muy reducidas. El cadmio que ingresa por vía respiratoria o por vía oral, se transporta a la sangre y se concentra en el hígado y el riñón. El cadmio tiene la capacidad de acumularse en estos órganos vitales lo que produce daños irreversibles aún para concentraciones reducidas. De otra parte, el tiempo de permanencia en estos órganos puede ser muy elevado. Así, el tiempo de vida media del cadmio en el riñón puede alcanzar los 30 años. Al cadmio se le reconoce como uno de los metales pesados con mayor tendencia a acumularse en las plantas. El cadmio causa severos desequilibrios en los procesos de nutrición y transporte de agua en las plantas. La favorabilidad de acumulación de cadmio en las plantas ha llevado a

considerarlas como potenciales candidatos para tareas de fitoremediación de este metal (Al-Saad, Moniem, El-Azim, Naeem, & Alhafez, 2019).

El plomo (Pb) es un metal pesado que se ha utilizado durante muchos años debido a su resistencia a la corrosión, ductibilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel. Las principales vías de exposición son: i) inhalación de partículas de plomo generadas por combustión de algunos materiales. ii) La ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados. Tiende a distribuirse en diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes, donde se va acumulando con el paso del tiempo. La intoxicación por plomo varía de acuerdo a la edad de la persona y su nivel de exposición (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzales, 2016, pp. 68, 69).

2.1.5 Contaminación ambiental

Para Encinas (2011), se entiende por contaminación la presencia en el aire, agua o suelo de sustancias o formas de energía no deseables en concentraciones tales que puedan afectar al confort, salud y bienestar de las personas, y al uso y disfrute de lo que ha sido contaminado. Esto es, un medio o vector ambiental (aire, agua o suelo) estará contaminado si tiene algo (sustancias materiales, energía en forma de ruido, calor...) que provoca efectos negativos en él. Si ese algo no provoca efectos negativos, no se dirá que el medio está contaminado y, por supuesto, ese *algo* no será nunca un contaminante. La contaminación del aire, la del agua y la del suelo están muy relacionadas entre sí y no se pueden separar (Figura 2.3). Los contaminantes pasan

fácilmente de un medio a otro, lo que complica la solución a los problemas de contaminación (Encinas, 2011).

Los contaminantes son emitidos por las fuentes de emisión que pueden ser naturales o artificiales (Figura 2.4). Las fuentes artificiales a su vez pueden ser estacionarias o fijas (por ejemplo, las industrias) o móviles (por ejemplo, el tráfico). Estos contaminantes que son emitidos directamente por la fuente se conocen como contaminantes primarios y son emitidos con un flujo o nivel de emisión que es la velocidad a la que es emitido por la fuente y, por tanto, tiene unidades de masa por unidad de tiempo (Encinas, 2011, p. 4).

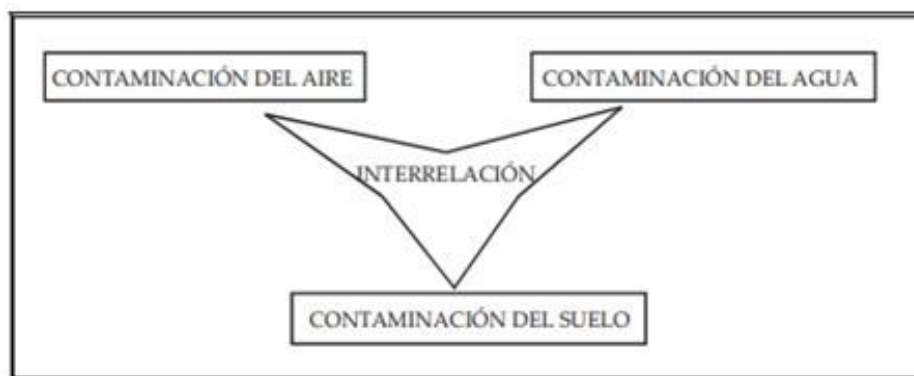


Figura 2.3 Esquema de Relación Existente entre la Contaminación de los tres Vectores Ambientales: Aire, Agua y Suelo.

Una vez emitidos al medio (al aire, al agua o al suelo), los contaminantes sufren una serie de procesos, no solo transporte y dispersión, sino también reacciones químicas, convirtiéndose en los contaminantes secundarios. La concentración de un contaminante, ya sea primario o secundario, después de ser dispersado es el nivel de inmisión y tiene unidades de masa por unidad de volumen (Encinas, 2011).

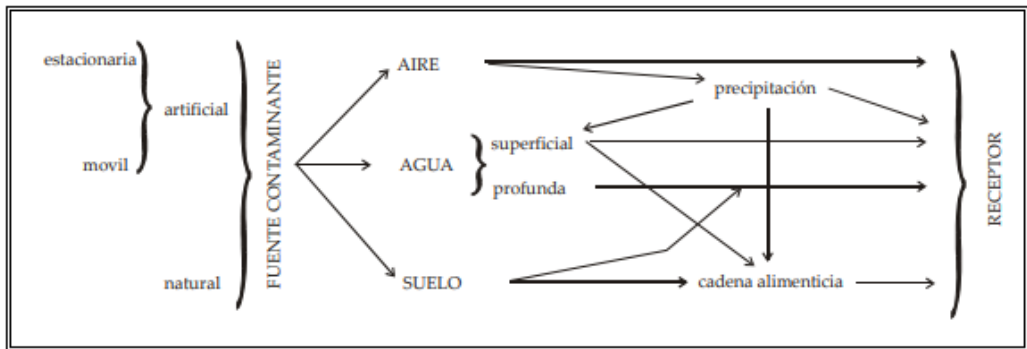


Figura 2.4 Esquema General del Proceso de Contaminación.

Finalmente, los contaminantes alcanzan los receptores a través de diversos mecanismos (por la precipitación, por la cadena alimenticia, etc.) provocando diversos efectos en ellos (Encinas, 2011).

Carnicer (2008) señala que, los contaminantes atmosféricos primarios provienen de muy diversas fuentes, por lo que su naturaleza física y su composición química son muy variadas, si bien podemos agruparlos atendiendo a su peculiaridad más característica, su estado físico (caso de partículas y metales), o elemento químico común (caso de los contaminantes gaseosos) (p. 10).

Para este investigador, los contaminantes más frecuentemente emitidos a la atmósfera, que causan alteraciones ambientales son:

- Aerosoles, en los que se incluye el polvo con partículas sedimentables y en suspensión y los humos.

- Óxidos de azufre, SO_x (SO₂ y SO₃, fundamentalmente).

- Monóxido de carbono, CO.

-Óxidos de nitrógeno, NO_x (NO y NO₂, fundamentalmente).

-Hidrocarburos, H_nC_m.

-Ozono, O₃.

Además de estas sustancias hay una serie de contaminantes que se presentan más raramente pero que pueden afectar determinadas zonas por ser muy perjudiciales (Carnicer, 2008, pág. 10). Estos son:

-Otros derivados del azufre y del nitrógeno.

-Halógenos y sus derivados.

-Arsénico y sus derivados.

-Componentes orgánicos.

-Partículas de metales pesados y ligeros, como el plomo, mercurio, cobre, zinc.

-Partículas de sustancias minerales, como el amianto y los asbestos.

Otro tipo de contaminantes presentes en la atmósfera son los denominados secundarios, tienen la característica de que no se emiten directamente a la atmósfera. Son sustancias producidas a través de reacciones atmosféricas que tienen lugar entre contaminantes primarios y favorecidos por una serie de factores ambientales, como es el caso de la reacción entre los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno (precursores) en presencia de una fuerte radiación solar (reacciones fotoquímicas), en las que se forman una serie de sustancias complejas tales como el ozono, aldehídos, peróxido de hidrógeno, peroxiacetilnitrilo (PAN), radicales libres, partículas sólidas, etc., denominados oxidantes y que dan lugar a la contaminación fotoquímica (Carnicer, 2008).

Otra clase de contaminantes secundarios son los sulfatos y los nitratos formados a partir de las emisiones de óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Existen además otros efectos contaminantes tales como las radiaciones ionizantes procedentes de los elementos radioactivos presentes en la atmósfera, que dan lugar a la contaminación radioactiva, así como los ruidos que producen la contaminación sonora (Carnicer, 2008, p. 11).

Para De la Orden (2007) y MINAM (2016), la contaminación es un cambio perjudicial en las características físicas, químicas o biológicas del aire, la tierra, el agua o en un ecosistema, que puede afectar nocivamente la vida humana o la de especies beneficiosas, los procesos industriales, las condiciones de vida del ser humano y puede malgastar y deteriorar los recursos naturales renovables. Los elementos de contaminación son los residuos de las actividades realizadas por el ser humano organizado en sociedad. La contaminación aumenta, no sólo porque a medida que la gente se multiplica y el espacio disponible para cada persona se hace más pequeño, sino también porque las demandas por persona crecen continuamente, de modo que aumenta con cada año lo que cada una de ellas desecha. Algunas de las alteraciones medioambientales más graves relacionadas con los fenómenos de contaminación son los escapes radiactivos, el smog, el efecto invernadero, la lluvia ácida, la destrucción de la capa de ozono, la eutrofización de las aguas o las mareas negras (Bermudez, 2010).

Clasificar la contaminación puede resultar tan difícil como clasificar los ecosistemas terrestres y acuáticos o cualquier tipo de fenómeno natural. Los métodos

de clasificación más empleados son los realizados según el medio (aire, agua, suelo, etc.) y según el elemento contaminante (plomo, bióxido de carbono, desechos sólidos, etc.) (De la Orden, 2007).

Es importante reconocer dos tipos básicos de contaminantes. En primer lugar, los contaminantes no degradables, esto es, los materiales y venenos, como los recipientes de aluminio, las sales de mercurio, las sustancias químicas fenólicas de cadena larga y el DDT (diclorodifeniltricloroetano) que o no se degradan, o lo hacen muy lentamente en el medio natural; en otros términos, son sustancias para las que aún no se ha desarrollado proceso de tratamiento que sea susceptible de compensar con la intensidad de suministro del hombre al ecosistema. Estos contaminantes no degradables no sólo se acumulan, sino que además resultan a menudo "magnificados biológicamente" a medida que circulan por los ciclos biogeoquímicos y a lo largo de las cadenas de alimentos. Esto significa que algunas sustancias a medida que pasan de un eslabón a otro de la cadena se concentran en lugar de dispersarse (De la Orden, 2007, p. 3). En segundo lugar, están los contaminantes biodegradables, como las aguas negras domésticas, que se descomponen rápidamente por medio de procesos naturales o en sistemas de ingeniería (como las plantas de tratamiento de aguas negras), que refuerza la gran capacidad de la naturaleza para descomponer y poner nuevamente en circulación al agua. Esta categoría incluye aquellas sustancias para las que existen mecanismos naturales de tratamiento de desechos. El calor, o la contaminación térmica, pueden considerarse como pertenecientes a esta categoría, puesto que son dispersados por medios naturales, al menos dentro de los límites impuestos por el equilibrio calórico total de la biosfera (De la Orden, 2007, pp. 4, 5).

Para Bermudez (2010), la contaminación es la presencia o incorporación al ambiente de sustancias o elementos tóxicos que son perjudiciales para el hombre o los ecosistemas (seres vivos). Existen diferentes tipos de contaminación, Los tipos de contaminación más importantes son los que afectan a los recursos naturales básicos: el aire, los suelos y el agua (ibid. p. 5).

Algunas de las alteraciones medioambientales más graves relacionadas con los fenómenos de contaminación son los escapes radiactivos, el smog, el efecto invernadero, la lluvia ácida, la destrucción de la capa de ozono, la eutrofización de las aguas o las mareas negras. Existen diferentes tipos de contaminación que dependen de determinados factores y que afectan distintamente a cada ambiente (Ghorani-Azam, Riahi-Zanjani, & Balali-Mood, 2016)

Un contaminante es cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio (irreversible o no) en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo. Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio ambiente, y generalmente, se genera como consecuencia de la actividad humana (MINAM, 2016).

Para que exista contaminación, la sustancia contaminante deberá estar en cantidad relativa suficiente como para provocar ese desequilibrio. Esta cantidad relativa puede expresarse como la masa de la sustancia introducida en relación con la masa o el volumen del medio receptor de la misma. Este cociente recibe el nombre de

concentración. Los agentes contaminantes tienen relación con el crecimiento de la población y el consumo (combustibles fósiles, la generación de basura, desechos industriales, etc.), ya que, al aumentar éstos, la contaminación que ocasionan es mayor (Al-Saad, Moniem, El-Azim, Naeem, & Alhafez, 2019).

Por su consistencia, los contaminantes se clasifican en sólidos, líquidos y gaseosos. Se descartan los generados por procesos naturales, ya que, por definición, no contaminan. Los agentes sólidos están constituidos por la basura en sus diversas presentaciones. Provocan contaminación del suelo, del aire y del agua. En el primero, porque produce microorganismos y animales dañinos; del aire, por que produce mal olor y gases tóxicos; y del agua porque la ensucia y no puede utilizarse (Bermudez, 2010). Los agentes líquidos incluyen las aguas negras, los desechos industriales, los derrames de combustibles derivados del petróleo, los cuales dañan básicamente el agua de ríos, lagos, mares y océanos, y con ello provocan la muerte de diversas especies. Los agentes gaseosos incluyen la combustión del petróleo (óxido de nitrógeno y azufre) y la quema de combustibles como la gasolina (que libera monóxido de carbono), la basura y los desechos de plantas y animales (Bermudez, 2010).

Todos los agentes contaminantes provienen de una fuente determinada y pueden provocar enfermedades respiratorias y digestivas. Es necesario que la sociedad humana tome conciencia del problema. Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, para la seguridad o para el bienestar de la población,

o que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o que impidan el uso habitual de las propiedades y lugares de recreación y el goce de los mismos (MINAM, 2016).

La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas o de mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales de los mismos o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público. Expertos en salud ambiental y cardiólogos de la Universidad de California del Sur demostraron por primera vez lo que hasta ese entonces era apenas una sospecha: la contaminación ambiental de las grandes ciudades afecta la salud cardiovascular. Se comprobó que existe una relación directa entre el aumento en la concentración de las partículas contaminantes del aire de la ciudad y el engrosamiento de la pared interna de las arterias (la llamada "íntima media"), que es un indicador comprobado de la arteriosclerosis (Bermudez, 2010)

El efecto persistente de la contaminación del aire respirado, en un proceso silencioso de años, conduce finalmente al desarrollo de afecciones cardiovasculares agudas, como el infarto. Al inspirar partículas ambientales con un diámetro menor de 2,5 micrómetros, ingresan en las vías respiratorias más pequeñas y luego irritan las paredes arteriales. Los investigadores hallaron que, por cada aumento de 10 microgramos por metro cúbico de esas partículas, la alteración de la pared íntima media de las arterias aumenta un 5,9 por ciento (Bermudez, 2010)

El humo del tabaco y el que en general proviene del sistema de escape de los automóviles produce la misma cantidad de esas partículas. Normas estrictas de aire limpio contribuirían a una mejor salud con efectos en gran escala. Uno más de los efectos es el debilitamiento de la capa de ozono, que protege a los seres vivos de la radiación ultravioleta del sol, debido a la destrucción del ozono estratosférico por cloro y bromo procedentes de la contaminación. El efecto invernadero está acentuado por el aumento de la concentración de CO₂ atmosférico y otros gases de efecto invernadero como, por ejemplo, el metano (Ghorani-Azam, Riahi-Zanjani, & Balali-Mood, 2016)

Los contaminantes no degradables: son aquellos contaminantes que no se descomponen por procesos naturales. Por ejemplo, son no degradables el plomo y el mercurio. La mejor forma de tratar los contaminantes no degradables (y los de degradación lenta) es por una parte evitar que se arrojen al medio ambiente y por otra reciclarlos o volverlos a utilizar. Una vez que se encuentran contaminando el agua, el aire o el suelo, tratarlos, o eliminarlos es muy costoso y, a veces, imposible (Masindi & Khathutshelo, 2018).

Contaminantes de degradación lenta o persistente: Son aquellas sustancias que se introducen en el medio ambiente y que necesitan décadas o incluso a veces más tiempo para degradarse. Ejemplos de contaminantes de degradación lenta o persistente son el DDT y la mayor parte de los plásticos (MINAM, 2016).

Los contaminantes degradables o no persistentes se descomponen completamente o se reducen a niveles aceptables mediante procesos naturales físicos, químicos y

biológicos (Hofer, 2014). Contaminantes biodegradables son los contaminantes químicos complejos que se descomponen (metabolizan) en compuestos químicos más sencillos por la acción de organismos vivos (generalmente bacterias especializadas). Ejemplo de este tipo de contaminación son las aguas residuales humanas en un río, las que se degradan muy rápidamente por las bacterias, a no ser que los contaminantes se incorporen con mayor rapidez de lo que lleva el proceso de descomposición (Rodriguez, McLaughilin, & Pennock, 2018)

Los contaminantes se dividen en tres grandes tipos: químicos, biológicos y físicos. Los contaminantes químicos son aquellos que alteran la composición del agua y/o reaccionan con ella. Los contaminantes físicos son los que no reaccionan con el agua, pero pueden dañar la vida en el ecosistema. Los contaminantes biológicos son organismos o microorganismos, que son dañinos o que se encuentran en exceso (plagas, como los lirios acuáticos, de rápida propagación) (Rodriguez, McLaughilin, & Pennock, 2018).

2.2 MARCO LEGAL

Decreto Legislativo N°613, (1990), se promulga el código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.

La Ley N° 25238, creó la Comisión Revisora del Proyecto de Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y facultó al Poder Ejecutivo para que, mediante Decreto Legislativo, promulgue dicho Código; Que, la mencionada Comisión Revisora ha presentado para su promulgación, el Proyecto de Código del Medio

Ambiente y los Recursos Naturales; de conformidad con los Artículos 188° y 211° inciso 10), de la Constitución Política del Perú; Con el voto aprobatorio del Consejo de Ministros y, Con cargo de dar cuenta al Congreso (p. 1).

Ley 26821 (1997), Ley orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, la cual considera como recurso natural a las aguas superficiales y subterráneas (p. 1).

Decreto Ley N°17752, (1969), Ley General de Aguas, que establece el uso justificado y racional de este recurso en armonía con el interés social y el desarrollo del país (p. 2).

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Contaminación

Diccionario Enciclopédico Larousse (2007), acción y efecto de contaminar o de contaminarse. La contaminación del suelo se debe esencialmente a los residuos agrícolas y urbanos. La primera es relativamente escasa, pero la segunda (básicamente basura doméstica e industriales) plantea problemas debido a su abundancia y a su variada composición. Algunos residuos son biodegradables (papeles, residuos alimentarios) y otros pueden ser reciclados (vidrios, metales, cartones); otros aún, como los plásticos, deben ser incinerados. La contaminación de las aguas la producen sobre todo las aguas de alcantarillado, los efluentes industriales y las mareas negras (Diccionario Enciclopédico Larousse, 2007, p. 282; Reddy, 2017).

Metales pesados

Alarcón-Corredor (2009) y Cjorgieva (2018) señalan que, químicamente corresponden a los elementos de transición, pero también se incluyen elementos no metálicos, Al (III); Pb (IV); As (V), Se (VI). Tienen una densidad > 5 g/cm. Su concentración en sedimentos es muy baja ($< 0,1\%$). Son esenciales y tóxicos.

Hortalizas

Diccionario Enciclopédico Larousse (2007), planta de huerta cuyos frutos, semillas, hojas, tallos o raíces son comestibles. Se consideran hortalizas las raíces: rábano, zanahoria, remolacha; bulbos o tubérculos: cebolla, ajo; flores e inflorescencias: coliflor, alcachofa; frutos y semillas: pepino, berenjena; hojas: lechuga y muchas legumbres: frijoles o judías, arvejas o guisantes (p. 535).

Aguas residuales

Pramparo (2016), pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (p. 6).

Larios - Meño, González, & Morales (2015), señalan que, según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden

agregarse eventualmente al agua residual. Así, de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

Domésticas: son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares (Hadi, 2018).

Industriales: son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria (Maulin, 2017).

Infiltración y caudal adicionales: las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. (Blazquez & Montero, 2010, p. 6).

Suelos de cultivo

Villasanti, Chávez, & Díaz (2013), lo definen como la capa superior de la tierra en donde se desarrollan las raíces de las plantas, esta capa es un gran depósito de agua y alimentos del que las plantas toman las cantidades necesarias para crecer y producir cosechas. El suelo se considera un ser vivo. El suelo es importante para el hombre porque en él se desarrollan las plantas, de las cuales obtienen los alimentos y materiales para su abrigo y comodidad.

Los suelos se forman debido a la descomposición de las rocas. Las rocas se van desmoronando y convirtiéndose en partículas o pedazos pequeños por la acción del tiempo, del viento, del calor, del frío, de la sequía, de la lluvia y del hombre. Estas

partículas se van mezclando con los residuos de los animales y vegetales en un proceso muy lento, la formación de una pequeña capa necesita de millones de años (Balasubramanian, 2017)

Plantas hiperacumuladoras

Diaz, (2012), señala que, todas las plantas poseen un potencial para absorber una amplia variedad de metales del suelo, pero la mayor parte de las plantas tienden solamente a absorber los que son esenciales para su supervivencia y desarrollo. Existe una notable excepción de esta regla de un pequeño grupo de plantas que pueden tolerar, absorber y translocar altos niveles de ciertos metales, estas plantas reciben el nombre de hiperacumuladoras (Anjos, Piotto, Correa, & Antunes, 2013)

Una definición propone que, si una planta contiene más de 0,1 % de Ni, Co, Cu, Cr y Pb o 1 % del Zn en sus hojas sobre una base del peso seco, ésta puede ser llamada una hiperacumuladora, independientemente de la concentración del metal en el suelo (Diaz, 2012).

Desarrollo sostenible

Toro (2007) y Emas (2015) señalan que, el Informe Brundtland (IB) define tal término, que podríamos traducir al castellano como aquel «desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades» ((Toro, 2007, p. 156). Este hecho constituye una muestra puntual de cómo esta especie de imperativo, redactado a modo de artículo constitucional, y de las propuestas de fondo del Informe,

han posibilitado generar una unanimidad en torno a la necesidad de un desarrollo sostenible (Emas, 2015).

2.4 MARCO FILOSÓFICO

Bueno (1992) sostiene que la causalidad es una Categoría filosófica que denota la conexión necesaria de los fenómenos, uno de los cuales (denominado causa) condiciona a otro (denominado efecto). Se distingue la causa absoluta y la causa específica. La causa absoluta es el conjunto de todas las circunstancias cuya presencia determina necesariamente el efecto. La causa específica es el conjunto de circunstancias cuya aparición (ante muchas otras circunstancias que existen ya en la situación dada antes de que se produzca el efecto y que forman las condiciones para que la causa actúe) lleva a la aparición del efecto. Establecer la causa absoluta sólo resulta posible en casos relativamente sencillos; por lo común, la investigación científica se orienta hacia el descubrimiento de las causas específicas de un fenómeno dado.

El problema de la causalidad es campo de una enconada lucha entre materialismo e idealismo. El materialismo defiende la tesis de que la causalidad posee un carácter objetivo y universal, considera los nexos causales como nexos de las mismas cosas, los cuales existen fuera de la conciencia e independientemente de ella. El idealismo subjetivo o bien niega en general la causalidad reduciéndola a una mera sucesión de sensaciones habitual para el hombre (Hume), o bien, reconociendo que la causalidad constituye un nexo necesario, estima que el sujeto cognoscente la aporta al mundo de los fenómenos (carácter apriorístico de la causalidad, Kant). El idealismo objetivo

puede reconocer la existencia de la causalidad independiente del sujeto cognoscente, pero ve sus raíces en el espíritu, en la idea, en el concepto, a los que considera independientes del sujeto. El materialismo dialéctico no sólo reconoce el carácter objetivo y universal de la causalidad, sino que además rechaza la visión simplista de la misma, en particular la contraposición –característica de la metafísica– de causa a efecto y viceversa, a los que considera como momentos de una interacción en la cual el efecto, determinado por la causa, desempeña a su vez un papel activo, ejerciendo una acción inversa sobre la causa. Las conexiones causales poseen un carácter multiforme y no es posible reducirlas a un solo tipo, como hacía el materialismo metafísico (por ejemplo, el determinismo de Laplace, que asignaba un valor absoluto a la causalidad mecánica) (Bueno, 1992).

La categoría de causalidad constituye una de las categorías de la investigación científica que, en última instancia, siempre se orienta hacia el descubrimiento de las principales dependencias causales (Cortes, 2018).

Considero que en la naturaleza todo tiene una secuencia lógica, los fenómenos naturales, la propia vida, en fin, todo lo que ocurre en la naturaleza tiene relación causa-efecto. Los filósofos antiguos, para explicar el origen de la vida también lo hacían considerando esta relación de causa-efecto, asumiéndose como una conexión necesaria, ya que si conocemos la causa podemos deducir el efecto, y también ocurre en el sentido contrario, si conocemos el efecto podemos investigar la causa que ha producido dicho efecto (Cortes, 2018).

Los materialistas sostienen que la causalidad posee un carácter objetivo y universal, y considera los nexos causales como nexos de las mismas cosas, los cuales existen fuera de la conciencia e independientemente de ella, es cierto porque así suceden por ejemplo los fenómenos de la naturaleza, éstos ocurren fuera de la conciencia del hombre, y también independientemente de ella; es más de acuerdo al principio de actividad aplicado a la naturaleza, todo hecho o fenómeno se encuentra íntimamente relacionado entre sí, se relacionan unos a otros. No se presentan aislados sino formando parte de una cadena, en la que cada eslabón es un hecho y son necesarios conocerlos todos para dar una explicación correcta del fenómeno o hecho, asimismo se debe tener en cuenta que todo se transforma en nuestro alrededor; todo disminuye o crece, los hechos que se dan en la naturaleza se encuentran en transformación permanente tanto cualitativa como cuantitativamente. Por ejemplo, el relieve y situación de un lugar determinado son factores que influyen en el clima, este influye en el tipo de vegetación, ésta a su vez, en el tipo de fauna y de ganadería, y todos estos factores juntos están relacionados con la vida de las sociedades, ocurren independientemente de nuestra conciencia (Walkley, 2018).

Cuando se realizan experimentos en el laboratorio, se sabe lo que ocurrirá, o se espera obtener lo que se ha programado, esto es totalmente una relación causa-efecto, además, puede haber una sucesión de causas y efectos, no podemos decir que es producto de la casualidad, sino que obedece a la causalidad de acuerdo al fenómeno químico que está ocurriendo (Kumar, Mohammad, & Roychoudhury, 2016).

Teniendo en cuenta estas bases que sustentan la filosofía, la presente investigación, está condicionada por una causa, la presencia de los efluentes de la planta de tratamiento de Totorá, que contamina por metales pesados los suelos y las hortalizas, que en este caso viene a ser el efecto.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo aplicada y de nivel explicativo y cuantitativo (Baimyrzaeva, 2018), diseño experimental debido a que se utilizan los conocimientos acerca de la contaminación que causan los metales pesados contenidos en los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá en las hortalizas regadas con dichos efluentes. Asimismo, se determinó mediante la experimentación la absorción de los metales pesados en las hortalizas regadas con efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

Población: terrenos sembrados con Hortalizas en la Comunidad de Totorá.

3.2.2. Muestra

Hortalizas en parcela seleccionada.

Muestreo: probabilístico por conveniencia.

Unidad de análisis: tres tipos de hortalizas (rabanito, espinaca y lechuga).

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable independiente

Efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá.

3.3.2 Variable dependiente

Contaminación de las hortalizas por metales pesados.

Indicadores

1. Cadmio
2. Cromo
3. Plomo

La operacionalización de variables es como sigue:

Variable independiente (X)

Efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá.

X₁: Concentración de cadmio en los efluentes de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales Totorá.

X₂: Concentración de cromo en los efluentes de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales Totorá.

X₃: Concentración de plomo en los efluentes de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales Totorá.

Variable dependiente (Y)

Contaminación de las hortalizas por metales pesados.

Y₁: Concentración de cadmio en hortalizas regadas con efluentes de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales Totorá.

Y₂: Concentración de cromo en hortalizas regadas con efluentes de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales Totorá.

Y₃: Concentración de plomo en hortalizas regadas con efluentes de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales Totorá.

En la tabla 3.1 se muestra la matriz de operacionalización de las variables independiente y dependiente del presente estudio.

Tabla 3.1

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR
Efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá		
Contaminación de las hortalizas por metales pesados	Metales pesados	Concentración de cadmio Concentración de cromo Concentración de plomo

Fuente: Elaboración propia

3.4 INSTRUMENTOS

Los instrumentos utilizados para la determinación de los metales pesados en los efluentes de aguas residuales y en las hortalizas fueron la observación y los resultados de los análisis de los metales pesados, cadmio, cromo y plomo, determinados mediante análisis de ICP-OES.

3.5 PROCEDIMIENTOS

3.5.1 Procedimiento general para el desarrollo de la investigación

Para la investigación se siguió el siguiente procedimiento:

- a. Visita de reconocimiento del lugar.
- b. Ubicación de las parcelas para la investigación.
- c. Identificación aleatoria de los puntos de muestreo.
- d. Recopilación de muestras de agua, suelo y hortalizas en el área de estudio.
- e. Tipo de muestreo:
 - Agua: aleatorio por conveniencia
 - Suelo: Aleatorio sistemático.
 - Hortalizas: Aleatorio sistemático
- f. Proceso de preparación de muestras y análisis instrumental para la determinación de metales pesados.
- g. Tabulación y presentación de resultados de los análisis
- h. Comparación de los resultados con los estándares internacionales sobre la cantidad de metales pesados permisibles en hortalizas.
- i. Conclusiones y validación de la hipótesis.

3.5.2 Ubicación del área de estudio

Totora está ubicada en el distrito Jesús Nazareno, en la provincia de Huamanga, a 2610 m.s.n.m.



Figura 3.1 Ubicación del Área de Estudio.

<https://www.google.com/maps/@-13.1394753,-74.2068632,400m/data=!3m1!1e3?hl=es-ES>

En las figuras 3.2 y 3.3 se muestran las parcelas preparadas para el cultivo de las hortalizas: rabanito, espinaca y lechuga.



Figura 3.2 Preparación de las Parcelas para Sembrar Rabanito, Espinaca y Lechuga para ser Regadas con Agua Servida.



Figura 3.3 Preparación de las Parcelas para Sembrar Rabanito, Espinaca y Lechuga para ser Regadas con Agua de Suministro de Totorá.

3.5.3 Determinación de metales pesados en los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá y en agua de suministro

Se recolectaron muestras de agua en frascos de polietileno de 1 L de capacidad. Las muestras se preservaron con ácido nítrico ($\text{pH} < 2$). Los metales pesados se determinaron por ICP-OES.



Figura 3.4 Efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.



Figura 3.5 Muestreo de agua de los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

3.5.4 Determinación de metales pesados en los suelos de cultivo

Se tomaron muestras a 20 cm de profundidad del suelo. Los metales pesados se determinaron por ICP-OES, previo tratamiento.



Figura 3.6 Muestreo de Suelo.

3.5.5 Determinación de metales pesados en las Hortalizas

Para cada hortaliza se tomaron muestras de cada parcela, al momento de la cosecha y los metales pesados se determinaron por ICP-OES.

Para la investigación se sembraron en el mes de mayo del 2018 rabanito, espinaca y lechuga en parcelas, como se muestra en la figura 3.7, las que fueron regadas con dos fuentes de agua: efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá (agua servida) y con agua de suministro de totorilla (agua de caño).

Previo a la presente investigación se realizó un ensayo preliminar de octubre 2017 a enero 2018 (Anexo 1). Se sembraron también rabanito, espinaca y lechuga, en un terreno aproximadamente a 1 Km de la salida del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá. Las hortalizas fueron regadas, con dos fuentes de agua: efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá (agua servida), A₁ y agua canalizada de otra fuente (ojos de agua del riachuelo Chaquihuaycco y río Alameda, A₂).

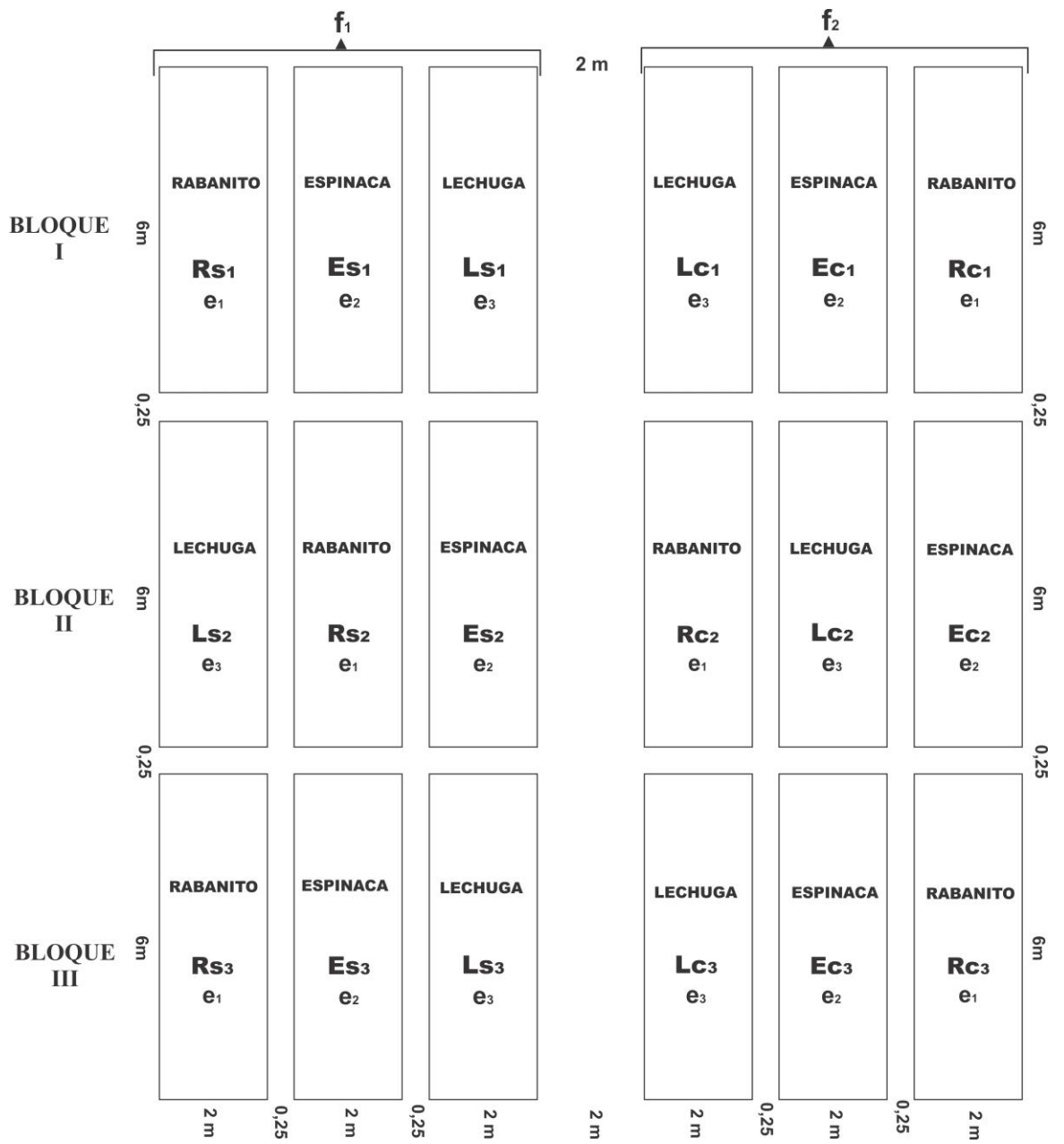


Figura 3.7 Distribución de Parcelas para el Sembrado de Hortalizas.

Tabla 3.2

Simbología utilizada de las fuentes de agua de riego y hortalizas.

Rabanito (e₁)			
Agua de riego	Bloque I	Bloque II	Bloque III
Agua servida (As)	Rs ₁	Rs ₂	Rs ₃
Agua de caño (Ac)	Rc ₁	Rc ₂	Rc ₃
Espinaca (e₂)			
Agua de riego	Bloque I	Bloque II	Bloque III
Agua servida (As)	Es ₁	Es ₂	Es ₃
Agua de caño (Ac)	Ec ₁	Ec ₂	Ec ₃
Lechuga (e₃)			
Agua de riego	Bloque I	Bloque II	Bloque III
Agua servida (As)	Ls ₁	Ls ₂	Ls ₃
Agua de caño (Ac)	Lc ₁	Lc ₂	Lc ₃

Fuente: Elaboración propia.

3.6 ANÁLISIS DE DATOS

Para la recolección de datos se empleó la técnica de observación sistemática controlada.

Elaboración de Instrumentos de Medición: Selección de Pruebas Estadística: arreglo factorial de 2Fx3E (F: fuente de agua servida y de caño; E: especie de hortalizas; rabanito, espinaca y lechuga), en diseño de bloques completos aleatorizados en parcelas divididas.

Modelo de ANDEVA (ANOVA en inglés). En este caso comparamos las estimaciones de la varianza entre muestras (Fallas, 2012).

El procesamiento de datos se realizó utilizando el sistema SAS (Statistical Analysis System), versión 9.1.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Los resultados obtenidos de la absorción de metales pesados, cadmio, cromo y plomo, en las hortalizas seleccionadas para el presente estudio, rabanito, espinaca y lechuga, regadas con los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá, y con agua de suministro (agua de caño), muestran diferencias, entre una y otra hortaliza.

En las figuras 4.1 y 4.2 se muestran las parcelas sembradas con rabanito, espinaca y lechuga, regadas con agua servida y con agua de suministro (caño) respectivamente.



Figura 4.1 Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga, Regadas con Agua Servida.



Figura 4.2. Parcelas sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga Regadas con Agua de Caño.

En las figuras 4.3 y 4.4 se muestran las parcelas regadas con agua servida y con agua de caño respectivamente.



Figura 4.3 Parcelas Regada con Agua Servida a los 18 días.



Figura 4.4 Parcelas Regada con Agua de Suministro (caño) a los 18 días.

En las figuras 4.5 - 4.10 se muestran los cultivos de rabanito, espinaca y lechuga, durante su crecimiento.



Figura 4.5 Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga luego de 30 días
(Regada con agua servida).



Figura 4.6 Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga luego de 30 días
(Regada con agua de caño).



Figura 4.7 Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga luego de 37 días
(Regada con agua servida).



Figura 4.8 Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga luego de 37 días (Regada con agua de caño).

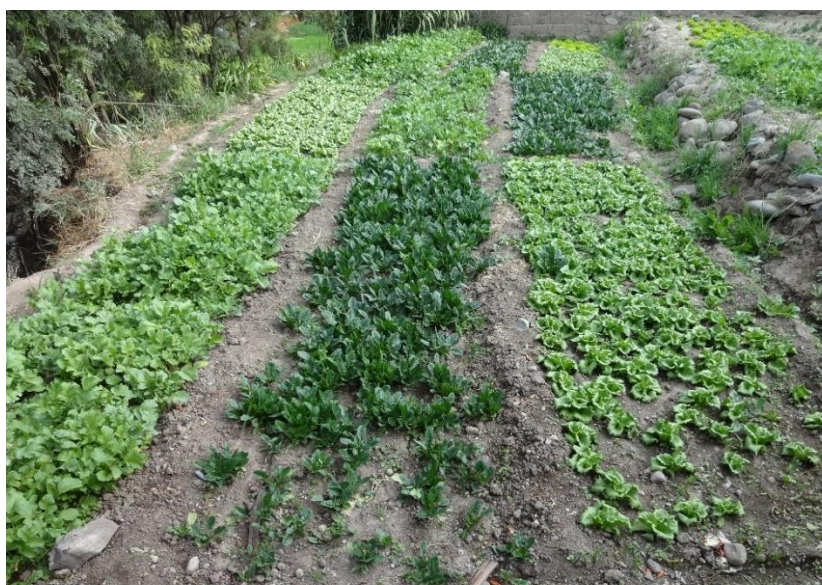


Figura 4.9 Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga luego de 45 días (Regada con agua servida).



Figura 4.10 Parcelas Sembradas con Rabanito, Espinaca y Lechuga luego de 45 días (Regada con agua de caño).

Para el análisis de metales pesados el rabanito se cosechó a los 47 días, la espinaca a los 67 días y la lechuga a los 95 días.

Los resultados de los análisis ICP OES, de cadmio, cromo y plomo en suelo, agua y hortalizas se muestran en las tablas 4.1 al 4.6.

Tabla 4.1

Metales pesados en suelo (para ser regadas con agua servida, Ss y con agua de caño, Sc).

METALES PESADOS	Ss mg/Kg	Sc mg/Kg
Cd	<0,0426	<0,0426
Cr	33,8783	36,2453
Pb	14,7599	13,3194

Fuente: Resultados obtenidos por ICP-OES, Instituto de Corrosión y Protección-

PUCP.

Tabla 4.2

Metales pesados en agua servida y agua de caño.

METALES PESADOS	As mg/L	Ac mg/L
Cd	0,0009	N.D.
Cr	0,0062	<0,0007
Pb	0,0054	0,0022

Fuente: Resultados obtenidos por ICP-OES, Instituto de Corrosión y Protección-PUCP.

Tabla 4.3

Metales pesados, cadmio, cromo y plomo, en rabanito, regadas con agua servida y con agua de caño

METALES PESADOS	Rs₁ mg/Kg	Rs₂ mg/Kg	Rs₃ mg/Kg	Rc₁ mg/Kg	Rc₂ mg/Kg	Rc₃ mg/Kg
Cd	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cr	0,83	1,35	1,47	0,69	0,95	0,71
Pb	0,24	0,26	0,29	0,16	0,27	0,19

Fuente: Resultados obtenidos por ICP-OES, Instituto de Corrosión y Protección-PUCP.

Tabla 4.4

Metales pesados, cadmio, cromo y plomo, en espinaca, regadas con agua servida y con agua de caño

METALES PESADOS	Es₁ mg/Kg	Es₂ mg/Kg	Es₃ mg/Kg	Ec₁ mg/Kg	Ec₂ mg/Kg	Ec₃ mg/Kg
Cd	0,43	0,41	0,42	0,18	0,16	0,19
Cr	0,61	0,69	0,87	1,61	1,63	0,83
Pb	0,12	0,19	0,21	0,29	0,44	0,28

Fuente: Resultados obtenidos por ICP-OES, Instituto de Corrosión y Protección-PUCP.

Tabla 4.5

Metales pesados, cadmio, cromo y plomo, en lechuga, regadas con agua servida y con agua de caño

METALES PESADOS	Ls₁ mg/Kg	Ls₂ mg/Kg	Ls₃ mg/Kg	Lc₁ mg/Kg	Lc₂ mg/Kg	Lc₃ mg/Kg
Cd	0,19	0,18	0,16	0,21	0,12	0,09
Cr	1,34	1,53	1,60	1,13	5,20	4,99
Pb	0,28	0,14	0,24	0,16	0,57	0,49

Fuente: Resultados obtenidos por ICP-OES, Instituto de Corrosión y Protección-PUCP.

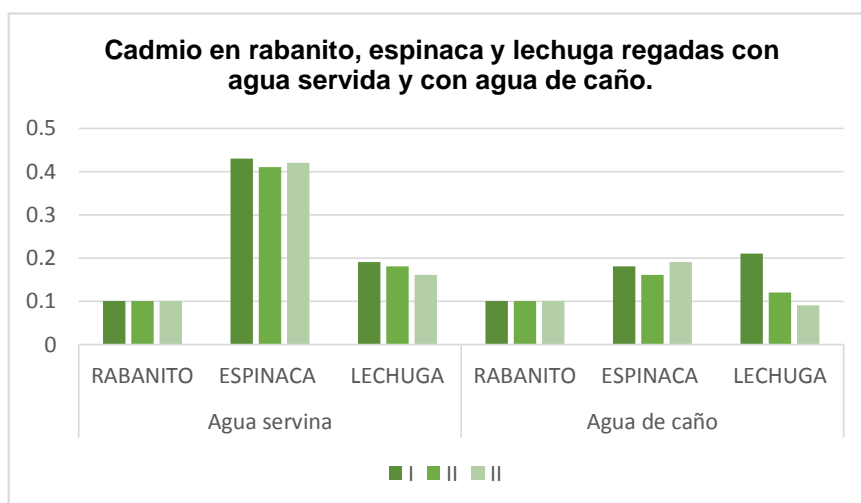


Figura 4.11 Concentración de Cadmio (mg/Kg) en Rabanito, Espinaca y Lechuga, Regadas con Agua Servida y con Agua de Caño.

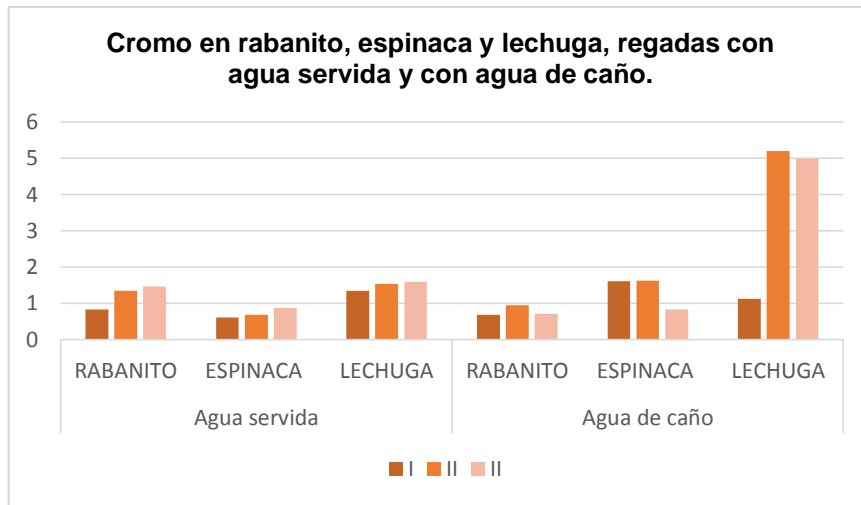


Figura 4.12 Concentración de Cromo (mg/Kg) en Rabanito, Espinaca y Lechuga, Regadas con Agua Servida y con Agua de Caño.

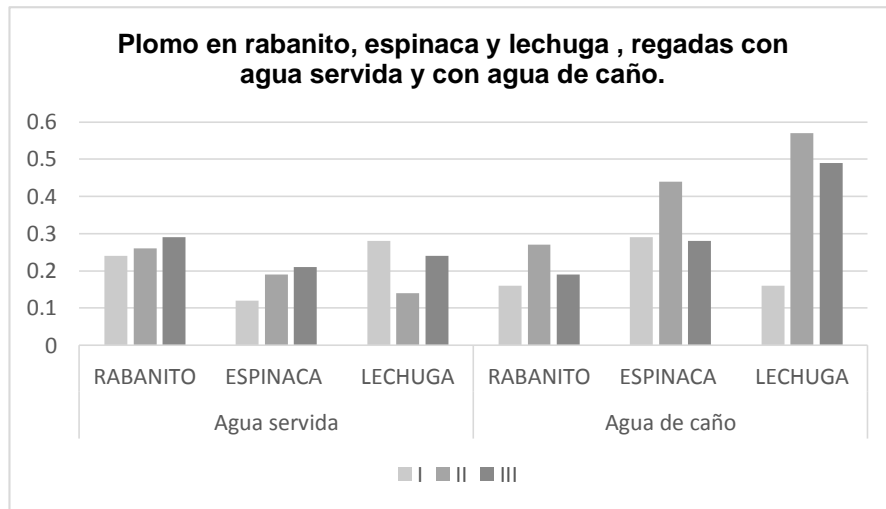


Figura 4.13 Concentración de Plomo (mg/Kg) en Rabanito, Espinaca y Lechuga, Regadas con Agua Servida y con Agua de Caño.

En la tabla 4.6 se muestra el análisis de varianza del contenido de cadmio, en rabanito, espinaca y lechuga.

Tabla 4.6

Análisis de varianza del contenido de cadmio en tres hortalizas regadas con dos fuentes de agua.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Bloque	2	0,00234444	0,00117222	1,57	0,2651
Fuente (F)	1	0,03920000	0,03920000	123,79	0,0080
Error (a)	2	0,00063333	0,00031667		
Especie (E)	2	0,12467778	0,06233889	83,74	<0,0001
F*E	2	0,05163333	0,02581667	34,68	0,0001
Error (b)	8	0,00595556	0,00074444		
Total corregido	17	0,22444444			

CV= 14,70

En la tabla 4.7 y figura 4.14 se muestra la absorción de cadmio en rabanito, espinaca y lechuga, regadas con agua servida y con agua de suministro.

Tabla 4.7

Absorción de Cadmio por tres hortalizas regadas con dos fuentes de agua.

FUENTE DE AGUA	ESPECIE	CADMIO mg/Kg	SIGNIFICANCIA
Servida	Espinaca	0,42000000	a
	Lechuga	0,17666667	b
	Rabanito	0,10000000	c
Caño	Espinaca	0,17666667	a
	Lechuga	0,14000000	b
	Rabanito	0,10000000	c

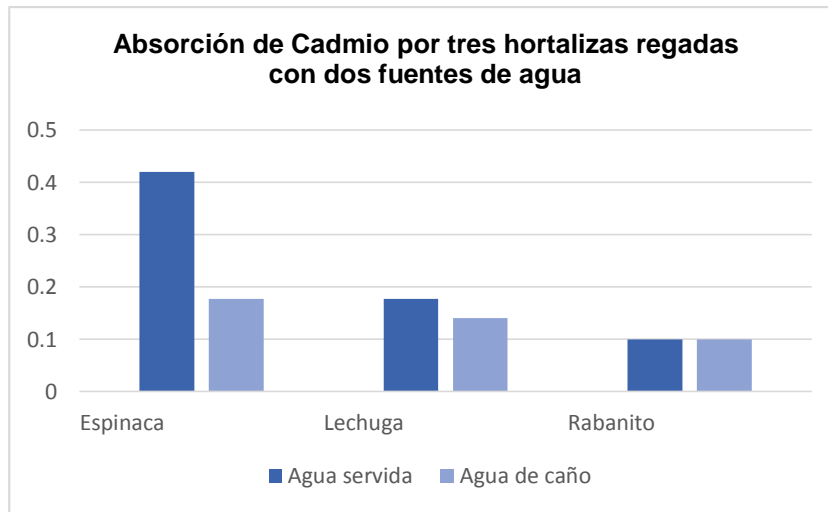


Figura 4.14 Absorción de Cadmio (mg/Kg) por Tres Hortalizas Regadas con dos Fuentes de Agua.

Con respecto al cadmio:

H₀: HIPÓTESIS NULA

Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá no inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por cadmio en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.

H₁: HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por cadmio en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para la absorción de cadmio (Tabla 4.6), muestran diferencias altamente significativas (menor a 0,01), para todas las fuentes de variación: fuente de agua (0,008), especie (<0,0001), e interacción fuente*especie (0,0001). Estos resultados indican que la fuente de agua servida y la de caño, así como las especies influyen en la absorción de cadmio, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

En la tabla 4.8 se muestra el análisis de varianza del contenido de cromo en rabanito, espinaca y lechuga, regadas con agua servida y agua de caño.

Tabla 4.8

Análisis de varianza del contenido de cromo en tres hortalizas regadas con dos fuentes de agua.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Bloque	2	2,51897778	1,25948889	1,31	0,3218
Fuente (F)	1	3,08347222	3,08347222	5,82	0,1372
Error (a)	2	1,05897778	0,52948889		
Especie (E)	2	10,39467778	5,19733889	5,41	0,0327
F*E	2	5,62027778	2,81013889	2,92	0,1113
Error (b)	8	7,68617778	0,96077222		
Total corregido	17	30,36256111			

CV= 62,94

En la tabla 4.9 y figura 4.15 se muestra la absorción de cromo por tres hortalizas (rabanito, espinaca y lechuga), regadas con dos fuentes de agua (agua servida y agua de caño).

Tabla 4.9

Absorción de Cromo por tres hortalizas regadas con dos fuentes de agua.

ESPECIE	CROMO mg/Kg	SIGNIFICANCIA
Lechuga	2,6317	a
Espinaca	1,0400	ab
Rabanito	1,0000	b

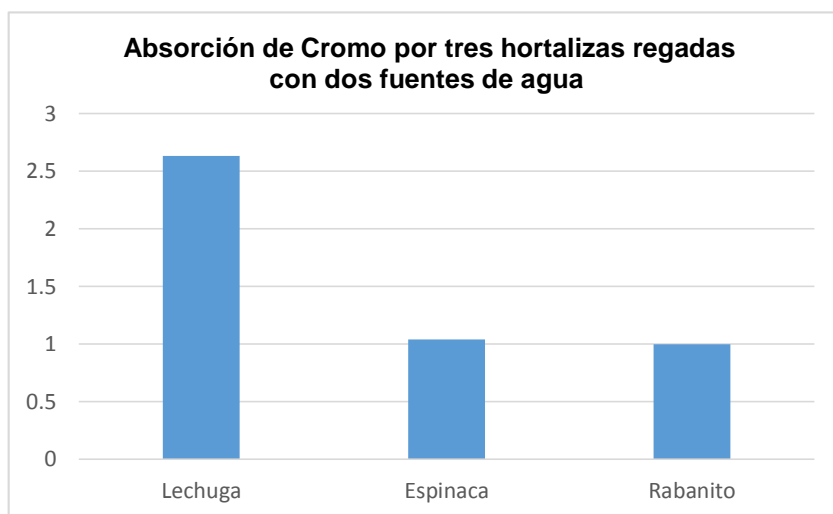


Figura 4.15 Absorción de Cromo (mg/Kg) por Tres Hortalizas Regadas con dos Fuentes de Agua.

Con respecto al cromo:

H₀: HIPÓTESIS NULA

Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá no inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por cromo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.

H₁: HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por cromo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para la absorción de cromo (Tabla 4.8), muestran para la fuente significancia 0,1372 (mayor a 0,05), para la especie significancia 0,0327 (menor a 0,05), es decir no hay diferencia entre las fuentes de agua, pero hay diferencia entre la absorción de cromo por las especies utilizadas, rabanito, espinaca y lechuga, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

En la tabla 4.10 se muestra el análisis de varianza del contenido de plomo, en rabanito, espinaca y lechuga.

Tabla 4.10

Análisis de varianza del contenido de plomo en tres hortalizas regadas con dos fuentes de agua.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Bloque	2	0,03421111	0,01710556	2,52	0,1420
Fuente (F)	1	0,04302222	0,04302222	1,93	0,2991
Error (a)	2	0,04454444	0,02227222		
Especie (E)	2	0,01987778	0,00993889	1,46	0,2876
F*E	2	0,05407778	0,02703889	3,98	0,0632
Error (b)	8	0,054437778	0,00679722		
Total corregido	17	0,25011111			

CV= 30,79

Con respecto al plomo:

H₀: HIPÓTESIS NULA

Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá no inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por plomo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.

H₁: HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por plomo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para la absorción de plomo (Tabla 4.10), muestran para la fuente significancia 0,2991 (mayor a 0,05), para la especie significancia 0,2876 (mayor a 0,05) y para la interacción fuente*especie significancia 0,0632 (mayor a 0,05), lo que significa que no tienen influencia ni la fuente de agua, ni la especie (hortaliza), por lo que se acepta la hipótesis nula.

Con respecto a la hipótesis general:

H₀: HIPÓTESIS NULA

Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá no inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la Comunidad de Totorá-Ayacucho 2017-2018.

H₁: HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totora inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la Comunidad de Totora-Ayacucho 2017-2018.

Los metales pesados cadmio y cromo contenidos en los efluentes la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totora, inciden directamente en la contaminación de las hortalizas estudiadas, (rabanito, espinaca y lechuga), tal como se ha explicado líneas arriba; para el caso del plomo no se ha determinado dicha influencia, sin embargo en los tres casos la concentración de estos metales están por encima de los límites máximos permisibles, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

En la tabla 4.2 se muestra el análisis cadmio, cromo y plomo en las dos fuentes de agua utilizadas para el riego de las hortalizas, se observa que en el agua servida el contenido de cadmio (0,0009 mg/L), cromo (0,0062 mg/L) y plomo (0,0054 mg/L) se encuentra por debajo del límite máximo permisible; asimismo en el agua de caño el contenido de cadmio (N.D.), cromo (<0,0007 mg/L) y plomo (0,0062 mg/L), se encuentran por debajo del límite máximo permisible (Salud., 2011) (tabla 4.11), (MINAM D. s.-2., 2008) (tabla 4.12), pero comparando en las dos fuentes de agua, no se encuentra cadmio en agua de caño, pero si en el agua servida; el contenido de cromo en el agua de caño es mucho menor que en agua servida y el contenido de plomo en el agua de caño es menor que en agua servida.

Tabla 4.11

Límite máximo permisible de metales pesados en agua para consumo humano.

METALES PESADOS	UNIDAD DE MEDIDA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Cadmio	mg/L	0,003
Cromo	mg/L	0,050
Plomo	mg/L	0,010

Fuente: Dirección General de Salud Ambiental- Ministerio de Salud. DS N°031-2010.

Tabla 4.12

Estándares nacionales de caudal ambiental para agua categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales

METALES PESADOS	UNIDAD DE MEDIDA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Cadmio	mg/L	0,005
Cromo	mg/L	0,100
Plomo	mg/L	0,050

Fuente: MINAM-Decreto Supremo N°002-2008.

En la tabla 4.3 se muestra el contenido de cadmio, cromo y plomo en rabanito; se observa que los que fueron regados con agua servida y con agua de caño muestran el contenido de cadmio por debajo del límite permisible, el contenido de cromo, tanto en las que fueron regadas con agua servida como con el agua de caño, se encuentra por encima del límite permisible, asimismo el contenido de plomo en ambos casos, se encuentran por encima del límite permisible (Europea, 2017)(tabla 4.13).

Tabla 4.13

Límite máximo permisible de metales pesados en hortalizas.

METALES	HORTALIZAS		
	RABANITO (mg/Kg)	ESPINACA (mg/Kg)	LECHUGA (mg/Kg)
Cadmio	0,10	0,20	0,20
Cromo	0,10	0,10	0,10
Plomo	0,10	0,30	0,30

Fuente: Metales Pesados Revisión Marzo 2017. UNION EUROPEA.

En la tabla 4.4 se muestra el contenido de cadmio, cromo y plomo en espinaca; se observa que el contenido de cadmio en las que fueron regadas con agua servida, es mayor que el permisible y en las que fueron regadas con agua de caño, menor que el permisible. El contenido de cromo, en ambos casos, es mayor que el permisible y el contenido de plomo, en las espinacas regadas con agua servida y con agua de caño, es menor que el permisible.

En la tabla 4.5 se muestra el contenido de cadmio, cromo y plomo en lechuga; se observa que el contenido de cadmio en las lechugas regadas con agua servida y con agua de caño, son menores que el permisible. El contenido de cromo, tanto en las lechugas regadas con agua servida como las regadas con agua de caño, es mayor que el permisible. El contenido de plomo, en las lechugas regadas con agua servida, es menor que el permisible y en las lechugas regadas con agua de caño es mayor.

En la tabla 4.6 se muestra el análisis de varianza del contenido de cadmio en las tres hortalizas seleccionadas para el presente estudio, rabanito, espinaca y lechuga, regadas con dos fuentes de agua, servida y de caño. Se observa alta significancia estadística para la fuente de agua como para la especie; sin embargo, la interacción fuente*especie, al resultar con alta significancia estadística, exige realizar el análisis de efectos simples (tabla 4.7). El coeficiente de variación es 14,7%.

En la tabla 4.7, se muestra la absorción de cadmio por las tres hortalizas (rabanito, espinaca y lechuga), regadas con agua servida y de caño (prueba de Tukey). Para el caso de las hortalizas regadas con agua servida la espinaca es la que alcanza una mayor concentración (0,42 mg/Kg) respecto al alcanzado por la lechuga (0,17 mg/Kg) y el rabanito (0,10 mg/Kg). Con el agua de caño, ocurre la misma tendencia (espinaca, lechuga y rabanito), pero con menores niveles de absorción, particularmente con la espinaca.

En la tabla 4.8 se muestra el análisis de varianza del contenido de cromo en rabanito, espinaca y lechuga, regadas con agua servida y agua de caño. Se observa que la fuente no tiene significancia estadística, pero sí la especie, por lo que fue necesario realizar la prueba de Tukey (tabla 4.9).

En la tabla 4.9 se muestra la absorción de cromo por rabanito, espinaca y lechuga regadas con agua servida y agua de caño; la absorción de cromo por la lechuga (2,632 mg/Kg), regada con agua servida y agua de caño es estadísticamente superior al del rabanito (1,000 mg/Kg).

En la tabla 4.10 se muestra el análisis de varianza del contenido de plomo en las tres hortalizas, rabanito, espinaca y lechuga, regadas con dos fuentes de agua, servida y de caño. Se observa que la fuente, la especie y la interacción fuente*especie, no alcanzan significancia estadística, indicando que en el contenido de plomo en la planta no tiene influencia ni la fuente de agua, ni la especie (hortaliza).

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las hortalizas utilizadas para el presente estudio, rabanito, espinaca y lechuga, se sembraron en un terreno homogéneo, de acuerdo a la distribución que se muestra en la figura 3.9. Esta distribución obedece a un diseño factorial 2Fx3E (F: fuente de agua, servida y de caño, y E: especie de hortaliza, rabanito, espinaca y lechuga), en parcelas divididas, diseño de bloques completos aleatorizados (Di-Rienzo, y otros, 2008). Para el estudio se utilizó dos fuentes de agua, que son, agua servida procedente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá y agua de suministro de totorilla (agua de caño). El diseño de bloques completos al azar implica que en cada bloque hay una sola observación de cada tratamiento. El orden en que se corren los tratamientos dentro de cada bloque es aleatorio. Los efectos de tratamiento y bloques son aditivos, esto significa que no hay interacción entre tratamientos y bloques, es decir, la relación entre tratamientos es la misma en cada uno de los bloques (Mendiburo, 2005; Gutierrez, 2015)

Las fechas de cosecha de las hortalizas, para el análisis de metales pesados, se determinaron según el estado de maduración o aptos para el consumo de cada hortaliza, éstas varían de una especie a otra. En la investigación el rabanito se cosechó a los 47 días, la espinaca los 67 y la lechuga a los 95 días.

La absorción de cadmio de las hortalizas regadas con agua servida y agua de caño, según el análisis de varianza, la alta significancia estadística de la fuente de agua quiere decir que hay diferencia en el efecto que tiene la fuente de agua, asimismo, la alta significancia estadística que tiene la especie, también nos indica que el cadmio es absorbido de manera diferente por las hortalizas. La interacción fuente*especie, con significancia alta, indica la influencia de la interacción que hay entre la fuente y la especie. La absorción de cadmio de las hortalizas regadas con agua servida, lechuga (0,42 mg/Kg) es mayor que la de la espinaca (0,17 mg/Kg) y la del rabanito 0,1 mg/Kg). Lo mismo ocurre con la absorción de cadmio de las hortalizas regadas con agua de caño, lechuga (0,17mg/Kg), espinaca (0,14 mg/Kg) y rabanito (0,10 mg/Kg). Sin embargo los valores de absorción de cadmio de las hortalizas regadas con agua servida son mayores que las que fueron regadas con agua de caño.

La absorción de cromo de las hortalizas regadas con agua servida y agua de caño, según el análisis de varianza, la fuente no tiene significancia, por lo que no hay diferencia en el agua de riego de las fuentes de agua utilizadas; en cambio la especie, si tiene significancia, lo que significa que la absorción de cromo es diferente según la especie (hortaliza) y la interacción fuente *especie, no tiene significancia, por lo tanto no hay influencia de la interacción entre la fuente y la especie. La absorción de cromo de las hortalizas regadas con agua servida y agua de caño, lechuga (2,632 mg/Kg), es superior al de la espinaca (1,040 mg/Kg) y al del rabanito (1,000 mg/Kg).

La absorción de plomo de las hortalizas regadas con agua servida y agua de caño, según el análisis de varianza, la fuente, la especie y la interacción fuente*especie, no

tienen significancia, por lo tanto, no hay diferencia en la fuente de agua utilizada para el riego de las hortalizas, tampoco hay diferencia de la absorción de plomo en las hortalizas, rabanito, espinaca y lechuga; asimismo, no hay influencia de la interacción de la fuente utilizada y la especie (hortaliza).

Los niveles de cadmio, cromo y plomo en las hortalizas rabanito, espinaca y lechuga, regadas con efluentes de la PTAR Totorá, son similares, en algunos casos, a los reportados por otros investigadores.

Olivares, y otros (2013), reportaron que, en hortalizas regadas con agua del río Almedares, contaminadas con residuos industriales y vertedero provincial, obtuvieron niveles de cadmio entre $< 0,02 - 0,100$ mg/Kg; éstos valores están por debajo del límite máximo permisible. En el presente estudio los niveles de cadmio en rabanito ($< 0,1$ mg/Kg) y lechuga ($0,177$ mg/Kg) están por debajo de los LMP y en espinaca ($0,42$ mg/Kg) por encima de los LMP.

Mafla (2015), reportó que, en hortalizas regadas con aguas del canal Latacumbá-Salcedo-Ambato, que captan directamente, las aguas servidas de la ciudad de Latacumbá, los niveles de cromo fueron de $2,5$ mg/Kg, por encima del LMP y plomo de $0,25$ mg/Kg, muy cerca al LMP. En el presente estudio los niveles de cromo en rabanito fueron de ($1,217$ mg/Kg), en espinaca ($0,723$ mg/Kg) y en lechuga ($1,490$ mg/Kg), que están por encima de los LMP; los niveles de plomo en rabanito fueron de ($0,263$ mg/Kg) por encima de los LMP; en espinaca fueron de ($0,173$ mg/Kg) y en lechuga ($0,220$ mg/ Kg) que están por encima de los LMP.

Miranda, y otros (2011), reportaron niveles de cadmio en lechuga regadas con agua del río Bogotá contaminadas con aguas residuales de la ciudad y de algunos municipios; 0,40 mg/Kg, siendo superior al LMP, y plomo 0,20 mg/Kg, por debajo de los LMP. En el presente estudio los niveles de cadmio en lechuga (0,177 mg/Kg) y plomo (0,220 mg/Kg), en ambos casos por debajo de los LMP.

Madueño (2017), reportó niveles de cadmio en lechuga, 0,084 mg/Kg, está por debajo del LMP y niveles de plomo, 1,279 mg/Kg por encima del LMP. En el presente estudio los niveles de cadmio en lechuga (0,177 mg/Kg) y plomo (0,220 mg/Kg), en ambos casos por debajo de los LMP.

Juarez (2012), reportó en hortalizas regadas con aguas del río Rimac, contaminadas con aguas residuales domésticas e industriales, cadmio en rabanito, 0,043 mg/Kg y en lechuga 0,060 mg/Kg; en ambos casos los valores están por debajo de los límites máximos permisibles; de igual manera, reportó cromo en rabanito 0,083 mg/Kg y en lechuga 0,056 mg/Kg, también en ambos casos están por debajo de los LMP. En el presente estudio los niveles de cadmio en rabanito ($< 0,1$ mg/Kg) y lechuga (0,177 mg/Kg) están por debajo de los LMP; los niveles de cromo en rabanito (1,217 mg/Kg) y en lechuga (1,490 mg/Kg), están por encima de los LMP.

Las diferencias en los valores de los niveles de cadmio, cromo y plomo en hortalizas regadas con agua procedente de ríos contaminados con aguas residuales domésticas, industriales y servidas, reportados por los diferentes autores, comparados con los del presente estudio varían debido a que en el presente estudio se ha utilizado directamente

los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Totorá. Asimismo, algunos autores reportan en forma general hortalizas y no se puede comparar los resultados obtenidos, sin embargo, en el presente estudio los niveles de cromo y plomo en rabanito; cadmio y cromo en espinaca y cromo en lechuga están por encima de los LMP.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

1. De los análisis realizados se concluye que los efluentes de la Planta de Tratamiento de aguas residuales Totorá, influyen de manera diferente en la contaminación por metales pesados en las hortalizas regadas con ellos.

2. Según el diseño experimental y el análisis estadístico de los resultados obtenidos por ICP-OES de los metales pesados, la absorción de cadmio de las hortalizas regadas con los efluentes de la Planta de tratamiento de aguas residuales Totorá fue: espinaca 0,42 mg/Kg y está por encima del límite permisible que es 0,20 mg/Kg; lechuga 0,176 mg/Kg, ligeramente por debajo del límite permisible; rabanito 0,10 mg/Kg, está por debajo del límite permisible. Comparado con los que fueron regadas con agua de suministro (agua de caño) de Totorá, la absorción de cadmio fue: espinaca, 0,176 mg/Kg, la lechuga (0,14 mg/Kg) y el rabanito (0,10 mg/Kg); estos valores son menores y están por debajo de límite permisible en las tres hortalizas.

3. Según el diseño experimental y el análisis estadístico de los resultados obtenidos por ICP-OES de los metales pesados, la absorción de cromo de las hortalizas regadas con los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá y con agua de suministro (agua de caño) de Totorá fue: lechuga 2,63 mg/Kg, está por encima del límite permisible que es 0,10 mg/Kg; espinaca 1,04 mg/Kg, está por encima del límite permisible que es 0,1 mg/Kg y rabanito 1,00 mg/Kg está por encima del límite permisible; en este caso la absorción de cromo es diferente según la hortaliza, siendo mucho mayor la absorción de cromo por la lechuga, seguida por la espinaca y luego rabanito.

4. Según el diseño experimental y el análisis estadístico de los resultados obtenidos por ICP-OES de los metales pesados, la absorción por plomo de las hortalizas regadas con los efluentes de la Planta de tratamiento de aguas residuales Totorá y con agua de suministro (agua de caño) de totora; no difieren entre sí, sin embargo, los valores están por encima del límite máximo permisible.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- a. Se recomienda realizar la investigación en parcelas de mayor extensión y con otras hortalizas.
- b. Se recomienda realizar la investigación microbiológica en las hortalizas regadas con los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá.
- c. Debido a que los niveles de cromo y plomo en rabanito; cadmio y cromo en espinaca y cromo en lechuga están por encima de los LMP, se recomienda no utilizar efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá para el riego de hortalizas.
- d. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá debe procurar la remoción de metales pesados de sus efluentes utilizando técnicas ya sea convencionales, intercambio iónico o adsorción, antes de verterlos al río Alameda.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS

- Alarcón-Corredor, O. (2009). Los elementos traza. *Revista Médica de la Extensión Portuguesa*, 4(3), 107-124. Obtenido de <http://www2.udec.cl/geoquimica/en/education/Introduccion%20Elementos%20traza.pdf>
- Al-Saad, A., Moniem, H., El-Azim, H., Naeem, M., & Alhafez, N. (2019). Estimation and Bio-Availability of Tóxic Metals beetwen Soils and plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(1), 1-10. doi:10.15244 / pjoes / 8169
- Anjos, L., Piotto, F., Correa, R., & Antunes, R. (2013). Use of non-hyperaccumulator plant species for the phytoextraction of heavy metals using chelating agents. *Scientia Agricola*, 70(4), 290-295.
- Armendariz-Anguiano, A., Bacardí-Gascón, M., & Jiménez, A. (2007). Evidencias del efecto del cromo en personas con diabetes: Revisión sistemática. *Revista Biomedica*, 18(2), 117-126. Obtenido de [n http://www.revbiomed.uady.mx/pdf/rb071826.pdf](http://www.revbiomed.uady.mx/pdf/rb071826.pdf)
- Ayres, R., & Duncan, D. (1996). *Analysis of Wastewater for Use in Agriculture - A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques*. Genova: World Health Organization. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/labmanual.pdf?ua=1
- Azcona-Cruz, M., Ramírez, R., & Vicente-Flores, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 20(1), 72-77. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2015/rmq1511.pdf>

- Baimyrzaeva, M. (2018). *Beginners' Guide for Applied Research Process: What Is It, and Why and How to Do It?* (Vol. OCCASIONAL PAPER). Institute of Public Policy and Administration. University of Central Asia. Obtenido de <https://www.ucentralasia.org/Content/Downloads/UCA-IPPA-OP4-Beginners%20Guide%20for%20Applied%20Research%20Process-Eng.pdf>
- Balasubramanian, A. (2017). Soil Forming Processes. *Technical Report*, 1-11. doi:DOI: 10.13140/RG.2.2.34636.00644
- BCRP. (2018). *Caracterización del Departamento de Ayacucho*. Huancayo: Banco Central de Reserva del Perú. Departamento de Estudios Económicos. Sucursal Huancayo.
- Bermudez, M. (2010). *Contaminación y turismo sostenible*. Barcelona: CETD SA. Obtenido de <http://galeon.com/mauriciobermudez/contaminacion.pdf>
- Blazquez, P., & Montero, M. (2010). *Reutilización de agua en bahía blanca plata, 3era cuenca*. Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/agua_reutilizacion.pdf
- Bueno, G. (1992). En Torno a la Doctrina Filosófica de la Causalidad. *Revista Meta*, 209-227. Obtenido de <http://www.fgbueno.es/med/dig/meta89i.pdf>
- Carnicer, J. (2008). *Contaminación atmosférica*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires. Escuela de Negocios. Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua. Obtenido de <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Atmosfera/contatmosf.pdf>
- Casermeiro, M. (2017). *Ecotoxicología del cadmio, riesgo para la salud por la utilización de suelos ricos en cadmio*. Madrid: Universidad Complutense. Obtenido de

<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/DANIEL%20DEL%20OLMO%20RODRIGUEZ.pdf>

Cisneros, R., Sanz, Z., & Teran, J. (2015). *Uso de aguas residuales para riego en Bolivia. Producción, comercialización y consumo de cultivos irrigados con aguas residuales en la región del altiplano*. La Paz, Bolivia: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/ Banco Mundial. Obtenido de www.wsp.org

Cjorgieva, D. (2018). Heavy metals and their general toxicity on plants. *Plant Science Today*, 5(1), 14-18. doi:<https://dx.doi.org/10.14719/pst.2018.5.1.355>

Cortes, F. (2018). Observación, causalidad y explicación causal. *Perfiles Latinoamericanos*, 26(52), 1-20. doi:[10.18504/pl2652-001-2018](https://doi.org/10.18504/pl2652-001-2018)

De la Orden, E. (2007). *Contaminación*. Obtenido de <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/007-contaminacion.pdf>

Decreto Legislativo N°613. (1990). *Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales*. Obtenido de <http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/peru/peru.pdf>

Decreto Ley N°17752. (1969). *Ley General de Aguas*. Obtenido de <file:///C:/Users/SONY/Downloads/1872-2344.pdf>

Diaz, J. (2012). *Suelos Contaminados por Metales Pesados en Actividades industriales*. Tlaxiaco, Coahuila, Mexico: Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Division de Carreras Agronomicas. Obtenido de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/271/T15>

921%20SIERRA%20VILLAGRANA,%20RUBEN%20%20TESIS.pdf?sequence=1

Diccionario Enciclopédico Larousse. (2007). *Diccionario Enciclopédico Larousse*. México: Larousse S.a.

Di-Rienzo, J., Casanoves, F., Gonzales, L., Tablada, E., Diaz, M., Robledo, C., & Balzarini, M. (2008). *Estadística para las ciencias agropecuarias*. Córdoba, Argentina: Brujas.

Duran, P. (2010). *Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana*. Barcelona, España: Universidad de Barcelona. Obtenido de https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/970/PDC_TESIS.pdf?...1

Emas, R. (2015). *The Concept of Sustainable Development: Definition and Defining Principles*. Florida: Florida International University.

Encinas, M. (2011). *Medio ambiente y contaminación. Principios básicos* (Primera ed.). Obtenido de <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/>

Estupiñan, J. (2016). *Evaluación del riesgo en la salud humana por consumo de vegetales irrigados con aguas que contienen metales pesados en un sector de la cuenca del río Tunjuelo*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/52849/1/80101405.2016.pdf>

Europea, U. (2017). *Contenidos Máximis en Metales Pesados en Productos Alimenticios*. Obtenido de <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>.

- Fallas, J. (2012). *Analisis de Varianza. Comparando tres o mas medias*. Obtenido de http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis_de_varianza_2012.pdf
- FAO. (2017). *Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe. Estado, principios y necesidades*. (J. Mateo-Sagasta, Ed.) Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fontana, D., Lascano, M., Solá, N., Martinez, S., Virgolini, M., & Mazzieri, M. (2013). Intoxicacion por plomo y su tratamiento farmacologico. *Revista de Salud Publica*, XVII(1), 49-59. Obtenido de http://www.saludpublica.fcm.unc.edu.ar/sites/default/files/RSP13_1_08_art5.pdf
- Garcia, J. (Setiembre de 2015). Agricultura y aguas servidas: recomendaciones de políticas públicas. *LEISA Revista Agroecológica*, 31(3), 1-4. Obtenido de Agricultura y Aguas Servidas: Recomendaciones de políticas públicas: <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-31-numero-3/1218-agricultura-y-aguas-servidas-recomendaciones-de-politicas-publicas>
- Garcia, M. (2017). *Determinación de metales pesados (plomo y cadmio) en lechuga (Lactuca sativa) en mercados del Cono Norte, Centro y Cono Sur de Lima Metropolitana*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Obtenido de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/7349/Madue%C3%B1o_vf.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ghorani-Azam, A., Riahi-Zanjani, B., & Balali-Mood, M. (2016). Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran.

Journal of Research in Medical Sciences, 21(65). doi:10.4103/1735-1995.189646

Gomez, A., & Magaña, P. (2004). Papel del cromo y del cinc en el metabolismo de la insulina. *Revista Medica de IMSS*, 42(4), 347-352 . Obtenido de <http://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2004/im044l.pdf>

Granados-Silvestre, M., Ortiz-López, M., Montúfar-Robles, I., & Menjívar-Iraheta, M. (2014). Micronutrientes y diabetes, el caso de los minerales. *Cirugía y Cirujanos*, 82(1), 119-125. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66230723016>

Guadarrama, M., & Galvan, A. (Junio de 2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias: CIBA*, 4(7), 1-23. Obtenido de Impacto del uso de agua residual en la agricultura: <file:///C:/Users/SONY/Downloads/Dialnet-ImpactoDelUsoDeAguaResidualEnLaAgricultura-5076403.pdf>

Gutierrez, J. (2015). *Diseño de Bloques al Azar*. Mexico: Universidad Autonoma del Estado de Mexico. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/oca/view/20.500.11799/34302/1/secme-17390.pdf>

Hadi, A. (2018). Study on the Development of Household Wastewater Treatment Unit. *Journal of Ecological Engineering*, 19(2), 63-71. doi:<https://doi.org/10.12911/22998993/81780>

Hashemi, M., Salehi, T., Aminzare, M., Raeisi, M., & Afshari, A. (2017). Contamination of Toxic Heavy Metals in Various Foods in Iran: a Review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 9(10), 1692-1697. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/321110268>

- Hofer, C. (2014). El ataque silencioso de los contaminantes orgánicos persistentes. *Global Environment Facility, All Rights Reserved*, 1-5.
- Hoyos, M. (2014). *Bioacumulación de plomo y cadmio en brassica oleracea SUBSP capitata (L.) metzg. y raphanus sativus L.* Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ciencias Biologicas. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4344/Hoyos%20Cerna%2c%20Marlon%20Yordano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INEI. (2017). *consumo de alimentos y bebidas. Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares 2008-2009.* Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib1028/cap01.pdf
- Jara-Peña, E., Gomez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología*, 21(2), 145-154. doi:<http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>
- Juarez, H. (2012). *Contaminación del Río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el Cono este de Lima Metropolitana.* Lima. Obtenido de <http://www.aguasanperu.org/Docs/CalidadDeAguaEnElRioRimac.pdf>
- Kumar, R., Mohammad, N., & Roychoudhury, N. (2016). Soil pollution: Causes, effects and control. *Tropical Forest Research Institute*, 3(1), 1-15. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/289281444>
- Larios-Meño, J., González, C., & Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(2), 9-25. Obtenido de

<https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>

Lascano, V. (2013). *Intoxicación por plomo y su tratamiento farmacológico*. Obtenido de

http://www.saludpublica.fcm.unc.edu.ar/sites/default/files/RSP13_1_08_art5.pdf

Latif, A., Bilal, M., Asghar, W., Azeem, M., Irfan, M., Abbas, A., . . . Shahzad, T.

(2018). Heavy Metal Accumulation in Vegetables and Assessment of their Potential Health Risk. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 5(1), 1 - 7. doi:10.4172/2380-2391.1000234

Ley 26821. (1997). *Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales*. Obtenido de http://www.ana.gob.pe/media/95192/ley_26821.pdf

Loayza, J. (2008). Metales Pesados en los Cultivos. *Boletín Electrónico Informativo sobre Productos y Residuos Químicos*, 4(37), 1-4. Obtenido de http://quimica.unmsm.edu.pe/pdf/ing%20loayza/BOLETIN_37.pdf

Londoño-Franco, L., Londoño-Muñoz, P., & Muñoz-García, F. (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

Madueño, F. (2017). *Determinación de metales pesados (plomo y cadmio) en lechuga (Lactuca sativa) en mercados del Cono Norte, Centro y Cono Sur de Lima Metropolitana*. Obtenido de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/7349>.

- Mafla, E. (2015). *Determinación de cromo, plomo y arsénico en aguas del canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato y evaluación de la transferencia de dichos metales a hortalizas cultivadas en la zona; mediante espectrofotometría de absorción atómica*. Tesis de Maestría, Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias químicas. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6289>:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6289>
- Masindi, V., & Khathutshelo, M. (2018). Environmental Contamination by Heavy Metals. *Core Collection (BKCI)*, 115-136. doi:10.5772/intechopen.76082
- Maulin, S. (2017). Waste water pollution. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 3(1), 262-263.
- Mendiburo, F. (2005). *Tipo de experimento. Pruebas preliminares*. Obtenido de <https://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/index-filer/academic/Foresteria%20II/Teoria/ExpModel.pdf>.
- MINAM. (2016). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio. Salud y Ambiente*. Lima. Peru: Ministerio del Ambiente. Modulo 1.
- MINAM, D. s.-2. (2008). *Calidad Ambiental para Agua*. Obtenido de http://www.ana.gob.pe/media/664662/ds_002_2008_minam.pdf.
- Mirabent, C. (2015). *Determinación de metales en hortalizas y parámetros físico-químicos de las aguas de riego de dos organopónicos de Camagüey*. Cuba: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Facultad de Química - Farmacia. Obtenido de <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3066/Cecilia%20Mirabet.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C., Jerez, C., Fischer, G., & Zurita, J. (2011). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 2(2), 180-191. doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2008v2i2.1186>
- Núñez, A., Martínez, S., Moreno, S., Cardenas, M., Garcia, G., Hernandez, J., . . . Castillo, I. (2008). *Determinación de metales pesados (aluminio, plomo, cadmio y níquel) en rábano (Raphanus sativus L.), brócoli (Brassica oleracea L. var. italica) y calabacín (Cucurbita pepo L. var. italica)*. Mexico: Universidad Autónoma de Nueva León. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000127&pid=S1692-3561201200010001800014&lng=en
- Olivares, S., Garcia, D., Lima, L., Saborit, I., Llizo, A., & Perez, P. (2013). Niveles de cadmio, plomo, cobre y zinc en hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la ciudad de la Habana, Cuba. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(4), 285-294. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000400006
- OMS. (2016). *Planificación de la seguridad del saneamiento: manual para el uso y la disposición seguros de aguas residuales, aguas grises y excretas*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Obtenido de (http://www.who.int/about/licensing/copyright_form/en/index.htm)
- Pramparo, L. (2016). *Introducción a la Problemática de las aguas residuales industriales y su tratamiento*. Obtenido de <http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2016/03/1-Introducci%C3%B3n.pdf>

- Prieto, J., Gonzales, C., Roman, A., & Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=939/93911243003.pdf>
- Reddy, R. (2017). Environmental Pollution Causes and Consequences: A Study. *North Asian International Research Journal of Social Science & Humanities*, 3(8), 151-161. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/323944189>
- Reyes, Y. (2016). *Contaminación por metales pesados: implicaciones en la salud, ambiente y seguridad alimentaria*. Obtenido de <file:///C:/Users/SONY/Downloads/5447-12785-1-PB.pdf>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Diaz, M., & Gonzales, E. (2016). Contaminación por Metales Pesados: Implicaciones en Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
- Rodriguez, F., & Patiño, N. (2010). *Determinación de metales pesados plomo, cromo, cadmio, mercurio y arsénico en hortalizas de los centros de abasto de la ciudad de Bogotá durante el año 2010*. Bogotá: Bogotá Bicentenario. Obtenido de <http://www.mastercongresos.com/sesa/Presentaciones%20SESA/Orales/O-058.pdf>
- Rodriguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). *SOIL POLLUTION: A HIDDEN REALITY*. Roma: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
- Rodriguez-Serrano, M., Martínez-de la Casa, N., Romero-Puertas, M., del Río, L., & Sandalio, L. (2008). Toxicidad del cadmio en plantas. *Ecosistemas*, 17(3), 139-146. Obtenido de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=558>

- Rubio, C., Gutiérrez, A., Martín-Izquierdo, R., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*(21), 72-80. Obtenido de <http://www.fimed.uba.ar/depto/toxico1/articulos/7.pdf>
- Ruiz, E., & Armienta, M. (2012). Acumulacion de Arsenico y Metales Pesados en Maiz en Suelos cercanos a Jales o Residuos Mineros. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 28(2), 103-117. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n2/v28n2a1.pdf>
- Salud., D. G. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. DS N°031-2010-SA. Obtenido de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>.
- Sanchez, G. (2016). *Ecotoxicología del cadmio Riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio*. España: Universidad Complutense. Facultad de Farmacia. Obtenido de <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf>
- Toro, F. (2007). El desarrollo sostenible: Un concepto de interés para la geografía. *Cuadernos Geográficos*, 40(1), 149-181. Obtenido de <http://www.ugr.es/~cuadgeo/docs/articulos/040/040-008.pdf>
- Turcios, J. (2010). *Determinación cuantitativa de arsénico, cobre, plomo y cadmio en (brassica oleracea) brócoli que se cultiva en la parcela San José, Tecpán municipio de Chimaltenango*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Maestría en Gestión de la Calidad . Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2876.pdf

- Valdivia, M. (2005). Intoxicación por plomo. Lead poisoning. *Sociedad Peruana de Medicina Interna*, 18(1), 21-27. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/237481928_Intoxicacion_por_plomo_Lead_poisoning
- Villasanti, C., Chávez, R., & Díaz, J. (2013). *El manejo de suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. Paraguay: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf>
- Walkley, A. (2018). Factors Affecting Weather & Climate. *Sciencing*. Obtenido de [htmlhttps://sciencing.com/factors-affecting-weather-climate-5270471](https://sciencing.com/factors-affecting-weather-climate-5270471)

CAPITULO IX
ANEXOS

ANEXO 1



Figura 1. Distribución de parcelas para sembrado de hortalizas (preliminar).



Figura 2. Parcelas regadas con agua servida y agua canalizada.



Figura 3. Parcelas regadas con agua servida.



Figura 4. Parcelas regadas con agua canalizada.



Figura 5. Rabanito, espinaca y lechuga regadas con agua servida y agua canalizada.

Tabla 1. Metales pesados en suelo (preliminar)

METALES PESADOS	S₁ Mg/Kg
Cadmio	2,48
Cromo	36,82
Plomo	13,20

Tabla 2. Metales pesados en agua.

METALES PESADOS	A₁ mg/L	A₂ mg/L	Ar mg/L
Cadmio	<0,003	<0,003	0,0022
Cromo	<0,006	<0,006	0,0083
Plomo	<0,041	<0,041	0,0060

A₁, agua de los efluentes de la PTAR unida al río Alameda.

A₂, agua de los efluentes de la PTAR.

Ar, agua canalizada de otro río.

Tabla 3. Metales pesados en hortalizas.

METALES PESADOS	Rs mg/Kg	Rr mg/Kg	Es mg/Kg	Er mg/Kg	Ls mg/Kg	Lr mg/Kg
Cadmio	<1,20	<1,20	<1,20	<1,20	<1,20	<1,20
Cromo	<1,20	3,21	6,71	4,67	6,50	19,09
Plomo	<8,20	<8,20	<8,20	<8,20	<8,20	<8,20

Rs, Es y Ls: Rabanito, espinaca y lechuga regadas con agua servida, respectivamente.

Rr, Er y Lr: Rabanito, espinaca y lechuga regadas con agua canalizada, respectivamente.

ANEXO 2

FICHA DE MUESTREO

RABANITO

Lugar: Totorilla.

Fecha: 02/07/18.

Estado de la hortaliza: 47 días.

Muestreo: Probabilístico sistemático.

BLOQUE	Regada con agua servida (f₁)	Regada con agua de caño (f₂)
I	Rs ₁	Rc ₁
II	Rs ₂	Rc ₂
II	Rs ₃	Rc ₃

ESPINACA

Lugar: Totorilla.

Fecha: 06/08/18.

Estado de la hortaliza: 67 días.

Muestreo: Probabilístico sistemático.

BLOQUE	Regada con agua servida (f₁)	Regada con agua de caño (f₂)
I	Es ₁	Ec ₁
II	Es ₂	Ec ₂
II	Es ₃	Ec ₃

LECHUGA

Lugar: Totorilla

Fecha: 20/08/18.

Estado de la hortaliza: 95 días.

Muestreo: Probabilístico sistemático.

BLOQUE	Regada con agua servida (f₁)	Regada con agua de caño (f₂)
I	LS ₁	LC ₁
II	LS ₂	LC ₂
II	LS ₃	LC ₃

ANEXO 3

ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN AGUA POR ICP-OES



INFORME DE ENSAYO ICP/INF-093/2018

5. RESULTADOS

ANÁLISIS DE AGUAS				
Códigos de muestras	Código Cliente	Ac	Ar	As
	Código PUCP 2018AQ	0382	0383	0384
Parámetros	Unidades			
Aluminio	mg/L	0,0667	5,8691	1,7044
Bario	mg/L	0,2142	0,2178	0,0825
Berilio	mg/L	N.D.	<0,0002	N.D.
Boro	mg/L	0,1184	0,0761	0,0917
Cadmio	mg/L	N.D.	0,0022	0,0009
Calcio	mg/L	72,1529	30,5995	18,1306
Cinc	mg/L	0,0268	0,0407	0,0930
Cobalto	mg/L	<0,0003	0,0022	0,0010
Cobre	mg/L	0,0069	0,0124	0,0324
Cromo	mg/L	<0,0007	0,0083	0,0062
Estaño	mg/L	<0,0028	<0,0028	<0,0028
Estroncio	mg/L	0,9258	0,3984	0,1814
Hierro	mg/L	0,0976	4,2474	1,3141
Magnesio	mg/L	36,9597	14,0003	5,8239
Manganeso	mg/L	0,0019	0,2031	0,1037
Molibdeno	mg/L	0,0085	0,0024	0,0022
Níquel	mg/L	0,0032	0,0064	0,0047
Plata	mg/L	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Plomo	mg/L	0,0022	0,0060	0,0054
Talio	mg/L	0,0004	0,0005	<0,0002
Titanio	mg/L	<0,0077	0,3097	0,0833
Vanadio	mg/L	<0,0443	0,1532	0,1452

Los resultados obtenidos son aplicables únicamente a la(s) muestra(s) ensavada(s).



ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN SUELO POR ICP-OES



SUPLEMENTO DE INFORME DE ENSAYO ICP/INF-094/2018

5. RESULTADOS

ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELOS			
Códigos de muestras	Código Cliente	Sc	Ss
	Código PUCP 2018AQ	0385	0386
Parámetros	Unidades		
Aluminio	mg/Kg	21793	24529
Bario	mg/Kg	158	181
Berilio	mg/Kg	0,9557	1,0640
Boro	mg/Kg	6,3357	7,1933
Cadmio	mg/Kg	<0,0426	<0,0426
Calcio	mg/Kg	4975	5126
Cinc	mg/Kg	73,3288	84,5935
Cobalto	mg/Kg	11,5574	12,1861
Cobre	mg/Kg	25,0705	27,4062
Cromo	mg/Kg	36,2453	33,8783
Estaño	mg/Kg	<0,5519	<0,5519
Estroncio	mg/Kg	74,4062	76,2038
Hierro	mg/Kg	27922	27520
Magnesio	mg/Kg	5654	6205
Manganeso	mg/Kg	506	647
Molibdeno	mg/Kg	<0,1978	<0,1978
Níquel	mg/Kg	19,0350	21,2521
Plata	mg/Kg	<0,1042	<0,1042
Plomo	mg/Kg	13,3194	14,7599
Talio	mg/Kg	<0,0414	<0,0414
Titanio	mg/Kg	1472	1521
Vanadio	mg/Kg	<8,8653	<8,8653

Los resultados obtenidos son aplicables únicamente a la(s) muestra(s) ensavada(s).

6. OBSERVACIONES

Los resultados reportados son promedios de dos réplicas.

EL PRESENTE SUPLEMENTO DE INFORME DE ENSAYO CONSTA DE 02 (DOS) PÁGINAS DE TEXTO Y REEMPLAZA AL ICP/INF-094/2018

Ing. Iise Eliana Acosta Sulcahuamán.

Jefe (e) del Laboratorio de Análisis Químico e Instrumental.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Instituto de Corrosión y Protección

Isabel Díaz Tang
Prof. ISABEL DÍAZ TANG
Directora

2 de 2

AV. UNIVERSITARIA 1801 - LIMA 32 - SAN MIGUEL - APARTADO POSTAL 1761 - LIMA 100
TELÉFONOS: DIRECTO (0051-1) 626 2510 / 626 2000 anexos 2510 - 3071 / (0051-1) 626 2835 Email: icp@pucp.edu.pe

ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN HORTALIZAS POR ICP-OES



INFORME DE ENSAYO ICP/INF-147/2018

5. RESULTADOS

ANÁLISIS DE RABANITOS							
Código de Muestra	Código Cliente	RC1	RC2	RC3	RS1	RS2	RS3
	Código PUCP 2018AQ	0524	0525	0526	0527	0528	0529
Parámetros	Unidades	Resultados					
Aluminio	mg/Kg	245,54	196,70	203,01	213,48	396,68	227,47
Bario	mg/Kg	24,15	23,54	23,22	33,12	30,55	28,75
Berilio	mg/Kg	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cadmio	mg/Kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Calcio	mg/Kg	1969	1977	2008	2475	2390	2170
Cinc	mg/Kg	32,87	30,81	21,79	30,88	30,42	35,31
Cobalto	mg/Kg	0,25	0,24	0,25	0,36	0,32	0,31
Cobre	mg/Kg	2,10	2,61	2,05	2,05	2,16	2,32
Cromo	mg/Kg	0,69	0,95	0,71	0,83	1,35	1,47
Estaño	mg/Kg	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32
Estroncio	mg/Kg	51,74	49,64	50,18	63,34	59,25	51,60
Hierro	mg/Kg	177,03	230,43	203,99	225,55	425,40	303,54
Magnesio	mg/Kg	1558	1564	1499	1687	1669	1631
Manganeso	mg/Kg	9,14	10,56	10,23	12,83	16,96	14,03
Molibdeno	mg/Kg	0,48	0,33	0,54	0,22	0,18	0,26
Niquel	mg/Kg	0,48	0,91	0,57	0,63	0,77	0,88
Plata	mg/Kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Plomo	mg/Kg	0,16	0,27	0,19	0,24	0,26	0,29
Selenio	mg/Kg	0,25	0,21	0,30	<0,10	<0,10	<0,10
Talio	mg/Kg	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Titanio	mg/Kg	18,56	25,49	21,63	22,79	45,38	26,99
Vanadio	mg/Kg	0,64	0,75	0,70	0,70	1,00	0,62

Los resultados obtenidos son aplicables únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s).

6. OBSERVACIONES

Los resultados reportados para las muestras codificadas como 2018AQ0526 y 2018AQ0529 son promedios de dos réplicas.

EL PRESENTE INFORME DE ENSAYO CONSTA DE 02 (DOS) PÁGINAS DE TEXTO.

Ing. Ilse Eliana Acosta Sullcahuamán.
Jefe (e) del Laboratorio de Análisis Químico e Instrumental.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Instituto de Corrosión y Protección

Isabel Díaz Tang
Prof. ISABEL DÍAZ TANG
Directora

2 de 2

AV. UNIVERSITARIA 1801 - LIMA 32 - SAN MIGUEL - APARTADO POSTAL 1761 - LIMA 100
TELÉFONOS: DIRECTO (0051-1) 626 2510 / 626 2000 anexos 2510 - 3071 / (0051-1) 626 2836 Email: icp@pucp.edu.pe





PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ



INSTITUTO DE
CORROSIÓN Y
PROTECCIÓN

INFORME DE ENSAYO ICP/INF-173/2018

5. RESULTADOS

DOMICILIO TELÉFONO							
ANÁLISIS DE ESPINACAS							
Código de Muestra	Código Cliente	Es1	Es2	Es3	Ec1	Ec2	Ec3
	Código PUCP 2018AQ	0685	0686	0687	0688	0689	0690
Parámetros	Unidades	Resultados					
Aluminio	mg/Kg	190,53	173,13	254,47	494,89	540,58	273,20
Arsénico	mg/Kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Bario	mg/Kg	21,51	23,19	22,43	33,12	38,52	35,53
Berilio	mg/Kg	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cadmio	mg/Kg	0,43	0,41	0,42	0,18	0,16	0,19
Calcio	mg/Kg	4657	4774	4389	5775	6539	5692
Cinc	mg/Kg	62,46	48,50	53,01	37,49	36,26	33,38
Cobalto	mg/Kg	0,24	0,26	0,30	0,29	0,32	0,19
Cobre	mg/Kg	6,52	5,95	6,56	5,50	6,03	4,98
Cromo	mg/Kg	0,61	0,69	0,87	1,61	1,63	0,83
Estaño	mg/Kg	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32
Estroncio	mg/Kg	64,57	62,75	57,32	84,95	97,01	85,14
Hierro	mg/Kg	153,87	205,01	199,83	476,63	546,02	241,84
Magnesio	mg/Kg	10451	10707	11121	8990	9301	8980
Manganeso	mg/Kg	126,65	127,57	148,98	52,10	50,96	48,73
Molibdeno	mg/Kg	0,47	0,43	0,43	0,84	0,96	0,87
Níquel	mg/Kg	0,97	1,06	1,16	1,01	1,00	0,60
Plata	mg/Kg	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26
Piomo	mg/Kg	0,12	0,19	0,21	0,29	0,44	0,28
Selenio	mg/Kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,30	0,26
Talio	mg/Kg	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02
Titanio	mg/Kg	14,49	19,07	20,87	48,71	53,56	24,44
Vanadio	mg/Kg	<0,08	<0,08	0,14	0,84	0,97	0,30

Los resultados obtenidos son aplicables únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s).

6. OBSERVACIONES

Los resultados reportados son promedios de dos réplicas.

EL PRESENTE INFORME DE ENSAYO CONSTA DE 02 (DOS) PÁGINAS DE TEXTO.

Ing. Ilse Eliana Acosta Sulcahuamán.
Jefe (e) del Laboratorio de Análisis Químico e Instrumental.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Instituto de Corrosión y Protección

Prof. ISABEL DÍAZ TANGO
Directora

2 de 2

AV. UNIVERSITARIA 1801 - LIMA 32 - SAN MIGUEL- APARTADO POSTAL 1761 - LIMA 100
TELÉFONOS: DIRECTO (0051-1) 626 2510 / 626 2000 anexos 2510 - 3071 / (0051-1) 626 2835 Email: icp@pucp.edu.pe



INFORME DE ENSAYO ICP/INF-186/2018

5. RESULTADOS

ANÁLISIS DE LECHUGAS							
Código de Muestra	Código Cliente	LS1	LC1	LS2	LC2	LS3	LC3
	Código PUCP 2018AQ	0834	0835	0836	0837	0838	0839
Parámetros	Unidades	Resultados					
Aluminio	mg/Kg	160,29	62,88	59,79	878,63	183,42	756,26
Arsénico	mg/Kg	0,13	0,14	0,11	0,52	0,25	0,53
Bario	mg/Kg	27,67	25,52	23,70	41,48	23,25	36,24
Berilio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio	mg/Kg	0,19	0,21	0,18	0,12	0,16	0,09
Calcio	mg/Kg	4373	4533	4426	5991	3752	5031
Cinc	mg/Kg	36,70	33,70	31,11	17,61	25,95	16,24
Cobalto	mg/Kg	0,23	0,17	0,18	0,48	0,21	0,41
Cobre	mg/Kg	4,32	3,89	3,74	4,63	3,85	4,98
Cromo	mg/Kg	1,34	1,13	1,53	5,20	1,60	4,99
Estaño	mg/Kg	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32
Estroncio	mg/Kg	62,40	60,01	59,99	92,58	48,79	80,42
Hierro	mg/Kg	240,00	113,01	108,53	1034,43	221,90	886,09
Magnesio	mg/Kg	2535	2513	2419	3357	2137	2638
Manganeso	mg/Kg	79,67	78,92	79,63	71,96	56,47	53,38
Molibdeno	mg/Kg	0,17	0,21	0,17	0,54	0,24	0,36
Níquel	mg/Kg	0,94	0,89	0,92	2,26	1,21	2,35
Plata	mg/Kg	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26	<0,26
Plomo	mg/Kg	0,28	0,16	0,14	0,57	0,24	0,49
Selenio	mg/Kg	<0,10	<0,10	<0,10	0,25	<0,10	0,21
Taio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Titanio	mg/Kg	22,66	10,63	10,19	83,71	23,17	78,57
Vanadio	mg/Kg	0,43	0,15	0,15	2,23	0,42	2,14

Los resultados obtenidos son aplicables únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s).

6. OBSERVACIONES

Los resultados reportados para las muestras codificadas como 2018AQ0834, 2018AQ0836, 2018AQ0837 y 2018AQ0839 son promedios de dos réplicas.

EL PRESENTE INFORME DE ENSAYO CONSTA DE 02 (DOS) PÁGINAS DE TEXTO.

Ing. Iise Eliana Acosta Suilcahuamán.
Jefe (e) del Laboratorio de Análisis Químico e Instrumental.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Instituto de Corrosión y Protección
[Firma]
Prof. ISABEL DÍAZ TANG
Directora

2 de 2



ANEXO 4

“EFLUENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA Y LA CONTAMINACIÓN DE LAS HORTALIZAS POR METALES PESADOS EN LA COMUNIDAD DE TOTORA – AYACUCHO 2017-2018”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES
<p>GENERAL: ¿En qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden en la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la Comunidad de Totorá-Ayacucho 2017-2018?</p>	<p>GENERAL: Determinar en qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden en la contaminación de las hortalizas por metales pesados la Comunidad de Totorá-Ayacucho 2017-2018</p>	<p>GENERAL: Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la Comunidad de Totorá-Ayacucho 2017-2018.</p>	<p>VI: Efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá. Indicadores:</p>
<p>ESPECÍFICOS:</p> <p>a. ¿En qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden en la contaminación de las hortalizas por cadmio en la Comunidad de Totorá-Ayacucho?</p> <p>b. ¿En qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden en la contaminación de las hortalizas por cromo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho?</p> <p>c. ¿En qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden en la contaminación de las hortalizas por plomo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho?</p>	<p>ESPECÍFICOS:</p> <p>a. Determinar en qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden en la contaminación de las hortalizas por cadmio en la Comunidad de Totorá-Ayacucho</p> <p>b. Determinar en qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden en la contaminación de las hortalizas por cromo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho</p> <p>c. Determinar en qué medida los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden en la contaminación de las hortalizas por plomo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho</p>	<p>ESPECÍFICOS:</p> <p>d. Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por cadmio en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.</p> <p>e. Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por cromo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.</p> <p>f. Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá inciden directamente en la contaminación de las hortalizas por plomo en la Comunidad de Totorá-Ayacucho.</p>	<p>VD: Contaminación de las hortalizas por metales pesados Indicadores:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cadmio 2. Cromo 3. Plomo