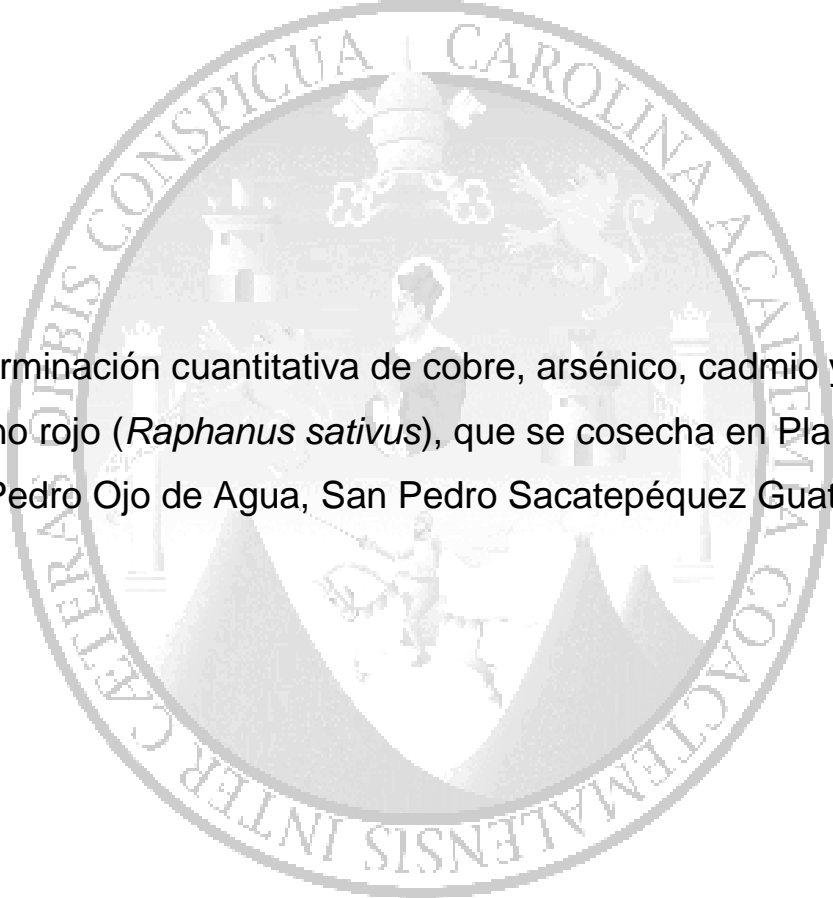


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a figure holding a staff, surrounded by various symbols including a crown, a cross, and a lion. The Latin motto "CETERAS DIBIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER" is inscribed around the perimeter of the seal.


Determinación cuantitativa de cobre, arsénico, cadmio y plomo en
rábano rojo (*Raphanus sativus*), que se cosecha en Planes de San
Pedro Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala.

MARCO VINICIO GARCIA SARAN

MAESTRIA EN GESTION DE LA CALIDAD CON
ESPECIALIDAD EN INOCUIDAD DE ALIMENTO

Guatemala, Noviembre 2010

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



Determinación cuantitativa de cobre, arsénico, cadmio y plomo en
rábano rojo (*Raphanus sativus*), que se cosecha en Planes de San
Pedro Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala.

Trabajo de Graduación presentado por
MARCO VINICIO GARCIA SARAN

MAESTRIA EN GESTION DE LA CALIDAD CON
ESPECIALIDAD EN INOCUIDAD DE ALIMENTOS

Guatemala, Noviembre 2010

JUNTA DIRECTIVA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

OSCAR 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

OSCAR MANUEL CÓBAR PINTO, PhD.
LICDA ANNE MARIE LIERE DE GODOY, MSc.
DR. JORGE LUIS DE LEÓN ARANA
DR. JORGE ERWIN LÓPEZ GUTIERREZ
LIC. FELIX RICARDO VELIZ FUENTES, MSc.

INDICE		Pág.
RESUMEN EJECUTIVO		1
1	INTRODUCCION	3
2	DESCRIPCION DEL PROBLEMA	5
3	JUSTIFICACION	6
4	MARCO TEORICO	7
4.1	MATERIAL VEGETAL DE ESTUDIO	7
4.1.1	<i>Raphanus sativus</i> (Rábano rojo)	7
4.2	Elementos Químicos Tóxicos	9
4.2.1	Arsénico	10
4.2.2	Cadmio	12
4.2.3	Plomo	13
4.2.4	Cobre	15
4.3	Efectos de los elementos Químicos Tóxicos sobre las plantas	17
4.4	San Pedro Sacatepéquez, Guatemala	21
4.5	Espectroscopia de Absorción Atómica	25
4.6	Norma COGUANOR NGO 29001 de Agua Potable	28
5	OBJETIVO	33
6	HIPOTESIS	34
7	MATERIALES Y MÉTODOS	35

7.1	Universo De trabajo	35
7.2	Recursos	35
8	ANALISIS ESTADISTICO	41
8.1	Tipo de estudio	41
8.2	Variables	41
8.3	Validez del estudio	42
9	RESULTADOS	43
10	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	45
11	CONCLUSIONES	50
12	RECOMENDACIONES	51
13	BIBLIOGRAFIA	52

RESUMEN EJECUTIVO

Los vegetales son una parte importante en la dieta diaria de la población en general, debido a que contienen nutrientes esenciales para el desarrollo normal del organismo (vitaminas, minerales y fibra). Algunos de ellos poseen propiedades medicinales como es el caso del rábano rojo (*Raphanus sativus*).

El rábano rojo es una raíz comestible, que en su contenido nutricional aporta al ser humano vitaminas y elementos esenciales. Es eficaz como antiséptico y eliminador de toxinas. El cultivo y desarrollo del tubérculo es en el suelo, donde absorbe componentes disueltos (minerales), y por tanto puede acumular elementos químicos tóxicos, los cuales pueden ser perjudiciales para la salud.

El consumo a largo plazo de este vegetal conteniendo elementos químicos tóxicos, pueden causar diferentes enfermedades e incluso llegar a la muerte. Por lo anterior se planteó como objetivo de esta investigación determinar en forma cuantitativa la presencia de estos elementos (cobre, arsénico, plomo y cadmio) en rábano rojo, identificando la inocuidad de los mismos por estos elementos. Las muestras fueron adquiridas en la Finca Planes de San Pedro, Ojo de Agua, Municipio de San Pedro Sacatepéquez, Departamento de Guatemala y analizadas mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica.

El análisis, químico reveló que la concentración de arsénico (As) y cadmio (Cd) fue menor al límite de detección del equipo utilizado para este análisis. La concentración de cobre (Cu) fue de 0.5876 mg/ración-día y de plomo (Pb) 0.0171 mg/ración-día en el

rábano rojo. Para establecer la toxicidad significativa de las muestras en base a la ingesta diaria, se relacionaron los valores obtenidos con la norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable y la ingesta diaria recomendación por el INCAP-OPS/OMS (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá- Organización Panamericana de Salud/ Organización Mundial de la salud) (2 raciones de rábano/día, equivalente a 400 g y el consumo de 2 litros de agua/día), ya que no existe en Guatemala una normativa establecida para productos vegetales y la presencia de elementos químicos tóxicos. La norma indica que el límite máximo permisible para cobre es de 3.00 mg/L (mg/Kg) y para el plomo 0.020 mg/L (mg/Kg) en una ingesta diaria de 2.0 L de agua/día en su equivalencia, por lo tanto los valores obtenidos en el rábano rojo analizado en este estudio no exceden los valores máximos por la ingesta diaria, por tanto no presenta toxicidad significativa para el cobre y plomo.

Con lo anterior se puede concluir que el consumo de rábano rojo cultivado en la “Finca Planes de San Pedro, Ojo de Agua”, San Pedro Sacatepéquez, Guatemala no presenta riesgo para la salud humana por la presencia de cobre, plomo, arsénico y cadmio.

1. INTRODUCCION

Guatemala es un país forestal, pero debido a los requerimientos humanos, se ha utilizado una extensión territorial de aproximadamente de 3.67 millones de hectáreas para la producción agrícola; limitándose las condiciones de cultivos a la topografía accidentada y productividad de suelo. Debido a que existen muchas áreas donde la tierra es fértil (tal es el caso de la costa sur del país), los sistemas de administración de tierras han tenido como objetivo primario el soporte de los mercados agrícolas, donde han debido evolucionar hacia infraestructuras de información que permitan soportar problemas ambientales, económicos y de estabilidad social (AICA 2005, p 23).

Existen algunas áreas urbanas y periurbanas, que son utilizadas para cultivos de hortalizas que no requieren de cuidados especiales, como es el caso del rábano rojo; vegetal de crecimiento rápido, de alto nivel nutricional y consumo elevado en la población, lo que lo hace un producto ideal para el cultivo nacional (Juárez 2006, p 53; Trevor 2008, p 25).

En ecosistemas agrícolas, la mayoría de los elementos químicos tóxicos están incluidos en un ciclo biogeoquímico, donde los componentes fundamentales del mismo son el suelo, las plantas, el agua y el aire. Los compuestos químicos llegan al suelo por vía aérea (aerosoles, partículas minerales) y terrestre (fertilizantes, plaguicidas, residuos sólidos), donde son absorbidos por los vegetales (USDA 2006, p 15).

La vía primaria de ingreso de elementos químicos tóxicos en el hombre es la ingestión de alimentos (vegetales, frutas, animales y agua). La intoxicación por cobre, plomo, arsénico y cadmio puede generar varias enfermedades cuyo resultado puede causar daño permanente en órganos o incluso la muerte (AICA 2005, p 12).

Actualmente, no se cuentan con estudios sobre la presencia de elementos químicos tóxicos en productos agrícolas. Sin embargo, existen estudios realizados por los Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Ministerio de Energía y Minas y la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala sobre estos elementos en cuerpos de agua, los cuales pueden servir de referencia para el análisis en vegetales (UE 2008, p 42).

El objetivo del presente trabajo fue determinar la presencia de elementos químicos tóxicos en el rábano rojo (*Raphanus sativus*) que se cultiva en la Finca Planes de San Pedro, Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala y con esto contar con antecedentes exploratorios de la presencia de arsénico, plomo, cobre y cadmio para identificar contaminación en el rábano rojo. Se utilizó el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica y parámetros de referencia los límites establecidos por la Norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable en función de masa y no de concentración y su relación con la ingesta diaria recomendación de la OMS; esto debido a que no existen parámetros de comparación con otras normas vigentes. Esta comparación permitirá en un futuro la creación de una normativa propia para elementos químicos tóxicos en vegetales (en este caso rábano rojo).

2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En el mundo se ha evidenciado una creciente demanda por la inocuidad en los alimentos. En Guatemala esta inocuidad se basa únicamente en el aspecto microbiológico, dejando por un lado la contaminación por elementos químicos tóxicos. Contaminación que se puede magnificar por el uso irracional de pesticidas, plaguicidas y fertilizantes, además que las áreas de cultivo son próximas a las ciudades o áreas urbanas, lo que agudiza el problema.

El efecto que los elementos químicos tóxicos producen en la población al consumir alimentos con altas concentraciones genera desequilibrio metabólico y fisiológico, lo que desencadena una amplia gama enfermedades (respiratorias, encefalopatías, intoxicaciones leves o graves) que en algunos casos pueden causar la muerte. Existen antecedentes, que alertan acerca de la presencia de elementos químicos tóxicos en suelos urbanos y periurbanos. El rábano rojo (*Raphanus sativus*) se ha descrito como un concentrador intermedio de este tipo de elementos, representando posible riesgo para el consumidor.

Por lo tanto es necesaria la determinación cuantitativa de elementos químicos tóxicos en el rábano rojo, para poder evaluar el riesgo potencial que pueda existir y garantizar el consumo del rábano rojo desde el punto de vista de elementos químicos tóxicos, cosechado en Planes de San Pedro, Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez, Departamento de Guatemala.

3. JUSTIFICACION

Guatemala por su geografía es un país forestal, sin embargo gran parte de esta región forestal por la necesidad económica y alimenticia de la región, ha sido utilizada en actividades agropecuarias, desarrollando a través de los años la producción agrícola como cultivo de hortalizas, flores, maíz y otros productos considerados no tradicionales, los que son consumidos a nivel local y de exportación.

La Finca Planes de San Pedro, Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala, se encuentra ubicado a 35 Km de la ciudad capital. Posee tierras fértiles utilizadas para varios tipos de cultivos, sistema de riego proveniente de pozos de agua, suelo de origen volcánico. El uso indiscriminado y empírico de plaguicidas y fertilizantes, los utensilios de trabajo, la cercanía al casco urbano, zonas industriales, contaminación ambiental, materia viva, y forma de cultivo, pueden aumentar la concentración de elementos químicos tóxicos en los cultivos (AICA 2005, p 25).

No se tiene referencia de estudios realizados en la región de San Pedro Sacatepéquez sobre la contaminación con elementos químicos tóxicos (Cu, As, Pb y Cd) en rábano rojo. Lo que se hace necesario investigaciones en donde se reúnan datos indicativos de la concentración de estos elementos y así tener un control de inocuidad que constituya garantía para el consumidor (industrias alimenticias nacionales y de exportación). Es importante resaltar que este estudio es exploratorio, con el fin de proponer la creación de una normativa que regule la presencia de elementos químicos tóxicos en el rábano rojo.

4. MARCO TEORICO

4.1 MATERIAL VEGETAL OBJETO DE ESTUDIO

4.1.1 Nombre Científico: *Raphanus sativus* (Rábano rojo) PI. 669. 1753. Rábano. Radish.

4.1.2 Descripción: El rábano rojo (*Raphanus sativus*) originario de Asia, se cultiva en todas las regiones de la tierra. En Guatemala se cultiva en regiones elevadas, montañas o en regiones peri-urbanas, al cultivarlo en diferentes medios produjo diferenciación dentro de la especie el más especial es el rabanito rojo seguido por el rábano blanco y el rábano negro, los tamaños desde el rabanito rojo al daikon (rábano grande, forma alargada y gruesa). El rábano rojo contiene vitaminas (A, B, C), hierro, magnesio, calcio, fósforo, yodo, potasio, sodio, histidina (Tabla 4.1). Es estimulante y eficaz como antiséptico. Es una hortaliza anual o bianual, que pertenece a la familia de las Crucíferas. Se puede cultivar en cualquier lugar, clima y suelo procurando un buen suministro de sol, agua y nutrientes. Existen variedades o subespecies que se diferencian por el tamaño, la consistencia de la pulpa y su carácter picante (USDA 2006, p 17; Fieldiana 1946, 376)

4.1.3 Descripción botánica: Su fruto es seco, simple de 3 a 10 cm de largo, cilíndrico y biarticulado formado por dos partes, la inferior atrofiada con una o dos semillas globosas, rosadas a castaño claro, y la superior corchosa, cónica-alargada que contiene de 12 a 14 semillas incluidas en un parénquima esponjoso. Tiene las hojas enteras o divididas, tallo ramoso con vellos rígidos en la parte inferior, donde las hojas forman un racimo desde la parte de arriba de la raíz, y lampiño en la superior, donde las hojas suelen brotar

lanceoladas, con hendiduras más o menos pronunciadas. Las flores se agrupan en racimos grandes, abiertos y alargados. La corola es blanquecina, a veces violácea o amarillenta. Se propaga por semillas. La cosecha se realiza entre tres y seis semanas después de la siembra. Estas semillas son redondeadas, de color amarillento a pardo rojizo y de tamaño pequeño a medio. Produce una raíz gruesa, carnosa, comestible, de forma esférica, cónica o alargada, de color rojo, blanco, amarillenta o rosada y de diámetro de dos a seis centímetros (USDA 2006, p 15; Fieldiana 1946, 377).

4.1.4 Mecanismo de absorción de los elementos químicos tóxicos en el rábano rojo: La absorción y posterior acumulación de los metales depende del movimiento desde la solución suelo a la raíz de la planta por medio de la membrana de la células corticales de la raíz, donde se transporta por medio de las células corticales al xilema donde la disolución con metales se transporta desde la raíz al tallo y la posible transportación de los metales de las hojas al fruto se da por el floema. Otro mecanismo de potencial importancia es mediante la absorción foliar, siendo este mecanismo de particular importancia en la aplicación de fertilizante foliar (Alloway 1995, p 38).

Tabla 4.1 Composición Nutricional del Rábano Rojo*

Compuesto	Cantidad
Agua	94 g
Carbohidratos	3.59 g
Grasas	0.54 g
Proteínas	0.60 g
Fibra	1.60 g
Cenizas	0.54 g
Calorías	20 Cal
Calcio	21 mg
Magnesio	9 mg
Potasio	232 mg
Fósforo	18 mg
Sodio	24 mg
Hierro	0.29 mg
Tiamina	0.005 mg
Riboflavina	0.045 mg
Niacina	0.30 mg
Ácido ascórbico	22 mg

Fuente: USDA http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/list_nut.pl

Observaciones: *: Los valores se expresan en 100 gramos de vegetal

4.2 Elementos Químicos Tóxicos

Hace 2 décadas el término elementos químicos tóxicos era utilizado en varias publicaciones y legislaciones 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.

Para entender este concepto se ha clasificado como elementos químicos tóxicos aquellos metales y algunos metaloides que por sus características básicas químicas, sus efectos tóxicos, contaminación y la toxicología como elementos químicos tóxicos. En general para no crear confusión con el término metal pesado este se asumió de acuerdo a su tendencia como toxicidad, propiedades eco-toxicas, 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 Toxicas en sus siglas en ingles IUPAC (Duffus 2002, p 793)

4.2.1 Arsénico

4.2.1.1 Descripción química: Elemento químico, cuyo símbolo es As y su numero atómico es 33 Se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza (5×10^{-4} porcentaje en la corteza terrestre) (en la tierra, el agua y el aire como un toxico ambiental común), se encuentra en mayor concentración en peces y mariscos. El átomo existe en forma elemental y en estados de oxidación es trivalente y pentavalente. La toxicidad se relaciona con la velocidad de depuración del organismo. No debe existir presencia de este tipo de plaguicidas de arseniato de plomo Suelo y agua (UE 2008, p 35; Crompton 1996, p 387).

4.2.1.2 Aplicaciones: Es utilizado en venenos, insecticidas, herbicidas, pinturas, papel tapiz, cerámica y vidrio. La acción de los ácidos sobre el metal en presencia de arsénico produce gas arsina. Las aleaciones de ferrosilición en contactó con el agua desprende arsina, la ingesta humana diaria de arsénico es de 300 μg . en el agua y los alimentos. Se

deposita principalmente en el hígado, tracto intestinal, riñón, corazón y pulmón. En peces y camarones su límite de concentración de arsénico es de 0.2 a 0.3 mg/Kg. Y el criterio para el agua potable es de 0.05 mg/L. El límite de exposición es de 0.5 mg/m³ y para los compuestos que liberen arsénico, ácido arsénico, arseniatos, arsenitos la dosis letal es de 100 a 500 mg/kg (Index Merck 2003, p 540; DRI 1997, p 2000), límite de exposición En la norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable es de 0.010 mg/L. Arsénico 1mg/kg límite general en alimentos.

4.2.1.3 Toxicología: Los síntomas agudos por intoxicación son: malestar gastrointestinal, ardor en labios, constricción en la garganta dificultad de deglución, seguido de dolor gástrico intolerable, vómitos en gran intensidad y diarrea intensa, con calambres músculo esquelético pronunciados, sed intensa, pérdida de líquido, shock, coma y muerte. Los síntomas crónicos: deterioro físico mental, puede producirse lesiones en la piel y uñas, neuritis periférica y alteraciones hematológicas, alteraciones mutágenicas.

4.2.1.4 Tratamiento: Para el tratamiento en caso de envenenamiento agudo se debe eliminar el arsénico ingerido mediante lavado gástrico, seguido de la administración de catártico salino. Se debe administrar dimercaprol (BAL) por dos días, después penicilina, hay que discontinuar el tratamiento cuando la concentración de arsénico en orina sea de 50 µg/24 hrs. En caso de intoxicación aguda con arsina se debe tratar las reacciones hemolíticas. Las exanguinotransfusiones son útiles para eliminar el complejo hemoglobina-arsénico para lo cual es necesario realizar diálisis, los antídotos son innecesarios. En caso de envenenamiento crónico se debe evitar exposiciones y administrar dimercaprol o

penicilina. Su pronóstico si se le administra el tratamiento con tiempo es favorable (Index Merck 2003, p 570).

4.2.2 Cadmio

4.2.2.1 Descripción química: Elemento químico relativamente raro, peso atómico 112.40, densidad relativa de 8.65 a 20 °C, su punto de fusión es de 20.9 °C y ebullición 765 °C inferiores al zinc, símbolo Cd, numero atómico 48, tiene relación estrecha con el Zinc (DRI 1997, p 2010). Posee propiedades metalúrgicas con alta resistencia a la corrosión, características electroquímicas, útil para la galvanoplastia y galvanización, pinturas y acumuladores de níquel-cadmio. La dosis letal es desconocida. La ingestión de 10 mg causa la aparición de síntomas notables. En alimentos su contenido es de menos de 0.05 µg de cadmio por gramo de peso húmedo y la ingesta diaria promedio es de alrededor de 50 µg. El hígado, riñón y los crustáceos pueden tener concentraciones de cadmio superiores a 0.05 µg/g (DRI 1997, p 2012), limite de exposición norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable es de 0.003 mg/L. Cadmio, la dosis mortal es de 10 mg/Frutas 130 gramos y 10 mg/Verduras 250 gramos-200 gramos) (Dreisbach 1998, p 206).

4.2.2.2 Toxicología: El cadmio solo existe en estado univalente 2+, y no forma compuestos alquilo estables ni otros compuestos órganos metálicos de significación toxicología. La intoxicación aguda puede producirse por inhalación de polvo y vapores de cadmio y por ingesta del metal. Sus efectos tóxicos son: irritación local, nauseas, vómitos, salivación, diarrea y cólicos abdominales, edema pulmonar fatal o enfisema residual como fibrosis peri

bronquial y peri vascular, puede causar daño a pulmones, sistema óseo, sistema cardiovascular, toxico para espermatozoides (Alloway 1995, p 40).

4.2.2.3 Diagnostico: Datos de laboratorio presentes es la hematuria y proteinuria, la cuenta de leucocitos como eritrocitos se encuentra disminuida así como la velocidad de sedimentación puede estar elevada. Puede alterarse la función hepática la cual es posible demostrar mediante las pruebas apropiadas. También son importantes los datos radiológicos en una exposición temprana ya que demuestra la existencia de un aumento difuso de la densidad pulmonar y posteriormente se encuentra la bronconeumonía.

4.2.2.4 Tratamiento: Para el tratamiento en caso de inhalación se debe retirar al paciente del área de exposición y trata el edema pulmonar, administrando por vía intravenosa EDTA sal disódica 25 mg/Kg. dos veces al día por una semana. No debe administrarse dimercaprol. En caso de ingestión, se debe aliviar la irritación gastrointestinal administrando leche cada 4 horas o huevos batidos. El daño hepatocelular y la insuficiencia renal debe tratarse de acuerdo a su tratamiento requerido por el médico (Index Merck 2003, p 549).

4.2.3 Plomo

4.2.3.1 Descripción química: Elemento químico, símbolo Pb, numero atómico 82, densidad relativa, gravedad específica de 11.4 a 16 °C, de color azulado, fusiona a 327 °C, valencia química 2+ y 4+ (DRI 1997, p 2015). Es inocuo en el ambiente como resultado de su ocurrencia natural y su uso industrial. La ingesta diaria por un adulto promedio es de 0.1 a

2 mg sin embargo su mayor toxicidad se manifiesta por la exposición ambiental e industrial. El plomo es absorbido muy lentamente por lo peces pero la velocidad de excreción de lo peces es lentas. Contenido máximo 0.10 mg/kg peso fresco (Juárez 2006, p 67) Plaguicidas Arseniato de plomo (AICA 2005, p 22). Plomo aparecen afectos cuando se ingiere más de 0.5 mg/día. Plomo límites en mg en alimentos 0.2-10 mg/kg; en lactantes 0.2 mg/kg descrito por el reglamento de alimentos MAF en 1979.

4.2.3.2 Toxicología: La vía de absorción del plomo es el tracto gastrointestinal y sistema respiratorio (DRI 1997, p 2014), límite de exposición norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable es de 0.010 mg/L. Se acumula en el hígado y riñones, hueso dientes y pelo y en pequeñas cantidades en el cerebro, en mayor parte en la sustancia gris y ganglios basales. La intoxicación aguda es bastante frecuente por inhalación de vapores de plomo. Los síntomas son: astringencia pronunciada en la boca, sed, sabor metálico, náuseas, dolor abdominal, vómitos, diarrea, constipación, síndrome de shock por pérdida masiva de líquido gastrointestinal, dolor y debilidad muscular, en ocasiones crisis hemolítica aguda, anemia y hemoglobinuria, saturnismo en intoxicación crónica la cual puede ser gastrointestinal, neuromuscular, del sistema nervioso central (encefalopatía por plomo), hematológico y renal (Crompton 1996, p 395).

4.2.3.3 Tratamiento: Para el tratamiento es innecesario se hayan obtenidos muestras de sangre y orina para el análisis de plomo. Los compuestos solubles en plomo se deben eliminar mediante lavado gástrico con sulfato de magnesio diluido o con solución de sulfato de sodio, se debe tratar el edema cerebral con manitol y prednisona u otros

corticosteroides. Se administra dimercaprol y edetato disódico calcio, después penicilina de acuerdo al síntoma de envenamiento clínico se deber considerar pacientes sintomáticos 100 µg/ 100l a concentraciones de protoporfirina eritrocitaria. En flujo urinario se debe administrar vía intravenosa solución de dextrosa a 10 % 10-20 mL/Kg de peso corporal (Index Merck 2003, p 550).

4.2.4 Cobre

4.2.4.1 Descripción química: 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/cm³ 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°C (1981.4 ± 0.2°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. El cobre es un elemento esencial para el hombre (Dreisbach 1998, p 212, Menéndez 1987, p 105). Interviene en el desarrollo de los huesos y del tejido elástico, en el funcionamiento del sistema nervioso central y en la síntesis de hemoglobina (Dreisbach 1998, p 213, OMS 1986, p 2).

El límite de exposición según la norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable es de 1.5 mg/L límite máximo permisible y el límite máximo aceptable es de 0.05 mg/L. Dada su gran distribución, es prácticamente imposible preparar una dieta que contenga menos de esta cantidad (Dreisbach 1998, p 209, Menéndez 1987, p 105). 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 (OMS 1986, 2). Cobre 20 mg /kg límite en alimentos Cobre consumo en la dieta diaria de 20 a 35 microgramos y el requerimiento diario es de 0.23 mg /día. Ingesta dietética diaria debe de ser de 1.5-3mg /día.

Entre los alimentos más ricos en cobre se encuentran las ostras, hígados, setas, nueces y chocolate (DRI 1997, p 2008). 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.

4.2.4.2 Toxicología: La absorción del cobre es del orden del 30% y es disminuida por altas ingesta alimentarias de hierro, molibdeno y zinc (Menéndez 1987, p 112). Este elemento se almacena preferentemente en el hígado, riñón, músculo, corazón y cerebro. Su deficiencia produce anemia, neutropenia y desmineralización ósea (Dreisbach 1998, p 229), mientras que la ingestión en exceso es tóxica.

Aunque no son frecuentes las intoxicaciones agudas por este metal, dadas sus propiedades eméticas y laxantes (Menéndez 1987, p 118), 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 (Reilly 1991, 284).

Tras la absorción, por vía gastrointestinal, de cantidades pequeñas pero repetidas pueden presentarse náuseas, salivación, dolor epigástrico, diarreas, vértigo, debilidad e ictericia (Alloway 1995, p 55). 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 mg/L de este metal (Reilly 1991, p 284).

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 1987, p 120; Reilly 1991, p 284).

Aunque se han encontrado valores elevados de cobre, hierro y zinc en ciertos tumores provocados experimentalmente en animales de laboratorio por xenobióticos orgánicos, no ha sido demostrada la responsabilidad carcinogénica del cobre (Menéndez 1987, p 120).

4.3 Efectos de los elementos químicos tóxicos sobre las plantas

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. 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 4.2, 4.3 y 4.4) (Soraya 2006, p 149-155; Boixadera 2006, p 123).

Tabla 4.2 Contaminación de elementos químicos tóxicos U.S. EPA y colb

Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Lechuga	Repollo forrajero	Repollo	Ejote
Espinaca	Nabo (raíces)	Maíz dulce	Arveja
Acelga	Rábano	Brócoli	Melón
Escarola	Mostaza	Coliflor	Tomate

Fuente: J. Boixadera y M. R. Teira (eds). 2001. "Estudio de bioacumulación relativa en partes comestibles de diferentes cultivos. Aplicación agrícola de residuos orgánicos". Universidad de Lérida.

Tabla 4.3 Elementos esenciales y/o tóxicos para vegetales y/o animales

Metal	Esencial		Toxico		Fuente dominante en el suelo
	Vegetal	Animal	Vegetal	Animal	
As	NO	NO	SI	SI	AsO ₄ ⁻³
Pb	NO	NO	SI	SI	Pb ²⁺
Cd	NO	NO	SI	SI	Cd ²⁺

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

Tabla 4.4 Acumulación relativa de hortalizas por Cd y Pb en fracciones comestibles y Cu, Ni y Zn en hojas

Elemento	Alta acumulación	Baja acumulación
Cd	Lechuga, espinaca, apio, col.	Papa, maíz, ejote, arveja
Pb	Repollo forrajero, cebada de trigo, apio	Determinadas variedades de cebada de trigo, papa, maíz
Cu	Remolacha azucarera, determinadas variedades de cebada.	Puerro, repollo, cebolla
Ni	Remolacha azucarera, centeno, remolacha forrajera, nabo.	Maíz, puerro, cebada, cebolla
Zn	Remolacha azucarera, remolacha forrajera, espinaca, raíz de remolacha.	Papa, puerro, tomate, cebolla.

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

4.3.1. Estudios mundiales de vegetales contaminados por elementos químicos tóxicos:

Insuasty L., en el 2006 en su artículo derivado de su tesis de Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en suelos de la Universidad Nacional de Colombia comprueba que el 94 % en suelos cultivados con trigo en Tangua, Colombia se presentó cadmio (Insuasty 2006, p 23-35).

La mayoría de estudios realizados sobre elementos químicos tóxicos se han hecho en suelos y agua tal es el caso de la contaminación por Acumulación en tejidos vegetales

de arsénico proveniente de aguas y suelos de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. Entre las especias con mayor capacidad de acumulación se encuentran el apazote y el perejil, entre las hortalizas el güisquil, chile y tomate verde. Por otra parte, se observó que la hoja fue el órgano de las plantas que acumuló la mayor concentración de arsénico, no así en el caso del rábano rojo que presento 0.09 % de absorción (Prieto-García 2005, p 3).

El efecto toxico del cadmio en células meristemáticas de cebolla (*Allium cepa* L.) demostró el grado de sensibilidad de esta especie a la contaminación por cadmio, presentando un factor de riesgo para la salud humana. Por lo que se puede sugerir como un buen modelo para los estudios de contaminación por elementos químicos tóxicos (Marcano 1999, p 476-487).

Alarcón en el año 2006, realizó un estudio sobre el efecto de la concentración de plomo en suelo sobre la germinación y desarrollo de cultivos de rábano rojo cuyos resultados muestran que la mayor acumulación del metal fue a nivel de raíz. La concentración de plomo afecto significativamente el tamaño de la raíz y el tamaño de bulbo de la planta (Alarcón 2006, p 5)

Las causas principales de la contaminación del suelo con elementos químicos tóxicos como el plomo, cadmio, zinc, son las diferentes actividades humanas como el riego con agua residual, la disposición inadecuada de efluentes procedentes de la industria minera y fundición, entre muchas otras (Guiffree 2004, p 6-10).

En el caso de cultivos agrícolas en suelo contaminado por metales, las sales de estos, pueden acumularse en las partes comestibles de los cultivos destinados al consumo humano, constituyendo un riesgo de salud pública (Guiffree 2004, p 11-15).

4.4 San Pedro Sacatepéquez, Guatemala

Municipio de Guatemala, ubicado a 32 kms. posee suelo fértil utilizado para cultivo de hortalizas cuyos productos son distribuidos en CENMA (central de mayoreo), terminal zona 4 de la ciudad capital, mercado central zona 1 ciudad capital, su sistema de riego provienen de pozos de agua, suelo de origen volcánico. La cercanía del casco urbano la ha convertido en una zona de comercio e industrial y comunicación con otras comunidades de producción textil, cerámica e industrias de muebles.

4.4.1 Antecedentes históricos: La historia de San Pedro Sacatepéquez departamento de Guatemala, durante la época prehispánica ha sido brevemente reconstruida a través de algunos manuscritos coloniales. Se sabe que el nombre Cackchiquel de este pueblo es Chajoma (los del ocote) el grupo Chajoma (los del ocote) el grupo Chamoma probablemente provino del área de Joyabaj de donde migraron del siglo XV para asentarse en los valles de Jilotepeque y Sacatepéquez desde Mixco Viejo hasta San Pedro Ayampuc. Actualmente solo conservan el nombre de Sacatepéquez, los municipio de San Juan, San Pedro, San Lucas y Santiago (García-FADES 2009 P 3-5)

Años más tarde se hace una nueva división política del estado por decreto de la Asamblea Constituyente del 12 de septiembre de 1,839 creándose entonces el departamento

de Guatemala dentro del cual figuraba “San Pedro Sacatepéquez” cuya jurisdicción municipal ha sufrido algunos cambios hasta la fecha. El Acuerdo del 6 de octubre de 1899 segrega Chuarrancho de San Pedro Sacatepéquez y lo anexo a San Raymundo, que con posterioridad se erigió municipio (García-FADES 2009 P 7-9).

En los archivos de la Municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, se encuentran documentos donde se indica oficialmente reconocida la fecha de fundación el 1 de Mayo de 1,543 (García-FADES 2009 P 11-16).

La Municipalidad cuenta con una unidad técnica municipal, un Juez de asuntos municipales, un registro civil independiente, oficina de expedientes, unidad de planificación, y un departamento de agua potable. En total cuentan con 16 oficinas al servicio de la población, 64 Comités organizados y capacitados, debidamente inscritos, Fecha titular 29 de junio siendo su patrono San Pedro Apóstol.

4.4.2 Viabilidad Urbana: La red vial se reduce a dos penetraciones, al asentamiento urbano, al Este y al Norte por la Carretera CA.-5 que es una arteria mixta por ser de vía Inter. Departamental y municipal. Sus principales calles y avenidas están pavimentadas. El asentamiento urbano se divide básicamente en cinco zonas: Zona 01. Morazán zona 02 San José Zona 03 Ermita. Zona 04 Barrios y zona 05 que era la Laguna Seca. Esto se debe a que antiguamente estaban divididos en cuatro cantones, por lo que se respetó dicho esquema, siendo la zona 02 la más grande. Las fuentes de trabajo para los habitantes del municipio son la fabricación y maquila de prendas de vestir. En el año 1964 se introdujo la industria de producción de ropa y actualmente se encuentra una cantidad de compañías maquiladoras

que aportan medios de trabajo. El crecimiento de sus habitantes se ha originado por las lotificadoras las que son ocupadas por personas que emigran de otro municipio por aspectos económicos y la existencia de fuentes de trabajo por la ubicación de empresas maquiladoras.

4.4.3 Aspecto Geográfico, localización, extensión y límite: El municipio de San Pedro Sacatepéquez, pertenece al departamento de Guatemala y se encuentra localizado al noroeste del departamento. Su nombre geográfico oficial es “San Pedro Sacatepéquez” siendo su cabecera municipal San Pedro Sacatepéquez; y su extensión territorial es de 48 Km². Sus límites y colindancia son las siguientes: Al norte: San Juan Sacatepéquez y San Raymundo. Al sur: Mixco Al Este: Chinautla. Al Oeste: Santo Domingo Xenacoj, Sacatepéquez.

4.4.4 Grupo Étnico: En el municipio de San Pedro Sacatepéquez el 95% de la población es indígena y el 5% ladino. La mayoría de pobladores pertenecen a la modalidad bilingüe o sea que hablan el idioma español y Cakchiquel. Así mismo un 38% pertenecen a la población analfabeta el 31% a la población económicamente activa el número aproximado de viviendas es 2,790 y 349 habitantes por kilómetro cuadrado. El crecimiento poblacional del municipio de San Pedro Sacatepéquez al 31 de diciembre del año 2,005 es de 46,500 habitantes, indígenas: 44,175 que representa un 95% de la población total ladino: 2,325 que representa un 5% del total de la población (García-FADES 2009 P 17-18).

4.4.5 Medio Natural y Clima Meteorológico

4.4.5.1 El Clima: El municipio se clasifica como una zona montañosa del altiplano central sierra de Chuacus y por ello es generalmente húmedo y frío y en algunos lugares el clima es templado. El municipio posee áreas de bosques en los que predominan los pinos árboles frutales: membrillo ciruela, manzana, durazno, pera, también se localizan en el área cipreses y encinos.

4.4.5.2 Régimen de Lluvia: La distribución de la lluvia durante el año es notoria, estableciéndose la época lluviosa, la cual se inicia el mes de mayo y finaliza en el mes de octubre denominándose época de invierno.

4.4.5.3 Nubosidad: La topografía irregular del área, inicia en la conformación de la nubosidad condicionada por las montañas, hondonadas y la altitud.

4.4.5.4 Viento: A pesar que los vientos de esta área son relativamente moderados, la topografía y la altitud característica de la misma influyen a que esta sea afectada por vientos fuertes.

4.4.5.5 Topografía: La topografía del municipio es un alto porcentaje por relieves quebrados y pendientes, siendo muy poca la cantidad de planicie y pequeños valles pintorescos. Pertenece al complejo montañoso del altiplano centra encontrándose en su totalidad asentado en cerro y partes montañosas como la principal denominada Cerro Chuacus. Latitud (DMS) $90^{\circ} 38' 39''$, longitud (DMS) $14^{\circ} 41' 3''$.

4.4.5.6 Altura: Van desde 1,500 a 2,500 metros sobre el nivel del mar. La cabecera municipal está a 2,101.66 metros de altura sobre el nivel del mar (García-FADES 2009 P 18-21).

4.5 Espectrofotometría de Absorción Atómica

Mientras que la mayoría de las técnicas espectroscópicas se utilizan para el estudio y caracterización de moléculas o iones en su entorno cristalino, la espectroscopia de emisión y absorción atómica se usa casi exclusivamente para el análisis de átomos. Por consiguiente, la técnica resulta casi insuperable como método de análisis elemental de metales. En principio, la espectrofotometría de emisión puede utilizarse para la identificación y para la determinación cuantitativa de todos los elementos de la tabla periódica (García 1997, p 23).

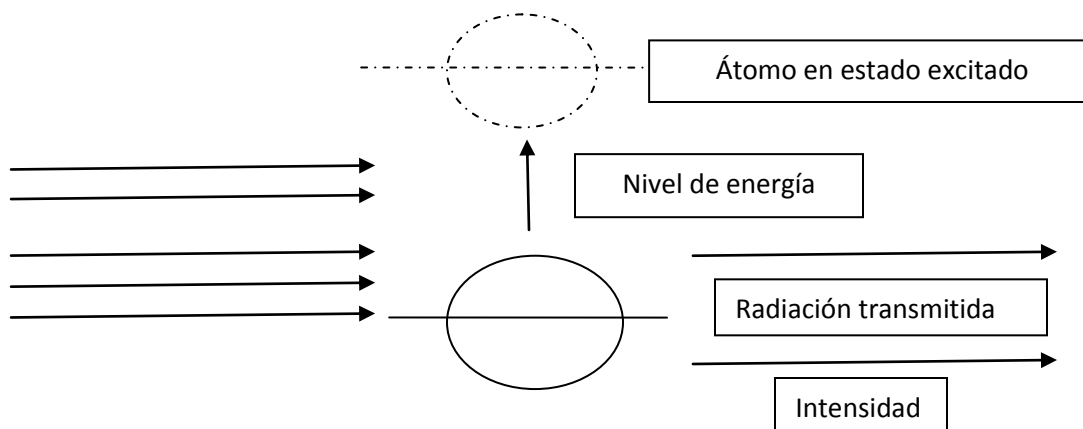
La espectrofotometría de absorción atómica (a menudo llamada AA) es un método que utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga.

La temperatura de la llama es lo bastante baja para que la llama de por sí no excite los átomos de la muestra de su estado fundamental. El nebulizador y la llama se usan para desolvatar y atomizar la muestra, pero la excitación de los átomos del analito es hecha por el uso de lámparas que brillan a través de la llama a diversas longitudes de onda para cada tipo de analito.

En la AA, la cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determina la cantidad de analito en la muestra. Una mufla de grafito para calentar la muestra a fin de desolvatarla y atomizarla se utiliza comúnmente hoy día para aumentar la sensibilidad. El método del horno de grafito puede también analizar algunas muestras sólidas o semisólidas. Debido a su buena sensibilidad y selectividad, sigue siendo un método de análisis comúnmente usado para ciertos elementos traza en muestras acuosas (y otros líquidos).

La sensibilidad de la absorción atómica depende del número de átomos que se encuentran en el estado fundamental. Normalmente, tan sólo un pequeño porcentaje de átomos se encuentran en estado excitado en la llama. Por lo tanto, la absorción atómica da lugar, en general, a una mayor sensibilidad presentando menos interferencias y es más simple lo que explica el espectacular desarrollo de la técnica en los últimos años donde se han desarrollado a gran velocidad los espectrofotómetros de absorción atómica y en el mercado existen desde los instrumentos muy sencillos de haz simple hasta diseños complejos automatizados. La mayoría de los instrumentos se diseñan de modo que puedan utilizarse en fotometría de llama (García 1997, p 25).

Figura 1 Esquema simplificado de la absorción atómica de energía radiante



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

En la aplicación práctica de la EAA, es innecesario determinar valores para controles y longitud de ondas de absorción, debido a que la relación entre la absorbancia y la concentración es lineal, solamente es innecesario comparar la absorbancia de estándares de concentraciones conocida, de la muestra y simplemente calcular gráficamente los resultados para obtener la concentración de la muestra (García 1997, p 28).

4.5.1 Operación instrumental: La habilidad de un espectrómetro de absorción atómica para producir resultados consistentes y confiables depende de sus condiciones mecánicas, ópticas y electrónicas. De modo que es esencial que el instrumento se halle alineado correctamente y en condiciones de funcionamiento apropiadas antes de que el análisis se efectúe. Por esto debe seguirse estrictamente los lineamientos de mantenimiento indicados por el fabricante de cada equipo.

4.5.2 Atomización de la muestra: En general los atomizadores son de dos tipos continuos y discretos. En los atomizadores continuos, la muestra se introduce en el atomizado a una velocidad constante. La señal espectral es, por tanto, constante con el tiempo. Este es el método de atomización utilizados por las técnicas de espectroscopia que utilizan flama y plasma.

Con los atomizadores discretos una cantidad medida de la muestra se introduce como un bolo de líquido o de sólido. La señal espectral en este caso alcanza un valor máximo y luego disminuye a cero, cuando el vapor atómico abandona la región calentada. Este método de atomización es utilizado en las técnicas de espectroscopía electrotérmica, de emisión de fuente de arco eléctrico y de emisión de fuente de chispa eléctrica. En los atomizadores continuos la solución de la muestra se convierte en niebla de pequeñas gotas finamente divididas mediante un chorro de gas comprimido. Este proceso se denomina nebulización. A continuación, el flujo de gas transporta la muestra a una región calentada donde tiene lugar la atomización, los átomos se disocian en iones y electrones y seguidamente se lee para indicarnos un valor (García 1997, p 32; Corp Camb. Meth Ma. 2004, p 5-8)

4.6 Norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable

El agua es el componente principal de los seres vivos; se pueden vivir meses sin alimento, pero solo se sobrevive unos pocos días sin agua. El ser humano posee un 80% de agua al nacer y entre un 60% y un 70% en la edad adulta, requiriendo alrededor de dos litros de agua al día para evitar la deshidratación.

Sin embargo posee elementos disueltos que no son adecuados para el consumo humano, siendo reguladas sus concentraciones por medio de análisis químicos y la norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable, determinando un límite máximo permisible y aceptable para que no cause daño a la salud de quien lo consume (González 2006, p 49; Crompton 1996, p 25).

La norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable, tiene por objeto fijar los valores de las características que definen la calidad del agua potable (COGUANOR 29001:1999)

Las siguientes normas fueron utilizadas como marco de referencia de comparación:

COGUANOR	NGO 4 010	Sistema Internación de Unidades (SI)
COGUANOR	NGO 29 011h02	Agua. Ensayos físicos. Determinación del color método de referencia
COGUANOR	NGO 29 011h12	Agua. Ensayos físicos. Determinación de turbiedad.
COGUANOR	NGO 29 012h14	Agua. Determinación de metales. Dureza.
COGUANOR	NGO 29 012h15	Agua. Determinación de metales. Hierro.
COGUANOR	NGO 29 012h03	Agua. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Alcalinidad.
COGUANOR	NGO 29 013h07	Agua. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Cloruro.
COGUANOR	NGO 29 013h13	Agua. Determinación de constituyentes inorgánicos

	no metálicos. Fluoruro.
COGUANOR NGO 29 013h18	Agua. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Nitrógeno (Nitrato).
COGUANOR NGO 29 013h19	Agua. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Nitrógeno (Nitrito).
COGUANOR NGO 29 013h23	Agua. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Potencial de hidrogeno (pH).

4.6.1.2 Definiciones de la norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable

4.6.1.2.1 Agua potable: Es aquella que por sus características de calidad especificadas en esta norma, es adecuada para el consumo humano.

4.6.1.2.2 Límite máximo aceptable (LMA): Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

4.6.1.2.3 Límite máximo permisible (LMP): Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para consumo humano.

4.6.1.2.4 Características físicas: Son aquellas características relativas a su comportamiento físico, que determinan su calidad. Conductividad eléctrica, el agua potable deberá tener una conductividad de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C.

4.6.1.2.5 Características químicas: Son aquellas características relativas a sustancias contenidas en ella, que determinan su calidad. Características químicas del agua potable son aquellas características que afectan la potabilidad del agua (color, olor, sabor y turbiedad).

4.6.1.2.6 Límites de toxicidad: En la tabla 4.5 y 4.6 se indican algunas sustancias o compuestos químicos que al sobrepasar el límite máximo permisible en el agua potable, causan toxicidad (COGUANOR 29001:1999).

Tabla 4.5 Relación de las sustancias inorgánicas con significado para la salud, con su respectivo límite máximo permisible (LMP)

Substancia	LMP, en miligramos por litro
Arsénico (As)	0.010
Bario (Ba)	0.700
Boro (B)	0.300
Cadmio (Cd)	0.003
Cianuro (CN ⁻)	0.070
Cromo (Cr)	0.050
Mercurio (Hg)	0.001
Plomo (Pb)	0.010
Selenio (Se)	0.010

Fuente Norma COGUANOR NGO 29001 de Agua Potable

Tabla 4.6 Sustancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles.

Características	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloro residual libre (1) (2)	0.5 mg/L	1.0 mg/L
Cloruro (Cl ⁻)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Conductividad	-----	< de 1 500 µS/cm
Dureza Total (CaCO ₃)	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de hidrógeno (3)	7.0-7.5	6.5-8.5
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1000.0 mg/L
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15.0°C-25.0°C	34.0°C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L

1. El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.5 mg/L, después de por lo menos 30 min de contacto, a un pH menor de 8.0, con el propósito de reducir en un 99% la concentración de *Escherichia coli* y ciertos virus.
2. En aquellas ocasiones en que amenacen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2.0 mg/L, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben de tomarse medidas similares en los casos de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.
3. En unidades de pH.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Determinar en forma cuantitativa la presencia de elementos químicos tóxicos (cobre, arsénico, plomo y cadmio) en rábano rojo (*Raphanus sativus*) que se cultiva en la Finca Planes de San Pedro, Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala, identificando la inocuidad del vegetal por estos elementos.

5.2 Específicos

5.2.1 Establecer el método de muestreo que mejor se adapte al área de cultivo en la Finca Planes de San Pedro Ojo de Agua, Municipio de San Pedro Sacatepéquez, Departamento de Guatemala donde se produce *Raphanus sativus* (rábano rojo).

5.2.2 Relacionar con la COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable de acuerdo al límite máximo permisible y la ingesta diaria del elemento químico tóxico establecido por el INCAP-OPS/OMS, en función de masa y no de concentración la presencia de elementos químicos tóxicos (Cu, As, Pb y Cd) en el *Raphanus sativus* (Rábano rojo) por medio del método de Espectrofotometría de Absorción Atómica.

6. HIPOTESIS

Los elementos químicos tóxicos (cobre, arsénico, plomo y cadmio) que se encuentran en el *Raphanus sativus* (Rábano rojo) no excede los límites máximos permisibles establecidos por la Norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable y su relación con la ingesta diaria en función de masa y no de concentración.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Universo del trabajo

El universo de este trabajo de investigación, lo conforman las cosechas de *Raphanus sativus* (Rábano rojo), que se cultivan en la Finca Planes de San Pedro, Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala.

7.1.1 Muestra: Lo conforman 34 rábanos rojos con un peso de 2.5 libras que se siembran en San Pedro Sacatepéquez, Guatemala.

7.1.2 Unidad muestral. Lo conforma un rábano rojo de *Raphanus sativus*.

7.2. Recursos

7.2.1 Humanos

- Lic. Marco Vinicio García Sarán
- Lic. Félix Ricardo Véliz Fuentes, MSc.
- Licda. Isabel Cristina Gaitán Fernández, M.A.

7.2.2 Institucionales

- Laboratorio de Investigación Química y Ambiental. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de investigación de productos naturales LIPRONAT.
- Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala

- Biblioteca Central de la Universidad Mariano Gálvez
- Biblioteca Universidad Francisco Marroquín
- Biblioteca del Instituto de alimentación de Centroamérica y Panamá
- Instituto Nacional de Estadística de Guatemala.

7.2.3. Físicos

7.2.3.1 Equipo

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica Thermo electron C. Type S4 AA system serie S.
- Deshidratador eléctrico American Harvest Nesco Modelo FD 35
- Balanza semianalítica Mettler PM600
- Estufa de calentamiento Thermolyne nuova
- Mufla Barnstead/thermolyne furnace 48000

7.2.3.2 Reactivos

- Ácido clorhídrico Concentrado 37% p/v
- Gas Acetileno grado Absorción Atómica 96 %
- Ácido nítrico al 65% p/v
- Extrán exento de fosfatos grado analítico
- Agua destilada

7.2.3.3. Cristalería

- 1 Mortero y pistilo de cerámica grande

- 1 Termómetro de -10 °C a 300 °C.
- 3 Crisoles de porcelana de 20 y 40 mL
- 6 Balones aforados de 25 mL
- 6 Vaso de precipitación Pirex 50 mL
- 3 Probetas de vidrio
- 6 Embudo de vidrio
- 4 Pipetas volumétricas 25 y 5 mL

7.2.4 Procedimiento de muestreo y preparación de la muestra para su análisis por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

7.2.4.1 Obtención de las muestras: Se efectuó un muestreo, en el área de la región de San Pedro Sacatepéquez, Guatemala. Las muestras se colectaron utilizando el método de diagrama de Lot-plot Shainin, el cual es considerado por los agrónomos como el estándar de oro en el muestreo de parcelas por lote (lote de aceptación o no aceptación) y de muestreo de suelos (23, Eaton 1995, p 55), el cual consistió en colectar la muestra empezando por una de las esquinas del terreno a muestrear y con un margen de 1.5 m de esquina a esquina trazando el muestreo en forma de zig-zag hasta llegar al otro extremo culminando en una de las esquinas. En total se colectaron alrededor de 34 rábanos rojos los cuales para evitar contaminación con otros componentes se colocaron en bolsas de cierre hermético, abriendo y cerrando con cuidado de no contaminarla la bolsa, dejando airear los tubérculos para evitar que la humedad favorezca el crecimiento de hongos y se pudran.

Seguidamente se traslado la muestra al laboratorio para su procesamiento, donde se procederá al siguiente paso (Eaton 1995, p 57).

7.2.4.2 Preparación de la muestra: Las muestras de rábano rojo recolectadas se unieron para formar una sola muestra la cual, se pesó, se fraccionó, midiéndose el porcentaje de humedad el cual sirvió para realizar cálculos posteriores luego se procedió a deshidratar la muestra en una deshidratadora industrial, por un lapso de 24 horas, para eliminar el porcentaje de agua unido al tubérculo o en su efecto puede utilizarse una desecadora de laboratorio con una temperatura de 60-70°C durante 3 días.

Se pesó la muestra ya desecada, realizándosele un análisis de porcentaje de humedad, el cual debe ser menor del 10 %, los valores se registraron para posterior análisis (Eaton 1995, p 59, Corp Camb. Meth Ma. 2004, p 5).

7.2.4.3 Obtención de cenizas por el proceso de calcinación: Utilizando de 5 a 10 mL de ácido nítrico concentrado se llevó la muestra a carbonización previamente tarada en un crisol de porcelana, se procedió a calcinar la muestra agregando el ácido gota a gota (este proceso se realizó en campana de flujo laminar para evitar contaminación y accidentes) hasta que este deje de expeler vapores blancos y se cree ceniza del tubérculo, este procedimiento se hace con el fin de evaporar el agua completamente del tubérculo y evitar que se proyecte al calcinarla, este producto, se colocará en la mufla a 600°C por dos horas para llevar a calcinación la muestra.

Otro procedimiento alternativo a utilizar es llevar la muestra seca a la mufla y gradualmente subir la temperatura de 100°C inicialmente por 2 horas para eliminar totalmente el agua existente en la muestra y luego elevar la temperatura 50°C por una hora, llegando a 150°C y posteriormente aumentar gradualmente por una hora 100 °C hasta llevarlo a 600°C por una hora (Corp Camb. Meth Ma. 2004, p 7).

Se tararon los crisoles en la balanza semi-analítica para obtener el porcentaje total de cenizas obtenidas.

7.2.4.4 Preparación de muestra en medio ácido

7.2.4.4.1 Muestra de rábano rojo: Las cenizas de los tubérculos presentes en el crisol de porcelana, se les agregó 10 mL de ácido y se trasvasó a un vaso de precipitación de 50 mL, el cual se le añadió 5 mL de ácido nítrico concentrado y se filtró por fibra de vidrio a un balón aforado de 25 mL al cual previamente se le añadió 5 mL de agua destilada (Como precaución no se debe darle de beber al ácido o sea que se debe tener un poco de agua destilada y luego agregar el ácido y no al revés, para evitar accidentes) (Corp Camb. Meth Ma. 2004, p 8).

7.2.4.6 Análisis de metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica

7.2.4.6.1 Arsénico (As): el análisis se realizó a una longitud de onda de 193.7 nm., ancho de banda de 0.5 nm., energía de lámpara 75 %. Se realizó por generación de hidruros utilizando borohidruro de sodio y HCl 50% v/v. (Vila 2004, 19; Corp Camb. Meth Ma. 2004, p 30)

7.2.4.6.2 Cadmio (Cd): el análisis se realizó a una longitud de onda de 228.8 nm., ancho de banda de 0.5 nm., energía de lámpara de 50 %, se realizó por generación de flama aire-acetileno de 1-1.3 L/min. (Vila 2004, 19; Corp Camb. Meth Ma. 2004, p 8, 31)

7.2.4.6.3 Cobre (Cu): el análisis se realizó a una longitud de onda de 324.8 nm., ancho de banda de 0.5 nm., energía de lámpara de 50 %, se realizó por generación de flama aire-acetileno de 0.9-1.1 L/min. (Vila 2004, 19; Corp Camb. Meth Ma. 2004, p 8, 33).

7.2.4.2.4 Plomo (Pb): el análisis se realizó a una longitud de onda de 217 nm., ancho de banda de 0.5 nm., energía de lámpara de 75 %, se realizó por generación de flama aire-acetileno de 0.9-1.2 L/min. (Vila 2004, 19; Corp Camb. Meth Ma. 2004, p 8, 35).

La curva de calibración para los metales, se obtuvo por medio estándar externo (Corp Camb Meth Ma. 2004, p 42).

8. ANALISIS ESTADISTICO

8.1 Tipo de estudio

Descriptivo, debido que no se encontraron datos anteriores que confirmen o rechacen la presencia de elementos químicos tóxicos en rábano rojo en Guatemala.

Muestreo a conveniencia. Estudio observacional, descriptivo, transversal, porque mide una característica con un tiempo de cohorte al momento del muestreo (Montgomery 1991, p 378-418)

Determinación de la concentración de elementos químicos tóxicos (Cobre, Arsénico, Plomo y Cadmio) en rábano rojo que se cultiva en la Finca Planes de San Pedro, Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala, se miden en el rábano rojo las concentraciones internas que es una característica propia del vegetal muestreado.

8.2 Variables: La unidad experimental corresponde a un rábano rojo.

8.2.1 Variable dependiente: Presencia o ausencia de elementos químicos tóxicos (cobre, arsénico, plomo y cadmio) presentes en el rábano rojo que se cultiva en la Finca Planes de San Pedro, Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala.

8.2.2 Variable Independiente: el rábano rojo que se cultiva en la Finca Planes de San Pedro, Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala.

8.3. Validez del estudio

Al determinar si existe presencia o ausencia de elementos químicos tóxicos (Arsénico, Cobre, Cadmio y Plomo) por medio de Espectrofotometría de Absorción Atómica se realizó una curva de calibración con diluciones de calibradores externos de elementos químicos tóxicos a diferentes concentraciones (1 mg/L, 2 mg/L, 2.5 mg/L, 3 mg/L, 4 mg/L, 5 mg/L y 6 mg/L), el resultado servirá para identificar la hipótesis planteada (Vila 2004, p 19-23)

9. RESULTADOS

Se recolectó el rábano rojo, por el método de diagrama de Lot-plot Shainin muestreo de suelos (24, Jura 2005, p 221) en la Finca Planes de San Pedro, Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez, Guatemala.

Recolección de muestras: Para la determinación de elementos químicos tóxicos (cobre, plomo, cadmio y arsénico) se realizó un muestreo a la parcela obteniéndose 34 rábanos rojos (peso aproximado de 1.58 kg de material húmedo, con un porcentaje de humedad de 89.3%) de acuerdo al método de diagrama de Lot-plot Shainin muestreo de suelos (Jackson 1976, 48; Jura 2005, p 221,32). La muestra obtenida se deshidrato conservando sus características organolépticas para luego tamizarse como una sola muestra, con un peso aproximado de muestra seca de 146 gramos con un porcentaje de humedad menor al 10%. Se procedió a colocar 35.4 g de la muestra deshidratada en tres crisoles previamente tarados en partes iguales para luego someterse a incineración, obteniéndose una ceniza blanquecina.

Análisis de elementos químicos tóxicos: A cada una de las cenizas se le realizo el análisis por cuadruplicado en el equipo de espectrofotómetro de absorción atómica, colocándose el concepto de presente (positivo) de acuerdo a la sensibilidad del equipo con respecto a los elementos químicos tóxicos analizados (As= 0.2 µg/L, Co= 0.033 mg/L, Cd= 0.013 mg/L y Pb= 0.007 mg/L), obteniendo resultados (tabla 9.1) en la fase de experimentación

menores a los planteados por la Norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable en relación a la ingesta diaria recomendada por el INCAP-OPS/OMS.

Tabla 9.1 Concentración de cobre, cadmio, arsénico y plomo en rábano rojo procedente de la finca Planes de San Pedro Sacatepéquez, Guatemala

A	B	C	E	F	G
plomo	0.2042 mg/L	1.46×10^{-4}	0.0171	5×10^{-5}	0.0200
cadmio	No detectable	No detectable	No detectable	-----	0.0050
arsénico	No detectable	No detectable	No detectable	-----	0.0200
cobre	6.9949 mg/L	5.35×10^{-3}	0.5876	5.47×10^{-6}	3.0000

Elemento Químico toxico (A), muestra resultado del espectroscopio de absorción atómica (B), mg de peso en muestra húmeda (C), mg/día considerando que se consumen 400 gramos al día de rábano rojo (D), Desviación estándar de la detección de la muestra (E), mg/L con respecto a la relación de la norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable en relación a la ingesta diaria recomendada OMS de 2.0 litros de agua (F).

En la tabla 9.1 Se detectó en la muestra de rábano rojo, por medio de Espectrofotometría de Absorción Atómica trazas, con una ingesta diaria de 0.0171 mg/ración de Plomo y una ingesta diaria de 0.5876 mg/ración de cobre, resultado obtenido por el consumo total de 1.58 Kg de rábano rojo, según la composición y análisis de alimentos de Pearson (Pearson 2003, Pp 165, 158) y por recomendación el INCAP-OPS/OMS el consumo diario promedio es de 2 a 4 raciones (400 gramos) por persona. Siendo que el cobre y plomo no exceden el límite máximo permisible de la Norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable que es de 3.00 mg para el cobre y 0.02 mg para el plomo. El límite de la ingesta diaria de elementos químicos tóxicos en el consumo diario humano para Pb=0.10 mg/Kg, Co=2.0 mg/Kg, As=0.010 mg/Kg y Cd= 0.010 mg/kg.

10. DISCUSION DE RESULTADOS

Según un estudio realizado en conjunto por el INCAP-OPS/OMS en Guatemala, el rábano rojo se consume de una a dos veces cada 15 días por persona, siendo un equivalente de 400 gramos al día, aproximadamente de 6 a 8 rábanos; esto debido a que la dieta diaria del 90 % de la población consiste en el consumo de vegetales, por su alto contenido nutricional y por la condición económica de la población (Pearson 2003, Pp 173).

La Finca Planes de San Pedro Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala se encuentra a 35 km de la ciudad capital, a 100 de la carretera principal que comunica a Santiago Sacatepéquez con San Pedro Sacatepéquez por lo que es una ruta muy transitada y comercial aunado a esto la cosecha de las hortalizas de dicha finca abastecen a al CENMA (Central de Mayoreo), Terminal de la Zona 4, Mercado Central de la ciudad capital, siendo su mayor producto el rábano rojo, posee pozo de agua para riego, utiliza diferentes tipos de fertilizantes y plaguicidas los cuales son por recomendación de otros agricultores de la zona.

El rábano rojo cosechado en la Finca Planes de San Pedro, Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez, Guatemala se recolectó por medio del método de diagrama de Lot-plot Shainin (24, Jura 2005, p 232) obteniéndose un total de 34 rábanos rojos. Este método fue utilizado debido a que es un método de muestreo reconocido como estándar de oro para el muestreo por lotes de parcela para aceptación o rechazo de lotes adaptándose a las condiciones de la finca puesto que su extensión de cultivo no excede las 2 manzanas de

cultivo de rábano rojo, si la extensión fuese mayor no es posible utilizar este método pues excedería sus parámetros estadísticos de aceptación.

La desecación de la muestra de rábano rojo se llevó a cabo en una desecadora industrial por un periodo de cuatro horas a 60 °C pero por el alto contenido de agua que presenta el tubérculo empezó a descomponerse y favoreció el crecimiento de micelio fúngico por lo que se optó por utilizar otro método que no afectara la muestra. Para poder desecar la muestra sin que esta afectara el resultado se utilizó un deshidratador industrial a una temperatura 57 °C por un periodo de 24 horas, sin que la muestra de rábano rojo perdiera sus características organolépticas, llevándolo a un porcentaje de humedad menor del 10%.

La muestra deshidratada se trituro y se tomaron 35.4 gramos, seguidamente se dividió la muestra en tres partes iguales para su calcinación a una temperatura de 600 °C pero esta se proyectó al llegar a dicha temperatura debido a que al elevar la temperatura de forma abrupta el agua interna se libera con fuerza generando una explosión lo que provocó que la muestra se proyectara en su totalidad, teniendo que repetirse la calcinación, por lo que la solución a tomar fue de realizar la calcinación en rampas de temperatura por ciclos de tiempo de dos horas (elevando la temperatura a 100 °C y dejarla constante durante media hora, para luego aumentarla 100 °C y dejar constante por media hora hasta llegar a 600 °C estabilizándola durante 2 horas a esta temperatura), lo que permitió tener mejor resultado obteniéndose un ceniza de la muestra completa de color blanquecina, indicador de una buena calcinación.

La ceniza se aforo en un balón de 25 mL con agua destilada teniéndose una dilución 1/10 de cada una de las muestras, esto con el fin de prevenir que las muestras tuvieran un alto porcentaje de elementos químicos tóxicos, obteniéndose la detección de cobre y plomo de acuerdo a la tabla 10.1 en la muestra de rábano rojo, tomando como parámetro la Norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable cuyo límite máximo permisible es de 1.5 mg/L para cobre y 0.010 mg/L de plomo en concentración.

El estudio es de tipo exploratorio, debido que se encontraron datos sobre elementos químicos tóxicos en rábano rojo en el municipio de San Pedro Sacatepéquez Guatemala y áreas aledañas al lugar del muestreo. Al comparar el rábano rojo con el consumo de agua potable, pareciera que no tiene relación pero si establecemos que el agua es vital para la subsistencia humana la comparación tendrá validez desde punto de vista alimento y no desde la perspectiva de las propiedades químicas y físicas del agua y su relación será de masa y no de concentración como lo tiene establecido la Norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable y la dieta diaria recomendada por el INCAP-OPS/OMS de 400 mg/ración-día de rábano rojo y su relación con el consumo de 2 litros de agua potable/día, para lo cual se establece el límite máximo permisible de cobre de 3.00 mg y plomo 0.020 mg, siendo ambos elementos detectados por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Al analizar el rábano rojo se determinó que el cobre es el elemento químico toxico en mayor concentración encontrado (Tabla No 9.1), siendo la relación en que todas plantas absorben nutrientes, agua, metales y cualquier otra molécula del suelo y aire, dependiendo

del lugar, especie vegetal y de las características contenidas en el suelo, adoptando distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno, como por ejemplo la restricción del transporte a la parte aérea de la planta, la acumulación del metal en la parte aérea en una forma no tóxica para la planta, la exclusión y acumulación en especies que aparecen siempre en suelos contaminados o metalíferos (USDA 2006, p 23).

La presencia de cobre en el rábano rojo cuyo resultado es de 0.5876 mg/ración-día puede deberse a los fertilizantes y plaguicidas, conteniendo fosfatos los cuales interactúan con el cobre y el hierro, cuyo exceso puede causar intoxicación en las plantas marchitando al vegetal por lo que no sería consumible por el humano esto debido a su aspecto no apetecible por lo que no representa riesgo alguno para el consumo humano.

El consumo permisible de cobre en alimentos es de 20 -35 mg /kg, el requerimiento diario es de 0.23 mg /día y su ingesta dietética diaria debe de ser de 1.5-3mg /día por lo que a pesar de existir trazas en el rábano rojo, no representa peligro de toxicidad para el consumo humano.

El en caso de la presencia de plomo en el rábano rojo cuyo resultado es de 0.0171 mg/ración-día puede deberse a la absorción por la planta fundamentalmente del suelo y aire, teniendo efectos en el crecimiento y desarrollo del mismo. En el caso del cultivo en suelo contaminado por elementos químicos tóxicos, las sales de estos, pueden acumularse en las partes comestibles de los cultivos destinados al consumo humano, constituyendo un riesgo de salud pública y ambiental. Un factor importante que puede ser atribuido a la

contaminación de plomo es la cercanía al área periurbana y la contaminación de combustible fósil, ya que la carretera principal se encuentra aproximadamente a 100 metros del lugar de cultivo aunado a esto se utiliza un tractor a diesel para arar el suelo, pero el resultado obtenido no excede el parámetro establecido por la norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable para el plomo que es de 0.0200 mg relación masa de acuerdo a la ingesta diaria recomendada y su relación con el límite mínimo permitido en alimentos de 0.2-10 mg/kg por el INCAP-OPS/OMS.

Tomando como referencia la Norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable el resultado de los análisis en cuanto al contenido de arsénico y cadmio se encuentran en una concentración menor a la detectable por el espectrofotómetro de absorción atómica, por lo que se concluye que no presentan toxicidad para el consumo humano.

Para fines de comprensión los resultados obtenidos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica son del proceso de calcinación de la muestra en estado seco y triturado esto porque el equipo necesita este proceso para poder analizar la muestra. De ahí la confusión que pueda tener el esquematizar dichos resultados pero estos al realizar los cálculos respectivos se discuten de acuerdo a la muestra húmeda o sea de los 34 de rábano rojo recolectados en planes de San Pedro, Ojo de agua, San Pedro Sacatepéquez, Guatemala.

11. CONCLUSIONES

1. Se determinó en forma cuantitativa que las concentraciones de los elementos químicos tóxicos (cobre, arsénico, plomo y cadmio) en rábano rojo que se cultiva en la Finca Planes de San Pedro, Ojo de agua, San Pedro Sacatepéquez, Guatemala no presenta riesgo para la salud humana.
2. La recolecta realizada según el método de Lot Plot Shanin se adecua a las necesidades del estudio de rábano rojo en la Finca Planes de San Pedro, Ojo de agua, San Pedro Sacatepéquez, Guatemala.
3. La concentración de As y Cd fue menor al límite de detección por el espectroscopio de absorción atómica y las concentraciones de cobre y plomo en el rábano rojo, no exceden el límite descrito por la norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª revisión de agua potable y por el INCAP-OPS/OMS. Por lo que su ingestión no presenta riesgo de toxicidad para la salud humana.

12. RECOMENDACIONES

1. Promover estudios de este tipo y divulgar estos resultados tanto para el rábano rojo en otros lugares de cultivo en Guatemala así como otro tipo de vegetales cosechados en otras áreas del país con la finalidad de crear una normativa que regule los límites permisibles de elementos químicos tóxicos en el rábano rojo y otros vegetales para el consumos de la población Guatemalteca.
2. Se debe muestrear el agua, aire y suelo para tener una relación de contaminación de elementos químicos tóxicos con el rábano rojo.

13. BIBLIOGRAFIAS

Alarcón M. (2006) 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, EXPO Guadalajara Pp 5.

Alloway B. (1995). The origin of the heavy metals in soils. Blackie academic and professional, London, 3, 2, 38-57.

American Institute for Cooperation on Agriculture, AICA (2005), Estudio de demanda y oferta de capacitación en el sector agropecuario de Guatemala. Editorial IICA, Costa Rica 12-25.

Boixadera M., Teira R. (2001) Aplicación agrícola de residuos orgánicos Editorial Lerida, Universidad de Lérida. Pp 56-97.

Corporation Cambridge UK. (2004). Methods Manual. Atomic Absorption Spectrometry 9499.230.24011. Thermo Electron Pp 3-40.

Crompton, Thomas (1996) Analysis of solid in natural water. Springer-verlag Berlín Heidelberg, Germany. 6, 387-408

Duffus J.H. (2002) IUPAC, heavy metal a meaningless term, technical report. pure and applied chemistry 74, 793–807.

Dreisbach R., Robertson W. (1998), Manual de toxicología clínica. Prevención, diagnóstico y tratamiento. Manual Moderno México 6, Pp 206-231.

DRI (1997). Institute of Medicine National Academy of Sciences Pp 2000-2015.

Eaton A. (1995) Standard Methods, for the examination of water and wastewater. Edit. American Public Association Washington DC, 19, Pp 55-72.

García-FADES Programa de Apoyo al Proceso de Descentralización (Aprodesc) 2009, San Pedro Sacatepéquez Pp 3-21.

García H., (1997). Determinación y cuantificación de elementos químicos 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, Pp 87.

Guiffree. L. (2004) Suelo urbano y su actitud hortícola. Revista facultad de ciencias agrarias. 22, Pp 6-15.

González Carlos (2006) Gobernabilidad y gestión del agua San Bernardo. Universidad Complutense de Madrid, España, Pp 49.

Jackson M. (1976) Química de Suelos. Edit. Omega Barcelona España 3, Pp 48-47.

Juárez Pernillo, J. (2006). Determinación de elementos químicos 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 120.

Jura, J.M., Grynha, F.M., Bingham, R.S. (2005) Manual de Control de Calidad. España Editorial McGraw Hill. Pp 221-226

Index Merck, (2003), 23, 540-627.

Insuasty L., (2006) Movilidad del cadmio en suelos cultivados con trigo en Tangua, Nariño, Colombia. Artículo derivado de la tesis de Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira Pp 23-35

Marcano L. (1999) Valoración del efecto toxico del cadmio en células meristemáticas de cebolla *Allium cepa* L. Rev. Fac. Agron. 16, Pp 476-487

Menéndez M., (1987) Toxicología del cobre. Toxicología, 4, Pp 101-120.

Montgomery D. (1991) Control estadístico de la calidad. Edit. Iberoamericana México 11, Pp 375-418.

Norma Guatemalteca Obligatoria (1999 abril) COGUANOR 29001:99 ICS 13.060.20 de Agua Potable 1ª revisión, especificaciones técnicas.

OMS (1986). Directives de Qualité pour L'Eau de Boisson. Critères d'hygiène et Documentation à l'appui. Genève: OMS, Pp 2.

Pearson (2002) Composición y análisis de alimentos. México 9, Pp 173, 165, 158.

Prieto-García F. (2005) Acumulación en tejidos vegetales de arsénico proveniente de aguas y suelos de Zimapán, Estado de Hidalgo, México Bioagro Pp 17, 3.

Reilly C., (1991) Metal Contamination of Food. London: Applied Science Publisher. Pp 284.

Soraya, P., (2006) Contaminación por elementos químicos tóxicos en suelo provocado por la industria, Ecología aplicada, Lima 5, Pp 149-155

Standley P. y Steyermark J. (1946), Flora de Guatemala. Fieldiana: Botany 24, Pp 377-376.

Trevor Suslow (2008) Producto horticultura española. Rábano rojo. Departament of plant Sciences, University of California Postharvert Technology Research.

Unión Europea (2008). Contenidos máximos en elementos químicos tóxicos en productos alimenticios. Secretaría General de Comercio Exterior Secretaria de Estado de Turismo y Comercio Catice de Gandia Union Europea 35-45.

USDA. (2006). Rábano rojo, fuentes y detalles. National Nutrient Database for Standard Referente Agricultural Research Service. 15-23.

Vila, R (2004) Métodos Cromatográficos y otras determinaciones en el control de identidad y pureza. Curso iberoamericano de control de calidad de medicamentos fitoterápicos, OEA/CIPRONA/CYTED, San José Costa Rica, Pp 19-23.