

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE ARSÉNICO, COBRE, PLOMO Y CADMIO EN
(*Brasica oleracea*) BRÓCOLI QUE SE CULTIVA EN LA PARCELA SAN JOSÉ, TECPÁN
MUNICIPIO DE CHIMALTENANGO

JULIO ANTONIO TURCIOS PÉREZ

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE LA CALIDAD
CON ESPECIALIDAD EN INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS

Guatemala, Noviembre del 2010.-

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE ARSÉNICO, COBRE, PLOMO Y CADMIO EN
(*Brasica oleracea*) BRÓCOLI QUE SE CULTIVA EN LA PARCELA SAN JOSÉ, TECPÁN
MUNICIPIO DE CHIMALTENANGO

Trabajo de Graduación presentado por
Julio Antonio Turcios Pérez

Para optar al grado de

Maestría en Gestión de la Calidad
Con especialidad en inocuidad de los alimentos

Guatemala, Noviembre del 2010.-

JUNTA DIRECTIVA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y farmacia

ÓSCAR MANUEL CÓBAR PINTO, Ph.D	DECANO
LIC. PABLO ERNESTO OLIVA SOTO, M.A.	SECRETARIO
LICDA. LILLIAN RAQUEL IRVING ANTILON	VOCAL I
LICDA. LILIANA VIDES DE URIZAR	VOCAL II
LIC. LUIS ANTONIO GALVEZ SANCHINELLI	VOCAL III
BR. MARIA ESTUARDO GUERRA VALLE	VOCAL IV
BR. BERTA ALEJANDRA MORALES MÉRIDA	VOCAL V

CONSEJO ACADEMICO
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ÓSCAR MANUEL COBAR PINTO, PhD.
LICDA ANNE MARIE LIERE DE GODOY, MSc.
DR. JORGE LUIS DE LEÓN ARANA
DR. JORGE ERWIN LÓPEZ GUTIERREZ
LIC. FÉLIX RICARDO VÉLIZ FUENTES, MSc.

INDICE

	TEMA	PÁGINA
	RESUMEN	1
1.	INTRODUCCION	3
2.	DESCRIPCION DEL PROBLEMA	5
3.	JUSTIFICACION	7
4.	MARCO TEORICO	
	4.1. Especie Vegetal	
	4.1.1. <i>Brasica oleracea</i>	9
	4.1.2. Composición Nutricional	10
	4.1.3. Usos	10
	4.1.4. Operaciones básicas de acondicionamiento	10
	4.2. Elementos Tóxicos	
	4.2.1 Procedencia de los elementos pesados en el suelo	13
	4.2.1.1. Origen Natural	13
	4.2.1.2. Fuente Antropogénica	13
	4.2.1.3. Elementos tóxicos en el hombre	15
	4.3. Algunos metales pesados	23
	4.3.1. Plomo	23
	4.3.2. Arsénico	26
	4.3.3. Cadmio	29
	4.3.4. Cobre	31
	4.4. Límite permisible de elementos tóxicos según Pearson	35
	4.5. Tecpán, Chimaltenango	36
	4.5.1. Descripción y situación geográfica	36
	4.5.2. Producción agrícola	37
	4.5.3. Manejo Post-cosecha	38
	D. Absorción Atómica	40
5.	OBJETIVOS	45
6.	HIPOTESIS	46
7.	MATERIALES Y METODOS	47
	7.1. Universo de trabajo	47
	7.2. Muestra	47
	7.3. Unidad Muestral	47
	7.4. Recursos	47

7.5. Procedimientos de muestreo y preparación de muestras	49
7.5.1. Obtención de muestra vegetal	50
7.5.2. Preparación de la muestra vegetal	50
7.5.3. Obtención de cenizas vegetales	50
7.5.4. Preparaciones de las disoluciones	52
7.5.5. Determinación de la concentración de elementos	52
7.5.6. Límite de detección de elementos tóxicos de acuerdo a la sensibilidad del equipo	52
8. ANALISIS ESTADÍSTICO	54
9. RESULTADOS	55
10. DISCUSION DE RESULTADOS	57
11. CONCLUSIONES	62
12. RECOMENDACIONES	63
13. BIBLIOGRAFÍA	64

RESUMEN EJECUTIVO

En Guatemala, la siembra y cosecha de productos vegetales, es una de las prácticas cotidianas que se realizan en casi la totalidad de los departamentos del país, ya que es uno de los medios de sustento y trabajo para la población en general.

La utilización de fertilizantes no adecuados, emisiones de gases y otros factores externos al proceso de cultivo, pueden generar focos de contaminación a esta cadena, rompiendo los parámetros generales en los que se basan las buenas prácticas agrícolas, propiciando la contaminación del vegetal cosechado, con microorganismos y elementos tóxicos entre otros.

El brócoli (*Brassica oleracea*), es catalogado como vegetal poco concentrador de elementos que se encuentran en el suelo y debido a la cantidad de nutrientes, vitaminas y calcio que posee se considera esencial para el desarrollo humano, es por ello que en Guatemala es un importante alimento en la dieta diaria.

La importancia de evaluar la presencia de elementos tóxicos, radica en que el consumo a largo plazo de vegetales contaminados con dichos elementos, puede producir efectos adversos en el consumidor, incluso llegar a la muerte.

En este proyecto de investigación, se analizó la posible presencia de elementos tóxicos (cadmio, plomo, arsénico y cobre) en brócoli cosechado de la forma tradicional en

nuestro país, específicamente 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 (38).

El muestreo se realizó colectando el vegetal por medio del método de diagrama de Lot-plot Shainin, seguidamente se realizó un proceso de deshidratación y degradación de materia orgánica en digestión seca a 550°C, que posteriormente se llevó a una disolución que se 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.

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala, en el contexto del desarrollo económico y social, centra a la agricultura como uno de los sectores más importantes, por su contribución a la formación del producto interno bruto del país en producto utilizable, sin embargo, debido a la falta de acceso de información, concientización y cultura agrícola, no todos los agricultores, utilizan las normas apropiadas e ideales para poder cosechar sus cultivos (Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture [IAICA], 2000, p.17).

Con el advenimiento de productos agrícolas de otros países, ha iniciado una competencia entre agricultores y compradores para poder vender sus productos, esto conlleva a que utilicen las buenas prácticas agrícolas para la cosecha de hortalizas, principalmente en el ámbito de lo que es la inocuidad (IAICA, 2000, p. 19).

Los vegetales, son una parte importante de la dieta humana, ya que contienen nutrimentos esenciales para el desarrollo normal del organismo (vitaminas, minerales y fibra). Algunos de estos nutrimentos esenciales y otros compuestos no esenciales, son absorbidos por la planta, desde el suelo hacia sus frutos, hojas, flores y tallo, en forma de disoluciones (Peter, H y otros, 2000, pp. 6-7). Estas disoluciones se encuentran conformadas por todo tipo de elementos y compuestos, entre ellos algunos elementos tóxicos. Estos elementos pueden ser perjudiciales ya que pueden desencadenar efectos colaterales a largo plazo en el ser humano hasta causar en algunos casos la muerte (Bautista, Z. F., 2000, pp. 20-21).

Al detectar elementos tóxicos con alta toxicidad (cobre, cadmio, plomo y arsénico), en vegetales, se pueden recomendar cambios esenciales en la práctica agrícola, para disminuir el riesgo potencial y efectos colaterales a largo plazo en las personas que consuman dicho alimento (Bautista, Z. F., 2000, pp. 625, 635 y 640).

La habilidad de los vegetales para la absorción de elementos tóxicos, varía considerablemente, dependiendo de la forma química y solubilidad del elemento pesado en el suelo, así como de la especie, estado de desarrollo, porcentaje de humedad vegetal, siendo esta última de gran importancia, ya que utiliza esta característica para poder absorber los elementos en sus tejidos vegetales (Peter, H y otros, 2000, pp. 8, 9). Un ejemplo de estos vegetales es la *Brassica oleracea* (brócoli).

Sobre la base de este conocimiento, se planteó el presente estudio, con el fin de determinar la presencia de elementos tóxicos (cobre, cadmio, plomo y arsénico) en *Brassica oleracea* que se cosecha en la parcela San José, Tecpán, Chimaltenango, realizando el análisis por medio de espectroscopía de absorción atómica con el propósito de establecer si existe contaminación del vegetal desde el punto de elementos metálicos.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Para el desarrollo y crecimiento del ser humano, el cuerpo necesita de diferentes elementos, esenciales y no esenciales, estos normalmente se obtienen de frutos, vegetales, carnes y alimentos en general (Velásquez, C., 2005, p. 63), que deben ser inocuos. Esto implica que al momento de la ingesta, no produzca ninguna enfermedad, ni daño adverso en la persona que lo consume, implicando la ausencia de microorganismos, elementos tóxicos, pesticidas u otros componentes que produzcan patologías en el ser humano. (Sastre G. A., 2005, p 504).

La presencia de elementos tóxicos en los vegetales, puede provocar patologías en las personas que los ingieren, causando en algunas ocasiones la muerte(Sastre G. A., 2005, p 510).

La *Brasica oleracea* (Brócoli), es uno de los vegetales que tiene una característica singular, ya que debido a su forma de crecimiento y su elevado nivel de absorción de nutrientes, en el desarrollo, puede retener elementos tóxicos que pueden encontrarse en el suelo, agua o fertilizantes (United States Department of Agriculture [USDA], 2006), una de las regiones en donde se cultiva este vegetal es en Tecpán municipio de Chimaltemango.

Debido a la situación geográfica de Tecpán, el suelo en el que se realiza la cosecha, es de tipo profundo, desarrollado sobre cenizas volcánicas (Guille T., Marco G., 2000, p. 13.), esto implica que componentes provenientes del volcán se pueden encontrar

en el suelo y al momento que el vegetal capta nutrientes para su crecimiento, puede concentrar algunos elementos, entre ellos elementos tóxicos.

Por lo tanto es necesaria la determinación cuantitativa de elementos tóxicos en este vegetal, para poder evaluar el riesgo potencial que pueda existir y garantizar el seguro consumo del vegetal.

3. JUSTIFICACIÓN

Guatemala posee una extensión territorial de 108,889 kilómetros cuadrados, de los cuales el 26.4% es apto para la agricultura, desarrollando cultivos tradicionales como el café, el azúcar, banano, cardamomo y no tradicionales, como brócoli, arveja china, col de Bruselas, ajonjolí, espárragos y chile, que se destinan a la venta dentro del país y exportaciones a diferentes países (IAICA, 2000, p. 22).

Los departamentos con mayor actividad agrícola son: Quetzaltenango, Huehuetenango, Chimaltenango, Escuintla, Retalhuleu, entre otros, siendo este último el que posee mayor potencial económico, debido a que la calidad de su suelo y el clima son elementos propicios para sus cultivos (IAICA, 2000, p. 24).

Sin embargo, en los ecosistemas agrícolas, la mayoría de los elementos tóxicos (cobre, cadmio, plomo y arsénico), están incluidos en un ciclo biogeoquímico, en el que participan componentes fundamentales como lo son el suelo, agua, aire y las plantas (IAICA, 2000, p. 25). Por una parte, dichos elementos llegan al suelo por vía aérea (aerosoles, partículas minerales, polvos suspendidos y transportados por el aire) y terrestre (composición natural, situación geográfica, fertilizantes, plaguicidas, residuos sólidos); siendo de dicha importancia la vía terrestre, ya que la composición del suelo puede favorecer grandemente que el vegetal absorba elementos tóxicos y otro tipo de componentes que se encuentran libre o disueltos en el suelo, rompiendo con la cadena de inocuidad del vegetal (Peter, H y otros, 2000, p. 9).

El siguiente factor a tomar es la capacidad que tienen los vegetales para concentrar compuestos absorbidos del suelo, por ejemplo, el brócoli, es un vegetal catalogado por su capacidad de bioacumulación como bajo, esto implica que no favorece el almacenamiento de elementos tóxicos en sus tejidos, es por ello que al realizar este estudio, se plantea la evaluación de la presencia o ausencia de elementos tóxicos, ya que si este vegetal es poco concentrador y se encuentran rangos elevados implica que otros vegetales que poseen mayor capacidad de bioacumulación pueden presentar concentraciones más elevadas y al momento de ingerir el alimento, puede desencadenar a largo plazo, enfermedades de tipo crónico, hasta causar la muerte (Peter, H y otros, 2000, p. 10).

Con base en lo anterior, se justifica este estudio, para determinar si el brócoli contiene elementos tóxicos (cobre, cadmio, arsénico y plomo), esto con el objeto de garantizar un alimento seguro, para el consumo humano.

4. MARCO TEORICO

4.1 ESPECIE VEGETAL

4.1.1 Brócoli (*Brassica oleracea*)

El brócoli es una planta formada por tallos carnosos y gruesos que emergen de axilas foliares formando inflorescencias, generalmente una central de mayor tamaño y otras laterales. La parte comestible, está formada por un conjunto de yemas florales con sus pedúnculos carnosos y a diferencia de la coliflor, puede producir otras pequeñas laterales que salen de las axilas de las hojas del tallo principal (USDA, 2006).

Tabla 1

Composición nutricional del Brócoli

Composición	Cantidad
Energía	28 Kcal
Agua	90.69 g
Proteína	2.98 g
Grasa	0.35 g
Cenizas	0.92 g
Carbohidratos	5.24 g
Fibra	3 g
Calcio	48 mg
Hierro	0.88 mg
Ácido Fólico	g/100 g

Fuente: USDA. Brócoli, fuentes y detalles. http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut_search.pl.

4.1.2 Composición nutricional:

El brócoli tiene un alto valor nutricional y medicinal que radica principalmente en su alto contenido de vitaminas, minerales, carbohidratos y proteínas. Los datos de la composición nutricional se deben interpretar por 100 g de la porción comestible (USDA, 2006).

4.1.3 Usos

Esta hortaliza se consume en fresco en ensaladas, sopas y tortas, entre otras. El consumo al natural implica una cadena de frío simple o un proceso de congelación IQF (Individual Quick Freezing). Industrialmente el brócoli es utilizado en la elaboración de encurtidos (Departamento Vegetal de la Universidad de Iztapalapa México. [DVUIM], 2006).

En los últimos años se le ha dado una mayor importancia al consumo de esta hortaliza, debido a resultados de investigaciones que afirman su efectividad en la prevención y control del cáncer por el alto contenido de ácido fólico en la inflorescencia y en las hojas. El ácido fólico está catalogado como el anticancerígeno número uno. Además, este componente está siendo utilizado para controlar la diabetes, osteoporosis, obesidad, hipertensión y problemas del corazón (DVUIM, 2006).

4.1.4 Operaciones básicas de acondicionamiento:

El brócoli es un conjunto de yemas florales que están en desarrollo y que tienden a florecer en muy poco tiempo. Si las condiciones de post-cosecha no le son propicias, se

modifican sus características, perdiendo color y consistencia (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la organización FAO [FAO],2006).

El período de cosecha es crítico, si se cosecha demasiado pronto, el brócoli pesa poco y la producción es baja. Si se cosecha demasiado tarde, los flores se abren, pierden color, compacidad, aumenta la fibrosidad del pedicelo y pierde su calidad comercial (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la organización FAO [FAO],2006).

El índice de madurez del brócoli se identifica por tener las flores cerradas y de color verde oscuro brillante, la cabeza compacta (firme a la presión de la mano), el tallo bien cortado y de la longitud requerida, sin daños de plagas o enfermedades. También es posible cosechar las cabezas secundarias, más pequeñas, las cuales se acondicionan en atados de varias a la vez. No conviene combinar cabezas principales con secundarias, ya que esto disminuye el precio obtenido por unidad de peso (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la organización FAO [FAO],2006).

4.2 ELEMENTOS TÓXICOS

Este término se refiere a elementos cuyo peso específico es superior a 5g/cm^3 y que tiene un número atómico por encima de 20. No obstante, no todos los elementos que tienen esas características tienen funciones análogas biológicas. Debido a las pequeñas cantidades que se manejan se denominan, a veces, elementos traza o metales traza y se incluye el aluminio que no se puede calificar como metal pesado (Juarez. P.J., 2006, p. 11).

El término elementos químicos tóxicos fue utilizado para nombrar químicos peligrosos y para el uso seguro de los mismos. Otro grupo clasificaba a los metales y algunos metaloides de acuerdo a su asociación con la contaminación y potencial tóxico, por lo que en la lista de las legislaciones no aplicaba para todos.

Un elemento químico tóxico es un metal o metaloides que posee un alto efectos tóxicos. Para no crear confusión con el término metal pesado este se asumió de acuerdo a su tendencia como toxicidad, propiedades eco-tóxicas, sus principios químicos y el uso seguro del metal, su conductividad eléctrica, efectos biológicos, etc. designándose la clasificación de elementos químicos tóxicos por la Unión Internacional de Sustancias Químicas Puras y su Aplicación por la Comisión Clínica Humana de Sustancias Tóxicas en sus siglas en inglés IUPAC (Juarez. P.J., 2006, pp. 12-15).

Desde el punto de vista de los seres vivos, hay elementos que se clasifican como tóxicos que son nutrientes (hierro, manganeso, zinc, cobre y molibdeno), elementos beneficiosos en ciertas circunstancias (níquel, cromo, vanadio y titanio) y elementos que, por ahora, no se consideran que tengan funciones en los seres vivos (cadmio, mercurio y plomo) (Juarez. P.J., 2006, pp. 18-22).

4.2.1 Procedencias de los elementos tóxicos en suelos

4.2.1.1 Origen natural

Los elementos tóxicos contenidos en el material original, al meteorizarse, se concentran en los suelos. Estas concentraciones naturales de metales pueden llegar a ser tóxicas para el crecimiento de las plantas, así por ejemplo, el níquel puede aparecer en concentraciones tóxicas en suelos derivados de rocas ultrabásicas (Crompton, T., 1996, pp. 25-28).

Concentraciones naturales muy altas en los suelos pueden ocasionar acumulación de algún metal en plantas y ocasionar efectos tóxicos para los animales que las consumen (Crompton, T., 1996, p. 30).

También se debe considerar las actividades volcánicas, que emiten los elementos tales como: arsénico, mercurio, selenio; en la tabla 2 se resume la composición en elementos tóxicos de diferentes entes naturales (Crompton, T., 1996, p. 32).

Los contenidos medios de metales en suelos se reproducen en la gráfica No. 1, pero se debe destacar que la concentración de los metales en los suelos varía considerablemente con la profundidad, como ocurre generalmente con todas las propiedades de los suelos (Crompton, T., 1996, p. 33).

4.2.1.2 Fuentes antropogénicas

Las actividades humanas han ejercido un efecto considerable en la concentración y movilidad de los metales en suelos. Por ejemplo:

- Productos químicos agrícolas y lodos residuales (García G. H., 1997, p 13).
- Actividades de minería y fundición. El proceso de minería implica: la extracción de las menas, el procesado preliminar, la evacuación de los residuos y transporte de los productos semi-procesados. Todas estas operaciones pueden producir una contaminación localizada de metales. El polvo originado puede ser depositado en los suelos a muchos kilómetros de distancia. En áreas mineras, las capas superiores de suelos minerales presentan concentraciones elevadas de cobre, níquel, arsénico, selenio, hierro y cadmio (García G. H., 1997, p 17).
- Generación de electricidad y otras actividades industriales. La combustión de carbón es una de las principales fuentes de deposición de metales en suelos. Las centrales térmicas de combustión de petróleo pueden ser fuentes de plomo, níquel y vanadio (García G. H., 1997, p 19).
- Las mayores fuentes industriales de metales incluyen fábricas de hierro y acero que emiten metales asociados con las menas de hierro, como el níquel. Las fábricas de baterías, pueden emitir cantidades considerables de plomo. Los metales asociados con áreas altamente industrializadas, incluyen arsénico, cadmio, cromo, hierro, níquel, plomo, zinc y mercurio (García G. H., 1997, p 20).
- Residuos domésticos. Aproximadamente el 10% de la basura está compuesta de metales. Uno de los problemas más serios de las sociedades modernas es como deshacerse de este volumen de basuras. Las dos alternativas son enterrar o incinerar. El enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras que la incineración puede contaminar la atmósfera al liberar algunos de los metales volátiles (García G. H., 1997, p 21).

Tabla 2 Elementos tóxicos en la naturaleza

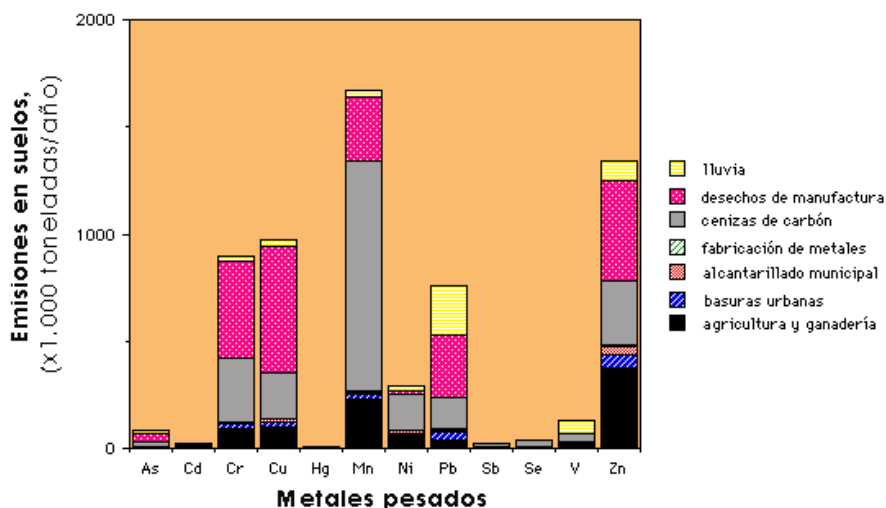
Elemento	Plantas terrestres (mg/kg)	Mamíferos (mg/kg)	Peces (mg/kg)	Agua marina (µg/l)	Agua continental (µg/l)	Lluvia (µg/l)
Plata	0.01-0.8	0.01-0.44	0.04-0.1	0.04	0.3	0.06
Aluminio	90-530	0.7-2.8	20	2	300	2.1-105
Arsénico	0.2-0.7	< 1.6	0.2-1	1.3-2.5	0.5	---
Cadmio	0.1-2.4	0.1-3.2	0.1-3	<0.025	0.1	0.02-0.06
Cromo	0.03-10	0.01-33	0.03-2	0.09-0.55	1	---
Cobre	5-15	1-26	0.7-1.5	0.01	3	0.01-15
Molibdeno	0.06-3	0.02-0.7	1	10	0.5	0.01-12

Fuente: Crompton, Thomas Analysis of solid in natural water. Springer-verlag Berlín Heidelberg, Germany 1996

4.2.1.3 Elementos tóxicos en el hombre

La vía primaria de entrada de elementos tóxicos en el hombre es la ingestión de alimentos (plantas y animales). Los elementos que pueden considerarse nocivos para las plantas, animales y el hombre son arsénico, boro, cadmio, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio y zinc (Soraya, P, 2006, p.149.)

Gráfica 1. Contaminación antropogénica que favorece la acumulación de metales



Fuente: J. Boixadera y M. R. Teira Aplicación agrícola de residuos orgánicos Editorial Lerida, (eds). 2001.?. Universidad de Lérida.

4.2.1.3.1 Factores que regulan la contaminación de elementos tóxicos en la planta

Las cantidades de elementos tóxicos en los suelos son diferentes. En general, los valores más elevados suelen reflejar una mayor actividad industrial (Boixadera, J., Teira, M. R., 2001, p.120)

En el suelo se pueden dar condiciones que influyen en mayor o menor medida sobre la capacidad de la fracción sólida del suelo de retener a los elementos tóxicos aportados: (Boixadera, J., Teira, M. R., 2001, p.121)

- Capacidad de intercambio catiónico. En líneas generales, cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico del suelo (función de la cantidad y tipos de materia orgánica y de arcilla que posea el suelo), mayor será la inmovilización ejercida sobre los metales (Boixadera, J., Teira, M. R., 2001, p.122).
- pH. Para la mayor parte de los elementos tóxicos, una disminución de pH aumenta el riesgo de paso a la solución del suelo. Se indica que una unidad de incremento en el pH hace

descender 100 veces los niveles de Cd, Cu, Ni y Zn en la solución del suelo (oixadera, J., Teira, M. R., 2001, p.123).

- Potencial de oxidación y reducción .
- Tipo de materia orgánica: cantidades de ácidos húmicos y fúlvicos .
- Efectos sinérgicos y antagónicos entre elementos. Dos elementos pueden producir acciones superiores a las que se obtendrían sumando las acciones de cada uno por separado. También pueden desencadenar efectos antagónicos que, orientados de forma adecuada, pueden resultar útiles para limitar los riesgos originados por la presencia de un cierto elemento; así, se indica que el problema del Cd puede ser regulada por el Zn, con una relación Zn/Cd elevada.

No obstante, cada elemento se comportará en cada suelo concreto de una manera determinada, pues son muchas las interrelaciones existentes e influyentes en el sistema suelo-planta (oixadera, J., Teira, M. R., 2001, pp. 125-127).

4.2.1.3.2. Bioacumulación

Por otra parte, no todas las plantas presentan ni la misma sensibilidad ni la misma capacidad de absorción frente a una concreta concentración de metal disponible; existe una gran disparidad en las relaciones de disponibilidad, toxicidad y respuestas de las plantas al estrés por metales (Guiffree. L., 2004, p.7).

Diversos autores han clasificado los vegetales de consumo humano y vegetal según su nivel de sensibilidad o tolerancia respecto a estos metales. Evidentemente, el

criterio no es homogéneo para todos los elementos frente a una misma especie vegetal; a pesar de ello estas listas suelen ser de gran utilidad (Tablas 4 y 5) (Guiffree. L., 2004, pp. 8-11).

Tabla 4. Bioacumulación relativa en las partes comestibles de diferentes cultivos, a partir de U.S. EPA.

Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Lechuga	Col rizada	Col	Judía
Espinaca	Nabo (raíces)	Maíz dulce	Guisante
Acelga	Rábano	Brócoli	Melón
Escarola	Mostaza	Coliflor	Tomate
Endibia	Patatas	Col de Bruselas	Pimienta
Berro		Apio	Berenjena
Nabos (hojas)		Frutos de baya	Árboles frutales
Remolacha			
Zanahoria			

Fuente: J. Boixadera y M. R. Teira (eds). 2001. "Aplicación agrícola de residuos orgánicos". Universidad de Lérida

La acumulación en determinados tejidos u órganos es variable, así: la asimilación de Cr, Hg y Pb es pequeña y son bloqueados en la raíz; Cd y Hg son más zootóxicos que fitotóxicos, es decir, pueden acumularse en tejido vegetal en concentraciones tóxicas para los animales, sin que ello produzca efecto adverso para la planta; o la elevada fitotoxicidad de Cu, Ni y Zn hace que el vegetal actúe de barrera de protección frente a la incorporación en la cadena trófica (Olivia, R., 2000. Pp. 131-133.).

El problema de los elementos tóxicos adquiere una especial importancia en la aplicación de lodos de las depuradoras de aguas residuales (EDAR) y compost de basuras domiciliarias y/o lodos de EDAR (Olivia, R., 2000. p. 135.).

Tabla 5. Bioacumulación relativa por vegetales: Cd y Pb en fracciones comestibles; Cu, Ni y Zn en hojas

Elemento	Alta	Baja
Cd	Lechuga, espinaca, apio, col.	Patata, maíz, judía, guisante
Pb	Col rizada, centeno, apio	Determinadas variedades de cebada, patata, maíz
Cu	Remolacha azucarera, determinadas variedades de cebada.	Puerro, col, cebolla
Ni	Remolacha azucarera, centeno, remolacha forrajera, nabo.	Maíz, puerro, cebada, cebolla
Zn	Remolacha azucarera, remolacha forrajera, espinaca, raíz de remolacha.	Patata, puerro, tomate, cebolla.

Fuente : J. Boixadera y M. R. Teira (eds). 2001. "Aplicación agrícola de residuos orgánicos". Universidad de Lérída)

Las cantidades de elementos tóxicos en estos materiales varían en función de los residuos que forman parte de las basuras o de las industrias que vierten sus aguas residuales en las alcantarillas. Sus contenidos dependen de las zonas de procedencia (Boixadera, J., Teira, M. R., 2001, p 136).

En relación con el compost de basuras domiciliarias, la recogida conjunta de los componentes de estas basuras incrementa el contenido final de los elementos tóxicos por dos vías:

- Directa por mezcla de pequeñas partículas que no son separadas durante la selección y afinado, realizado en las plantas; y
- Disolución provocada por las condiciones ácidas que se crean durante el almacenamiento (Boixadera, J., Teira, M. R., 2001, p 134).

Se ha comprobado que, únicamente, la selección de los residuos urbanos en origen (recogida selectiva) permite respetar las normas, cada vez más restrictivas, relativas a cantidades admisibles de elementos tóxicos, en materiales que se van aplicar al suelo (Boixadera, J., Teira, M. R., 2001, p 135).

Las cantidades totales de elementos tóxicos que contienen los lodos o los compost pueden obtenerse a partir de la disolución ácida de las cenizas o por digestión húmeda (medio oxidante y ácido) de la muestra. Su conocimiento permite apreciar los riesgos de acumulación de los elementos tóxicos en el suelo y valorar sus posibles peligros; sin embargo, el problema más inmediato estriba en la posibilidad de migración que tengan dichos metales en el suelo, así como su disponibilidad para las plantas (Alonzo, J, 2000).

Para determinar el contenido total de elementos tóxicos se realizan métodos de extracción. Estos utilizan agentes quelantes como DTPA (ácido

dietilentriaminopentaacético), con CaCl_2 , sal neutra y H_2O a temperatura ambiente (Boixadera, J., Teira, M. R., 2001, p 139).

La fracción separada con DTPA en el compost (fracción considerada útil para plantas), es posee Fe ya que es extraído en mayor cantidad, seguido por el Zn, Mn, Pb, Ni, Cu, Cr y Cd. Conforme avanzan los procesos de compostaje y maduración disminuyen los porcentajes de extracción de Fe, Mn, Ni y Cr: al Zn, que es el elemento que se extrae con mayor cantidad con DTPA después del Fe, ocurre lo contrario que a éste: conforme transcurren los procesos de compostaje y maduración, facilita su extracción. Esta misma tendencia, pero más atenuada, la muestran el Cu y el Pb (Alonzo, J, 2000).

En los mismos materiales, las cantidades de elementos tóxicos de cambio separados con CaCl_2 , son fácilmente asimilables por las plantas, son en valores absolutos, bastante menores que las que extrae el DTPA, excepto para el Pb, que permanecen constantes; ello puede indicar que el compostaje provoca una insolubilización de los metales que, de forma inmediata, pueden ser asimilados por las plantas, disminuyendo la absorción e introducción de elementos tóxicos en la cadena alimentaria (Boixadera, J., Teira, M. R., 2001, p 138).

De la misma forma, el compostaje hace disminuir la concentración de metales extraídos con H_2O , en todos los casos, aunque en menores proporciones que para los metales de complejo de cambio. En otras palabras, la aplicación de un compost maduro

conduce a una menor concentración de elementos tóxicos en la solución del suelo que la adición de residuos orgánicos sin compostar (Boixadera, J., Teira, M. R., 2001, p 139).

Determinados trabajos permiten afirmar que, en general, el proceso de compostaje o los sistemas de tratamiento a que se someten los residuos urbanos y las aguas residuales, conducen al aumento de la concentración total de elementos tóxicos. En el tratamiento de aguas, los metales son contaminantes que se van separando del agua y, por tanto, concentrándose en los lodos; y en el compostaje, debido a la pérdida de peso que tiene lugar como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica y escape a la atmósfera de agua y dióxido de carbono (Boixadera, J., Teira, M. R., 2001, p 137).

No obstante, estos mismos estudios han constatado que metales que inicialmente estaban en los residuos en formas muy asequibles para ser absorbidos por las plantas, no son solubles, quedando una menor cantidad a disposición de las plantas, durante el proceso de compostaje y maduración (Guiffree. L., 2004, p.10).

La insolubilización de estos metales se atribuye a reacciones de oxidación (el compostaje es un proceso biooxidativo) que, juntamente con el pH del medio (más alcalino que el inicial) hace que se formen óxidos, hidróxidos y carbonatos poco solubles y a que, es posible, que una pequeña fracción forma complejos o quelatos con la fracción orgánica, más polimerizada al final del proceso (Guiffree. L., 2004, p.12).

Hay que resaltar que en todo lo expuesto influyen, en gran medida, las peculiaridades químicas de cada elemento (Guiffree. L., 2004, p.13).

El tipo y composición del suelo, las características de las especies orgánicas e inorgánicas y su poder quelante, el valor y márgenes del pH, el estado redox y la especiación química, así como las interacciones suelo/planta de la rizosfera y la naturaleza, sensibilidad y edad del vegetal ocupan un lugar central en las relaciones de disponibilidad, toxicidad y respuesta de las plantas al estrés por metales (Alonzo, J, 2000).

4.3 Elementos tóxicos de interés

4.3.1 Plomo

4.3.1.1 Características generales

El plomo es un elemento químico cuyo símbolo es Pb (del latín *Plumbum*) y su número atómico es 82 según la tabla periódica. Al clasificar los elementos Antoine Lavoisier no lo reconocía como un elemento metálico común por su gran elasticidad molecular (Dreisbach. R.,1999, p.205-206).

El plomo es un metal pesado de densidad relativa o gravedad específica 11.4 a 16 °C, de color azulado. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Su fusión se produce a 327.4 °C y hierve a 1725 °C. Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido

plúmbico. Tiene la capacidad de formar muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. Los cuatro isótopos naturales son, por orden decreciente de abundancia, 208, 206, 207 y 204. Se cristaliza en el sistema cúbico en forma de cara centrada invertida (Dreisbach. R.,2000, pp205, Choppin, G., 2005,pp 231-235).

El plomo es virtualmente inocuo en el ambiente como resultado de su ocurrencia natural y de su uso industria. La ingesta diaria normal para un adulto, oscila entre 0.1 a 0.2 mg. Sin embargo, la mayor parte de la toxicidad manifiesta por el plomo resulta de la exposición ambiental e industrial. Este metal es un veneno acumulativo sumamente tóxico para la biota acuática, especialmente los peces. A pesar de que el plomo es absorbido muy lentamente en el cuerpo la velocidad de excreción por los peces es lenta (Braunwald, E., , 2002, p 3033; Schoen, E.J,1993; Marbán, L., 1999, p. 15; Alarcón M.,2006.).

4.3.1.2. Localización en la naturaleza

El plomo se encuentra ampliamente distribuido por todo el planeta en forma de galena, que es sulfuro de plomo. Ocupa el lugar 36 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. La cerusita y la anglesita son sus menas más importantes después de la galena (Soraya, P., 2006, p148; Alarcón M.,2006.).

Una fuente importante de obtención de plomo son los materiales de desecho industriales, que se recuperan y funden. Debido a que la galena contiene normalmente otros metales, el plomo en bruto obtenido por procesos de fundición suele tener impurezas de metales como cobre, cinc, plata y oro (Soraya, P., 2006, p150).

El plomo en bruto suele purificarse removiendo plomo fundido en presencia de aire. Los óxidos de las impurezas metálicas suben a la superficie y se eliminan. Los grados más puros de plomo se obtienen refinando electrolíticamente (Soraya, P., 2006, p147).

4.3.1.3. Toxicología

Las vías principales de absorción del plomo son el tracto gastrointestinal y el sistema respiratorio. La absorción gastrointestinal varía con la edad; los adultos absorben alrededor del diez por ciento del plomo ingerido mientras que los niños absorben alrededor del cuarenta por ciento. Después de la absorción, el plomo inorgánico se distribuye inicialmente en los tejidos blandos, en particular en el epitelio tubular renal e hígado. Luego, el plomo es redistribuido y depositado en huesos, dientes y pelo. Con el tiempo en el hueso se encuentra cerca del noventa y cinco por ciento de la carga corporal del metal. Pequeñas cantidades de plomo inorgánico se acumula en el cerebro, la mayor parte en sustancia gris y en los ganglios basales. (Braunwald, E, 2002, p3033 ; Alarcón M.,2006.).

La intoxicación aguda por plomo es bastante infrecuente y se produce por la ingestión de compuestos de plomo solubles en ácido o por inhalación de vapores de plomo. Las acciones locales en la boca producen astringencia pronunciada, sed y un sabor metálico. Se presentan náuseas, dolor abdominal y vómitos.

Las soluciones tóxicas normalmente son lechosas, debido a la presencia de $PbCl_2$, provocando diarrea o constipación. Si se absorben con rapidez puede desarrollarse síndrome de shock como resultado de la pérdida gastrointestinal masiva de líquido. Los

síntomas agudos se observan en el sistema nervioso central, incluyendo: dolor, parestesias y debilidad muscular, a veces se produce una crisis hemolítica aguda, anemia y hemoglobinuria (Alarcón M.,2006.).

Los signos y síntomas de la intoxicación crónica (saturnismo) puede dividirse en seis categorías: gastrointestinales, neuromusculares, del sistema nervioso central, hematológicos, renales y otros. Pueden ocurrir por separado o por combinaciones. La manifestación más grave de plomo en el sistema nervioso central es el saturnismo y es más frecuente en niños que en adultos. Los signos tempranos del síndrome pueden ser torpeza, vértigo, ataxia, caídas, cefalea, insomnio, inquietud e irritabilidad. Cuando desarrolla la encefalopatía, el paciente se vuelve primero excitado y confuso; luego se presenta delirio con epilepsia, letargo y coma. (Marbán L, 1999.).

4.3.2. Arsénico

4.3.2.1 Características generales

El arsénico (del persa *Zarnikh*, *oropimente amarillo* o bien del griego *arsenikón*, *masculino*) es un elemento químico cuyo símbolo es As y el número atómico es 33. En la tabla periódica de los elementos se encuentra clasificado en el quinto grupo. El arsénico se ha observado en pocas ocasiones de forma sólida, y se encuentra en forma de sulfuros. Pertenece a los metaloides, ya que muestra propiedades intermedias entre los metales y los no metales (Choppin, G., 2005, p298).

El arsénico presenta tres estados alotrópicos, grises o metálicos, amarillos y negros. El arsénico *gris metálico* (forma α) es de forma estable en condiciones normales y tiene estructura romboédrica, es un buen conductor del calor pero pobre conductor eléctrico, su densidad es de $5,73 \text{ g/cm}^3$, pierde el lustre metálico al estar expuesto al aire (Choppin, G., 2005, p.300).

El arsénico *amarillo* (forma γ) se obtiene cuando el vapor de arsénico se enfría rápidamente. Es extremadamente volátil y más reactivo que el arsénico metálico y presenta fluorescencia a temperatura ambiente. El gas está constituido por moléculas de As_4 de forma análoga al fósforo y el sólido formado por la condensación del gas, tiene estructura cúbica, es de textura jabonosa, con densidad aproximada de $1,97 \text{ g/cm}^3$. Expuesto a la luz o al calor revierte a la forma estable (gris). También se denomina arsénico amarillo al oropimente, mineral de trisulfuro de arsénico (Choppin, G., 2005, p.306).

Una tercera forma alotrópica, es el arsénico *negro* (forma β) de estructura hexagonal y densidad $4,7 \text{ g/cm}^3$, tiene propiedades intermedias entre las formas alotrópicas descritas y se obtiene en la descomposición térmica de la arsina (Choppin, G., 2005, p.310).

A presión atmosférica el arsénico sublima a $613 \text{ }^\circ\text{C}$, y a 400°C arde con llama blanca formando el sesquióxido As_4O_6 . Reacciona violentamente con el cloro y se combina, al calentarse con la mayoría de los metales para formar el arseniuro correspondiente y con el azufre. No reacciona con el ácido clorhídrico en ausencia de oxígeno, pero sí con el

nítrico caliente, sea diluido o concentrado y otros oxidantes como el peróxido de hidrógeno, ácido perclórico. Es insoluble en agua (Dreisbach. R., 1999, p.225).

4.3.2.2. Localización en la naturaleza

El arsénico se encuentra en la tierra, el agua, y el aire como un tóxico ambiental común, puede encontrarse en mayor proporción en peces y mariscos. El átomo de arsénico existe en forma elemental y en estado de oxidación trivalente y pentavalente. La toxicidad de un arsenical dado se relaciona con la velocidad de depuración del organismo y en consecuencia, con su grado de acumulación tisular. En general, la toxicidad aumenta en la secuencia de los arsenicales orgánicos (Marbán L, 1999, 18-19).

4.3.2.3 Toxicología

La ingesta humana diaria promedio de arsénico es de alrededor de 300 microgramos que a largo plazo puede causar patologías. Casi todo se ingiere con el alimento y agua. El arsénico se deposita principalmente en hígado, tracto intestinal, riñón, corazón y pulmón (Dreisbach. R.,1999, p 227).

Se encuentra en cantidades menores en músculo y pulmón. Los peces y en particular los camarones, tienden a concentrar el arsénico (Dreisbach. R.,1999, p 227; , Marbán L, 1999, p 17).

Al intoxicarse con arsénico la sintomatología general es: malestar gastrointestinal alrededor de una hora después de la ingestión, aunque puede demorarse hasta 12 horas el alimento en el estómago. Ardor de los labios, constricción de la garganta y dificultad en la deglución pueden ser los primeros síntomas, seguidos por dolor gástrico intolerable, vómitos en gran intensidad diarrea intensa, con calambres músculo esqueléticos pronunciados y sed intensa. A medida que continúa la pérdida de líquido, aparecen los síntomas de shock, coma y muerte (Dreisbach. R.,1999, p 227; , Marbán L, 1999, p 17)

La importancia de la intoxicación crónica por arsénico, se centra en que los compuestos son fetotóxicos, teratógenos y cancerígenos, afectando específicamente la piel, pulmones, riñones y sistema nervioso. La ingesta a largo plazo puede causar deterioro físico, mental, lesiones en la piel y uñas. (Marbán L, 1999, p 17).

4.3.3. Cadmio

4.3.3.1 Características generales

El cadmio es un elemento químico de número atómico 48 situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cd. Es un elemento pesado, blanco azulado, poco abundante, dúctil y maleable. Es uno de los metales más tóxicos, aunque podría ser un elemento químico esencial, necesario en muy pequeñas cantidades. Normalmente se encuentra en menas de zinc y se emplea especialmente en pilas (García G. H., 1997, p 30).

Su estado de oxidación más común es el +2. Puede presentar el estado de oxidación +1, pero es muy inestable (Choppin, G., 2005, p. 448).

El cadmio posee propiedades metalúrgicas con alta resistencia a la corrosión, características electroquímicas y otras propiedades útiles en galvanización, pigmentos para pintura y acumulaciones de níquel-cadmio. Las sustancias alimenticias no contaminadas contienen menos de 0.05 microgramos de cadmio por gramo de peso húmedo y la ingesta diaria promedio es de alrededor de 50 microgramos (Dreisbach. R.,1999, p 229; Choppin, G., 2005, p. 448).

4.3.3.2. Localización en la naturaleza

De forma natural, grandes cantidades de cadmio son liberadas al ambiente en los ríos a través de la descomposición de rocas, mientras que una pequeña parte es liberada a la atmósfera a través de incendios forestales, volcanes y en la quema de combustibles fósiles y residuos urbanos (Alonzo, J.,2000).

Otra fuente importante de emisión de cadmio, es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales, en los que parte del cadmio se acumulará en el suelo, y otra parte se verterá a las aguas superficiales, provocando contaminación de la vida acuática (Alonzo, J.,2000)..

A nivel industrial, los procesos de producción de zinc, minerales de fosfatos y las industrias de fabricación de estiércol son los focos de emisión de cadmio más significativos.

4.3.3.3. Toxicología

El cadmio solo existe en estado univalente, +2, y no forma compuestos alquilo estables ni otros compuestos órgano metálicos de significación toxicológica. La intoxicación aguda puede producirse por inhalación de polvo y vapores de cadmio y por ingestión del metal. Los efectos tóxicos iniciales se deben a irritación local. La sintomatología inicial son náuseas, vómitos, salivación, diarrea, cólicos abdominales. La toxicidad puede progresar hasta incluir edema pulmonar fatal o enfisema residual con fibrosis peri bronquial y peri vascular (Dreisbach. R.,1999, p 239).

El cadmio puede causar daño a los pulmones, riñones, sistema cardiovascular, sistema óseo y es altamente tóxico para los espermatozoides humanos (Alonzo, J.,2000).

4.3.4. Cobre

4.3.4.1. Características generales

Elemento químico, de símbolo Cu, con número atómico 29; uno de los metales de transición e importante metal no ferroso, tiene una densidad de 8.96 g/cm^3 a 20°C , mientras que el del tipo comercial varía con el método de manufactura, oscilando entre 8.90 y 8.94. El punto de fusión del cobre es de $1083.0 (+/-) 0.1^\circ\text{C}$ ($1981.4 +/- 0.2^\circ\text{F}$). Su punto de ebullición normal es de 2595°C (4703°F). El cobre no es magnético, su conductividad térmica y eléctrica son muy altas (Guiffree. L., 2004 p. 18).

El cobre es un elemento esencial para el hombre. Interviene en el desarrollo de los huesos y del tejido elástico, en el funcionamiento del sistema nervioso central y en la síntesis de hemoglobina (Guiffree. L., 2004, p 13 , OMS, 1997, 110-112).

Las recomendaciones diarias se estiman en 2 mg (Merck. 2100, p. 562). Dada su gran distribución, es prácticamente imposible preparar una dieta que contenga menos de esta cantidad (Menéndez, G. M., 1997, pp. 101-105).

Entre los alimentos más ricos en cobre se encuentran las ostras, hígados, hongos, nueces y chocolate (Guiffree. L., 2004, p. 11). Además, el contenido de este metal puede aumentar por el uso de cerámicas y utensilios domésticos que contenga este metal, es muy utilizado en la agricultura en los fertilizantes (Menéndez, G. M., 1997, p. 118).

El agua de bebida contiene generalmente 0,1 mg/L. Si se acepta esta concentración como típica en el agua potable, ésta podría contribuir a la nutrición entre un 6 y un 10% de las necesidades diarias de cobre. No obstante, algunas aguas contienen niveles más elevados e incluso se han encontrado contribuciones del 40%. El Comité Mixto FAO/OMS establece la cantidad de 0,5 mg/Kg como ingestión máxima diaria admisible (Menéndez, G. M., 1997, p. 119).

4.3.4.2. Localización en la naturaleza

La presencia natural promedio del cobre en la corteza terrestre es de alrededor de 60 miligramos por kilogramo (mg/kg), mientras que en los depósitos minerales alcanza

concentraciones entre 5.000 y 50.000 mg/kg (0,5-5%). En suelos agrícolas varía, dependiendo de múltiples factores, entre 2 y 500 mg/kg.

En áreas rurales no contaminadas, los niveles de cobre van entre 5 y 10 millonésimas de mg por metro cúbico de aire, pero en áreas contaminadas puede alcanzar hasta mil veces ese valor. En aguas no contaminadas se detectan niveles entre 0,0001 y 0,005 mg/L. En general, en el mar se encuentran las concentraciones más bajas.

En los cursos de aguas cercanas a zonas industrializadas se pueden encontrar concentraciones de 0,05 mg/L.

Los criterios de calidad del agua para cursos naturales determinan niveles de cobre del orden de 0,01 mg/kg, aunque lamentablemente a menudo no se hace diferencia entre cobre total y la fracción disuelta (Menéndez, G. M., 1997, pp. 119-122).

4.3.4.3. Toxicología

La absorción del cobre es del orden del 30% y es disminuida por altas ingestas alimentarias de hierro, molibdeno y zinc (Menéndez, G. M., 1997, p. 121). Este elemento se almacena preferentemente en el hígado, riñón, músculo, corazón y cerebro. Su deficiencia produce anemia, neutropenia y desmineralización ósea (Dreisbach. R., 199, p. 228.), mientras que la ingestión en exceso es tóxica.

Aunque no son frecuentes las intoxicaciones agudas por este metal, dadas sus propiedades eméticas y laxantes, se caracterizan por náuseas, vómitos, dolor de cabeza y

debilidad. Los casos más graves cursan con taquicardia e hipertensión que pueden ir seguidas por ictericia, anemia hemolítica, uremia y muerte (OMS, 1997, p 114).

Tras la absorción, por vía gastrointestinal, de cantidades pequeñas pero repetidas pueden presentarse náuseas, salivación, dolor epigástrico, diarreas, vértigo, debilidad e ictericia. Así, se han observado vómitos y diarreas por consumo de té con 25 ppm de cobre y se han descrito también erupciones cutáneas por ingestión de agua con 7,6 ppm de este metal (OMS, 1997, p 114).

Un caso especial de intoxicación se produce en la enfermedad de Wilson, alteración congénita que afecta al metabolismo del cobre, en la que aparecen trastornos con la ingestión de concentraciones normales de este metal (Menéndez, G. M., 1997, pp. 111-114)

Aunque se han encontrado valores elevados de cobre, hierro y zinc en ciertos tumores provocados experimentalmente en animales de laboratorio por xenobiótico orgánicos, no ha sido demostrada la responsabilidad carcinogénica del cobre (Menéndez, G. M., 1997, pp. 111-114; Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Ministerio de Comunicación Guatemala[MAGA], 2006,pp 2-4).

4.4 Límites permisibles de elementos tóxicos en alimentos de consumo humano según Pearson

Tabla No. 6 Límites permisibles de elementos tóxicos en alimentos de consumo humano según Pearson y algunas reglas nacionales e internacionales (7, 31, 32)

Alimentos	Reglamento	Elementos tóxicos mg/kg de peso (L litro)			
		Cobre	Plomo	Arsénico	Cadmio
Atún	Guatemala	NR	0.3	NR	0.1
Camarón	México	0.28	0.01	0.102	0.003
Leche cruda	Unión Europea	0.4	0.02	NP	0.01
Carne bovino, ovino, aves	Unión Europea	NR	0.1	0.08	0.05
Carne de pescado	Unión Europea	0.3	0.3	0.07	0.05
Cereales, legumbres y legumbres secas	Unión Europea	0.2	0.2	0.81	0.1
Hortalizas	Unión Europea	NR	0.3	0.2	0.2
Frutas	Unión Europea	NR	0.1	NR	0.2
Agua potable	Guatemala	1.5	0.01	0.01	0.03

Nr: no reporta, NP: no debe estar presente Fuente: Comité de Sanidad Acuicultura Mexicano del estado de Sonora, Norma internacional Mexicana sobre producción y cultivo de camarón, Límites permisibles de metales pesados; UNION EUROPEA. Contenido máximo en metales pesados en productos alimenticios, norma número 96/42, Secretaría general de comercio exterior; Codex Alimentarius Vol. 2B. Lista de los límites Máximos del Codex para Residuos de plaguicidas y Límites Máximos del Codex para Residuos extraños, Norma COGUANOR 29001, Agua potable, Coguanor, 1995.

La composición de un alimento puede diferir considerablemente dependiendo de la variedad local y otros factores tales como el clima, época de cosecha, grado de madurez, tipo de suelo de cultivo, agua de riego, entre otros.

Los alimentos pueden clasificarse de varias maneras. Una de las más generalizadas es aquella que se usa como base para obtener una nutrición equilibrada y que indica cuál es la frecuencia con que deben consumirse diversos tipos de alimentos.

Los alimentos de consumo humano deben de cumplir con ciertas características según el país; en el marco de los elementos tóxicos, existe esa misma relación, es por ello que a continuación, se presenta una tabla en la que se pueden observar algunos límites permisibles de éstos en diversos tipos de alimentos de consumo humano.

4.5 TECPÁN, CHIMALTENANGO

4.5.1 Descripción y situación geográfica

Tecpán Guatemala, es cabecera del departamento de Chimaltenango, fundada por el conquistador Don Pedro de Alvarado el 25 de julio de 1524 con el nombre de “Villa de Santiago”, lugar que los kaqchikeles llamaban Iximché y los indígenas mexicanos dieron el nombre de Tecpán Guauhtemalan de donde se deriva el nombre que hoy conserva (MAGA], 2006,pp 10-15).

Está situado dentro de lo que es el Altiplano Central de la República, tiene una extensión territorial de 201 kilómetros cuadrados. Cuenta con 34 aldeas, 17 caseríos y una población aproximadamente de 59,859 habitantes, su clima es frío con una altura de 2286 metros sobre el nivel del mar (MAGA, 2006,p. 17).

Colinda al Norte con Joyabaj (Quiché), al Este con Santa Apolonia y Comalapa (Chimaltenango), al Sur con Santa Cruz Balanza y Patzún (Chimaltenango), al Oeste con Chichicastenango (Quiché), y San Andrés Semetabaj y San Antonio Palopó (Sololá) (OMS, 1997).

Los suelos que prevalecen en este municipio, según el mapa de reconocimientos de la República de Guatemala, son de tipo profundos desarrollados sobre cenizas volcánicas, esto implica que la siembra se puede hacer a una profundidad de un metro hasta llegar a una capa limitante, además pertenece a la zonificación ecológica de Holdridge y su precipitación oscila entre 1500 a 2000 mm anuales (Guille T.,2000, p 10).

4.5.2. Producción Agrícola

La producción agrícola del municipio de Tecpán se basa en granos, hortalizas y frutas

La principal producción de hortalizas en el municipio de Tecpán se basa en verduras (Tabla 8)

Tabla 7 Producción de Granos en el municipio de Tecpán

Cultivo	Manzanas cultivadas	Rendimiento Ton/Ha	Costo de Producción por manzana
Maíz blanco	1,765.78	73,800	Q.7,883.00
Maíz amarillo	1,107.30	77,000	Q.7,883.00
Fríjol negro	732.86	23300	Q.2,400.00

Fuente Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Ministerio de Comunicación Guatemala. Plan de reconstrucción del Departamento de Chimaltenango. 2006. Guatemala. Doc. Tec. 112pp.

Tabla 8 Producción de Hortalizas en el municipio de Tecpán

Cultivo	Hectareas cultivadas
Repollo	237
Brócoli	18000
Col de Bruselas	131
Arveja china	907
Rábano	174
Remolacha	198
Zanahoria	400
Tomate	489
Papa	798
Lechuga	799
Güicoy	379

Fuente: Investigación de Campo y anexo 13 costo de producción de cada hortaliza. Información Estratégica MAGA-Chimaltenango.

Su forma de cultivo se realiza por monocultivo o cultivo permanente.

Los monocultivos se realizan en una sola cosecha por año en los meses de diciembre y enero (Guille T.,2000, p 10).

Los cultivos permanentes se cosechan en invierno, únicamente la anona y la granadilla se cosechan en verano y su siembra se realiza en invierno (MAGA, 2006,p. 19).

4.5.3. Manejo Post-cosecha en el municipio de Tecpán Chimaltenango.

El manejo post-cosecha constituye la operación final en la producción de un cultivo. Esta debe efectuarse tan pronto las plantas o frutos lleguen a su estado de madurez de secado. Según los fines a que el producto sea destinado y a la aceptación que se tenga en el mercado (MAGA], 2006,p. 17).

La práctica en el manejo post-cosecha de granos básicos, se utiliza la forma tradicional que sirve para almacenamiento. Y en la práctica del manejo Post-cosecha de hortalizas en nuestro medio se utilizan cajas de madera y cajas de plástico que sirve para transportar, las hortalizas que requieren de cajas para transportarlas son: apio, arveja, brócoli, col de Brúcelas, coliflor, fresa, güisquil, lechuga, papa, rábano, tomate (30).

Tabla 9 Labores culturales en Hortalizas en el municipio de Tecpán, Guatemala.

Cultivos	Fecha de siembra	Fecha de Cosecha
Repollo	Mes de mayo	Mes de agosto
Brócoli	Mes de mayo	Mes de agosto
Col de Bruselas	Mes de mayo	Mes de agosto

Arveja	Mes de mayo	Mes de agosto
china		
Rábano	Mes de mayo	Mes de junio
Remolacha	Mes de mayo	Mes de agosto

Fuente Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Ministerio de Comunicación Guatemala. Plan de reconstrucción del Departamento de Chimaltenango. 2006. Guatemala. Doc. Tec. 112pp

4.6. ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (EAA)

La Espectroscopía atómica abarca un conjunto de técnicas basadas en la emisión, absorción y fluorescencia de la radiación producida por el vapor atómico. La palabra atómico no sólo hace referencia a átomos neutros sino también a iones como K^+ , Ba^{2+} , entre otros (Menéndez, G. M..1997, p 120).

El estudio espectroscópico de átomos o de iones elementales como Fe^{3+} , Mg^{2+} , o Al^{3+} , con radiación Ultravioleta-Visible sólo se puede hacer en fase gaseosa, que es donde los átomos o iones se encuentran separados entre sí. Por eso el primer paso en todos los procesos espectroscópicos atómicos es la atomización, un proceso por el cual una muestra se volatiliza y descompone de forma que produce un gas atómico (figura 1) (Bistream (2008).

El alcance de las técnicas se ha extendido hasta cubrir sesenta y siete elementos. La mayoría de estos pueden detectarse a nivel traza. Para algunas determinaciones, los límites de detección en el rango de partes por billón entran en la capacidad de detección de

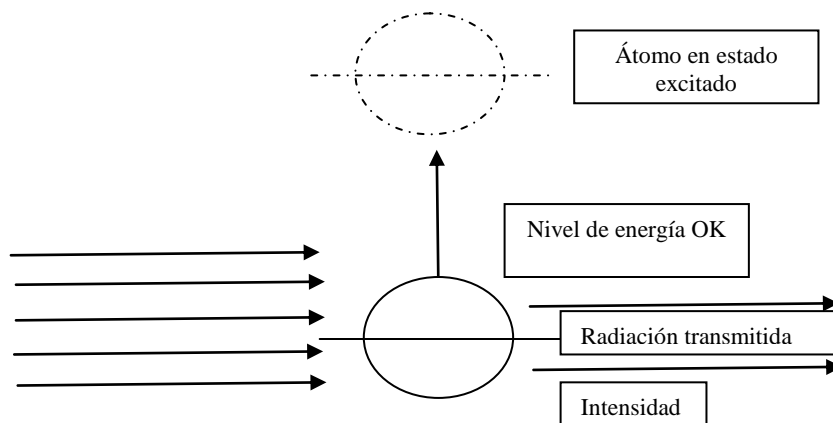
los instrumentos modernos, la espectroscopía de absorción atómica se ha convertido en una técnica de preferencia para el análisis de mezclas complejas (Skoogs. A., 1994, p. 185)

La técnica se basa en la absorción de energía de electrones de valencia de átomos en estado basal. Consecuentemente, la única interferencia encontrada es causada por aquellos procesos químicos y físicos que inhiben la formación de átomos. Dicha interferencia es común a todas las técnicas de espectroscopía de flama y frecuentemente puede minimizarse o eliminarse por la cuidadosa selección del tipo de flama (Skoogs. A., 1994, p. 182).

En la aplicación práctica de la EAA, la cantidad de energía absorbida por la muestra es proporcional al número de átomos de la muestra y a la capacidad de cada átomo de absorber energía. Se utiliza en el análisis cuantitativo (Skoogs. A., 1994, p. 185).

Figura 1

Esquema simplificado de la absorción atómica de energía radiante



Fuente: Skoogs. A. Análisis instrumental Editorial McGraw Hill/Interamericana. España S.A. 1994, Cuarta Edición.

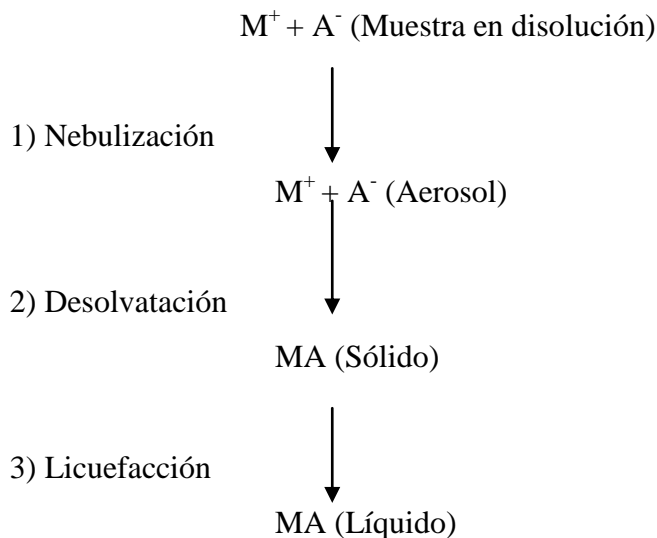
1. La llama como fuente de vapor atómico

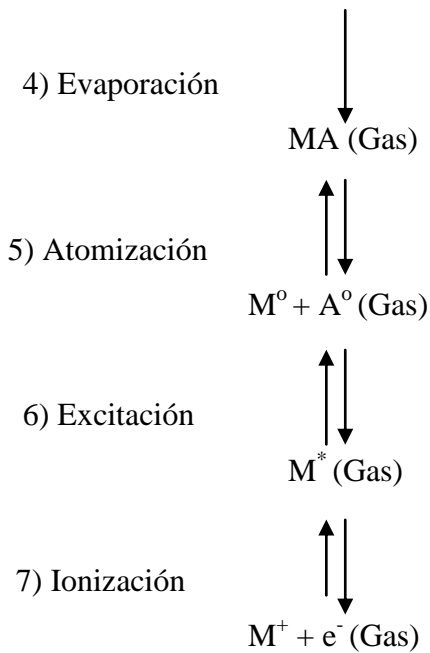
En la atomización por llama, la disolución acuosa de la muestra se dispersa o nebuliza como una fina nube y luego se mezcla con el combustible gaseoso y oxidante para arrastrarla al mechero. El disolvente se evapora en la llama.

La llama de aire/acetileno, que alcanza temperaturas de 2200 a 2400 °C, se emplea en la determinación de muchos elementos por absorción atómica. Esta llama favorece la formación de átomos neutros (Thermo Electron corporation, 2004.)

2. Etapas y procesos de la atomización

Las etapas implicadas en la atomización de los analitos son comunes a todos los métodos de llama: a) transporte de la disolución que contiene el analito; b) nebulización; c) transporte del aerosol; d) desolvatación; e) vaporización; f) equilibración de las especies vaporizadas; y g) medida de absorción emisión o fluorescencia atómica (Thermo Electron corporation, 2004).





- a) *Transporte de la disolución.* Es el movimiento de la disolución desde el recipiente que la contiene hasta el nebulizador. Las disoluciones deben ser iguales en cuanto a disolventes, viscosidad, tensión superficial. Así mismo deben evitarse disoluciones turbias y con partículas en suspensión (Thermo Electron corporation, 2004).
- b) *Nebulización.* Implica la conversión de la disolución en aerosol (suspensión de partículas ultramicroscópicas de sólidos o líquidos en el aire u otro gas). El objetivo ideal es convertir la disolución en aerosol con una eficacia del 100% (Thermo Electron corporation, 2004).
- c) *Transporte del aerosol.* El aerosol es transportado hasta la llama a través de la cámara de mezcla (Thermo Electron corporation, 2004).

- d) *Desolvatación.* Conversión del aerosol en partículas de sal. La velocidad de desolvatación depende de factores tales como el tamaño de las gotas, disolvente, velocidad de aspiración, temperatura de la llama, entre otros. (Thermo Electron corporation, 2004).
- e) *Vaporización.* Conversión en la llama de las partículas de sal en vapor. Esta es una etapa crítica en los métodos de llama y en ella pueden presentarse serias interferencias (Thermo Electron corporation, 2004).
- f) *Equilibrado de las especies vaporizadas.* Es la última etapa antes de la medición, es la formación de un equilibrio entre especies moleculares, iones y átomos (Thermo Electron corporation, 2004)

5. OBJETIVOS

5.5. Generales

5.5.2. Establecer cuantitativamente la concentración de cobre, cadmio, arsénico y plomo, en el brócoli (*Brassica oleracea*) que se cultiva en la parcela San José, Tecpán, Chimaltenango para evaluar la contaminación del alimento.

5.6. Específicos

5.6.2. Determinar cuantitativamente la concentración de cobre, cadmio, arsénico y plomo por la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, en el brócoli que se cultiva en la parcela San José, Tecpán Tecpán Chimaltenango

5.6.3. Establecer el nivel de toxicidad, para evidenciar en función del material vegetal analizado, si sobrepasa los límites de elementos tóxicos permitidos para el consumo humano según la Composición de los alimentos de Pearson.

6. HIPOTESIS

La concentración de cobre, arsénico, cadmio y plomo que se encuentran en el brócoli (*Brassica oleracea*) que se cultiva en la parcela San José Tecpán, Municipio de Chimaltenango, no excede los límites establecidos según el compendio de la composición alimentaria de Pearson.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.5. Universo del trabajo

El universo de este trabajo de investigación, lo conforman las cosechas de brócoli (*Brassica oleracea*), que se cultivan en la finca San José, Tecpán, Chimaltenango

7.6. Muestra

Está conformada por 24 flores de brócoli, cosechadas en la finca San José, Tecpán, Chimaltenango.

7.7. Unidad Muestral

Una flor de brócoli del total de la muestra, de la Finca San José, Tecpán, Chimaltenango.

7.8. Recursos

7.8.2. Humanos

- Lic. Julio Antonio Turcios Pérez
- MSc Félix Ricardo Véliz

7.5 Institucionales

- Laboratorio de Investigación Química y Ambiental (LIQA), Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.
- Laboratorio de Productos Naturales (LIPRONAT).
- Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala

- Biblioteca Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
- Biblioteca Universidad del Valle de Guatemala
- Biblioteca Universidad Francisco Marroquín
- Biblioteca Universidad Mariano Gálvez
- Biblioteca del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá/OPS

7.6 Materiales

7.6.1 Equipo

- a. Espectrofotómetro de Absorción atómica Thermo electron C. Type S4 AA system serie S, AA spectrometer
- b. Deshidratador eléctrico American Harvest Nesco Modelo FD 35
- c. Balanza semianalítica Mettler PM600
- d. Estufa de calentamiento Thermolyne nuova # sti plate
- e. Incinerador Barnstead/thermolyne furnace 48000

7.6.2 Reactivos

- a. Ácido clorhídrico Concentrado grado reactivo 37% p/v
- b. Carga de Acetileno grado Absorción Atómica 96 %
- c. Ácido nítrico Concentrado grado reactivo al 65% p/v
- d. Extrán libre de fosfatos grado analítico
- e. Agua desmineralizada

7.6.3. Cristalería

- a. 1 Mortero y pistilo de porcelana grandes
- b. 1 Termómetro (-10°C a 280°C)
- c. 3 Crisoles de porcelana de 20 y 40 mL
- d. 6 Balones aforados de 25 mL
- e. 6 vasos de precipitación de 50 mL
- f. 2 Probetas de 20 mL
- g. 6 Embudos de vidrio
- h. 3 Pipetas volumétricas de 10 mL
- i. 2 Pipetas volumétricas de 5ML

7.7 Procedimiento de muestreo y preparación de la muestra para su análisis por espectroscopía de absorción atómica.

7.7.1 Obtención de las muestras vegetal (Nuñez E., 2008, p48; Jackson M., 1996, p.48, Montgomery D., 2000, p. 445-450 y Jura, J.M.,2005, pp221-226)

Se efectuó un muestreo a conveniencia, en la parcela San José, Tecpán, Chimaltenango. Las muestras se colectaron utilizando el método de diagrama de Lot-plot Shainin, este consiste en colectar las muestras en forma de zig-zag empezando por una de las esquinas del terreno con un margen de 1.5 m, hasta llegar al otro extremo culminando en la otra esquinas.

Para evitar el exceso de humedad, se dejaron airear, por aproximadamente 20 minutos, seguidamente para evitar contaminación con otros componentes se colocaron en bolsas de cierre hermético tipo ziploc, para ser trasladados al laboratorio para realizar el análisis.

7.7.2 Preparación de la muestra vegetal (Nuñez E., 2008, pp50-52; Madrigal, A., 2008)

Las muestras vegetal colectadas, se lavaron con agua destilada y desmineralizada, para eliminar el suelo que se encontraba adherido, se secaron y pesaron, seguidamente se cortaron en segmentos pequeños y se dejaron por un lapso de 24 horas a 60°C en un deshidratador o en su defecto en una desecadora a 57 °C durante 18 horas, para eliminar el agua.

Después de transcurrido el tiempo de desecación a la muestra se cuantificó el porcentaje de humedad según el procedimiento de Karl Fischer, seguidamente se pesó la muestra y los valores se registraron para posteriores análisis.

7.7.3 Obtención de cenizas vegetales (Nuñez E., 2008, pp50-52; Madrigal, A., 2008)

Aproximadamente 20 gramos de la muestra desecada se pesó y colocó en crisoles de porcelana para ser calcinados, utilizando para ello una mufla, a temperatura de 550°C siguiendo el siguiente procedimiento.

❖ 25-100°C

- Tiempo de estabilización 10 minutos
- Tiempo de mantenimiento la temperatura 120 minutos

❖ 200°C

- Tiempo de estabilización 10 minutos
- Tiempo de mantenimiento la temperatura 60 minutos

❖ 300°C

- Tiempo de estabilización 10 minutos
- Tiempo de mantenimiento la temperatura 60 minutos

❖ 450°C

- Tiempo de estabilización 10 minutos
- Tiempo de mantenimiento la temperatura 60 minutos

❖ 550°C

- Tiempo de estabilización 10 minutos
- Tiempo de mantenimiento la temperatura 180 minutos

❖ 550-25°C

- Tiempo de estabilización 14 horas

Al llegar la temperatura a 25°C, se extrajo de equipo de calcinación y se pesaron las cenizas, el valor obtenido se utilizó para los cálculos finales.

7.7.4 Preparación de disoluciones (Nuñez E., 2008, pp50-52; Madrigal, A., 2008, Sodelvilla, M.,1998)

Las cenizas obtenidas en el paso anterior se trasvasaron a un vaso de precipitación de 50 mL para disolverlas.

Para ello se utilizaron 10 mL de ácido clorhídrico y 5 mL de ácido nítrico ambos concentrados, se dejó reposar por un lapso de 5 minutos y se trasvasó por filtro de fibra de vidrio a un balón de 25 mL, al que previamente se le había añadido 5 mL de agua destilada y se aforó con el mismo disolvente (agua destilada).

7.7.5 Determinación de la concentración de elementos de interés (Thermo Electron corporation., 2004; Madrigal, A., 2008).

La medición de los metales a ser analizados se realizó en el espectrómetro de absorción atómica como se detalla a continuación.

Para determinar las concentraciones de los metales pesados se realizó una curva de calibración, utilizando estándares externos, que fueron llevados a concentraciones de 1, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6 mg/L, para los metales cobre, plomo, cobre y cadmio.

- Límite de detección de elementos tóxicos de acuerdo a la sensibilidad del equipo (Thermo Electron corporation., 2004)
- Arsénico 0.2 µg/ litro
- Cobre 0.033 mg/litro
- Cadmio 0.013 mg/litro

- Plomo 0.007 mg/litro

Tabla 8. Especificaciones técnicas del Espectrómetro de absorción atómica

Elemento Pesado	Longitud de onda (nanómetros)	Ancho de banda (nanómetros)	Sensibilidad de la lámpara (porcentaje)	Tipo de flama
Cobre	324.8	0.5	50	Aire-acetileno (0.8-1.1 litros/minuto)
Cadmio	228.8	0.5	50	Aire-acetileno (1-1.3 litros/minuto)
Plomo	217	0.5	75	Aire-acetileno (0.9-1.2 litros/minuto)
Arsénico	193.7	0.5	75	Generador de hidruros (0.5-1% m/v) borohidruro de sodio estabilizado 0.5% m/v NaOH)

8 ANALISIS ESTADÍSTICO

8.1. Tipo de estudio

Observacional, Descriptivo, Transversal. Es la medición de una característica en un momento definido. La determinación y detección de la concentración de elementos tóxicos en brócoli, que se cultiva en parcela San José, Tecpán, Chimaltenango.

8.2. Variables

- Variable Dependiente: Presencia/Ausencia de elementos tóxicos en brócoli que se cultiva en parcela San José, Tecpán, Chimaltenango.
- Variable Independiente: Brócoli que se cultiva en parcela San José, Tecpán, Chimaltenango.

8.3. Validez del procedimiento de determinación de elementos en estudio

El ensayo se realizó utilizando una curva de calibración con disoluciones de calibradores externos de elementos tóxicos a concentraciones de 1, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6 mg/L.

Para disminuir el porcentaje de error se realizaron tres repeticiones.

8 RESULTADOS

Para evaluar la presencia de cobre, cadmio, arsénico y plomo en brócoli cultivado en la Parcela San José, Tecpán, Municipio de Chimaltenango, se colectaron 24 flores de brócoli, esto por medio del diagrama de Lot-Plot Shainin.

El análisis del vegetal incluye dos procedimientos básicos que incluyen, la obtención de cenizas vegetales y la determinación cuantitativa de los elementos en el estudio.

En la obtención de cenizas vegetales, el primer paso realizado fue la deshidratación de la muestra, en este paso no se obtuvieron los resultados esperados, pues la utilización de un desecador eliminó muy lentamente la cantidad de agua y favoreció el crecimiento fúngico, imposibilitando así la utilización de esta muestra para realizar el análisis, es por ello que se utilizó una deshidratadora colocando 1.70 kilogramos de brócoli por 18 horas a una temperatura de 57 grados centígrados, (135°F); transcurrido el tiempo, se determinó que el peso de la muestra era de 0.153 kilogramos.

A las muestras deshidratadas se les determinó que poseen el 11.72% de humedad, eso implica que el agua eliminada fue del 89.72 por ciento. Seguidamente se procedió a calcinar los 0.153 kilogramos a una temperatura de 550°C con el incinerador, sin embargo dentro de este procedimiento, el cambio brusco de la temperatura propició una explosión de

muestra, contaminando la parte interna del calcinador, por ello el cambio de la temperatura se realizó con rampas de temperatura.

Seguidamente con las cenizas se procedió como lo indica el inciso 4 de la metodología, considerando colocar el término presente (negativo) o ausente (positivo), según el límite de detección del equipo

La determinación cuantitativa de elementos tóxicos, en brócoli se observó (tabla No.9) que en muestra seca, el arsénico es el único elemento que sobrepasa la concentración recomendada, sin embargo al momento de analizar los datos de muestra húmeda, el cobre, plomo y arsénico se encuentran en valores menores a los límites recomendados en vegetales según Pearson .

Tabla No. 9

Resultados de medición de Cobre, Cadmio, Plomo y Arsénico en *Brasica oleracea* (Brócoli), que se cultiva en el municipio de Tecpán, Chimaltenango

Elementos tóxicos	Concentración de elemento tóxicos en muestra seca en mg/kg	Concentración de elemento tóxicos en muestra húmeda en mg/kg	Desviación estándar	% Coeficiente de variación	Límite recomendado en mg/kg, en los vegetales húmedos ¹
Cobre	0.668	0.568	1.22×10^{-5}	3.80	20
Cadmio	NSD	NSD	NSD	0	10
Plomo	0.232	0.198	1.8×10^{-6}	3.85	0.2-10
Arsénico	1.12	0.961	0.0055	22.3	1

Fuente: Experimental ppm: partes por millón, NSD: No se detectó, mg: miligramos, kg: kilogramos

¹ Rs. Kirk, R. Sawyer. Composición y análisis de los alimentos de Pearson. Ed. Cecsa, 9ed, 2002, México

10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la evaluación cuantitativa de cobre, plomo, cadmio y arsénico en el brócoli, se muestreó la parcela San José, que se ubica en Tecpán, municipio de Chimaltenango; esto debido a que en este departamento su suelo se clasifica de tipo profundo y según el informe agrícola para la producción de hortalizas se sabe que se encuentra desarrollado sobre cenizas volcánicas (MAGA, 2006, p. 114), los componentes provenientes del volcán, pueden contener diversos tipos de elementos beneficiosos y tóxicos, al momento que el vegetal capta nutrientes disueltos para su crecimiento, puede absorberlos y alojarlos en sus tejido, creando un acumulo que posteriormente puede llegar a la persona y generar desequilibrio fisiológico, siendo esto de gran importancia para la inocuidad alimentaria.

En la recolección del brócoli se utilizó el diagrama de Lot-plot (Parcela Terreno), obteniéndose 34 flores de brócoli con un peso de 1.70 kilogramos, el método de Lot plot se utilizó, ya que es una técnica estadística que ilustra la eficacia de la representación gráfica y análisis de un lote o cosecha y es catalogado como un procedimiento de inspección para determinar si un lote puede llegar a ser aceptado o rechazado; es un estándar en la industria en general (MAGA, 2006, p. 114).

La técnica utilizada para el análisis y determinación cuantitativa de elementos tóxicos fue espectroscopía de absorción atómica, que es la técnica recomendada según la "Association of Analytical Communities", AOAC (Thermo Electron corporation. , 2004).

Dentro del análisis realizado por medio de espectroscopía de absorción atómica es necesario resaltar que uno de los requerimientos necesarios para realizar el análisis es que la muestra se encuentre seca (deshidratada), eso hace que en el presente estudio, existan dos tipos de resultados, uno obtenido en muestra seca y el otro en muestra húmeda, es por ello que se utilizarán los valores para muestra húmeda porque normalmente los vegetales que consumen las personas son frescos (vegetales húmedos).

En la determinación realizada a las cenizas de brócoli (Tabla No.9), se identificó la presencia de tres de los cuatro elementos analizados, siendo ellos el cobre, plomo y arsénico, sin embargo por el límite de sensibilidad del equipo utilizado no podemos afirmar que no existan pequeñas trazas de cadmio, que es el único elemento de los analizados que no fue detectado.

Con respecto a los metales, se identifica que las concentraciones de cobre (0.568mg/kg) y plomo (0.198 mg/kg) se encuentran debajo del valor proporcionado por Pearson (20 y 0.2-10 mg/kg respectivamente) en su análisis acerca de los alimentos; es de hacer notar que en Guatemala y en las normas CODEX, no existen valores de referencia específicos para el brócoli u otra hortaliza, ni estudios anteriores en los que se pueda cimentar estos valores, por ello se utiliza el valor de Pearson, ya que por medio de él se plantean los valores en relación a las posibles consecuencias que puedan desencadenarse en las personas.

El arsénico en muestra seca, su valor sobrepasa los límites, sin embargo al correlacionar los datos con la muestra húmeda que es en realidad la forma en la que es consumida, los valores de los cuatro elementos analizados se encuentran por debajo de los límites planteados por Pearson (Kirk, R., 2002, pp 78-90).

La presencia de elementos tóxicos como lo es el cobre, plomo y arsénico, se pueden asociar al mal uso de plaguicidas, ya que estos contienen proporciones significativas de fostatos, que tienen la facilidad de solubilizar al cobre, otro aspecto importante es la forma en que los carros, trailers y otros vehículos expelen los gases, generando particular en suspensión que se pueden depositar en el suelo y las plantas las pueden absorber.

Las consecuencias o efectos que puede desencadenar lo planteado anteriormente, se puede explicar desde el punto de vista del consumo de la persona, según la Tabla de especificaciones del Instituto de nutrición de Centroamérica y Panamá INCAP/OPS, el consumo diario de brócoli en Guatemala, se recomienda que debe ser de aproximadamente entre 2-4 raciones al día, eso implica entre 400-800 gramos de alimento consumido. Por lo tanto, según las determinaciones realizadas en la investigación, diariamente se estaría consumiendo un aproximado de 0.768 mg de arsénico, 0.454 mg de cobre y 0.158 mg de plomo en el alimento. Con estos datos podemos deducir que para poder sobrepasar el límite recomendado de cobre y plomo, se debería de consumir entre 35 a 101 kilogramos de brócoli, siendo estos valores inalcanzables, a eso hay que incluir los aspectos metabólicos y fisiológicos del organismo, pues en cierta proporción este tipo de elementos, no son

absorbidos por el organismo en su totalidad, aparte de ello, el porcentaje que es absorbido se disminuye por medio del proceso de formación de orina y heces fecales.

Dentro de la investigación hay que hacer énfasis en ciertas debilidades que se observaron en el estudio, una de las principales características que es necesario evaluar el porcentaje de humedad del vegetal ya que previo a la incineración el vegetal debe poseer menos del 10% de humedad, esto obedece a que al momento de incinerar la muestra y aumentar súbitamente la temperatura, la cantidad de agua adherida a los tejidos sale en una forma brusca produciendo un efecto altamente explosivo contaminando las muestras con otros productos incinerados.

A parte de ello es recomendable, el uso de un deshidratador y no un desecador, ya que debido al porcentaje de humedad que posee el vegetal y la temperatura que no es muy elevada, permite el crecimiento fúngico, contaminando la muestra.

Con esta investigación se obtuvieron datos importantes y que pueden servir como una investigación exploratoria concluyendo que la *Brasica oleracea*, que se cultiva en la parcela San José, municipio de Tecpán, Chimaltenango, presenta elementos tóxicos por debajo de los límites planteados en la ingesta diaria.

Por consiguiente se concluye que no existe riesgo de intoxicación por medio de estos elemento tóxicos por el consumo de brócoli de la parcela San José, municipio de Tecpán, Chimaltenango, por consiguiente se acepta la hipótesis planteada “La

concentración de cobre, arsénico, cadmio y plomo que se encuentran en el brócoli (*Brassica oleracea*) que se cultiva en la parcela San José Tecpán, Municipio de Chimaltenango, no excede los límites establecidos según el compendio de la composición alimentaria de Pearson”.

11. CONCLUSIONES

11.1 En el análisis realizado a *Brasica oleracea* (brócoli), que se cosecha en la parcela San José, Tecpán, Chimaltenango, se determinó la presencia de cobre, plomo y arsénico.

11.2 La concentración de cobre, plomo y arsénico que se identificó en el brócoli no excede los límites planteados por el análisis de alimentos según Pearson.

11.3 La concentración de Cadmio en el vegetal es menor a la del límite de detección del espectrómetro de absorción atómica.

11.4 La concentración de cobre, cadmio, arsénico y plomo en el brócoli que se cultiva en la parcela San José, Tecpán, municipio de Chimaltenango, no representa riesgo de toxicidad para la salud de la persona, pues sus valores son menores a los límites recomendados para el consumo diario según Pearson.

12. RECOMENDACIONES

12.1 Utilizar deshidratadores para eliminar el agua presente en el vegetal, ya que al utilizar una desecadora, favorece el crecimiento fúngico en la materia a analizar

12.2 Al momento de incinerar es recomendable utilizar rampas de temperatura, ya que la liberación súbita del agua puede causar explosión brusca de material contaminando a otra tipo de materia que se esté incinerando.

12.3 Se recomienda extender otras investigaciones de la misma índole en otros vegetales cosechados en el área, además de ampliar el análisis a otros elementos de interés para el ser humano para asegurar la calidad nutricional y la inocuidad del alimento.

13. BIBLIOGRAFÍA

1. Alarcón M., (2006, mayo) Efecto de la concentración de plomo en suelo sobre la germinación y desarrollo de cultivos *de raphanus sativus l.* (rábano) Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. México. Guadalajara
2. Bautista, Z. F. (2000). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. México Editorial Universitaria de Yucatán. pp 20-23, 625-65.
3. Bistream (2008) Espectroscopía de emission y absorción atómica (n.d.),. Web site <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8252/4/T7Abasorc.pdf>.
4. Boixadera, J., Teira, M. R., (2001) Aplicación agrícola de residuos orgánicos, España Editorial Lleida. Pp 120-140 .
5. Braunwald, E., Fauci, A., Kasper, D.L., Hauser, S., Longo, D., James. J.LO. (2002) Principios de Medicina Interna de Harris, (Vol. 2). México, Ed. McGraw-Hill. Pp3033-3036.
6. Crompton, T. (1996). Analisis of solid in natural water. Germany, Springer-verlag Berlín Heidelberg pp 25-36

7. Choppin, G. (2005). Química. (35 edición). México. Edit. Publicaciones culturales., pp 231-500
8. Departamento Vegetal de la Universidad de Iztapalapa México. PE (2006) (Producto horticultura española). Brócoli. Web site: <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Producefacts/Espanol/ProduceFacts-espanol.shtml>,
9. Dreisbach. R., Robertson. W., (1999). Toxicología Clínica. (9na edición). México. Editorial Manual Moderno. Pp 205-229.
10. Duffus. H., (2004). “HEAVY METALS”—A MEANINGLESS TERM? (IUPAC Technical Report). Revista Pure and Applied Chemistry Vol. 74, No. 5, pp. 793–807, 2002
11. García G. H. (1997). Determinación y cuantificación de elementos tóxicos y sustancias tóxicas por método espectrofotométrico en tejido muscular de *Chichlasoma managuense* (Gunter) Guapote o pez de tigre en el Lago de amatitlán. Guatemala, (Tesis de Licenciatura en Biología). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Escuela de Biología. P 1-80.
12. Guiffree. L. (2004). Suelo urbano y su actitud hortícola. Revista facultad de ciencias agrarias. Volumen 22 6-15
13. Guille T., Marco G. (2000) Informe agrícola de la encuesta sobre alternativas de producción en el cultivo de repollo. Guatemala. DIGESA-IICA-PIADIC. 13p

14. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture. (2000). Estudio de Demanda y Oferta de capacitación en el sector agrícola de Guatemala (1ra. Ed.). Costa Rica Editorial Diccai, pp 17-28
15. Jackson M. (1996). Química de Suelos. (5ta edición). Barcelona España Edit. Omega Barcelona pp 3: 48-47.
16. Juarez. P.J. (2006). Determinación de elementos tóxicos y surfactantes alquilbencénicos en sedimentos del Lago de Petén Itzá, Guatemala, (Tesis Licenciatura en Química). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Escuela de Química. pp 1-89.
17. Jura, J.M., Grynha, F.M., Bingham, R.S. (2005) Manual de Control de Calidad. España Editorial McGraw Hill. Pp 221-226
18. Kirk, R. . Sawyer, K. (2002). Composición y análisis de los alimentos de Pearson. (9 edición) México Ed. Cecsa,
19. Madrigal, A. (2008). Determinación de Metales Pesados (Pb, Hg, Cd y As), en Agua de Mar y Ostión (*Crassostrea iridiscens*) en la Costa del Estado de Colima. Trabajo presentado en el X Congreso de Ciencia y Tecnología de los alimentos.Guanajuato México.

20. Marbán, L., Giuffré L., Ratto S., Agostini A. (1999). Contaminación con metales pesados en un suelo de la cuenca del río Reconquista. Australia, Editorial Ecología Austral pp15-19
21. Merck & Co. (2001) Index Merck, USA. Merck
22. Menéndez, G. M. (1997). Toxicología del cobre. España Ed.Universidad de Lleira, doi 4: 101-120.
23. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Ministerio de Comunicación Guatemala.(2006) Plan de reconstrucción del Departamento de Chimaltenango. Guatemala. Editado por el Ministerio de Salud Pública. 112pp.
24. Montgomery D. (2000) Control estadístico de la calidad. (11 edición) México Edit. Iberoamericana pp.375-418.
25. Norma COGUANOR 29001, Agua potable, COGUANOR, Ministerio de Economía, 1995.
26. Nuñez E. (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. Itálica*. Trabajo presentado en el X Congreso de Ciencia y Tecnología de los alimentos, Guanajuato México.

27. Olivia, R., (2000).Bisorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. Revista Latinoamericana de Microbiología. México doi 42:131-143

28. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la organización FAO. Ficha técnica del brócoli (2006). Página de internet, <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ae620s/Pfrescos/BROCOLI.HTM>.

29. Organización mundial para la Salud (1997) Directives de Qualité pour L'Eau de Boisson. Vol. 2. Critères d'hygiène et Documentation à l'appui. Italia, Genève: OMS, pp 110-130

30. Peter, H., Raven,R.F., Evert,S. E. (2000). Biología de las plantas. (Vol. 2). (2da edición), Barcelona España. Editorial Reverté. pp 6-11

31. Ponencia recuperada Alonzo, J. (2000, Julio). Algunas consideraciones de metales pesados. Guatemala. Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

32. Sastre G. A. (2005). Tratado de nutrición. (1ra edición). España. Editorial Díaz Santos. pp 504-52

33. Schoen, E.J. (1993). Intoxicación por plomo en la infancia: definiciones y prioridades. *Revista Pediatrics* 1993; 35(2): 73-4.
34. Skoogs. A. (1994) *Análisis instrumental* (4ta edición). España. Editorial McGraw Hill/Interamericana. Pp 180-225
35. Sodelvilla, M., Cabrera, F., Díaz, E. y Arrambarri, P. (1990) Influencia de la contaminación por metales pesados en algunas especies vegetales de las márgenes de un río minero. Revista editada por Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto. (C.S.I.C.).
36. Soraya, P. Manuel, S., Toutcha L., Quintana, C., Quintana A. (2006) Contaminación por elementos tóxicos en suelo provocado por la industria, *Ecología aplicada*, Lima (5) 149-155
37. Thermo Electron corporation. (2004). *Methods Manual Atomic Absortion Spectrometry*. 2004 Cambridge UK. Doc. Tec. P
38. United States Department of Agriculture (USDA). (2006, Junio 22). Brócoli, fuentes y detalles. Web site: http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut_search.pl
39. Velásquez, C. (2005). *Alimentación y nutrición*. (2da edición) España Editorial Díaz santo, pp 63-66