


Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

The seal of the Universidad de San Carlos de Guatemala is a large, circular emblem. It features a central figure of a man in a crown and robes, possibly a saint or a historical figure, surrounded by various symbols including a castle, a lion, and a cross. The text "CONSPICUA + CAROLINA ACADEMIA" is visible at the top of the seal, and "SOLLA + COACTEMALENSIS INTER" is visible at the bottom. The seal is rendered in a light gray color.

**Detección de Elementos Químicos Tóxicos por Espectrometría de Fluorescencia de rayos X en tres matrices ambientales (seis hortalizas de mayor consumo, agua y suelo) del municipio de Sololá, Departamento de Sololá, Guatemala.**

**Seminario de Investigación**

Carmen Elena Enriquez Chuc

Carlos Rolando Palencia Juárez

Guatemala, agosto del 2012

## INDICE

1. RESUMEN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	2
2.1 Elementos Químicos tóxicos .....	2
2.1.1 Arsénico .....	2
2.1.2 Cadmio .....	4
2.1.3 Plomo .....	6
2.1.4 Cobre .....	7
2.2 Efectos de los elementos químicos tóxicos sobre las plantas .....	10
2.3 Norma COGUANOR NGO 29001 de Agua Potable.....	11
2.3.1 Definiciones de la norma COGUANOR 29001 de agua potable.....	11
2.4 EL SUELO .....	14
2.4.1 Componentes mayoritarios de los suelos .....	14
2.4.2 Constituyentes minerales (inorgánicos) de los suelos .....	15
2.4.3 La materia orgánica del suelo.....	15
2.4.4 Transferencia de nutrientes vegetales.....	16
2.4.5 Formas de elementos utilizados por las plantas.....	16
2.4.6 El suelo y las interrelaciones con la planta.....	16
2.5 PLAGUICIDAS .....	17
2.5.1 Definicion .....	17
2.5.2 Clasificacion de plaguicidas .....	18
2.5.2.1 El grupo quimico al que pertenecen .....	18

2.5.2.2	Por la toxicidad aguda que poseen .....	19
2.5.2.3	Por su ingrediente activo .....	20
2.5.2.4	Por el tipo de formulaciòn .....	20
2.5.2.5	Por el grado de inhalaciòn.....	20
2.6	Los Rayos X .....	20
2.6.1	Historia .....	20
2.6.2	Naturaleza de los Rayos X .....	21
2.6.3	Interacciòn de los rayos X con la materia .....	22
2.6.4	Efecto Fotoelèctrico ..	22
2.6.5	Efecto Compton.....	22
2.6.6	Producciòn de Pares.....	23
2.6.7	Propiedades de los rayos X .....	23
2.6.8	Ionizaciòn .....	23
2.6.9	Fluorescencia .....	24
2.6.10	Emisiòn y espectros de rayos X .....	24
2.6.11	Excitaciòn .....	24
2.6.12	Emisiòn .....	25
2.6.13	Mètodos de fluorescencia de rayos X.....	26
2.6.14	Reflexiòn total de rayos X.....	27
2.6.15	Espectrofotòmetro de fluorescencia de rayos X .....	27
2.6.16	Ventajas de la fluorescencia de rayos X.....	28
2.6.17	Limitaciones de la fluorescencia de rayos X.....	28
2.7	ESTUDIOS REALIZADOS EN DIVERSOS PAISES.....	29

3. JUSTIFICACION .....	31
4. OBJETIVOS .....	32
4.1 Objetivo General .....	32
5. MATERIALES Y METODOS .....	33
5.1 UNIVERSO .....	33
5.2 POBLACION .....	33
5.3 MUESTRA .....	33
5.4 MATERIALES .....	34
5.5 CRISTALERÍA .....	35
5.6 MÉTODO .....	35
5.6.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	35
5.6.1.1 DISEÑO ESTADÍSTICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
5.6.2. METODOLOGÍA .....	36
5.6.2.1 Procedimiento de muestreo y preparación de la muestra para su análisis por Espectrometria de fluorescencia de Rayos X .....	37
5.6.2.2 Procedimiento de muestreo y preparación de la muestra para su análisis por Cromatografía en capa fina para detección de plaguicidas .....	42
6.RESULTADOS .....	44
7.DISCUSION .....	65
8. CONCLUSIONES .....	75
9. RECOMENDACIONES .....	76
11.REFERENCIAS.....	77
11.ANEXOS.....	84

11.1 SOLOLA, GUATEMALA.....	84
11.1.1 Antecedes Históricos .....	84
11.1.2 Aspecto geográficos.....	84
11.1.3 Datos de la región.....	85
11.1.4 Estructuras físicas fundamentales .....	86
11.1.4.1 Clima, Temperatura media anual, Precipitaciones .....	86
11.1.4.2. Infraestructura y equipamiento.....	87
11.1.4.2.1 Servicios municipales básicos .....	87
11.1.4.2.3 Ocupación y utilización del suelo, principales cultivos.....	87
11.1.4.2.4 Implantación industrial .....	88
11.2 MATERIA VEGETAL .....	90
11.2.1 Nombre Científico: <i>Allium cepa</i> L.....	90
11.2.6 Nombre Científico: <i>Solanum tuberosum</i> L. ....	91
11.2.11 Nombre Científico: <i>Daucus carota</i> L.....	92
11.2.16 Nombre Científico: <i>Beta vulgaris</i> L.....	94
11.2.21 Nombre Científico: <i>Brassica oleracea</i> L.....	96
11.2.26 Nombre Científico: <i>Phaseolus vulgaris</i> L.....	97
11.3 ESPECTROS .....	98

## 1. RESUMEN

La población del departamento de Sololá es eminentemente agrícola y sus habitantes cultivan hortalizas como parte de su trabajo diario para el comercio y para su consumo cotidiano. Por tal razón, surgió la necesidad de evaluar la inocuidad de las hortalizas de mayor producción y consumo en Sololá tales como cebolla, ejote, papa, remolacha, repollo y zanahoria en cuanto a la concentración de algunos elementos químicos tóxicos (arsénico, cadmio, cobre, plomo) que pudiesen estar presentes, ya que su presencia en concentraciones elevadas puede provocar daño inminente a la salud humana y de igual forma afectar la calidad de los cultivos para su exportación.

Estos elementos tóxicos son absorbidos por los vegetales vía radicular o foliar, o pueden proceder del medio ambiente (suelo, agua y aire). Debido a esto se analizó también el suelo y el agua que es utilizada para el cultivo y cosecha, ya que estos pueden ser fuente de contaminación por estar en contacto con compuestos como pesticidas y fertilizantes.

La cuantificación elemental se realizó por medio de Espectrometría de Reflexión Total de Rayos X. Los resultados obtenidos se compararon con los límites máximos permisibles dados por organismos nacionales (COGUANOR) como internacionales (EPA, OMS), y se determinó que ninguna de las muestras de hortalizas, suelos y agua analizadas presentan elementos tóxicos en concentraciones máximas permisibles y en la mayoría de casos los elementos tóxicos no fueron detectables por la técnica de rayos X.

La detección de plaguicidas en suelo se realizó por cromatografía en capa fina y se determinó ausencia de plaguicidas con respecto a los estándares incluidos. De esta manera, los resultados reflejan la calidad de los productos de cosecha, así como las buenas prácticas agrícolas.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 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 (Duffus, 2002).

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-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 Toxicas en sus siglas en inglés IUPAC (Duffus, 2002).

#### 2.1.1 Arsénico

##### 2.1.1.1 Descripción química:

Elemento químico, cuyo símbolo es As y su número atómico es 33. Se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza ( $5 \times 10^{-4}$  porcentajes en la corteza terrestre) (en la tierra, el agua y el aire como un tóxico 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; Crompton, 1996).

#### **2.1.1.2 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 ferrosilicio en contacto 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/m<sup>3</sup> y para los compuestos que liberen arsénico, ácido arsénico, arseniatos, arsenitos la dosis letal es de 100 a 500 mg/Kg (Index Merck, 2003; DRI, 1997), límite de exposición. En la norma COGUANOR NGO 29001 es de 0.010 mg/L. Arsénico 1mg/Kg límite general en alimentos (Manual Merck, 1999).

#### **2.1.1.3 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 (Manual Merck, 1999).

#### **2.1.1.4 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  $\mu\text{g}/24$  h. 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).

### **2.1.2 Cadmio**

#### **2.1.2.1 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). 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  $\mu\text{g}$  de cadmio por gramo de peso húmedo y la ingesta diaria promedio es de

alrededor de 50  $\mu\text{g}$ . El hígado, riñón y los crustáceos pueden tener concentraciones de cadmio superiores a 0.05  $\mu\text{g/g}$  (DRI, 1997), límite de exposición norma COGUANOR NGO 29001 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).

### **2.1.2.2 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, náuseas, 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, tóxico para espermatozoides (Alloway, 1995).

### **2.1.2.3 Diagnóstico:**

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.

#### **2.1.2.4 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).

### **2.1.3 Plomo**

#### **2.1.3.1 Descripción química:**

Elemento químico, símbolo Pb, número atómico 82, densidad relativa, gravedad específica de 11.4 a 16 °C, de color azulado, funde a 327 °C, valencia química 2+ y 4+ (DRI, 1997). Es inocuo en el ambiente como resultado de su ocurrencia natural y su uso industrial. La ingesta diaria para 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 los peces sin embargo, su velocidad de excreción en peces es muy lenta. El contenido máximo de plomo en peces, no debe superar los 0.10 mg/Kg peso fresco (Juárez, 2006). Los efectos del plomo aparecen al ingerir más de 0.5 mg/día. El límite de plomo en alimentos es de 0.2-10 mg/Kg y en lactantes 0.2 mg/Kg descrito por el reglamento de alimentos MAF en 1979.

#### **2.1.3.2 Toxicología:**

La vía de absorción del plomo es el tracto gastrointestinal y sistema respiratorio (DRI, 1997), límite de exposición norma COGUANOR NGO

29001 es de 0.010 mg/L. Se acumula en el hígado, riñones, hueso dientes, pelo y en pequeñas cantidades en el cerebro, especialmente 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).

### **2.1.3.3 Tratamiento:**

Para el tratamiento es innecesario el análisis de muestras de sangre y orina. 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 envenenamiento clínico. Se debe considerar pacientes sintomáticos al presentar valores mayores de 35  $\mu\text{g}/\text{dl}$  de Protoporfirina Eritrocitaria Libre (PEL), o valores de Protoporfirina Eritrocitaria Zinc (PEZ) mayores a 100  $\text{ng}/\text{dl}$  de sangre.

## **2.1.4 Cobre**

### **2.1.4.1 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  $8.96 \text{ g}/\text{cm}^3$  a  $20^\circ\text{C}$ , 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  $1083.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  ( $1981.4 \pm 0.2^{\circ}\text{F}$ ). Su punto de ebullición normal es de  $2595^{\circ}\text{C}$  ( $4703^{\circ}\text{F}$ ). El cobre no es magnético, su conductividad térmica y eléctrica son muy altas. El cobre es un elemento esencial para el hombre (Dreisbach, 1998; Menéndez 1987). 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; OMS, 1986).

El límite de exposición según la norma COGUANOR NGO 29001 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; Menéndez, 1987). 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). El límite de cobre en alimentos es de 20 mg/kg. El consumo promedio en la dieta diaria es de 20 a 35 microgramos y el requerimiento diario es de 0.23 mg/día.

Entre los alimentos más ricos en cobre se encuentran las ostras, hígados, setas, nueces y chocolate (DRI, 1997). Además, el contenido de este metal puede aumentar por el uso de cerámicas y utensilios domésticos que contengan este metal; además, es muy utilizado en los fertilizantes para la agricultura.

#### **2.1.4.2 Toxicología:**

La absorción del cobre es del orden del 30% y es disminuida por altas ingestas alimentarias de hierro, molibdeno y zinc (Menéndez, 1987). Este elemento se almacena preferentemente en el hígado, riñón, músculo, corazón y cerebro. Su deficiencia produce anemia, neutropenia y desmineralización ósea (Dreisbach, 1998), 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), 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).

Tras la absorción, por vía gastrointestinal, de cantidades pequeñas pero repetidas pueden presentarse náuseas, salivación, dolor epigástrico, diarreas, vértigo, debilidad e ictericia (Alloway, 1995). 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).

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; Reilly, 1991).

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).

## 2.2 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 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 1, 2 y 3) (Puga, 2006; Boixadera, 2001).

Tabla 1. 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)

Tabla 2. Elementos esenciales y/o tóxicos para vegetales y/o animales

Metal	Esencial		Tóxico		Fuente dominante en el suelo
	Vegetal	Animal	Vegetal	Animal	
As	NO	NO	SI	SI	AsO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>
Pb	NO	NO	SI	SI	Pb <sup>2+</sup>
Cd	NO	NO	SI	SI	Cd <sup>2+</sup>

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

### 2.3 Norma COGUANOR NGO 29001 de Agua Potable

El agua es el componente principal de los seres vivos; se pueden vivir meses sin alimento, pero sólo 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, por lo que se han regulado sus concentraciones en la norma COGUANOR 29001 de agua potable, determinando un límite máximo permisible y aceptable para que no cause daño a la salud de quien lo consume (González, 2006; Crompton, 1996). Estas concentraciones se verifican por medio de análisis químico.

Como ya se mencionó, la norma COGUANOR 29001 de agua potable, tiene por objeto fijar los valores de las características que definen la calidad del agua potable (COGUANOR 29001:1999). Por lo que a continuación se incluyen los más importantes.

#### 2.3.1 Definiciones de la norma COGUANOR 29001 de agua potable

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



**2.3.1.2 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.

**2.3.1.3 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.

**2.3.1.4 Características físicas:** Son aquellas características relativas a su comportamiento físico, que determinan su calidad. Una de ellas es la conductividad eléctrica, que en el caso del agua potable deberá encontrarse entre 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25°C.

**2.3.1.5 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 y que se indican en la tabla 3, incluida a continuación.

**2.3.1.6 Límites de toxicidad:** En la tabla 5 se indican algunas sustancias o compuestos químicos que al sobrepasar el límite máximo permisible en el agua potable, causan toxicidad (COGUANOR 29001:1999).

Tabla 3. Características sensoriales. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) que debe tener el agua potable (Continuación)

<b>Características</b>	<b>LMA</b>	<b>LMP</b>
Color	5.0 u	35.0 u <sup>(1)</sup>
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbidez	5.0 UNT	15.0 UNT <sup>(2)</sup>

(1) Unidades de color en la escala de platino-cobalto

(2) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Estas siglas deben considerar en la expresión de los resultados.

Fuente Norma COGUANOR NGO 29001 de Agua Potable.

Tabla 4. Relación de las sustancias inorgánicas con significado para la salud, con su respectivo límite máximo permisible (LMP)

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

Fuente Norma COGUANOR NGO 29001 de Agua Potable

Tabla 5. 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 <sup>-</sup> )	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Conductividad	-----	< de 1 500 µS/cm
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	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 <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	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.
- Fuente Norma COGUANOR NGO 29001 de Agua Potable.

## 2.4 EL SUELO

### 2.4.1 Componentes mayoritarios de los suelos

Los suelos constan de cuatro grandes componentes a saber: materia mineral (45%), materia orgánica (5%), agua (25%) y aire (25%), que por lo general yacen en un fino estado de subdivisión e íntimamente mezclados. De hecho, su contacto

es tan cerrado que, frecuentemente, su separación es muy difícil (Buckman y Brady, 1970).

La composición de los subsuelos es bastante diferente a la de los suelos ya que son más bajos en contenido orgánico y tienen la tendencia a ser más compactos; así como a contener mayor porcentaje de poros pequeños lo que conduce a un contenido menor de materia orgánica y aire.

#### **2.4.2 Constituyentes minerales (inorgánicos) de los suelos**

La porción inorgánica de los suelos es variable en dimensión y en composición. Normalmente está compuesto de pequeños fragmentos de roca y de minerales de varias clases. Los minerales tales como el cuarzo y otros minerales primarios (AMM) han persistido más o menos invariables en composición desde su roca originaria. Otros tales como las arcillas silícicas y los óxidos de hierro se han formado por la acción agentes externos (Buckman y Brady, 1970).

#### **2.4.3 La materia orgánica del suelo**

La materia orgánica del suelo representa una acumulación de las plantas parcialmente destruidas y parcialmente resintetizadas y de los residuos de animales. Este material esta en activo estado de desintegración y sujeto al ataque de microorganismos del suelo. Por lo tanto es más bien un constituyente transitorio del suelo y es renovado constantemente por la adición de los residuos de las plantas superiores (Buckman y Brady, 1970).

La materia orgánica usualmente se divide en dos grupos generales: 1) los tejidos originales y sus equivalentes parcialmente descompuestos, y 2) el *humus*. Este último también llamado mantillo, es normalmente de color negro o pardo, es de naturaleza coloidal y tiene la capacidad de almacenar agua e iones nutrientes mucho mayor que la arcilla, que es su producto inorgánico o similar.

#### 2.4.4 Transferencia de nutrientes vegetales

Existen dos fuentes generales de nutrientes fácilmente asimilables en el suelo por las plantas, estas son: 1) nutrientes adsorbidos por los coloides y 2) las sales en solución del suelo. En ambos casos los elementos esenciales están presentes como iones, tales como  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^-$ , entre otros. Los cationes son adsorbidos por los coloides mientras que los aniones se hallan en la solución del suelo (Buckman y Brady, 1970).

#### 2.4.5 Formas de elementos utilizados por las plantas

Los iones más importantes presentes en la solución o en los coloides del suelo, pueden ser clasificados como sigue:

Tabla 6. Iones presentes en el suelo.

<b>Nitrógeno</b>	$NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$	<b>Calcio</b>	$Ca^{++}$
<b>Fósforo</b>	$PO_4H^-$ , $PO_4H_2$	<b>Magnesio</b>	$Mg^{++}$
<b>Potasio</b>	$K^+$	<b>Azufre</b>	$SO_3^-$ , $SO_4^-$
<b>Hierro</b>	$Fe^{+++}$ , $Fe^{++}$	<b>Cinc</b>	$Zn^{++}$
<b>Molibdeno</b>	$MoO_4^{--}$	<b>Boro</b>	$BO_3^{---}$
<b>Manganeso</b>	$Mn^{++}$ , $Mn^{++++}$	<b>Cloro</b>	$Cl^-$
<b>Cobre</b>	$Cu^+$ , $Cu^{++}$	<b>Agua</b>	$H^+$ , $OH^-$
<b>Carbono</b>	$CO_3^{--}$ , $CO_3H^-$		

Fuente: (Buckman y Brady, 1970)

#### 2.4.6 El suelo y las interrelaciones con la planta

Las raicillas y pelos radicales están en muchos casos, en íntimo contacto con las superficies coloidales del suelo. Esta relación es tan cercana que los nutrientes pasan de los sólidos del suelo a la planta sin intermedios coloidales. Estos

contactos íntimos entre suelo y planta aumentan la absorción de nutrientes (Buckman y Brady, 1970).

Este fenómeno de asociación raíz suelo viene aparentemente muy acentuado por: 1) los exudados de la raíz, y 2) por la actividad microbiana en la vecindad inmediata de las superficies de absorción. Las raíces de las plantas excretan grandes cantidades de anhídrido carbónico y de otras sustancias ácidas. Sin duda, estas provocan un intercambio muy notable. También las excreciones orgánicas de las raíces de las plantas proveen de alimento y energía a los microorganismos. La concentración de la actividad microbiana dentro de la zona radical de la planta (rizosfera) es una prueba de esto. Tales fenómenos bioquímicos no pueden faltar, para aumentar favorablemente la proporción y facilidad de la transferencia de los nutrientes del suelo a la planta (Buckman y Brady, 1970).

## **2.5 PLAGUICIDAS**

### **2.5.1 Definición**

Los insecticidas pertenecen a un grupo de sustancias denominadas plaguicidas, los cuales son sustancias o mezclas de sustancias destinadas para prevenir o controlar toda especie indeseable de plantas y animales. El término plaguicida abarca además, cualquier sustancia que se emplea para combatir plagas durante la producción, almacenamiento, transporte, comercialización o elaboración de alimento para el hombre y los animales; o se administre a estos últimos para combatir insectos o arácnidos que se encuentran dentro o sobre su cuerpo (Braumler & Ripptein).

Todo plaguicida tiene cierto grado de toxicidad para los humanos. Los efectos químicos que pueden matar otras formas de vida son desde perjudiciales para la

salud hasta letales. Los insecticidas ingresan al organismo por vía digestiva, respiratoria o dérmica (Braumler & Ripptein).

Entre los plaguicidas se encuentran los insecticidas organoclorados y organofosforados. El mecanismo de acción de los insecticidas organoclorados no está bien aclarado, sin embargo, se ha establecido que son tóxicos liposolubles, resistentes a la degradación natural por lo que se acumulan en el tejido adiposo y otros órganos, hasta alcanzar niveles tóxicos. Sin embargo, se sabe que los insecticidas organofosforados ejercen su acción tóxica por combinarse con colinesterasas, inhibiendo a la acetilcolinesterasa en los tejidos nerviosos (Braumler & Ripptein).

## **2.5.2 Clasificación de plaguicidas**

Es importante la forma en que los plaguicidas se clasifican y estos pueden ser:

### **2.5.2.1 El grupo químico al que pertenecen:**

- Bupiridilos
- Carbamatos
- Compuestos órgano – estánicos
- Compuestos organoclorados
- Compuestos organofosforados
- Compuestos organomercuriales
- Triazinas
- Derivados del ácido fenoxiacético
- Derivados del cloronitrofenol
- Piretroides
- Piretrinas

- Tiocarbamatos
- Derivados cumarinicos

### **2.5.2.2 Por la toxicidad aguda que poseen:**

Es la clasificación que se da a los plaguicidas según el grado de peligrosidad al producir daño agudo a la salud (problemas respiratorios, trastornos mentales, entumecimiento de extremidades, esterilización, etc.) en exposiciones múltiples o únicas en periodos cortos de tiempo. La Organización Mundial de la Salud ha recomendado, la siguiente clasificación que está sujeta a actualizaciones regulares y basándose en la dosis letal mediana aguda, por vía oral o dérmica en ratas.

#### **2.5.2.2.1 Formas de mayor y menor riesgo de cada producto: Implica que estos componentes van desde:**

**De baja peligrosidad:** Los que por inhalación, ingestión y/o penetración cutánea no entrañan riesgos apreciables.

**Nocivos:** Los que por inhalación, ingestión y/o penetración cutánea puedan entrañar riesgos de gravedad limitada.

**Tóxicos:** Los que por inhalación, ingestión y/o penetración cutánea puedan entrañar riesgos graves, agudos o crónicos, e incluso la muerte.

**Muy tóxicos:** Los que por inhalación, ingestión y/o penetración cutánea puedan entrañar riesgos extremadamente graves, agudos o crónicos, e incluso la muerte.



**2.5.2.3 Por su ingrediente activo:** Todo producto orgánico o inorgánico, natural, sintético o biológico, con determinada actividad plaguicida, con un grado de pureza establecido.

**2.5.2.4 Por el tipo de formulación:** Todo plaguicida compuesto de una o varias sustancias o ingredientes activo-técnicos y, en su caso, ingredientes inertes, coadyuvantes y aditivos, en proporción fija.

**2.5.2.5 Por el grado de inhalación:** Todo estudio e investigación relacionado con plaguicidas se lleva a cabo en países desarrollados a pesar de la gran inversión que esto implica, entre estos países se encuentra el Reino Unido donde se clasificó la toxicidad inhalada del producto por ratas, durante cuatro horas de exposición, de la concentración letal media, para los plaguicidas que se presentan en forma de gas y de material particulado cuyo diámetro no excedía de 50 micras, llegando a la siguiente clasificación:

**2.5.2.5.1** Muy tóxico cuando la concentración es menor o igual a 0.5 mg/L aire (Alfaro, 2006).

## **2.6 LOS RAYOS X**

### **2.6.1 Historia**

Wilhem Roentgen (1895) descubrió que cuando un haz de electrones rápidos golpea una superficie sólida, se emite radiación que atraviesa la materia y que pueden ser difractados. Moseley demostró en 1913 que los rayos X emitidos por un elemento eran únicos y representativos de ese elemento. En el año de 1938 se construyó el primer espectrómetro de rayos X. a partir de 1948 se han diseñado y utilizado varios tipos de espectrómetros de fluorescencia de rayos X (Orozco y Cleaves, 2005; Zacarías, 2009).

En 1959 Perutz y Kendrew resuelven las estructuras proteicas de la hemoglobina y mioglobina. A partir de 1960 se desarrollaron dos modos de operación automática y el tratamiento de datos más exactos. La utilización de detectores más sensibles (estado sólido) permitieron el diseño de nuevas fuentes, así como el diseño de instrumentos portátiles. En 1990 los detectores sin ventana permitieron la detección de elementos livianos menores al Boro (Orozco y Cleaves, 2005).

### **2.6.2 Naturaleza de los Rayos X**

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda va desde unos 10nm hasta 0.001nm. Los rayos de mayor longitud de onda, cercanos a la banda ultravioleta del espectro electromagnético, se conocen como rayos X blandos, esta radiación es continua y surge del frenado de las partículas los de menor longitud de onda, que están próximos a la zona de rayos gamma o incluso se solapan con esta, se denomina rayos X duros (Ramírez,2003).

Los rayos X son una radiación electromagnética de longitud de onda corta producida por el frenado de electrones de elevada energía o por transiciones electrónicas de electrones de elevada energía o por transiciones electrónicas de electrones que se encuentran en los orbitales internos de los átomos. Éstos están formados por un amplio rango de longitudes de onda, que se conocen como rayos X blancos, para diferenciarlos de los rayos X monocromáticos, que tienen una única longitud de onda (Ayala ,2001; Orozco y Cleaves, 2005).

Si se analizan los rayos X emitidos con un espectrómetro de rayos X cuando los electrones han sido excitados por la radiación, se encuentran ciertas líneas definidas superpuestas sobre el espectro continuo; estas líneas, conocidas como rayos X característicos, corresponden a longitudes de onda que dependen exclusivamente de la estructura de cada átomo (Orozco y Cleaves, 2005).

### **2.6.3 Interacción de los rayos X con la materia**

En la interacción entre la materia y los rayos X existen tres mecanismos por los que estos son absorbidos; los tres demuestran la naturaleza cuántica de los rayos X. (Ayala, 2001).

### **2.6.4 Efecto Fotoeléctrico**

Cuando un cuanto de radiación o fotón correspondiente a la zona de rayos X del espectro electromagnético choca contra un átomo, puede golpear un electrón de una capa interna y expulsarlo del átomo. Si el fotón tiene más energía que la necesaria para expulsar el electrón, le transferirá esta energía adicional en forma de energía cinética. Este fenómeno, denominado fotoeléctrico, tiene lugar principalmente en la absorción de rayos X de baja energía (Orozco y Cleaves, 2005).

### **2.6.5 Efecto Compton**

El efecto Compton, descubierto en 1923 por el físico y educador estadounidense Arthur Holly Compton, es una manifestación importante de la absorción de rayos X a menor longitud de onda. Cuando un fotón de alta energía choca con un electrón ambas partículas pueden ser desviadas formando un ángulo con la radiación incidente de rayos X. El fotón incidente cede parte de su energía al electrón y sale del material con una longitud de onda más larga. Estas desviaciones acompañadas por un cambio en la longitud de onda se conocen como dispersiones Compton (Orozco y Cleaves, 2005).

### **2.6.6 Producción de Pares**

Se observa que cuando se irradian elementos de masa atómica elevada con rayos X de muy alta energía, se produce el fenómeno de producción de pares. Cuando un fotón de alta energía penetra en la capa electrónica cercana al núcleo, puede crear un par de electrones, uno con carga negativa y otro con carga positiva; los electrones con carga positiva se conocen también como positrones. La producción de pares es un ejemplo de la conversión de energía en masa. El fotón necesita una energía mínima de 1.2 Mev para proporcionar la masa del par. Si el fotón incidente posee más energía de la necesaria para la producción del par, el exceso de energía se cede al par de electrones en forma de energía cinética. Las trayectorias de las dos partículas son divergentes (Ayala, 2001; Orozco y Cleaves, 2005).

### **2.6.7 Propiedades de los rayos X**

La absorción de los rayos X por una sustancia depende de su densidad y masa atómica. Cuanto menor sea la masa atómica del material, más transparente será a los rayos X de una longitud de onda determinada. Cuando se irradia el cuerpo humano con rayos X, los huesos compuestos por elementos con mayor masa atómica que los tejidos circundantes, absorben la radiación con más eficacia, por lo que producen sombras más oscuras sobre una placa fotográfica. (Ayala, 2001; Orozco y Cleaves, 2005).

### **2.6.8 Ionización**

La capacidad de ionización de los rayos X monocromáticos, depende de su longitud de onda. Otras características importantes de los rayos X es su poder de ionización, que es directamente proporcional a su energía. Esta propiedad proporciona un método para medir la energía de los rayos X. cuando se hacen

pasar rayos X por una cámara de ionización se produce una corriente eléctrica proporcional a la energía del haz incidente. Otros aparatos más sensibles como el contador Geiger o el centelleo miden la energía de los rayos X (Ayala, 2001; Orozco y Cleaves, 2005).

### **2.6.9 Fluorescencia**

La absorción de rayos X produce iones excitados electrónicamente, que vuelven a su estado fundamental mediante transiciones que involucran a los electrones de los niveles de mayor energía. Cuando un átomo absorbe radiación se produce un ion excitado; después de un breve periodo, el ion vuelve a su estado fundamental a través de una serie de transiciones electrónicas caracterizadas por la emisión de rayos X (fluorescencia) (Zepeda, 1988; Ramírez, 2003).

### **2.6.10 Emisión y espectros de rayos X**

Los electrones se encuentran distribuidos en los distintos niveles y subniveles de energía en el átomo. Los electrones se sitúan en estos niveles ocupando primero aquellos de menor energía hasta colocarse todos. A este estado de energía del átomo se le denomina estado fundamental. Si ahora bombardeamos estos átomos con un haz de electrones o con fotones de rayos X, una pequeña parte de la energía se invierte en la producción del espectro característico de rayos X de los elementos que componen la muestra bombardeada (Ramírez, 2003; Orozco y Cleaves, 2005).

### **2.6.11 Excitación**

El choque de un electrón o fotón X incidente con un electrón de las capas internas del átomo, produce una expulsión de dicho electrón quedando el átomo en un estado excitado de mayor energía (Pérez, 1990).

### 2.6.12 Emisión

Un átomo en estado excitado tiende a volver inmediatamente a su estado fundamental, para lo cual se producen saltos de electrones de niveles más externos para cubrir el hueco producido. En este proceso hay un desprendimiento de energía de los niveles entre los que se produce el salto electrónico, en forma de radiación electromagnética correspondiente a la región de los rayos X (Pérez, 1990).

A la excitación producida por bombardeo de electrones se le denomina excitación primaria y a la radiación así obtenida se le llama radiación X primaria. Los tubos de rayos X son fuente de la radiación X primaria; la radiación X primaria se produce también con la microscopía electrónica, al ser irradiada la muestra por un haz de electrones, donde se utiliza para el análisis químico de la muestra (Pérez, 1990; Ayala, 2001).

Al proceso de excitación con otra radiación X se le denomina excitación secundaria, la radiación X producida por excitación de otra radiación X se denomina radiación X secundaria o radiación de fluorescencia. Es la radiación X secundaria característica la que se utiliza para el análisis químico en los espectrómetros de fluorescencia de rayos X.

Al ser la energía de los distintos niveles electrónicos característica para cada tipo de átomos, la radiación X emitida será característica para cada elemento y en principio, no dependerá de la sustancia química en la que se encuentre, ya que en general, estas radiaciones están originadas por transiciones entre los niveles electrónicos internos, cuyas energías no se ven afectadas por el tipo de enlace existente (Ramírez, 2003; Orozco y Cleaves, 2005).

### 2.6.13 Métodos de fluorescencia de rayos X

Los espectros de rayos X característicos se excitan cuando se irradia una muestra con un haz de radiación x de longitud de onda suficientemente corta. Las intensidades de los rayos X fluorescentes resultantes son casi 1000 veces más bajas que la de un haz de rayos X obtenidos por excitación directa con electrones. El método de fluorescencia requiere de tubos de rayos X de alta intensidad, de unos detectores muy sensibles y de sistemas ópticos de rayos X adecuados (Ayala, 2001; Ramirez, 2003; Orozco y Cleaves, 2005).

La intensidad es un factor importante, puesto que afecta el tiempo que se necesitará para medir el espectro. La sensibilidad del análisis, contemplada con la concentración detectable más baja de un determinado elemento en la muestra, dependerá de la relación pico-radiación de fondo para las líneas espectrales. Se presentan pocos casos de interferencia espectral, debido a la relativa simplicidad de los espectros de rayos x (Ayala, 2001; Ramírez, 2003; Orozco y Cleaves, 2005).

Cuando se irradia con un haz de rayos X una muestra de composición desconocida, esta emitirá las radiaciones características de los elementos que la componen. Si podemos identificar la longitud de onda o la energía de cada una de estas radiaciones características, podremos conocer los elementos que componen la muestra y si podemos medir sus intensidades podremos conocer sus respectivas concentraciones. Esta técnica recibe el nombre de espectrometría de fluorescencia de rayos X o solamente espectrometría de rayos X (Ayala, 2001; Ramirez, 2003; Orozco y Cleaves, 2005).

#### 2.6.14 Reflexión total de rayos X

La reflexión total de rayos X ocurre cuando un haz colimado incide sobre una superficie plana, limpia y pulida de un reflector de un material dado. La incidencia debe llevarse a cabo a un ángulo que esté debajo del ángulo crítico. La muestra se coloca en el centro del reflector, el rayo colimado primario incide sobre la superficie del reflector con ángulos menores al ángulo crítico, el rayo es absorbido por la muestra y la excita de tal forma que absorbe la radiación fluorescente. La parte del haz primario que pasa paralelamente a su superficie se absorbe completamente por un detenedor del haz (beam stopper) de acero inoxidable. Al excitar una muestra, los fotones fluorescentes son introducidos al detector, pasa por el amplificador y se presentan las energías de los picos presentes en el espectro de la muestra analizada (Ayala, 2001; Ramirez, 2003; Orozco y Cleaves, 2005).

#### 2.6.15 Espectrofotómetro de fluorescencia de rayos X

El sistema general para la excitación, dispersión y detección de la radiación fluorescente es un espectrofotómetro de cristal plano. En él se coloca la muestra en un porta muestras, que puede girar para mejorar la uniformidad de exposición y se irradia con un haz de rayos primarios sin filtrar, lo que provoca que el elemento presente emita sus líneas fluorescentes características. Una porción del haz fluorescente dispersada es colimada por una rendija de entrada al goniómetro y dirigida a la superficie plana del cristal analizador. Las líneas de radiación reflejadas pasan a través de un colimador auxiliar o rendija de salida hacia el detector, en donde la energía de los cuantos de rayos X se convierte en impulsos eléctricos o conteos. La rendija primaria, el cristal analizador y la rendija secundaria están colocadas en el círculo focal, de manera que la ley de Bragg  $n\lambda = 2d\sin\theta$  siempre se cumple durante la rotación del goniómetro, ya que el detector gira a una velocidad angular que es el doble de la del cristal.



En los últimos años se ha tenido un gran desarrollo con una variante que es la espectrometría de fluorescencia de rayos X de dispersión de energías, que surge de la utilización de semiconductores, principalmente de silicio y litio, como detectores de los rayos X. La relativamente elevada resolución de esta técnica (entre 160-180 eV) permite descomponer el espectro de fluorescencia en sus componentes monocromáticas en función de la diferencia entre sus energías, de modo que el propio detector actúa como agente separador. En ese caso, el detector recibe el espectro total emitido por todos los elementos de la muestra a la vez. Para cada fotón de rayos X incidente, el detector genera un impulso eléctrico cuya altura será proporcional a la energía del fotón; los distintos impulsos eléctricos generados son separados y almacenados en función de su valor con ayuda de un analizador de altura de impulsos multicanal.

#### **2.6.16 Ventajas de la fluorescencia de rayos X**

La ventaja mas evidente es la rapidez con la que se puede obtener un resultado y la determinación simultanea de 25 o 30 elementos. Además de su alta sensibilidad. Puede ser no destructivo para el caso de muestras únicas o reliquias. Otra gran ventaja es que la muestra no queda radiactiva y se puede manipular sin restricciones (Zacarías, 2009).

#### **2.6.17 Limitaciones de la fluorescencia de rayos X**

Entre sus desventajas y limitaciones, se cita la necesidad de disponer de patrones generalmente caros, aunque no se deterioran, además existe baja sensibilidad en el análisis de elementos ligeros por su baja absorción. Como la penetración es baja, pueden influir efectos de micro heterogeneidad, por el tamaño de partícula y textura de la superficie, lo que supone una variación de una muestra a otra. Al establecer la técnica analítica, como ya se ha indicado, es necesario contemplar los efectos de matriz (absorción y refuerzo) por el gran

número de parámetros a considerar. Por último, comentar que el coste de la instrumentación es bastante elevado y además requiere equipo adicional como horno, molino, prensa, entre otros, para la preparación de las muestras, junto con acondicionadores de aire, componentes y accesorios de coste elevado (Skoog, 1998; Orozco y Cleaves, 2005).

Respecto a los efectos de la matriz, existen dos tipos: el efecto de absorción, que puede hacer que los resultados calculados sean más altos o más bajos que el elemento cuantificado; y el elemento de cuantificación que puede dar lugar también a resultados mayores de los esperados. Este comportamiento se observa cuando la muestra contiene un elemento cuyo espectro de emisión característico se excita mediante el haz incidente y este espectro a su vez, produce una excitación secundaria de la línea analítica. Se han diseñado varias técnicas para compensar estos efectos de matriz, los cuales son: calibrado frente a patrones, utilización de patrones internos y dilución de la muestra y de los patrones (Pérez, 1990; Ramírez, 2003).

## **2.7 ESTUDIOS REALIZADOS EN DIVERSOS PAISES**

Existen amplias investigaciones sobre el riesgo de los elementos químicos tóxicos en la salud y en el medio ambiente. Varios autores han reportado el riesgo potencial para la salud humana debido a la acumulación de elementos químicos tóxicos en las plantas (Fytianos *et al.*, 2001; Ismail *et al.*, 2005); García (2010) reportó el contenido de metales pesados en cultivos de rábano rojo (*Raphanus sativus*) en la región de San Pedro Sacatepéquez, Guatemala, siendo este uno de los pocos estudios realizados en Guatemala para la detección de elementos químicos tóxicos en hortalizas. Sin embargo, no se tiene referencia de estudios realizados en la región de Sololá para los cultivos de hortalizas, ni la acumulación de elementos químicos tóxicos en los suelos. Davor (2003), Moor y colaboradores (2001) han estudiado la acumulación de elementos pesados en suelos agrícolas como causa de la urbanización, detectando elementos como cadmio (0.66 mg/Kg), cobre (20,8 mg/KG),

níquel (49.5 mg/Kg) y plomo (25,9 mg/Kg) entre otros. En Guatemala existen estudios realizados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Ministerio de Energía y Minas, que se enfocan al manejo de suelos y a su contenido de nutrientes, más que al contenido de elementos químicos tóxicos.

En cuanto al estudio de contaminantes en agua, Lucho-Constantino, *et al.*, (2005), Smolders *et al.*, (2003) y Taboada-Castro *et al.*, (2002), han realizado amplias investigaciones sobre la presencia de elementos trazas en ambientes acuáticos, en aguas residuales utilizadas para cultivos y en aguas superficiales, además de los efectos de los metales pesados en organismos macroinvertebrados utilizados como indicadores ambientales. Reyes (2007) analizó muestras de agua en la cuenca del lago Petén Iztá refiriendo una relación positiva entre los niveles de contaminación del agua del lago y el nivel de bioacumulación de metales pesados en el tejido muscular del pez blanco (*Petenia splendida*). Garcia (1997) realizó un estudio sobre metales pesados en tejido muscular del pez tigre (*Chichlasoma managuense*) encontrando concentraciones elevadas de plomo en la cuenca del lago de Amatitlán.

Todas estas recopilaciones bibliográficas destacan la sensibilidad de algunas plantas a la presencia de elementos químicos tóxicos y la capacidad de acumular los mismos, haciendo énfasis en la relación de la acumulación química con ciertas características de los suelos y el agua utilizada para riego. Estos estudios también mencionan las distintas maneras de contaminación que afectan al suelo, el agua y cultivos que repercuten en la salud humana, que mayoritariamente son de tipo agrario, industrial, por deforestación y crecimiento de las poblaciones humanas.

### 3. JUSTIFICACION

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para el ser humano. Hay una serie de elementos que en alguna de sus formas pueden representar un serio problema medioambiental y es común encontrarlos en alimentos. La peligrosidad de los elementos químicos tóxicos como los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables, por lo que pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años, contaminando el suelo y acumulándose en las plantas y los tejidos orgánicos.

Algunas de las fuentes de contaminación por dichos elementos tóxicos son los plaguicidas, fertilizantes y pesticidas utilizados en las actividades agrícolas. Los plaguicidas contienen sustancias químicas que pueden generar efectos acumulativos en el ambiente y provocar daño a la salud, principalmente de las comunidades rurales que viven cerca de donde se hacen aplicaciones aéreas o terrestres, o familiares de trabajadores agrícolas, especialmente niños y mujeres embarazadas, así como a toda la población que esta expuesta a los alimentos y aguas contaminadas por elementos químicos tóxicos relacionados con residuos de plaguicidas, fertilizantes y pesticidas o malas prácticas agrícolas.

Se ha descrito a hortalizas como la cebolla, papa, remolacha, entre otros como buenos absorbentes orgánicos y concentradores intermedios de este tipo de elementos pesados, lo que representa posible riesgo para el consumidor. Es por esta razón que se fue necesario identificar y cuantificar la presencia de sustancias tóxicas en las hortalizas que se cultivan en el Departamento de Sololá, además de determinar la presencia de sustancias toxicas en suelos y agua que se utilizan en dichos cultivos. La técnica utilizada para la determinación del contenido de elementos químicos tóxicos en cada una de las hortalizas, suelo y agua fue la fluorescencia de Rayos X por tener una metodología estandarizada, rápida y eficaz, que permite identificar la mayoría de elementos químicos presentes en el suelo, agua y hortalizas de mayor producción y consumo del departamento de Sololá.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

- 4.1.1** Evaluar la presencia de elementos químicos tóxicos (arsénico, plomo, cobre y cadmio) en tres matrices ambientales (hortalizas, agua y suelo) en el Municipio de Sololá por medio de Espectrómetro de fluorescencia de rayos X.

### **4.2 Objetivos específicos**

- 4.2.1** Detectar y cuantificar los elementos químicos tóxicos en seis especies de hortalizas de mayor consumo y producción en el Municipio de Sololá.
- 4.2.2** Relacionar y comparar los valores obtenidos del agua de riego muestreada en Sololá con los parámetros de referencia establecidos por la Norma COGUANOR 29001 para agua potable.
- 4.2.3** Relacionar y comparar los valores obtenidos con el límite máximo permisible y la ingesta diaria de elementos químicos tóxicos establecido por la Normas Internacionales.
- 4.2.4** Determinar si hay presencia de plaguicidas en el suelo para cultivo de hortalizas en el municipio de Sololá mediante Cromatografía en Capa Fina (CCF).

## 5. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 UNIVERSO

El universo estuvo conformado por hortalizas que se cultivan en el Municipio de Sololá, Departamento de Sololá, Guatemala. Agua y suelo utilizados para el cultivo.

### 5.2 POBLACIÓN

La población según (Silva, 2006: 96) “se refiere a la totalidad del fenómeno a estudiar, cuyas unidades de análisis poseen características comunes, las cuales se estudian y dan origen a los datos de la investigación”; en ese sentido, la población de esta investigación esta constituida por seis parcelas de dimensiones variables disponibles para el cultivo de cada una de las especies de seis hortalizas siguientes: cebolla (*Allium cepa L.*) papa (*Solanum tuberosum L.*), zanahoria (*Daucus carota L.*), remolacha (*Beta vulgaris L.*), repollo (*Brassica oleracea L.*), y ejote (*Phaseolus vulgaris L.*).

Las seis parcelas de cada uno de los cultivos mencionados con anterioridad, están localizadas en diferentes puntos del Municipio de Sololá, Guatemala y cada una de ellas tiene su propio sistema de riego y tratamiento de la tierra.

### 5.3 MUESTRA

Por otra parte “La muestra es parte de un colectivo, un conjunto de unidades de análisis representativas de la población, que el investigador selecciona con la finalidad de obtener la información precisa que caracteriza al colectivo” (Silva, 2006); para esta investigación la muestra está representada por:

- 34 hortalizas de cada una de las siguientes especies: cebolla (*Allium cepa* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.), zanahoria (*Daucus carota* L.), remolacha (*Beta vulgaris* L.), repollo (*Brassica oleracea* L.), y ejote (*Phaseolus vulgaris* L.),
- 5 muestras de suelo que se tomarán al azar en diferentes puntos de cada una de las seis parcelas donde se cultivan las especies anteriores.
- 1 Muestra de agua de riego cada una de las seis parcelas donde se cultivan las especies anteriores.

## 5.4 MATERIALES

### Material de campo

- Pala
- Azadón
- Bolsas plásticas
- Tijera de podar
- Machete
- Marcador indeleble
- Secador solar
- Prensa de campo
- Lazos

### Material, reactivos y equipo de laboratorio

- Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>)
- Peróxido de hidrógeno
- Acetonitrilo
- Celite
- Hexano
- Acetona
- Ciclohexano
- Cloroformo
- Cloruro de Paladio
- Acido Clorhídrico al 10%
- Papel filtro Whatman 1
- Cromatoplasmas de silica gel
- Estufa de calentamiento
- Balanza analítica
- Mufla
- Licuadora
- Micropipetas automáticas
- Balones aforados de 25 mL
- Reflectores de cuarzo
- Digestor microondas, marca MILESTONE, modelo START D, Rotor: SK-10,

- 1,200 watts de potencia,  
rango de voltaje 220Kv.
- Espectrómetro XFTR XAR-E200,  
marca IScientific con tubo de  
rodio y detector de diodio de  
silicio pn.
- Lámpara UV, marca ENTELA,  
modelo UVGI-25, 4 watts de  
potencia, 254-265nm.
- Baño Ultrasonic, marca  
BRANSONIC, 70 W, 42 KHZ  $\pm$   
6%.
- Agua desmineralizada
- Solución multielemental

## 5.5 CRISTALERÍA

- Probetas de 25 y 100 mL
- Pipetas volumétricas de 5,  
10 y 25 mL
- Pipetas Pasteur
- Micropipetas automáticas de  
1000 y 200  $\mu$ L
- Bureta de 50 mL con llave de  
teflón
- Beakers de 25, 50, 250 y  
500 mL
- Tubos de ensayo de 10 mL
- Tubos de cultivo de 10 mL
- Frascos ámbar de 4 mL
- Cámara de desarrollo
- Frascos ámbar de 10 mL
- Varilla de agitación

## 5.6 MÉTODO

### 5.6.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El trabajo de seminario se basa en una investigación experimental, transversal y analítica-descriptiva.



### **5.6.1.1 DISEÑO ESTADÍSTICO DE LA INVESTIGACIÓN**

Se realizó un análisis descriptivo de cada variable, en los vegetales, suelo y agua analizada, en este caso fueron todos los minerales encontrados en cada análisis realizado. Las mediciones estadísticas que se utilizaron fueron el promedio de las 3 mediciones a realizar en cada muestra de vegetales, suelo y agua y su respectiva desviación estándar.

### **5.6.2. METODOLOGÍA**

Se utilizó el método Espectrometría de fluorescencia de rayos X, el cual se basa en el bombardeo de la muestra con un haz de electrones o con fotones de rayos X lo que provoca que una pequeña parte de la energía sea invertida en la producción del espectro característico de rayos X de los elementos que componen la muestra bombardeada. (Skoog, 1992).

Este método de análisis permitió la identificación de metales pesados y otros elementos presentes en las muestras de material vegetal, muestras de agua y suelo, al ser comparados con un estándar interno. El método es rápido y sencillo de obtener e interpretar, además permitió cuantificar los compuestos químicos detectados.

Se utilizó el método de Cromatografía en Capa Fina (CCF), para la identificación de la presencia de residuos de plaguicidas en las muestras de suelo, por ser un método selectivo, fiable, rápido y económico. Las muestras fueron comparadas con estándares de plaguicidas organofosforados (Thionex y Malatión), piretroides (Cipermetrina) y bupiridilos (paraquat).

### **5.6.2.1 Procedimiento de muestreo y preparación de la muestra para su análisis por Espectrometría de fluorescencia de rayos X**

#### **5.6.2.1.1 Hortalizas**

- Se recolectaron 34 hortalizas de cada una de las seis diferentes especies, que son cultivadas en una misma parcela, de cinco caseríos distintos del municipio de Sololá, Sololá, Guatemala, tomando nota de las características edafológicas y biogeográficas de cada parcela.
- Posteriormente se procedió a lavar los vegetales únicamente con agua potable y fueron almacenados en bolsas plásticas para su conservación. El mismo día o a más tardar al siguiente día se procedió al tamizado, molido y homogenizado de los vegetales a través de una licuadora.
- Las muestras ya tamizadas y homogenizadas fueron colocadas en un horno desecadora por 60min a 40°C.
- Las muestras de cada una de las hortalizas ya desecadas, fueron sometidas a un proceso de digestión ácida asistida por microondas por lo que posteriormente fueron analizadas en el espectrómetro de refracción de rayos X para la identificación y cuantificación de elementos químicos tóxicos.

#### **5.6.2.1.2 Suelo**

- Se procedió a recolectar aproximadamente 500g del mismo suelo del cual fueron recolectadas cada una de las seis

diferentes especies de hortalizas a estudiar. La parcela fue muestreada aleatoriamente tomando muestras en cinco diferentes puntos del área total. Posteriormente se procedió a homogenizar las muestras.

- Las muestras de suelo recolectadas y ya homogenizadas, fueron tamizadas por un Mesh No.20 (0.060mm diámetro), para disminuir el tamaño de la partícula y para posteriormente fueron sometidas a digestión ácida asistida por microondas y fueron analizadas en el espectrómetro de refracción de rayos X para la identificación y cuantificación de elementos químicos tóxicos. (Donet, s.f.).

#### **5.6.2.1.3 Agua**

- La recolección de muestras de agua se realizó en el mismo lugar y tiempo de colecta de las hortalizas. La recolección fue de 5 muestras de agua para cada parcela, obtenidas de pozos y ríos utilizados para el riego. Intentando coleccionar una muestra que represente las características del agua en ese punto, en ese tiempo.
- El volumen de agua a recolectar fue de aproximadamente 250 mL por medio de un muestreo simple instantáneo, tomando una muestra uniforme del agua que se utiliza para riego de las hortalizas.
- Se realizó una descripción de la entidad o suministro de agua, la cual debió incluir: una descripción textual del área o

sistema de riego, ubicación (georeferencia), existencia de algún poblado, hacienda o caserío cercano a la parcela y condiciones climatológicas importantes, anteriores y actuales.

- Las muestras de agua fueron analizadas de forma directa en el espectrómetro de reflexión de rayos X, es decir, no fueron sometidas a pre tratamiento alguno para la identificación y cuantificación de elementos químicos tóxicos.

#### **5.6.2.1.4 Digestión asistida por microondas**

- Los envases y materiales donde se llevó a cabo el proceso de digestión fueron limpiados con ácido nítrico al 20%, con la finalidad de eliminar los metales adheridos a las paredes de los mismos. Algunas veces se dejaron sumergidos al menos 2 horas en la solución de ácido nítrico al 20%.
- Posteriormente, se enjuagaron con agua destilada al menos tres veces, y se secaron los materiales en campana a temperatura ambiente.
- Fue necesario secar cada una de las muestras en una estufa durante 24 horas a 60°C y luego se trituraron y pulverizaron.
- Se pesaron alrededor de 0.250g de muestra en un vaso de precipitados de 10 mL de capacidad.
- Se adicionaron con precaución los reactivos responsables de la digestión de acuerdo al protocolo de trabajo siguiente:

- Se adicionó a la muestra (n= 12) 3 mL de una solución de  $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$  (7:3, v/v) (26), y se sometió a digestión en el microondas durante 30 segundos a una potencia de 700 Watts.
- Se cubrió cada vaso de precipitados con una película de teflón, provista de pequeños agujeros para controlar la presión durante la digestión y se colocó en el receptor que permite contener hasta 12 muestras por vez.
- Se ajusta herméticamente la tapa del recipiente y el tubo de conexión final a una trampa de vacío para eliminar los gases que se generan durante la digestión.
- Se evaluó la eficiencia inicial en la digestión mediante inspección visual, considerando un menor residuo y mayor transparencia, un indicio de una digestión eficaz.
- Posterior a la digestión, se recolectó el producto con pequeñas porciones de agua ultra pura o en su defecto destilada y se transfirieron a un matraz aforado de 25 mL de capacidad.
- Se adicionó el estándar interno y se enrasó con el mismo solvente.
- La solución resultante fue sometida al análisis de rigor por espectrometría de reflexión total de rayos X para la identificación y cuantificación de elementos químicos tóxicos.

- Se realizó paralelamente el análisis de una solución blanco contentiva de sólo los reactivos (Burguera y Burguera 1998, Moreira, Borges y Oliveira 2005).

#### **5.6.2.1.5 Determinación de elementos químicos tóxicos por fluorescencia de rayos X**

- Se encendió el equipo generador de rayos X y se fijaron las condiciones de operación siguientes: 30 Kv, 0.320 mA, 300 s y 15 $\mu$ L.
- Se procedió a realizar las lecturas del contenido mineral de las muestras ya disueltas, digeridas, con estándar interno y aforadas, de la siguiente manera: Se aplicaron 15 $\mu$ l de la solución problema en el reflector de cuarzo y secaron bajo una lámpara infrarroja.
- Se midió el blanco del reflector por 100 segundos.
- Se leyó la curva de calibración multielemental estándar que contiene los elementos de interés en una concentración de 5 ppm cada uno y además 5 ppm del estándar de itrio.
- Se midió el blanco de muestra (ácido nítrico).
- Se obtuvieron las áreas de los fotopicos de las líneas K alfa, de los elementos de interés por medio del Software SAX 1.1.
- Se reportaron las concentraciones de cada elemento en ppm. (www.uam.es, 2009, Zacarías, 2009).

### **5.6.2.2 Procedimiento de muestreo y preparación de la muestra para su análisis por Cromatografía en capa fina (CCF) para detección de plaguicidas.**

#### **5.6.2.2.1 Preparación de la muestra:**

##### **Extracción por ultrasonido:**

Para la extracción del plaguicida de la matriz originaria se procedió a medir cuantitativamente 10 g de cada una de las muestras de suelo y se disolvió individualmente en 20 mL de acetona. Posteriormente fueron sonicadas por 15 minutos (25-40 Hz de frecuencia UZ-20R). Las muestras fueron filtradas a través de Papel Whatman 40 y los filtrados fueron evaporados con ayuda de un rotavapor a 40°C máximo hasta sequedad y el residuo fue disuelto en 1 mL de metanol para ser posteriormente aplicado a la cromatoplaca (Babic', Petrovic', Kas'telan-Macan, 1998).

##### **Purificación:**

Para mayor resolución fue necesario la purificación del plaguicida (eliminación de otras sustancias interferentes) con diferentes solventes orgánicos. (www.biol.unlp.edu.ar, s.f., Jackson Moss y Widdop, 1986).

##### **Aplicación:**

La Cromatografía en Capa Fina se desarrolló en una placa de sílica gel 60F254 de 20x20 con grosor de 0.25mm. Se aplicaron 10 µL de estándar de solución de pesticida y de cada una de las muestras, a 10 mm del borde inferior de la cromatoplaca y 1 cm de separación

entre cada muestra. Previo al desarrollo se saturó la cámara cromatográfica a temperatura ambiente con la fase móvil (Metanol: agua 8:2) (Babic', 1998).

**Detección:**

La detección se realizó bajo luz ultravioleta de 254 nm y se determinaron los valores de retención (Rf) para cada una de las muestras (Babic', Petrovic', Kas'telan-Macan, 1998). La presencia de bandas fluorescentes de color verde indica la detección de pesticidas (Sherma, 2005).



## 6. RESULTADOS

**6.1 Obtención del material vegetal:** En el cuadro 1, se puede observar la procedencia de las hortalizas, el tipo de suelo, la parte de la hortaliza utilizada para determinar la concentración de elementos químicos tóxicos.

**Cuadro 1.** Recolección de las hortalizas.

Nombre científico	Nombre común	Parte de la planta recolectada	Procedencia	Coordenadas geográficas	Tipo de suelo	Tipo de agua
<i>Allium cepa L.</i>	Cebolla	Bulbo (Suelo 4)	Sololá, Caserío Pancá	Altitud: 2180m ± 5 N 14° 47.124´ W 91° 11.600	Franco	Rio de Montaña Otztap
<i>Daucus carota L.</i>	Zanahoria	Tubérculo radical (Suelo 2)	Sololá, Caserío Los Castro	Altitud: 2424m ± 4 N 14° 50.339´ W 91° 10.319	Franco	Agua de mini riego Pozo los Encuentros
<i>Beta vulgaris L.</i>	Remolacha	Tubérculo radical (Suelo 5)	Sololá, Caserío Pancá	Altitud: 2112m ± 4 N 14° 46.830´ W 91° 11.566	Franco	Rio de Montaña Otztap
<i>Brassica oleracea L.</i>	Repollo	Tallo carnoso (Suelo 3)	Sololá, Cantón El Tablón	Altitud: 2393m ± 4 N 14° 48.838´ W 91° 10.799	Franco	Agua de mini riego Pozo los Encuentros
<i>Phaseolus vulgaris L.</i>	Ejote	Cápsulas dehiscentes (Suelo 6)	Sololá, San Bartolo	Altitud: 2022m ± 3 N 14° 45.806´ W 91° 11.063	Franco	Rio Cascapo
<i>Solanum tuberosum L.</i>	Papa	Tubérculo caulinar (Suelo 1)	Sololá, Caserío Los Castro	Altitud: 2424m ± 4 N 14° 50.339´ W 91° 10.319	Franco	Agua de mini riego Pozo los Encuentros

Fuente: Datos de campo, Seminario de Investigación. Sololá, Guatemala, [http://agr.unne.edu.ar/botanica/tema3/tema3\\_2geofito.htm](http://agr.unne.edu.ar/botanica/tema3/tema3_2geofito.htm).

**6.2 Determinación de las concentraciones de elementos químicos.** A continuación se detallan en los cuadros 2 al 7, los resultados de la determinación de elementos químicos en las seis diferentes hortalizas analizadas por medio del método de espectrometría de fluorescencia de rayos X (anexos 11.3.2 -6).

**Cuadro 2.** Concentración promedio de elementos químicos presentes en cebolla (*Allium cepa L.*) procedentes del municipio de Sololá, Guatemala.

<b>No.</b>	<b>CEBOLLA</b> <i>(Allium cepa L.)</i>	<b>Concentración de</b> <b>elementos químicos</b> <b>(mg/Kg)</b>
<b>1</b>	<b>Arsénico</b>	<b>N.D.</b>
<b>2</b>	<b>Azufre</b>	<b>259.45 ±7.33</b>
<b>3</b>	<b>Cadmio</b>	<b>N.D.</b>
<b>4</b>	<b>Calcio</b>	<b>1127.77 ± 2.575</b>
<b>5</b>	<b>Cobalto</b>	<b>2.85 ±0.080</b>
<b>6</b>	<b>Cobre</b>	<b>N.D.</b>
<b>7</b>	<b>Estroncio</b>	<b>31.62 ±0.045</b>
<b>8</b>	<b>Fosforo</b>	<b>N.D.</b>
<b>9</b>	<b>Hierro</b>	<b>35.43 ±0.034</b>
<b>10</b>	<b>Manganeso</b>	<b>7.295 ±0.022</b>
<b>11</b>	<b>Potasio</b>	<b>1678.07 ±6.218</b>
<b>12</b>	<b>Plomo</b>	<b>N.D.</b>
<b>13</b>	<b>Zinc</b>	<b>16.56 ±0.067</b>

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Fisicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.

**Cuadro 3.** Concentración promedio de elementos químicos presentes en ejote (*Phaseolus vulgaris L.*) procedentes del municipio de Sololá, Guatemala.

<b>No.</b>	<b>EJOTE</b> <i>Phaseolus vulgaris L.</i>	<b>Concentración de</b> <b>elementos químicos</b> <b>(mg/Kg)</b>
<b>1</b>	<b>Arsénico</b>	<b>N.D.</b>
<b>2</b>	<b>Azufre</b>	<b>221.84 ±6.274</b>
<b>3</b>	<b>Cadmio</b>	<b>N.D.</b>
<b>4</b>	<b>Calcio</b>	<b>1636.36 ± 22.079</b>
<b>5</b>	<b>Cobalto</b>	<b>2.01 ±0.056</b>
<b>6</b>	<b>Cobre</b>	<b>N.D.</b>
<b>7</b>	<b>Estroncio</b>	<b>N.D.</b>
<b>8</b>	<b>Fosforo</b>	<b>N.D.</b>
<b>9</b>	<b>Hierro</b>	<b>30.20 ±0.039</b>
<b>10</b>	<b>Manganeso</b>	<b>2.39 ± 0.067</b>
<b>11</b>	<b>Potasio</b>	<b>237.04 ±10.250</b>
<b>12</b>	<b>Plomo</b>	<b>N.D.</b>
<b>13</b>	<b>Zinc</b>	<b>14.64 ±0.015</b>

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Físicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.

**Cuadro 4.** Concentración promedio de elementos químicos presentes en papa (*Solanum tuberosum L.*) procedentes del municipio de Sololá, Guatemala.

<b>No.</b>	<b>PAPA</b> <i>Solanum tuberosum L.</i>	<b>Concentración de</b> <b>elementos químicos</b> <b>pesados (mg/Kg)</b>
<b>1</b>	<b>Arsénico</b>	<b>N.D.</b>
<b>2</b>	<b>Azufre</b>	<b>201.92 ± 5.711</b>
<b>3</b>	<b>Cadmio</b>	<b>N.D.</b>
<b>4</b>	<b>Calcio</b>	<b>N.D.</b>
<b>5</b>	<b>Cobalto</b>	<b>N.D.</b>
<b>6</b>	<b>Cobre</b>	<b>N.D.</b>
<b>7</b>	<b>Estroncio</b>	<b>N.D.</b>
<b>8</b>	<b>Fosforo</b>	<b>N.D.</b>
<b>9</b>	<b>Hierro</b>	<b>19.13 ±0.012</b>
<b>10</b>	<b>Manganeso</b>	<b>2.37 ±0.067</b>
<b>11</b>	<b>Potasio</b>	<b>3304.74 ±10.564</b>
<b>12</b>	<b>Plomo</b>	<b>N.D.</b>
<b>13</b>	<b>Zinc</b>	<b>5.52 ±0.130</b>

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Físicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.

**Cuadro 5.** Concentración promedio de elementos químicos presentes en remolacha (*Beta vulgaris L.*) procedentes del municipio de Sololá, Guatemala.

No.	REMOLACHA <i>Beta vulgaris L.</i>	Concentración de elementos químicos pesados (mg/Kg)
1	Arsénico	N.D.
2	Azufre	754.52 ± 21.341
3	Cadmio	N.D.
4	Calcio	N.D.
5	Cobalto	N.D.
6	Cobre	N.D.
7	Estroncio	N.D.
8	Fosforo	N.D.
9	Hierro	21.46 ± 0.033
10	Manganeso	2.75 ± 0.077
11	Potasio	5132.87 ± 4.216
12	Plomo	N.D.
13	Zinc	11.71 ± 0.013

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Físicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.

**Cuadro 6.** Concentración promedio de elementos químicos presentes en repollo (*Brassica oleracea L.*) procedentes del municipio de Sololá, Guatemala.

<b>No.</b>	<b>REPOLLO</b> <i>Brassica oleracea L.</i>	<b>Concentración de</b> <b>elementos químicos</b> <b>pesados (mg/Kg)</b>
<b>1</b>	<b>Arsénico</b>	<b>N.D.</b>
<b>2</b>	<b>Azufre</b>	<b>1453.08 ±2.073</b>
<b>3</b>	<b>Cadmio</b>	<b>N.D.</b>
<b>4</b>	<b>Calcio</b>	<b>1919.03 ±15.581</b>
<b>5</b>	<b>Cobalto</b>	<b>N.D.</b>
<b>6</b>	<b>Cobre</b>	<b>N.D.</b>
<b>7</b>	<b>Estroncio</b>	<b>32.38 ±0.036</b>
<b>8</b>	<b>Fosforo</b>	<b>N.D.</b>
<b>9</b>	<b>Hierro</b>	<b>7.58 ±0.214</b>
<b>10</b>	<b>Manganeso</b>	<b>3.95 ± 0.003</b>
<b>11</b>	<b>Potasio</b>	<b>3111.91 ±3.649</b>
<b>12</b>	<b>Plomo</b>	<b>N.D.</b>
<b>13</b>	<b>Zinc</b>	<b>7.06 ±0.053</b>

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Físicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.

**Cuadro 7.** Concentración promedio de elementos químicos presentes en zanahoria (*Daucus carota L.*) procedentes del municipio de Sololá, Guatemala.

<b>No.</b>	<b>ZANAHORIA</b> <i>Daucus carota L.</i>	<b>Concentración de</b> <b>elementos químicos</b> <b>pesados (mg/Kg)</b>
<b>1</b>	<b>Arsénico</b>	<b>N.D.</b>
<b>2</b>	<b>Azufre</b>	<b>N.D.</b>
<b>3</b>	<b>Cadmio</b>	<b>N.D.</b>
<b>4</b>	<b>Calcio</b>	<b>2450.16 ± 15.153</b>
<b>5</b>	<b>Cobalto</b>	<b>N.D.</b>
<b>6</b>	<b>Cobre</b>	<b>N.D.</b>
<b>7</b>	<b>Estroncio</b>	<b>N.D.</b>
<b>8</b>	<b>Fosforo</b>	<b>N.D.</b>
<b>9</b>	<b>Hierro</b>	<b>57.46 ±1.206</b>
<b>10</b>	<b>Manganeso</b>	<b>11.87 ± 0.279</b>
<b>11</b>	<b>Potasio</b>	<b>5460.85 ±18.4790</b>
<b>12</b>	<b>Plomo</b>	<b>N.D.</b>
<b>13</b>	<b>Zinc</b>	<b>25.68 ±0.467</b>

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Físicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.

**6.3 Resumen de los elementos detectados por Espectrometría de reflexión total de rayos X, en las distintas hortalizas.** En el siguiente cuadro se muestra un consolidado de todos los elementos detectados por medio de espectrometría de reflexión total de rayos X, en las diferentes matrices vegetales utilizadas.

**Cuadro 8.** Resumen de los resultados obtenidos en hortalizas por el método de espectrometría de reflexión total de rayos X.

Elementos Químicos mg/Kg	Hortalizas					
	<i>Allium cepa</i> <i>L.</i>	<i>Daucus carota</i> <i>L.</i>	<i>Beta</i> <i>vulgaris</i> <i>L.</i>	<i>Brassica</i> <i>oleracea</i> <i>L.</i>	<i>Phaseolus</i> <i>vulgaris L.</i>	<i>Solanum</i> <i>tuberosum</i> <i>L.</i>
<b>Arsénico</b>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Azufre</b>	259.45	(-)	754.52	1453.08	221.84	201.92
<b>Cadmio</b>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Calcio</b>	1127.77	2450.16	(-)	1919.03	1636.36	(-)
<b>Cobalto</b>	2.85	(-)	(-)	(-)	2.01	(-)
<b>Cobre</b>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Estroncio</b>	31.62	(-)	(-)	32.38	(-)	(-)
<b>Fosforo</b>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Hierro</b>	35.43	57.46	21.46	7.58	30.20	19.13
<b>Manganeso</b>	7.29	11.87	2.75	3.95	2.39	2.37
<b>Potasio</b>	1678.07	5460.85	5132.87	3111.91	237.04	3304.74
<b>Plomo</b>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Zinc</b>	16.56	25.68	11.71	7.06	14.64	5.52

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Fisicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

(-) = No Detectado



**6.4 Límites teóricos para elementos químicos presentes en alimentos:** En la tabla 7 muestra los límites teóricos permisibles según Kirk, Sawyer y Egan (2008) y el Codex Alimentarius (1984). Algunos de los elementos no están reportados.

**Tabla 7.** Límites teóricos reportados de elementos químicos en alimentos.

<b>Elemento químico</b>	<b>Límites permisibles de elementos químicos en alimentos según Kirk, Sawyer y Egan (2008) (mg/Kg)</b>	<b>Límites permisibles de elementos químicos en alimentos según Codex Alimentarius (1984) (mg/Kg)</b>
<b>Arsénico</b>	1	0.1-2
<b>Azufre</b>	N.R.	N.R.
<b>Cadmio</b>	0.01-0.03	N.R.
<b>Calcio</b>	N.R.	N.R.
<b>Cobalto</b>	N.R.	N.R.
<b>Cobre</b>	10-200	0.1-50
<b>Estroncio</b>	N.R.	N.R.
<b>Fosforo</b>	N.R.	N.R.
<b>Hierro</b>	N.R.	1.5-50
<b>Manganeso</b>	N.R.	N.R.
<b>Potasio</b>	N.R.	N.R.
<b>Plomo</b>	1	0.1-2
<b>Zinc</b>	50	5

Fuente: Kirk R.S., R. Sawyer y H. Egan, (2008), Codex alimentarius, (1984).

N.R.= No reportado.

**6.5 Referencia sobre ingestas diarias de diferentes elementos.** En esta tabla se relacionan las dosis diarias recomendadas de algunos elementos procedentes de los alimentos.

**Tabla 8. Dosis diaria de referencia (DRI)**

<b>MINERAL</b>	<b>DOSIS DIARIA RECOMENDADA</b>
<b>Arsénico</b>	N.R
<b>Azufre</b>	N.R.
<b>Cadmio</b>	50 (µg/d)
<b>Calcio</b>	1,000 (mg/d)
<b>Cobalto</b>	N.R.
<b>Cobre</b>	900 (µg/d)
<b>Estroncio</b>	N.R.
<b>Fosforo</b>	700 (mg/d)
<b>Hierro</b>	8 (mg/d)
<b>Manganeso</b>	2,3 (mg/d)
<b>Potasio</b>	4.7 (g/d)
<b>Sodio</b>	1,5 (g/d)
<b>Cloro</b>	2,3 (g/d)
<b>Molibdemo</b>	45 (µg/d)
<b>Plomo</b>	243 (µg/d)
<b>Zinc</b>	11 (mg/d)

Fuente: Dietary Reference Intakes for Elements (2011). Disponible en [www.nap.edu](http://www.nap.edu).

Ingesta Dietética de Referencia (DRI; del inglés) para personas mayores de 18 años. La DRI representa el nivel promedio de consumo diario, suficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales de casi todos los individuos (97-98 por ciento) sanos en un grupo. Se calcula a partir de un requerimiento promedio estimado (EAR).

N.R.= No Reportado

### 6.6 Determinación de las concentraciones de elementos químicos presentes en suelo.

En los cuadros 9 al 14 se pueden observar los resultados de la determinación de elementos químicos en las muestras de los suelos recolectados de los diferentes cultivos de hortalizas.

**Cuadro 9.** Resultados de la determinación de las concentraciones de elementos químicos en el suelo procedente de la parcela 1, Caserío los Castro, Sololá, con los cultivos de papa (*Solanum tuberosum L.*).

<b>SUELO 1</b>	<b>Concentración de elementos</b>
<b>Caserío los</b>	<b>químicos pesados (mg/Kg)</b>
<b>Castros/Papa</b>	
<b>Arsénico</b>	<b>N.D.</b>
<b>Cadmio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Calcio</b>	<b>511.95 ±13.635</b>
<b>Cobre</b>	<b>N.D.</b>
<b>Estroncio</b>	<b>3.11 ±0.107</b>
<b>Fosforo</b>	<b>N.D.</b>
<b>Hierro</b>	<b>2201.34 ± 8.026</b>
<b>Potasio</b>	<b>83.33 ± 2.886</b>
<b>Plomo</b>	<b>N.D.</b>
<b>Zinc</b>	<b>5.96 ±0.040</b>

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Físicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.

**Cuadro 10.** Resultados de la determinación de las concentraciones de elementos químicos presentes en el suelo procedente de la parcela 2, Caserío los Castro, Sololá, con los cultivos de zanahoria (*Daucus carota L.*).

<b>SUELO 2</b>	<b>Concentración de elementos</b>
<b>Caserío los</b>	<b>químicos pesados (mg/Kg)</b>
<b>Castros/Zanahoria</b>	
<b>Arsénico</b>	<b>N.D.</b>
<b>Cadmio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Calcio</b>	<b>145.33 ± 0.905</b>
<b>Cobre</b>	<b>N.D.</b>
<b>Estroncio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Fosforo</b>	<b>N.D.</b>
<b>Hierro</b>	<b>1694.67 ±4.509</b>
<b>Potasio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Plomo</b>	<b>N.D.</b>
<b>Zinc</b>	<b>7.166 ±0.018</b>

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Físicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.

**Cuadro 11.** Resultados de la determinación de las concentraciones de elementos químicos presentes en el suelo procedente de la parcela 3, Cantón el Tablón, Sololá, con los cultivos de repollo (*Brassica oleracea L.*).

<b>SUELO 3 Cantón El Tablón/Repollo</b>	<b>Concentración de elementos químicos pesados (mg/Kg)</b>
<b>Arsénico</b>	<b>N.D.</b>
<b>Cadmio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Calcio</b>	<b>606.18 ±12.338</b>
<b>Cobre</b>	<b>N.D.</b>
<b>Estroncio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Fosforo</b>	<b>N.D.</b>
<b>Hierro</b>	<b>1891.05 ±11.741</b>
<b>Potasio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Plomo</b>	<b>N.D.</b>
<b>Zinc</b>	<b>20.93 ±0.406</b>

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Físicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.

**Cuadro 12.** Resultados de la determinación de las concentraciones de elementos químicos presentes en el suelo procedente de la parcela 4, Caserío Pancá, Sololá, con los cultivo de cebolla (*Allium cepa L.*).

<b>SUELO 4</b>	<b>Concentración de elementos</b>
<b>Caserío Pancá/Cebolla</b>	<b>químicos pesados (mg/Kg)</b>
<b>Arsénico</b>	<b>N.D.</b>
<b>Cadmio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Calcio</b>	<b>534 ± 0.082</b>
<b>Cobre</b>	<b>N.D.</b>
<b>Estroncio</b>	<b>0.67 ±0.072</b>
<b>Fosforo</b>	<b>N.D.</b>
<b>Hierro</b>	<b>1045.33 ± 0.514</b>
<b>Potasio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Plomo</b>	<b>N.D.</b>
<b>Zinc</b>	<b>1694.67 ±0.020</b>

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Fisicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.

**Cuadro 13.** Resultados de la determinación de las concentraciones de elementos químicos presentes en el suelo procedente de la parcela 5, Caserío Pancá, Sololá, con los cultivo de remolacha (*Beta vulgaris L.*).

<b>SUELO 5</b>	<b>Concentración de</b>
<b>Caserío</b>	<b>elementos químicos pesados</b>
<b>Pancá/Remolacha</b>	<b>(mg/Kg)</b>
<b>Arsénico</b>	<b>N.D.</b>
<b>Cadmio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Calcio</b>	<b>1049.14 ±17.683</b>
<b>Cobre</b>	<b>N.D.</b>
<b>Estroncio</b>	<b>1.50 ±0.052</b>
<b>Fosforo</b>	<b>N.D.</b>
<b>Hierro</b>	<b>1596.19 ±12.008</b>
<b>Potasio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Plomo</b>	<b>N.D.</b>
<b>Zinc</b>	<b>11.351 ± 0.2824</b>

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Físicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.

**Cuadro 14.** Resultados de la determinación de las concentraciones de elementos químicos presentes en el suelo procedentes en el suelo de la parcela 6, San Bartolo, con los cultivo de ejote (*Phaseolus vulgaris L.*).

<b>SUELO 6 San Bartolo/Ejote</b>	<b>Concentración de elementos químicos pesados (mg/Kg)</b>
<b>Arsénico</b>	<b>N.D.</b>
<b>Cadmio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Calcio</b>	<b>545.06 ±0.603</b>
<b>Cobre</b>	<b>N.D.</b>
<b>Estroncio</b>	<b>13.14 ±0.032</b>
<b>Fosforo</b>	<b>N.D.</b>
<b>Hierro</b>	<b>1423.90 0.474</b>
<b>Potasio</b>	<b>N.D.</b>
<b>Plomo</b>	<b>N.D.</b>
<b>Zinc</b>	<b>5.57 0.010</b>

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Físicoquímica.

Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.



### 6.7 Resumen de los resultados obtenidos del análisis de elementos químicos en suelo.

La siguiente matriz de datos, muestra un consolidado de todos los elementos detectados por espectrometría de rayos X en los seis diferentes suelos analizados, que corresponden a las parcelas utilizadas para el cultivo de las hortalizas analizadas con anterioridad en este estudio.

**Cuadro 15.** Consolidado de los resultados obtenidos del análisis de suelos por el método de espectrometría de fluorescencia rayos X.

Elementos Químicos	Suelo/Hortaliza que se cultiva					
	S1/Papa	S2 /Zanahoria	S3/Repollo	S4/Cebolla	S5/Remolacha	S6/Ejote
<b>Arsénico</b>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Cadmio</b>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Calcio</b>	511.95	145.33	606.18	534	1049.14	545.06
<b>Cobre</b>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Estroncio</b>	3.11	(-)	(-)	0.67	1.50	13.14
<b>Fosforo</b>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Hierro</b>	2201.34	1694.67	1891.05	1045.33	1596.19	1423.90
<b>Potasio</b>	83.33	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Plomo</b>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Zinc</b>	5.96	7.16	20.93	1694.67	11.35	5.57

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Fisicoquímica. Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

(-) = No Detectado

**6.8 Concentraciones normales de elementos químicos en suelos.** En la tabla 9 se presentan los límites máximos de elementos tóxicos en los suelos según Galán y Romero (2008).

**Tabla 9.** Límites máximos de algunos elementos químicos tóxicos en el suelo.

<b>Elementos Químicos tóxicos</b>	<b>Rango normal Según Galán y Romero (2008) (mg/Kg)</b>	<b>Límites en suelos arcillosos Según la Unión Europea (2004) (mg/Kg)</b>
<b>Arsénico</b>	<5-40	20
<b>Cadmio</b>	<1-2	1.5
<b>Cobre</b>	2-60	60
<b>Plomo</b>	10-150	100
<b>Zinc</b>	25-200	200

Fuente: Galán, E. y Romero, A. (2008), Unión Europea (2004).

**6.9 Determinación de las concentraciones de elementos químicos en el agua.** En el cuadro 16 se pueden observar los resultados de la determinación de elementos químicos en las muestras de agua para riego recolectadas de los diferentes sitios de cultivos de hortalizas.

**Cuadro 16.** Resultados de la determinación de la concentración de elementos químicos presentes en el agua para riego.

Muestras de agua	Concentración de elementos químicos mg/L						
	Calcio	Níquel	Estroncio	Bromo	Manganeso	Hierro	Zinc
<b>Agua 1</b>	315.36	0.843	0.429	0.257			
<b>Zanahoria y Papa</b>	±1.309	± 0.033	±0.026	±0.065	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Agua 2</b>	95.32	6.31	N.D.	N.D.	7.41	N.D.	N.D.
<b>Repollo</b>	±2.049	±0.407			±0.502		
<b>Agua 3</b>	326.25	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.700	0.231
<b>Cebolla</b>	±1.275					±0.574	±0.017
<b>Agua 4</b>	257.71	11.89	5.42	N.D.	N.D.	19.34	N.D.
<b>Remolacha</b>	±6.772	±0.290	±0.319			±0.236	
<b>Agua 5</b>	89.98	8.85	2.37	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Ejote</b>	±1.932	±0.373	±0.141				

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Fisicoquímica. Departamento de Análisis Instrumental. Escuela de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

N.D. = No detectado.

**6.10 Límites máximos permisibles de elementos químicos en el agua.** En la tabla 10 se presentan los límites máximos de elementos tóxicos en el agua según la OMS y Norma Guatemalteca COGUANOR para agua potable.

**Tabla 10.** Parámetros de ley para la calidad de agua superficial y agua potable.

<b>Elemento</b>	<b>Unidad</b>	<b>OMS Agua potable</b>	<b>EPA Aguas naturales</b>	<b>Parámetros de agua para reuso Tipo I (riego agrícola)</b>	<b>Norma Guatemalteca de agua potable COGUANOR</b>
<b>Aluminio</b>	mg/l	N.R.	0.05 a 0.2	N.R.	0.1
<b>Arsénico</b>	mg/l	0.01	0.05	0.1	0.010
<b>Cadmio</b>	mg/l	0.003	0.01	0.1	0.003
<b>Cobre</b>	mg/l	2	1.5	3	1.5
<b>Cromo</b>	mg/l	0.05	0.1	N.R.	0.05
<b>Hierro</b>	mg/l	N.R.	0.3	N.R.	1.0
<b>Manganeso</b>	mg/l	N.R.	0.05	N.R.	0.5
<b>Mercurio</b>	mg/l	0.001	0.002	0.01	0.001
<b>Plomo</b>	mg/l	0.010	0.0015	0.4	0.010
<b>Selenio</b>	mg/l	0.010	N.R.	N.R.	0.010
<b>Zinc</b>	mg/l	N.R.	5.0	10	3.0

Fuente: (OMS, 1995; EPA, 1986; Norma COGUANOR, 1999; Artículos 21 y 36).

**EPA** Environmental Protection Agency. USA. Criterios recomendados de Calidad de Agua para Aguas Naturales. (EPA, 1986)

**COGUANOR** Comisión Guatemalteca de Normas. Valores de las características que definen la calidad del agua potable. Norma COGUANOR NGO 29001 de Agua Potable. (COGUANOR, 1999).

**OMS** Organización mundial de la salud. Parámetros de calidad de agua. (OMS, 1995).

Acuerdo Gubernativo de Guatemala. Artículo 21 y 36 del Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Artículos 21 y 36; 2006).

N.R.= No reportado.

**6.11 Determinación de plaguicidas en suelos.** En el cuadro 17 detalla la determinación e identificación de plaguicidas en cromatografía en Capa Fina. Se analizó la presencia de dicho compuesto ya que se encuentra relacionado con la contaminación de elementos químicos tóxicos.

**Cuadro 17.** Determinación de plaguicidas por medio de Cromatografía en Capa Fina

<b>Muestra</b>	<b>Fluorescencia</b>	<b>Rf</b>
	<b>intensa a</b>	
	<b>UV 365 nm</b>	
<b>Cipermetrina</b>	Amarillo (254nm)	0.175
<b>Paraquat</b>	Violeta	0.087
		0.037
<b>Thionex</b>	Verde pálido	0.69
<b>Malation</b>	Azul pálido	0.82
<b>S1/Papa</b>	Celeste pálido	0.79
	Celeste pálido	0.43
<b>S2/Zanahoria</b>	Celeste pálido	0.78
	Celeste pálido	0.43
<b>S3/Repollo</b>	Azul pálido	0.69
<b>S4/Cebolla</b>	Azul pálido	0.69
	Verde pálido	0.44
<b>S5/Remolacha</b>	Azul pálido	0.69
	Verde pálido	0.44
<b>S6/Ejote</b>	Azul pálido	0.69
	Verde pálido	0.44

Fuente: Datos experimentales, seminario de investigación. Laboratorio de Farmacognosia. Departamento de Farmacognosia y Fitoquímica y Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT). Escuela de Química Farmacéutica. Universidad de San Carlos de Guatemala.

## 7. DISCUSIÓN

En Guatemala, la dieta del 90 % de la población se centra en el consumo de alimentos vegetales, siendo la papa, la zanahoria, el ejote, la cebolla, la remolacha y el repollo algunas de las hortalizas más consumidas y cultivadas en el departamento de Sololá, Guatemala, debido a su alto valor nutricional e incluso medicinal que radica en algunas de estas hortalizas y principalmente por su alto contenido de vitaminas, minerales, carbohidratos y proteínas, que son las biomoléculas esenciales para el desarrollo humano.

El municipio de Sololá, es un área fuertemente agrícola debido a su clima y características geológicas hacen de este lugar adecuado para la cosecha y horticultura. Por lo tanto, la determinación de la calidad e inocuidad de los productos de cosecha, es de suma importancia para la salud de la población consumidora, como para los productores y exportadores de hortalizas. De esta manera, el objetivo primordial del presente trabajo se centró en determinar la presencia de elementos químicos tóxicos en las seis diferentes hortalizas mencionadas anteriormente, que se cultivan con regularidad en el departamento de Sololá, y así contar con antecedentes exploratorios de la presencia de los principales elementos pesados tóxicos como: arsénico, plomo, cobre y cadmio para identificar la posible presencia como contaminantes en los vegetales, como en el suelo y el agua utilizada para el cultivo.

Para llevar a cabo esta investigación, se utilizó el método de Reflexión Total de Rayos X (RTRX), por ser un método novedoso, rápido, multielemental y sensible, que permite la detección tanto de elementos químicos tóxicos como de otros elementos considerados macro y micronutrientes. Con este método se logró la identificación de los elementos presentes en hortalizas, suelo y el agua permitiendo relacionar los valores experimentales, con los límites máximos permisibles para alimentos según Kirk y colaboradores (2008), para suelos, Galán y Romero (2008) y los parámetros para riego agrícola y Norma COGUANOR para el agua, como se detalla más adelante.

Cabe aclarar que el término “metales pesados” ha sido utilizado ampliamente para referirse a un grupo de metales o semimetales (metaloides) que han sido asociados como contaminantes y potenciales tóxicos o eco tóxicos. Sin embargo el término carece de sentido y conduce al error ya que no todos los elementos incluidos en los listados de metales pesados o legislaciones presentan propiedades tóxicas o eco tóxicas, o carecen de una base química o toxicológica para ser incluidos como metales pesados. Por eso para entender este concepto se ha clasificado como “elementos químicos tóxicos” (EQT), aquellos metales y algunos metaloides que por sus características básicas tienen efectos tóxicos, potencial de contaminación ó potencial toxicológico como: Arsénico, plomo, cobre y cadmio (IUPAC).

Los elementos químicos pesados o tóxicos se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural, siendo estos peligrosos porque tienden acumularse en los diferentes cultivos, incorporándose a organismos vivos (plantas, animales y seres humanos) por medio de los alimentos o a través del agua y el aire como medios de translocación (Prieto, González, Román y Prieto, 2009). Otros autores definen como elemento tóxico aquellos que pertenecen al grupo de elementos que no son necesarios o benéficos, y que son capaces de causar efectos indeseables en el metabolismo, aun a concentraciones bajas.

Los metales pueden jugar un papel importante en el metabolismo normal, por ejemplo: calcio, potasio, sodio, magnesio, hierro, zinc, selenio, manganeso, cobre, molibdeno, cobalto, cromo, sílice, níquel, estaño y vanadio o bien tóxicos: cadmio, plomo, mercurio, berilio, arsénico y bario (Valle y Lucas, 2000).

Se realizó un muestreo aleatorio dentro de cada parcela, de los tres tipos de matrices en estudio (hortalizas, suelo y agua). De esta manera se tomaron muestras a lo largo de las parcelas, en cinco diferentes puntos del área. Con los resultados del análisis de rayos X obtenidos para cada matriz, fue posible hacer inferencias sobre el contenido de elementos

químicos, tanto tóxicos como no tóxicos presentes en la población en estudio, en base a los especímenes vegetales, muestras de suelo y muestras de agua analizados.

Para la identificación y cuantificación elemental en las matrices vegetales y suelos se realizó previamente un proceso de digestión ácida asistida por microondas. Esto con el objetivo de mejorar la resolución del análisis al permitir la liberación de los componentes químicos presentes en las células vegetales, eliminación de materia orgánica y otros compuestos interferentes, así como la homogenización de la muestra en el caso de los suelos. Mientras que para el análisis del agua no se realizó ningún procedimiento de digestión. Posteriormente, las muestras fueron analizadas por reflexión total de rayos X, utilizando un estándar interno (Itrio) para la cuantificación elemental.

Se realizó además una curva de calibración multi-elemental conteniendo los estándares de los elementos de interés (Cobre, Plomo, Arsénico y Cadmio), así como de los elementos: Zinc, Calcio, Magnesio, Manganeso, entre otros, según se observa en el espectro multi-elemental, anexo No. 11.3.1, todos estos elementos fueron detectados por el equipo de Rayos X, algunos con mayor sensibilidad que otro debido a sus diferencias en la capacidad de absorción de energía (rayos X), sin embargo en las muestras analizadas en este estudio algunos de los elementos no fueron detectados como se describirá más adelante.

En el análisis de hortalizas realizado, no se detectó ningún elemento químico tóxico en las seis matrices de hortalizas. Es decir que a pesar de las prácticas tradicionales de siembra, cosecha y cultivo, que no son las más adecuadas y además que los suelos son reutilizados muchas veces y por ende se hace necesario la utilización de compuestos sintéticos como fertilizantes, plaguicidas, entre otros, los EQT, no están siendo absorbidos o retenidos por ninguno de los vegetales en estudio, como lo muestra el cuadro 8.



Sin embargo un hallazgo interesante fue que se encontraron presentes en algunas de las hortalizas analizadas, varios de los elementos que son requeridos en pequeñas cantidades (micronutrientes o elementos traza) como el hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl), que son esenciales para el crecimiento de las plantas y microorganismos (Mahler, 2003), según se muestra en el cuadro 8. Algunos otros elementos macronutrientes que se detectaron en los vegetales fueron, calcio (Ca), sodio (Na), potasio (K) y magnesio (Mg), en diferentes proporciones, según el tipo de hortaliza.

Los resultados obtenidos en las matrices vegetales (cuadros 2 al 7), muestran que los elementos tóxicos a investigar arsénico, plomo, cobre y cadmio no se detectaron por dicha técnica. En algunas ocasiones dichos elementos se presentan en bajas concentraciones ya que las hortalizas son plantas más expuestas a contaminación, por ser vegetales con alta absorción de nutrientes del suelo, por poseer un área foliar muy amplia y ser de tallo corto que no alcanzan ni el metro de altura lo que las hace más susceptibles a la absorción de estos elementos procedentes del suelo (Calderón y Concha, 2006). En algunos vegetales como el ejote y la papa se ha reportado alta acumulación de Cadmio, el repollo alta acumulación de Plomo y en la remolacha alta acumulación de Cobre, Níquel y Zinc (tabla 1), ya que dichos vegetales tienen una gran capacidad de absorción y su nivel de sensibilidad y tolerancia respecto a estos elementos es diferente a comparación de otros vegetales (Boixadera, 2001; Puga, 2006).

La presencia del plomo es común encontrarlo, ya que su concentración se bio-acumula en las plantas y se encuentra presente en todas las partes del medio ambiente, en el aire, en el agua de los ríos, océanos, lagos y en el suelo. De igual manera la presencia del cadmio se da con regularidad por la capacidad de las plantas de concentrar este elemento de origen geoquímico y dispersarlo por el medio ambiente, los fertilizantes y plaguicidas, las aguas residuales utilizadas para el riego, hacen del cadmio un elemento común en los suelos de cultivo, de donde es fácilmente absorbido por las plantas (Armendariz; 2002). También la principal fuente de arsénico en alimentos es la contaminación accidental por plaguicidas

(Valle y Lucas, 2000). Estas son razones que explican la posible y fácil contaminación de determinados alimentos con estos elementos tóxicos.

Los factores que afectan las cantidades de elementos químicos absorbidos por las plantas son: La concentración y tipo de metal que se encuentran en el suelo, el transporte desde la superficie de la raíz hasta la raíz misma (a través de la rizosfera) y su translocación de la raíz a los brotes de la planta. La absorción de los elementos puede ser pasiva o activa o la combinación de ambas (Calderon y Concha, 2006).

Como se mencionó anteriormente las hortalizas consumen numerosos nutrientes los principales son el carbono, oxígeno e hidrógeno que son suministrados a través del aire y el agua. El nitrógeno, fósforo, potasio y calcio son denominados elementos fundamentales, que se requieren en altas cantidades, estos elementos son suplementados a través del suelo y la fertilización. Su ausencia o escasez repercute en las funciones de las plantas (Martínez, s.f.). En el cuadro 8 se puede observar con claridad, que elementos fueron detectados o estuvieron presentes y cuales estuvieron ausentes o no detectados en el análisis de las hortalizas por rayos X. Por ejemplo: El nitrógeno y fósforo no fueron detectados en ningún cultivo, en cambio el potasio está presente en todas las hortalizas mientras que el calcio está presente únicamente en la cebolla, zanahoria, repollo y ejote. Lo anterior demuestra, que el método empleado es capaz de detectar todos los elementos descritos en la curva multielemental de estar presentes en los vegetales, suelo o agua, como se muestra en el anexo No. 11.3.1.

Los demás elementos (zinc, boro, calcio, magnesio, manganeso, hierro y azufre) normalmente el suelo los suministra a la planta en suficientes cantidades o a través de la adición de fertilizantes. En los cuadros 2 al 7 indican las concentraciones experimentales de algunos de estos elementos trazas de las distintas hortalizas analizadas, observándose que el principal elemento detectado en todos los vegetales y con mayor proporción es el potasio, seguido del calcio y azufre y con menor proporción esta cobalto, manganeso y zinc. El alto contenido de potasio y calcio puede deberse a las fuentes de fertilizantes

(nitrato de calcio y nitrato de potasio). De acuerdo a los datos de campo, los horticultores de la región, utilizan en su mayoría fertilizantes a base de cloruro de potasio (KCl, YARA®), esto puede explicar el alto contenido de potasio en las muestras. En los cultivos de remolacha y papa hay ausencia de Ca, y en la zanahoria hay ausencia de azufre.

La EPA (US Environmental Protection Agency) incluye en la lista de contaminantes prioritarios al elemento zinc, encontrándose en todas las hortalizas en concentraciones entre 5-25 ppm, estas concentraciones según Kirk y colaboradores (2008) están dentro los límites máximos permisibles en alimentos que es de 50 ppm, por lo que no representa peligro de toxicidad para el consumo humano.

El contenido de los diferentes micronutrientes y macronutrientes presentes en las hortalizas como componentes de los alimentos, no sólo es importante desde el punto de vista fisiológico, sino por su participación y contribución en el sabor y la textura ya que activan o inhiben la catálisis enzimática y otras reacciones (Belitz y Grosch, 2004). Relacionando y comparando los valores experimentales con las dosis diarias recomendadas por la OMS (tabla 8) las hortalizas proporcionan un gran aporte nutricional a la población. Los valores indicados en los cuadros 2 al 8 son el resultado de los análisis efectuados, por lo tanto son datos orientativos y puede darse que los valores correspondientes de las diferentes hortalizas difieran a los indicados por la composición descrita de otros autores. Es de resaltar que se pueden emplear otras técnicas analíticas como absorción atómica para confirmar dichos resultados. Por los resultados obtenidos es posible inferir que los vegetales analizados son inocuos ya que no se detectaron EQT mediante la técnica de rayos X y que son aptos para consumo humano. El análisis del suelo es de igual manera importante para saber también el grado de contaminación por EQT, siendo este uno de los posibles medios de transferencia de los contaminantes a los alimentos.

El suelo actúa en general como una barrera protectora (hidrológica o biológica) de otros medios de contaminación, filtrando, descomponiendo, neutralizando o almacenando contaminantes, evitando en gran parte su biodisponibilidad. Esta capacidad depuradora del

suelo va depender de los contenidos en materia orgánica, carbonatos y oxihidróxidos de hierro y manganeso, de la proporción y tipo de minerales de la arcilla, de la capacidad de cambio catiónico del suelo, del pH, textura, permeabilidad y actividad microbiana, por lo tanto, el poder depurador tiene un límite y cuando se superan esos límites para una o varias sustancias, el suelo funciona como contaminado y es fuente de contaminación (Galán y Romero, 2008).

El poder amortiguador de un suelo representa la capacidad que tiene para controlar los efectos negativos de los contaminantes y volverlos inocuos o inactivos. Para los suelos agrícolas se ha definido la denominada “capacidad de carga para metales pesados” (LCASHM: Load Capacity of Agricultural Soils for Heavy Metals), que depende de las propiedades del suelo, el tipo e historia de la contaminación, organismos indicadores de la toxicidad y otros parámetros ambientales (Galán y Romero, 2008). Por lo tanto, acorde a los resultados, se puede decir que los suelos analizados tienen cierta capacidad depuradora ya que no se detectó presencia de elementos tóxicos tanto en el suelo como en las hortalizas (cuadro 15). En algunos suelos y hortalizas se encontraron elementos en común: nutrientes mayores (Ca y K); nutrientes menores (Fe y Zn). En el análisis realizado a las muestras del suelo, se detectó elementos como; Ca, Fe, Zn, P y Sr que no son considerados como elementos tóxicos.

Para los diferentes puntos de muestreo para suelos, en el suelo cinco, caserío Pancá en donde se recolectó la remolacha, fue el que mostró mayor proporción de calcio. Comparando con la concentración de calcio medido en la hortaliza, este no pudo ser detectado. Existe una relación entre la absorción de calcio y el crecimiento de la plantas. Sin embargo se ha observado que presentan deficiencia del mineral tan pronto como la tasa de absorción cae debajo de los requerimientos funcionales de los tejidos (Loneragan y Snowball, 1969). Esto explica los bajos niveles de calcio en la remolacha, no detectables por la técnica de rayos X. De igual manera para el suelo uno, caserío Los Castros (papa), no se pudo detectar el calcio en la hortaliza, mientras en el suelo si está presente.

Caso similar ocurrió para los cultivos de zanahoria y papa que fueron recolectados en parcelas muy próximas entre sí, donde se encontró diferencias en los elementos de Sr y K, presentes en la papa y ausentes en la zanahoria, además se encontraron variaciones en las concentraciones de los elementos en común (Ca y Fe) para ambos cultivos.

Según Galán y Romero refieren una serie de valores de EQT para suelos considerados normales (tabla 9). En base a esto, solo la muestra del suelo 4, Caserío Panca/Cebolla sobrepasa el valor normal con una concentración de 1694.576 ppm de Zn y el rango normal en suelos para Zn es de 25-200 ppm. Las demás muestras de suelos no sobrepasan los valores de EQT de referencia.

Si nos referimos a los elementos en común entre las mediciones de las hortalizas y suelos encontramos el Ca y K, y los oligoelementos Fe, y Zn que son elementos de gran utilidad en el cuerpo humano pero son necesarios en bajas concentraciones.

Los cultivos de este lugar utilizan con regularidad plaguicidas como Malathion® (organofosforado) y Manzate® o Mancozeb® (ditiocarbamato) estos insumos agrícolas pueden ser fuentes potenciales de elementos químicos como zinc, manganeso, azufre, entre otros, en cantidades apreciables (Alfaro, 2006). Según la FDA y la EPA la cantidad permisible de Malathion® como residuo en las cosechas de alimentos es de 8 ppm. Este es uno de los plaguicidas más utilizados, de acuerdo a los datos de campo por los horticultores de la región, y puede permanecer en el ambiente por días o meses, pero generalmente es degradado en pocas semanas. Sin embargo el Malathion® no tiende a adherirse al suelo y es degradado por bacterias (ATSDR, 2003).

Para determinar la presencia de plaguicidas en suelos se realizó el análisis por Cromatografía en Capa Fina (CCF), utilizando como estándares los plaguicidas Cipermetrina (piretroide), Paraquat® (dipiridilo), Thionex® (organoclorado) y Malathion® (organofosforado). El cuadro 21 muestra dichos resultados, en donde se observa que todas las muestras de suelo presentaron algún tipo de fluorescencia al ser expuesto a luz UV

365 nm. Esta fluorescencia puede ser producto de la presencia de bacterias o ciertos minerales compuestos como calcitas, dolomitas, u otros minerales que contienen iones extraños llamados activadores de luminiscencia (Buckman y Brady, 1970). De esta manera, se determinó que las muestras no presentan similitud con los estándares en cuanto a sus valores de retención ni las coloraciones mostradas (como se indica en el cuadro 17). Por lo tanto, estos resultados reflejan que ninguno de los suelos analizados contiene cantidades apreciables o detectables por el método de capa fina de estos plaguicidas, es decir que posiblemente los plaguicidas no están siendo retenidos en la matriz del suelo o que estos son degradados por bacterias presentes en el suelo.

Hay varios mecanismos que rigen el movimiento de los EQT por plaguicidas en el suelo, el más importante es por disolución o arrastre mecánico, que se hace bajo la influencia del agua (Alfaro, 2006), siendo este el componente principal para el desarrollo de cultivos y por ende, debe contar con una calidad óptima para el riego. El cuadro 16 indica las concentraciones promedio y las desviaciones estándares de los elementos en el agua para riego. Al comparar los valores obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos por la Norma COGUANOR, solo el agua 3 (Cebolla) contiene Zn a una concentración de 0.231 ppm, sin embargo, esta dentro de los límites.

Tomando como referencia la Norma COGUANOR 29001 de agua potable el resultado de los análisis en cuanto al contenido de arsénico, cadmio, cobre y plomo se encuentran en una concentración menor a la detectable por el método reflexión total de rayos X, por lo que se concluye que no presentan toxicidad para el consumo humano. De acuerdo con la EPA para aguas naturales, los elementos manganeso (agua 2) y hierro (agua 4), sí superan los límites permitidos para este tipo de aguas. Siendo este el único hallazgo relevante.

Con este estudio se obtuvieron datos importantes que respaldan la inocuidad para los cultivos de *Solanum tuberosum*, *Allium cepa*, *Daucus carota*, *Beta vulgaris*, *Phaseolus vulgaris*, y *Brasica oleracea*, así como en el suelo y en el agua utilizados para su cultivo, mostrando ausencia de elementos tóxicos por rayos X, que puedan ser un riesgo perjudicial

para la salud humana. Con estos datos se convalida y se respalda que la forma en que son sembrados, cultivados y cosechados estos vegetales, cumple con las expectativas de buenas prácticas agrícolas con respecto a elementos tóxicos, al ser analizados por medio de reflexión total de rayos X.

## 8. CONCLUSIONES

- 8.1 En las seis hortalizas que se cultivan, producen y cosechan en el municipio de Sololá, Guatemala, no se detectaron los elementos químicos tóxicos: cobre, cadmio, plomo y arsénico, con la técnica de reflexión total de rayos X.
- 8.2 El suelo donde son cultivados los vegetales, presentó valores no detectables por reflexión total de rayos X para elementos químicos tóxicos.
- 8.3 El agua de riego utilizada en las distintas localidades estudiadas presenta valores menores a los recomendados por la Norma COGUANOR para arsénico, cobre, cadmio y plomo, es decir, dichos elementos se encuentra dentro de los límites permisibles.
- 8.4 Los valores obtenidos confirman que todas las hortalizas analizadas, presentan alto contenido de potasio y calcio, lo que les confiere un alto valor agregado a los vegetales, para su consumo y comercio.
- 8.5 Las muestras de los suelos de las seis diferentes parcelas analizadas por cromatografía en capa fina, no se evidenció la presencia de residuos de plaguicidas mediante comparación con los estándares comerciales utilizados.
- 8.6 El proceso de cultivo, riego y cosecha de *Solanum tuberosum*, *Allium cepa*, *Daucus carota*, *Beta vulgaris*, *Phaseolus vulgaris*, y *Brasica oleracea* es inocuo con respecto a elementos químicos tóxicos y no presentan contaminación de forma externa.
- 8.7 Los valores de elementos químicos tóxicos obtenidos en el análisis de las seis diferentes hortalizas, las muestras de suelos y agua utilizada para su producción, no exceden el límite ni la ingesta diaria permisible según normas internacionales.



## 9. RECOMENDACIONES

- 9.1 Es necesario realizar estudios de elementos químicos tóxicos en otras áreas del municipio de Sololá, así como departamentos aledaños para confirmar la inocuidad de las hortalizas y confirmar la inexistencia de elementos químicos tóxicos y así poder disminuir el posible riesgo de contaminación hacia las personas.
- 9.2 Ampliar el estudio a otras hortalizas que se cultivan en el departamento de Sololá, así como granos básicos y otros vegetales de consumo popular.
- 9.3 Evaluar las hortalizas, suelo y agua por medio de la técnica de absorción atómica, para confirmar los valores elementales obtenidos por rayos X, y comparar efectividad de ambos métodos, y así poder descartar con mayor seguridad la presencia de elementos químicos tóxicos que puedan afectar la salud de los consumidores y población en general.
- 9.4 Debido a las posibles consecuencias que pueda presentar los metales pesados, se recomienda realizar estudios en diferentes lotes de cada una de las hortalizas analizadas en este estudio, así se tendrán valores estadísticos más significativos.
- 9.5 Promover estudios de este tipo con cultivos de otras áreas del país con la finalidad de crear normativas que regulen los límites permisibles de elementos químicos tóxicos en las hortalizas y frutas para el consumo de la población guatemalteca.

## 10. REFERENCIAS

- American Institute for Cooperation on Agriculture, AICA. (2005). *Estudio de demanda y oferta de capacitación en el sector agropecuario de Guatemala*. Editorial II CA, Costa Rica. pp.12-25.
- Alfaro, M. (2006). *Manual sobre efectos acumulativos en la salud y el ambiente por el uso de plaguicidas en la agroindustria guatemalteca*. Tesis de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. pp. 46-78.
- Alonso, J. (1998). *Tratado de Fitomedicina*. Bases Clínicas y Farmacológicas. pp. 735, 836-837, 1003-1004.
- Alloway, B. (1995). *The origin of the heavy metals in soils*. Blackie academic and professional, London. pp. 3, 2, 38-57.
- Armendariz, R. (2002). *Ingesta dietética de contaminantes metálicos (Hg, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn y Mn) en la comunidad Autónoma Canaria*. Evaluación Toxicológica. Facultad de Medicina. Universidad de la Laguna. España. pp. 16-46.
- Arteche, A. (1998). *Fitoterapia*. Vademécum de Prescripción plantas medicinales. 3ra. Edición. Editorial MASSON, S.A. Barcelona. pp. 279-280, 363.
- Ayala, R. (2001). *Total reflection X-ray fluorescence spectrometers for multielements analysis: status of equipment*. Spectrochimica Acta part B 56. pp. 2331-2336.
- Babic' S, Petrovic' M, Kas'telan-Macan M. (1998). *Ultrasonic solvent extraction of pesticides from soil*. Journal of Chromatography A. 823( 3-9).
- Belitz, H.D. y Grosch, W. (2004). *Química de los alimentos*. Editorial. Acribia, S.A. Zaragoza. España. p.204.
- Boixadera, M., Teira R. (2001). *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*. Editorial Lerida, Universidad de Lérida. pp. 56-97.
- Braumler & Ripptein. (s.f.). *Investigación de plaguicidas organofosforados en Cromatografía Capa Fina*. Helvetica Chimica Acta. 44(1), (1162).

- Buckman, H. y Brady, N. (1970). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Editorial Montaner y Simon, S.A. Barcelona. pp. 177, 217-310.
- Burguera, M., Burguera, J. (1998). *Microwave-assisted sample decomposition in flow analysis*. *Analytica Chimica Acta*. 366(1-3), 63-80.
- Cáceres, A. (1996). *Plantas de Uso Medicinal en Guatemala*. Editorial Universitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala. pp.129 - 130.
- Calderon, E., Concha, R. (2006). *Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura*. Departamento Académico de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Piura. Perú. pp. 1-10.
- Crompton, T. (1996). *Analysis of solid in natural water*. Springer-verlag Berlín Heidelberg, Germany. pp. 6, 387-408.
- Davor, R. (2003). *Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area*. *Environmental Geology* 43:795- 805.
- Donet, A. (s.f.). *Evaluación del tamaño de la parcela en inventarios forestales por muestreo*. Departamento de Estadística e Informática. Universidad Nacional Agraria La Molina. Peru. pp. 2-4.
- Duffus, J.H. (2002). IUPAC, *heavy metal a meaningless term, technical report*. *Pure and applied chemistry*. pp. 74, 793-807.
- Dreisbach, R., Robertson, W. (1998). *Manual de toxicología clinica*. Prevención, diagnostico y tratamiento. Manual Moderno México. pp. 206-231.
- DRI. (1997). *Institute of Medicine National Academy of Sciences*. pp. 2000-2015.
- El Manual Merck. (1999). *Diagnóstico y Tratamiento*. 10ma edición del centenario, Editorial Harcourt Internacional, S.A., Madrid, España. 2828. p.
- Fytianos, K., Katsianis, G., Triantafyllou, P. and Zachariadis, G. (2001). *Accumulation of Heavy Metals in Vegetables Grown in an Industrial Area in Relation to Soil*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67:423.
- Galan, E., Romero, A. (2008). *Contaminación de suelos por metales pesados*. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. España. pp. 49-50.

- García, H. (1997). *Determinación y cuantificación de metales pesados (Pb, As, Cd y Cr VI) y sustancias tóxicas (PO<sub>4</sub><sup>=</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y CN<sup>-</sup>) por métodos espectrofotométricos 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. 10- 52.
- García, M. (2010). *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*. Guatemala. Tesis de Maestría en gestión de la calidad con especialidad en inocuidad de alimentos. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. pp. 14-25.
- González, C. (2006). *Gobernabilidad y gestión del agua San Bernardo*. Universidad Complutense de Madrid, España. 49. p.
- INDEX Merck. (2003). pp. 23, 540-627.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2001). Informe sobre el Desarrollo Humano 2001. Editorial Mundi-Prensa Libros, S.A. México. pp. 147,151,154,160,164,172,184,188 y 192.
- Ismail, B.S., Fariyah, K. y Khairiah, J. (2005). *Bioaccumulation of Heavy Metals in Vegetables from Selected Agricultural Areas*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 74:320-327.
- Jackson, J., Moss M., Widdop, B. (1986). *Clarke's Isolation and identification of drugs*. Pharmaceuticals, body fluids, and post mortem material. 2da ed. The Pharmaceutical Press. London. p. 177.
- 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. p. 120.
- Jones, SB. (1987). *Sistemática vegetal*. Traducción de María de Huescas. 2da ed. McGraw-Hill, México. p. 536.

- Kestler, D. (1997). *Determinación cuantitativa de metales pesados en peces comestibles del Lago de Amatitlán por reflexión total de rayos X*. Tesis de Licenciatura, Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. pp. 2-9.
- Kirk, R., Sawyer, R., Ega, H. (2008). *Composición y análisis de alimentos de Pearson*. 9na. Edición. Editorial Patria. México. pp. 151-183.
- Lorenagan, JF., Snowball, K. (1969). *Rate of calcium absorption by plant roots and its relation to growth*. CSIRO. Australian. 20(3) 479-490.
- Lucho, C.A., Álvarez, M., Beltrán, R.I., Prieto, F. and Poggi, H. (2005). *A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater*. Environmental International. pp. 313-323.
- Mahler, R.L. (2003). *General overview of nutrition for field and container crops*. National Proceeding: Forest and Conservation Nursery Associations. Proc. RMRS-P-33.
- Martínez, Jesus. (s.f.). *Fertilización en Hortalizas*. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. pp. 3-19.
- Menéndez M. (1987). *Toxicología del cobre*. Toxicologia, 4:101-120.
- Moor, C., Lymberopoulou, T. and Dietrich, V.J. (2001). *Determination of heavy metals in soils, sediments and geological materials by ICP-AES and ICP-MS*. Microchimica Acta. 136:123-128.
- Moreira, F., Borges R., Oliveira, R. (2005). *Comparison of two digestion procedures for the determination of lead in lichens by electrothermal atomic absorption spectrometry*. Spectrochimica Acta Part B. 60:755-8.
- OMS. (1986). *Directives de qualité pour L'Eau de boisson*. Critères d'hygiène et Documentation à l'appui. Genève: OMS. p. 2.
- Orozco, R. Cleaves, C. (2005). *Caracterización botánica y análisis de contenido mineral de Smilax domingensis Wild. En los departamentos de Suchitepéquez y Escuintla*. Tesis Facultad de C.C.Q.Q. y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. pp. 22-32.
- Pérez, J. (1990). *Determinación experimental de las sensibilidades de los elementos Z=20 a Z= 38 e un sistema de reflexión total de rayos X*. Tesis de licenciatura en Química,

- Facultad de C.C.Q.Q. y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. pp. 54-56.
- Prieto, J., González, C., Román, A., Prieto, F. (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelo y agua*. Tropical and Subtropical Agroecosystems, Vol. 10. Núm. 1. Universidad Autónoma de Yucatán. México. pp. 29-44.
- Puga, S. (2006). *Contaminación por elementos químicos tóxicos en suelo provocado por la industria*. Ecología aplicada. Lima. pp. 149-155.
- Ramírez, J. (2003). *Sensitividad de un espectrómetro de Rayos X, como método para análisis química y caracterización de materias Primas*. Tesis de licenciatura en Química, Facultad de C.C.Q.Q. y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. p. 96.
- Reilly C. (1991). *Metal Contamination of Food*. London: Applied Science Publisher. p. 284.
- Sherma, J. (2005). *Thin-layer Chromatography of pesticides*. Acta Chromatography. United States of America. 15 (5-11).
- Silva, J. (2006). *Metodología de la Investigación*. Elementos Básicos. Ediciones CO – BO: Venezuela. p.23.
- Skoog, D. (1992). *Principios de Análisis Instrumental*. 5ta. Ed. McGraw Hill. España. Pp. 1334 (Cap. 12).
- Smolders, A.J., Lock, R.A., Van der Velde, G., Medina, R.I. and Roelofs, J.G. (2003). *Effects of mining activities on heavy metal concentrations in water, sediment, and macroinvertebrates in different reaches of the pilcomayo river, South America*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 44:314.
- Taboada-Castro, M.M., Diéguez-Villar, A. and Taboada-Castro, M.T. (2002). *Effect of soil use and agricultural practices on heavy metal levels in surface waters*. Communications in Soil Science and Plant Analysis 33:2833.
- 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. pp. 35-45.

- USDA. (2006). *Rábano rojo, fuentes y detalles*. National Nutrient Database for Standard Referente Agricultural Research Service. pp. 15-23.
- Valle, P., Lucas, B. (2000). *Toxicología de alimentos*. Instituto Nacional de Salud Publica. Centro Nacional de Salud ambiental. México, D.F. pp. 198-203.
- Zacarías, M. (2009). *Identificación y cuantificación del contenido mineral en cinco vegetales de consumo humano de Chimaltenango por fluorescencia de rayos X*. Tesis de licenciatura en Química Farmacéutica, Facultad de C.C.Q.Q. y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. p. 78.
- Zepeda, E. (1988). *Determinación simultanea de Hg, Pb, As, Cu, Zn y Ni en aguas naturales (presencia de material húmico) por fluorescencia de rayos X dispersiva en energía*. Tesis de licenciatura en Química, Facultad de C.C.Q.Q. y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. p. 58.

#### **Documentos electrónicos consultados:**

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, ATSDR. (2003). Reseña Toxicológica de los Malatión. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Recuperado de: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs154.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs154.html)
- Committee on dietary Reference Intakes, RDA (1989). *Recommended Dietary Allowances by the National Academy of Sciences*. Courtesy of the National Academy Press, Washington D.C.; Dietary Reference Intakes for Calcium; Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, and fluoride. 10th edition National Academy Press. Recuperado de: [www.nap.edu](http://www.nap.edu)
- Fernández R, Redrejo M, Friedrich J. (2011). Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (TXRF). Universidad Autónoma de Madrid. Servicio Interdepartamental de Investigación. Recuperado de: <http://www.uam.es/investigacion/servicios/sidi/especifica/txrf-sidi.html>.
- Red Escolar SEP-ILCE. (19 agosto 2011). Publicaciones de la biosfera, Flora, papa. Recuperado de:

[http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi\\_biosfera/flora/papa/pap](http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_biosfera/flora/papa/pap)

Toxicología y química legal. Guía de seminarios. Plaguicidas. (n.d.). Recuperado de:

[http://www.biol.unlp.edu.ar/toxicologia/seminarios/parte\\_2/plaguicidas.html](http://www.biol.unlp.edu.ar/toxicologia/seminarios/parte_2/plaguicidas.html)

Sololá. (n.d.). *Diagnóstico Integral Municipal de Sololá*. Recuperado de:

[http://guateenred.awardspace.com/departamentos/Solola.pdf?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=986](http://guateenred.awardspace.com/departamentos/Solola.pdf?option=com_content&do_pdf=1&id=986)



## **11. ANEXOS**

### **11.1 SOLOLÁ, GUATEMALA**

#### **11.1.1 Antecedes Históricos:**

El origen del nombre Sololá tiene dos versiones, una indica que se deriva del vocablo Tzolojha o Tzolojyá, que en Kakchiquel, Kiché y Tzutuhil significa agua de saúco. La otra versión es que el vocablo Sololá, proviene de las voces del Kakchiquel tzol (volver o retornar), loj (partícula o continuación) y yá (agua); lo que significaría retornar o volver al agua. Anteriormente el nombre de Sololá era Tecpán Atitlán, que significa Palacio del señor de Atitlán (Lujan, 1999).

Sololá fue fundada el 30 de octubre de 1547, con el nombre de Nuestra Señora de la Asunción de Tzololá, el oidor de la Audiencia de los Confines, Lic. Juan Rogel, fundó la ciudad, con real cédula el 10 de junio de 1540, precisamente en el mismo lugar en que había estado la población indígena. El territorio del departamento de Sololá estuvo ocupado durante el período prehispánico, al igual que en la actualidad, por tres grupos indígenas, los quichés, cakchiqueles y tzutuhiles. Hasta mediados del siglo XV (entre 1425 y 1475) los quichés y cakchiqueles formaron una sola organización política y social. En 1825 se elevó el pueblo a la categoría de villa, luego en 1882 se suprimió el municipio de San Jorge y se anexó a Sololá como aldea; posteriormente en 1951 se le dio a Sololá la categoría de Ciudad (Lujan, 1999).

#### **11.1.2 Aspecto geográficos:**

El departamento de Sololá tiene una extensión de 1,061 kilómetros cuadrados. El lago de Atitlán ocupa un área de 125.7 kilómetros cuadrados, equivalente a 11.8% del territorio del departamento, siendo el segundo lago más grande del país. Este lago tiene desagüe subterráneo, el cual se supone que se dirige hacia el río

Madre Vieja, en el departamento de Suchitepéquez (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998).

Los accidentes geográficos más importantes son los volcanes de Atitlán (3,537 sobre el nivel del mar) San Pedro o Nimajuyú (3,020msnm) y Tolimán (3,158msnm). Lo anterior determina que el departamento de Sololá esté comprendido en la provincia fisiográfica y denominada Tierras Altas Volcánicas (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998).

La zona de vida predominante en el departamento de Sololá es el bosque húmedo montano bajo subtropical (BHMB) que ocupa el 43% del territorio. Le sigue el bosque muy húmedo montano bajo subtropical (BMHMS) con el 40%; el bosque muy húmedo subtropical cálido (BMHSC) con el 14% y el bosque muy húmedo montano subtropical (BMHMS) con el 3% (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998).

La capacidad productiva de los suelos del departamento, pertenece a las clases agrobiológicas V, VI, VII y VIII, las cuales están constituidas por suelos no cultivables, los que en su mayor parte sólo pueden ser destinados a cultivos permanentes, a pastos y bosques. Únicamente el 8.5% de los suelos pertenecen a las clases II, III y IV y pueden ser cultivados con pocas, medianas o severas limitaciones. (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998).

### **11.1.3 Datos de la región:**

El departamento de Sololá pertenece a la región VI, Sur Occidente, de la República de Guatemala, junto con los departamentos de Totonicapán, Quetzaltenango, San Marcos, Suchitepéquez y Retalhuleu. La región tiene una extensión de 12,230 kilómetros cuadrados, equivalentes al 11% del territorio nacional. De acuerdo a la Encuesta de Ingresos y Gastos Familiares de 1998 y

1999, la población total de la región es de 2, 426,695 habitantes, lo que representa el 23% de la población total del país (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998; Informe de Desarrollo Humano del PNUD, 2001).

La densidad de población es de 198 habitantes por kilómetro cuadrado. El 75% de la población vive en el área rural y el 25% en las áreas urbanas. La población indígena representa el 63.2% del total, y pertenece mayoritariamente a los grupos étnicos kiche', kaqchikel, mam, tz'utujil y sipakapense (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998; Informe de Desarrollo Humano del PNUD, 2001).

La región Sur occidente, en donde se concentra las mayores proporciones de población indígena, registra también los índices más desfavorables de desarrollo. Según el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD- su Índice de Desarrollo Humano, calculado en base al ingreso per cápita, esperanza de vida y educación, era en el 2,000 de 0.55, por debajo del promedio nacional que era de 0.61 (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá,1998; Informe de Desarrollo Humano del PNUD,2001).

#### **11.1.4 Estructuras físicas fundamentales:**

##### **11.1.4.1 Clima, Temperatura media anual, Precipitaciones**

En el municipio de Sololá existen dos tipos de climas según la clasificación de Holdridge. Las zonas de vida predominante en el municipio Sololá son, en la parte alta la de Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical (BMHMS), y en la zona más bajo la de Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical (BMHMBS). En las dos zonas las precipitaciones pluviales oscilan entre 1000 y 2000 milímetros de agua por año, las temperaturas promedio entre los 12 y los 18°C (siendo un poco más cálidas las tierras bajas de San Jorge La Laguna, a orillas del Lago de Atitlán) (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998).

En relación a suelos, en la parte alta (BMHMS) éstos son profundos, predomina la textura mediana sobre la liviana, son bien drenados y de color pardo o café. La pendiente en su mayoría está entre 0% a 5%, entre 5% a 12% y en menor grado el rango de 12% a 32%. En cuanto a la parte baja (BMHMBS), los suelos son profundos, de textura liviana a mediana, bien drenados, de color pardo o café. Predominan las pendientes entre 5% a 12% y 12% a 31%. También las hay comprendidas en el rango de 0% a 5% (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998).

#### **11.1.4.2. Infraestructura y equipamiento**

##### **11.1.4.2.1 Servicios municipales básicos**

La mayor parte del departamento cuenta con servicio de agua potable, drenaje y extracción de basura; pero estos servicios no han llegado a todo el departamento (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998).

##### **11.1.4.2.2 Ocupación y utilización del suelo, principales cultivos**

Según datos de 1997, el minifundio tiene una importante participación dentro del total de fincas registradas, pero no así de la superficie aprovechada, guardando así una relación inversa con respecto a los grandes latifundios. En efecto, mientras el 77.7% de los propietarios poseían el 25% de la superficie total (menos de dos manzanas por dueño), el 1.6% era propietario del 44% de la tierra (más de 10 manzanas por finca, y hasta más de una caballería para 43 de ellas). El restante 20.7% de los dueños tenían propiedades de entre 5 y 10 manzanas (equivalentes al 31% de la superficie total) (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998).

Por el crecimiento acelerado de la población y la poca diversificación de la economía dentro del municipio, la presión sobre la tierra es ahora aún mayor y la atomización de las fincas en calidad de minifundio se ha incrementado, lo cual viene en detrimento de los recursos naturales y la población en general (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998).

Dada la variedad de micro climas con que cuenta el municipio de Sololá, se hace una subdivisión de éste en cinco zonas, con diferentes cultivos predominantes:

- Zona baja (cerca del lado de Atitlán): Café y jocote.
- Alrededores de la cabecera municipal: Hortalizas (Cebolla, papa, zanahoria, remolacha, repollo y ejote).
- Zona central (planicie): Maíz, generalmente combinado con frijol, y un poco de trigo.
- Zona alta (fría): Maíz, más algunas hortalizas en pequeña escala (repollo y brócoli). Aunque esta zona es favorable a la producción de frutales deciduos (manzana, durazno, ciruela, pera, etc.), estos cultivos han sido introducidos muy poco hasta la fecha. (<http://guateenred.awardspace.com>)

#### **11.1.4.2.3 Implantación industrial**

El sector de la industria es muy pequeño. Sin embargo, existen algunas fábricas, en su gran mayoría vinculadas al sector de la construcción, como son carpinterías, talleres de estructuras metálicas y blockeras. Además, se pueden mencionar fábricas de hielo, revitalizadoras de llantas e imprentas (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998).

La artesanía es un sector más importante. Esta incluye la mayoría de las fábricas arriba mencionadas, en especial carpinterías y talleres metálicos, que por su tamaño reducido y capacidad de producción se asemejan más a la artesanía. Existen además algunos artesanos que se dedican a actividades muy marginales, como la sastrería o la talabartería (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998).

Sin embargo, el sector artesanal más común es el del llamado “típico”. Se refiere a la tejeduría tradicional, que está presente en casi todo el municipio, al contrario de las demás actividades artesanales que se concentran en la cabecera municipal (y en la aldea Argueta para la carpintería). Muchas mujeres lo practican para uso familiar, ya que elaboran su propio vestuario en el telar de cintura. Pero existen también numerosos telares comerciales. En 1998 eran 74, ubicados en diferentes comunidades que empleaban 222 hombres y mujeres. Los productos que fabrican (vestimenta tradicional de los maya-cakchiquel de Sololá) se comercializan exclusivamente en el municipio, único lugar donde existe demanda de los mismos. Aunque sea aún muy minoritaria, se ha dado en los últimos años una diversificación de la producción de típico del municipio. Pues algunos artesanos están fabricando artículos destinados al turismo nacional y extranjero, que les son encargados y/o comprados por intermediarios originarios de los vecinos municipios de Panajachel y Chichicastenango, que disfrutan de gran afluencia de visitantes (Diagnóstico Integral Municipal de Sololá, 1998).

## 11.2 MATERIA VEGETAL

**11.2.1 Nombre Científico:** *Allium cepa* L.

**11.2.2 Nombre Común:** Cebolla

**11.2.3 Descripción Botánica:**

Planta bianual, bulbo con penacho de hojas, tallo erecto, 50 cm de alto, lampiño. Hojas carnosas, huecas, cilíndricas, puntiagudas, 15-50 cm de largo. Bulbo jugoso, cepas membranosas, compuesto de finas telitas transparentes. Flores numerosas, pequeñas, en esferas al final del tallo, dentro de una delgada espata membranosa (Cáceres, 1996).

**11.2.4 Composición química:**

El bulbo contiene aceite esencial rico en compuestos de azufre como bisulfuro de alipropilo y alicina, fructosanos, flavonoides como quercetina, kampferol, aminoácidos como leucina, metionina, fenilalanina, glutamilisoleucina, glutamilmetilcisteina, glutamilvalina, saponinas (aliofurósido A, aliospirósido A), azúcar, inulina, glucósidos cardiotónicos, tanitos, ácido glicólico y difenilamina (Cáceres, 1996).

El análisis proximal de 100 g de bulbo fresco contiene: 39 calorías, 89.6 de agua, 1.5 g de proteína, grasa (0.2 g), carbohidratos totales (8.3 g), proteína (1.5 g), ceniza 0.4 g, calcio (34 mg), fósforo (42 mg), hierro (1.4 mg), caroteno (ug), tiamina (0.04 mg), riboflavina (0.04 mg), niacina (7.2 mg) y ácido ascórbico 13mg (Cáceres, 1996).

**11.1.5 Toxicología:**

El bulbo tiene actividad ecbólica en ratas y ratones. El extracto etanólico de la planta y el bulbo es tóxico a peces del género *Mollinesia*. Los extractos acuoso y

etanólico no son mutagénicos a *S. typhimurium* TA98 y TA102. Su consumo excesivo de cebolla cocida o cruda puede producir anemia. (Cáceres, 1996).

**11.2.6 Nombre Científico:** *Solanum tuberosum* L.

**11.2.7 Nombre Común:** Papa

**11.2.8 Descripción Botánica:**

Es una planta anual herbácea, con hojas alternas, simples, sin estípulas; inflorescencia cimosa, con flores bisexuales, actinomorfas, cáliz de 5 sépalos unidos, persistente; corola de 5 pétalos unidos rotados; androceo de 5 estambres insertos en el tubo de corola y alternos con sus lóbulos; gineceo constituido por un pistilo compuesto de 2 carpelos con 2 lóculos, óvulos numerosos, placentación axilar, ovario súpero, estilo terminal. El fruto es una baya, semillas con un embrión curvo o recto dentro de un espermo, de sabor desagradable y probablemente venenosa, con semillas fértiles, pero que no se emplean para la propagación, excepto cuando se desea obtener nuevas variedades. Debajo del suelo, a partir del extremo de un estolón se forman los tubérculos cargados de almidón. En cuanto al clima final la papa se produce en climas templados y fríos adaptándose bien a alturas comprendidas entre los 1,000 a 2,400 msnm, con temperaturas óptimas para un buen desarrollo de 16 a 24 °C hasta un mínimo de 12 °C. Su propagación es típicamente asexual, por medio de tubérculos o fragmentos que tengan ojos (yemas rudimentarias) (Jones, 1987).

**11.2.9 Composición química:**

Composición por 100 gramos de porción comestible: energía 103 Kcal, agua 73,2 g, proteína 2,0 g, grasa 0,4 g, carbohidrato 23,3 g, fibra 0,7 g, ceniza 1,1 g, calcio 6 mg, fósforo 52 mg, hierro 0,4 mg, retinol 0 mcg, tiamina 0,07 mg, riboflavina 0,06 mg, niacina 1,85 mg, ácido Ascórbico Reducido 9 mg (<http://redescolar.ilce.edu.mx>, s.f.)



**11.2.10 Toxicología:**

Potencial toxicidad por el contenido en solanina de las partes verdes, que deben desecharse: su ingestión puede producir gastroenteritis, vómitos, hematuria y depresión respiratoria y nerviosa (Arteche, 1998).

**11.2.11 Nombre Científico:** *Daucus carota* L.**11.2.12 Nombre Común:** Zanahoria**11.2.13 Descripción Botánica:**

Se trata de una planta bienal perteneciente a la familia de las *Umbilíferas* (*Apiáceas*), caracterizada por presentar una raíz de desarrollo profundo y ramificado; tallo sólido, estriado, veloso y florífero de 30 - 100 cm de alto; hojas compuestas, pinnadas; e inflorescencias blancas, umbeliformes, con una flor central color granate oscura. La floración ocurre en el verano. El fruto es un aquenio recubierto de espolones de color marrón. Durante el primer año la planta desarrolla la parte comestible, su raíz principal, y en el segundo año tiene lugar la formación de las semillas (Alonso, 1998).

**11.2.14 Composición química:**

**Raíz:** Glúcidos (glucosa, sacarosa), mucílago, pectina, carotenos (alfa, beta, gamma y zeta-carotenos), vitaminas B1, B2, C, alcaloide (daucina), sales de potasio, falcarinol (carotatoxina). De la raíz se puede obtener aceite el cual es muy rico en carotenos.

**Semillas:** aceite esencial (0,66-1,65%) compuesto por:  $\alpha$ -pineno (>13,3%),  $\beta$ -pineno, limoneno, p.cimeno, geraniol, alfa y beta-cariofileno,  $\beta$ -bisaboleno,  $\beta$ -elemeno,  $\beta$ -farneseno,  $\beta$ -selineno, metil eugenol, dipenteno, carotol (>18,29%), daucol, ácido isobutírico, vanillina, terpinen-4-ol, asarona; furanocumarinas (Alonso, 1998).

### 11.2.15 Toxicología:

El consumo de *zanahorias* es muy bien tolerado por el organismo. Se han detectado algunos casos de alergia y dermatitis de contacto, habiéndose identificado a través de estudios doble ciego controlados con placebo, alérgenos en el polen, siendo el principal el Dau c-1. En individuos sensibles al alérgeno Dau c-1 se han observado reacciones alérgicas cruzadas con el alérgeno Bet v-1 presente en el polen de *Betula alba* (Alonso, 1998).

La aplicación de aceite de *zanahoria* en piel o el consumo de altas cantidades de *zanahoria* sumado a largas exposiciones al sol, pueden provocar algunos fenómenos de fotosensibilización debido a la presencia de *furanocumarinas*. Se ha detectado un caso de hipertensión intracraneal idiopática vinculado con el consumo durante períodos muy prolongados de zanahoria cruda para reducir el peso (Alonso, 1998).

Respecto al aceite, el mismo no ha reportado problemas de irritación cutánea. No obstante, se tendrá en cuenta que altas dosis del mismo pueden provocar irritación en el tracto urinario debido a la presencia del *terpinen-4-ol*. Tras la administración de infusiones de *zanahoria* en altas dosis (5 g/k) a lo largo de 8 días, sobre ratones hembras de 20 g de peso, no fueron observadas señales de toxicidad aguda. El aceite de *zanahoria* ha sido reportado como no tóxico. La DL<sub>50</sub> en estudios de toxicidad aguda en administración oral a ratones y aplicación dérmica a cobayos fue mayor a 5 g/k (Alonso, 1998).

**11.2.16 Nombre Científico:** *Beta vulgaris* L.

**11.2.17 Nombre Común:** Remolacha

**11.2.18 Descripción Botánica:**

Se trata de una hierba anual o bienal, perteneciente a la familia de las *Quenopodiáceas*, caracterizada por presentar una raíz muy ramificada, cuya fracción primaria crece hasta casi dos metros de profundidad y las raíces secundarias lo hacen en un radio de 50-60 cm. De la parte superior de la raíz principal se forma un cuerpo carnoso comestible, de forma globular, color rojo oscuro. El tallo es erguido y de crecimiento lento durante el primer año. Presenta hojas sencillas, pecioladas, aovada-oblongas, que se transforman en brácteas lineales en la inflorescencia. Las flores son hermafroditas, dispuestas en grandes panículas. El fruto es utricular (Alonso, 1998).

Forman parte de esta familia botánica otras plantas comestibles como la *quinua*, *espinaca* y *acelga*. La horticultura conoce dos clases principales de *remolachas*: la industrial y forrajera, por un lado, y la de huerta o de mesa por el otro. Esta última es la más conocida en Argentina ya que las primeras son empleadas para alimentar animales o para la extracción de azúcar y alcohol (Alonso, 1998).

**11.2.19 Composición química:**

De la raíz o tubérculo:

**Azúcares:** Sacarosa (15-20%), fructosa, glucosa.

**Minerales:** En forma de sales: potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro (en escasa cantidad).

**Prótidos colorantes:** Principalmente betalaínas (aminoácidos de amonio cuaternario) compuestas principalmente por betacianinas (rojas) y en menor medida betaxantinas (amarillas). Entre las betacianinas destacan: vulgaxantinas I II, indicaxantina, betanina (glucósido de la betanidina), isobetanina, prebetanina y neobetanina. De las betaxantinas destacan principalmente las miraxantinas (Alonso, 1998).

**Otros:** Vitaminas A, B1, B2 y C, fibras, glutamina, colina, betaína, asparagina, triptofano, sustancias volátiles (piridina y derivados como la geosmina), ácido betalámico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico, rafanol, bitinas (proteínas), saponinas, triterpenoides, fitoalexinas, isoramnetina, ciclodopa y N-formilciclodopa (glucósidos), pectinas y ramnosiliso-vitexina (flavonoides). En la remolacha azucarera encontramos además vanilina (Alonso, 1998).

#### **11.2.20 Toxicología:**

Por lo general la remolacha es muy bien tolerada en el ser humano. Únicamente deberán tomarse algunas precauciones en aquellos casos en que se observen trastornos intestinales de tipo diarreico o en presencia de hipotiroidismo, debido a la presencia de glucosinolatos. No se han observado signos de intolerancia, adversidad ni cambios en los parámetros hematológicos de pacientes asténicos tratados durante 9 días con 120 mL/día de jugo de raíz de remolacha (Alonso, 1998).

En cambio, algunos animales que se alimentan de manera copiosa con remolacha forrajera verde (especialmente cerdos y bovinos) pueden presentar señales de toxicidad. Se observa, por ejemplo, hematuria, diarrea y estado de debilidad extrema que puede hacer caer al animal con gran dificultad para incorporarse. También se observa cese de la rumia, rechinar de dientes, indigestión y señales de dolor abdominal. Se tratan eficazmente con inyecciones de *calcio*, *magnesio* o ambos en forma conjunta. En ganado vacuno se ha observado una actividad anticonceptiva o antifertilizante. Extractos de la parte

aérea (no de la raíz) evidenciaron actividad mutagénica en modelos microbianos. Extractos de la raíz en cambio, no demostraron efectos embriotóxicos, mutagénicos ni abortivos en ratas gestantes (Alonso, 1998).

**11.2.21 Nombre Científico:** *Brassica oleracea* L.

**11.2.22 Nombre Común:** Repollo

**11.2.23 Descripción Botánica:**

Es una planta bianual. Durante el primer año la planta desarrolla la porción comestible, un órgano de almacenamiento distintivo y durante el segundo año desarrollan tallos florales, flores, frutos y semillas. Forma un tallo corto y una yema terminal grande llamada cabeza. La cabeza es la estructura de almacenamiento utilizada para el consumo humano; varía grandemente en tamaño, forma y color según la variedad (Alonso, 1998).

Los tallos vegetativos son relativamente cortos y las hojas simples, bien desarrolladas y suculentas. Las que forman el órgano de almacenamiento contienen grandes cantidades de almidón que gradualmente se convierte en azúcar. Los tallos florales nacen de axilas de las hojas de los órganos de almacenamiento y tienen una altura de 0.60 m a 1.20 m. La inflorescencia es un racimo terminal. Las plantas desarrollan un sistema radicular abundante y ramificado (Alonso, 1998).

**11.2.24 Composición química:**

Las hojas son fuente de vitamina B y C (esta en menor cantidad),  $\beta$ - caroteno, glucósidos, enzimas, proteína cruda (4.9%), hidratos de carbono (16.9%), fibra (1.5%), lectinas y compuestos sulfurados.

**11.2.25 Toxicología:**

Su consumo como alimento durante periodos prolongados puede producir hipofunción tiroidea.

**11.2.26 Nombre Científico:** *Phaseolus vulgaris* L.**11.2.27 Nombre Común:** Ejote**11.2.28 Descripción Botánica:**

Es una planta anual, herbácea intensamente cultivada desde la zona tropical hasta las templadas. Es originario de América y se le conoce con diferentes nombres: poroto, haricot, caraota, judía, aluvia, habichuela y otros (MAGA San José (CR), 1991).

**11.2.29 Composición química:**

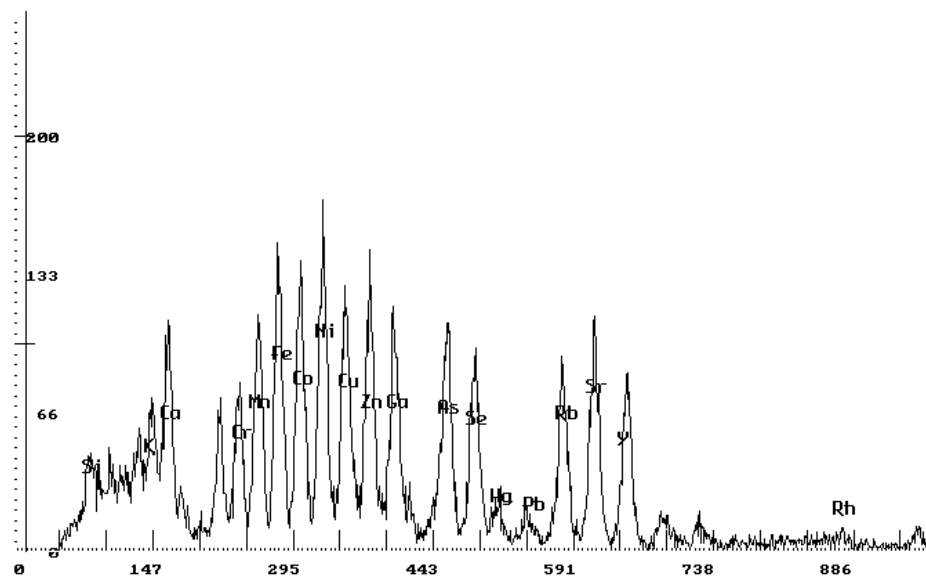
Trigonelina, alantoína, aminoácidos: leucina, tirosina, arginina, lisina, triptófano, colina; inositol, trazas de heterósidos cianogénicos, glucoquinina, lectinas, faseolina, flavonas, vitamina C, ácido guanidinamin o valerianico, Sales minerales: cromo (Arteche, 1998).

**11.2.30 Toxicología:**

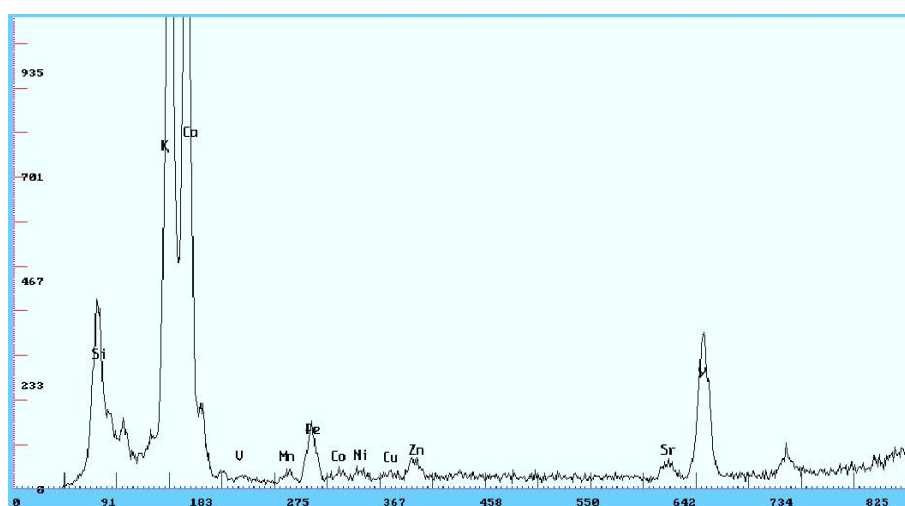
Su uso como diurético en presencia de hipertensión, cardiopatías o insuficiencia renal moderada o grave, sólo debe hacerse por prescripción y bajo control médico, ante el peligro que puede suponer el aporte incontrolado de líquidos, la posibilidad de que se produzca una descompensación tensional o, si la eliminación de potasio es considerable, una potenciación del efecto de los cardiotónicos (Arteche, 1998).

## 11.3 Espectros

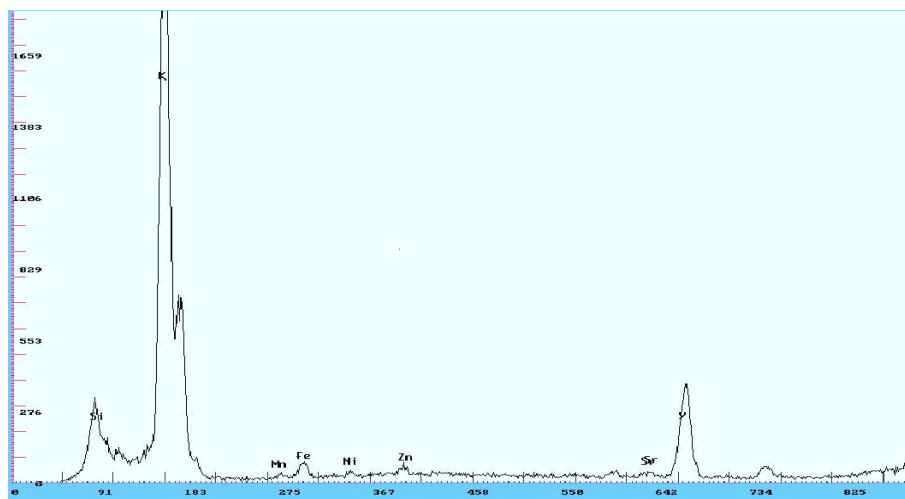
### 11.3.1 Espectro multielemental: Curva de calibración



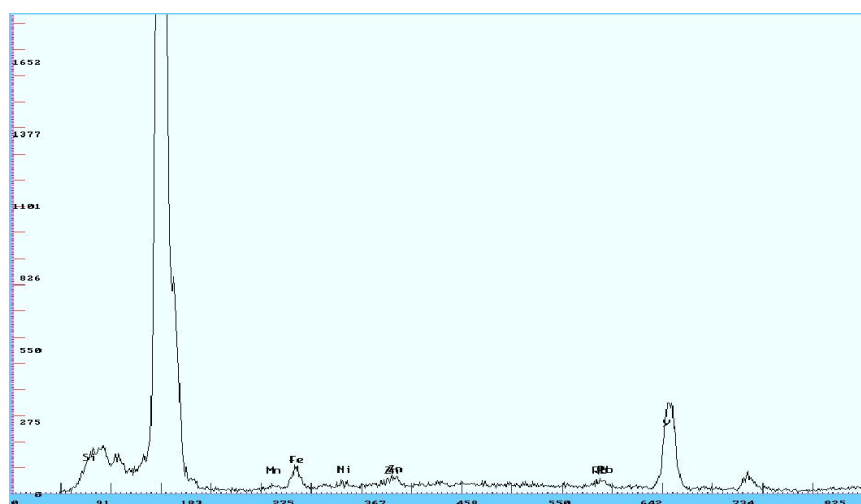
### 11.3.2 Espectro de Cebolla (*Allium cepa* L.)



### 11.3.3 Espectro de Zanahoria (*Daucus carota L.*)

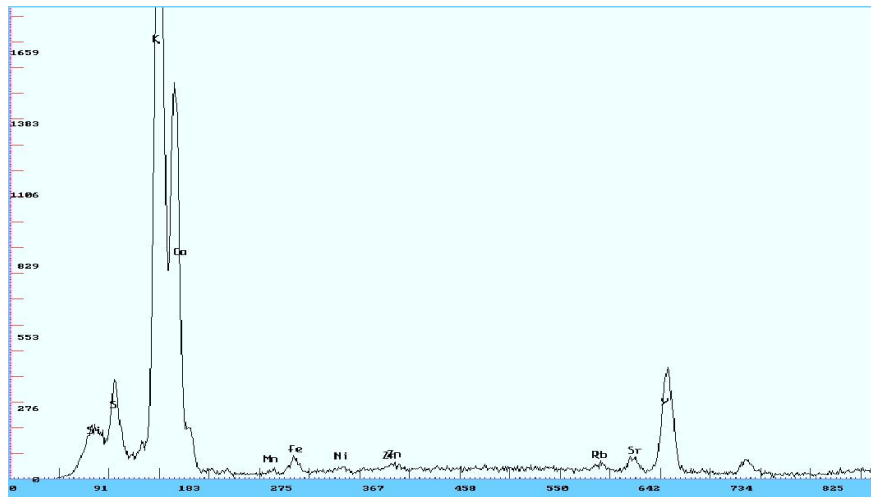


### 11.3.4 Espectro de Remolacha (*Beta vulgaris L.*)

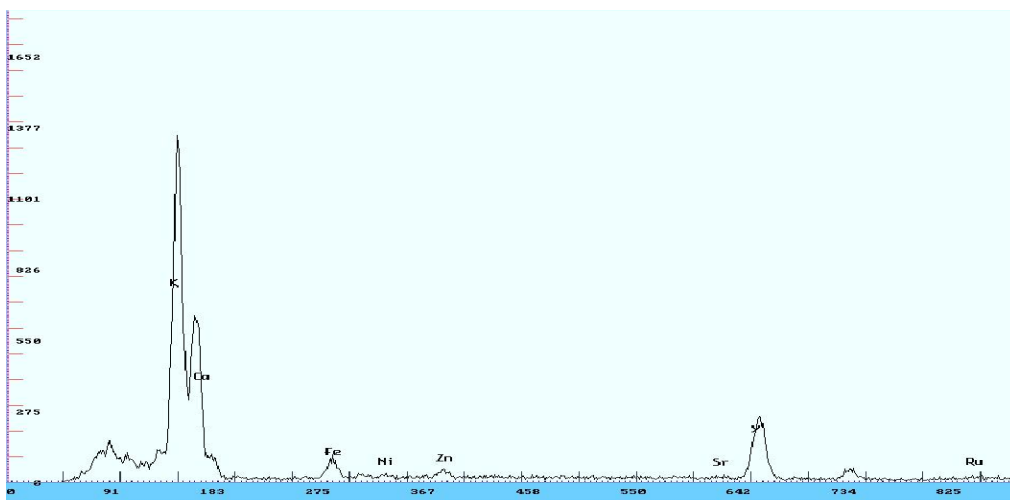




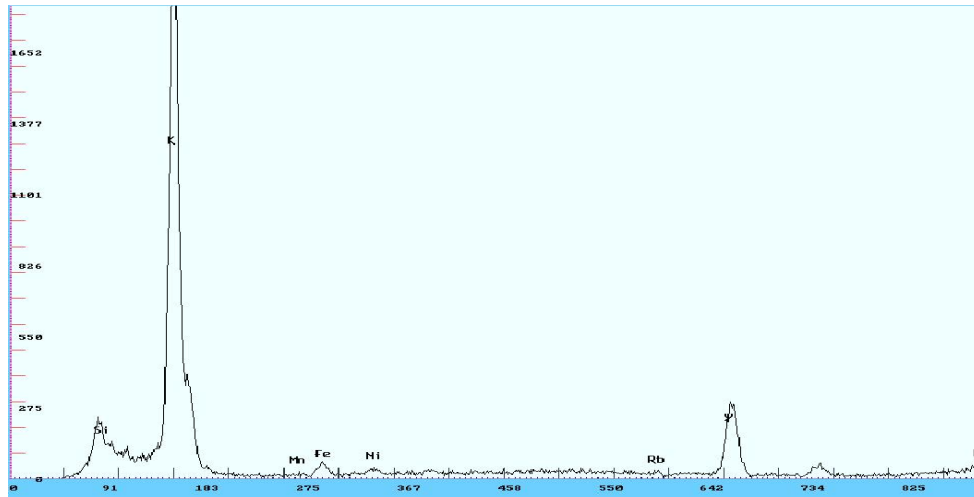
### 11.3.5 Espectro de Repollo (*Brassica oleracea L.*)



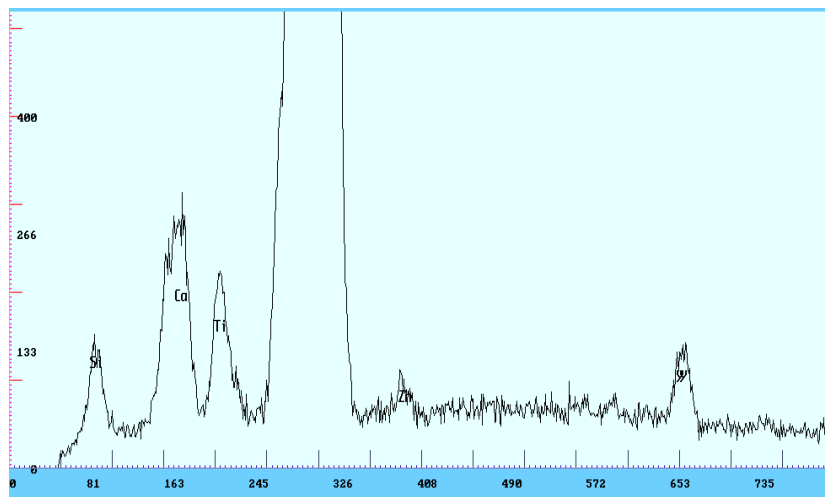
### 11.3.6 Espectro de Ejote (*Phaseolus vulgaris L.*)



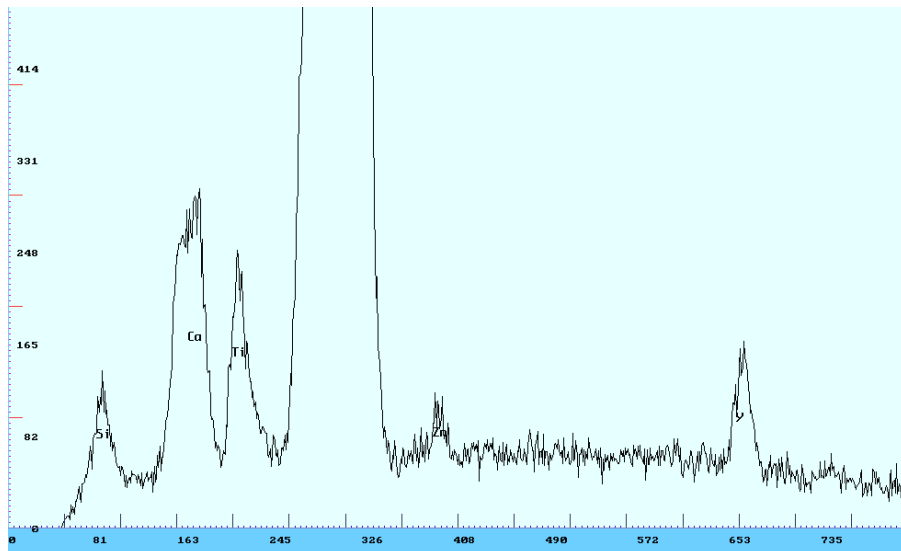
### 11.3.7 Espectro de Papa *Solanum tuberosum* L.



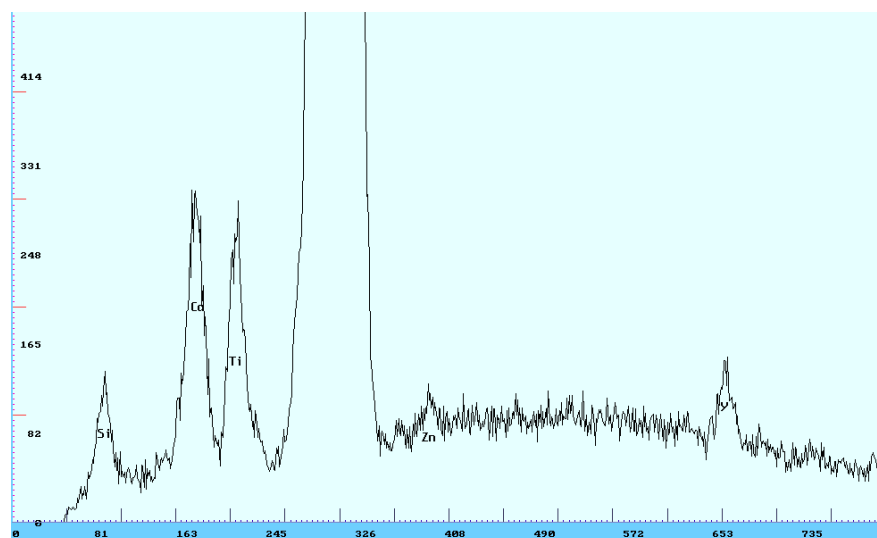
### 11.3.8 Espectro Suelo 1, Caserío los Castros (Papa)



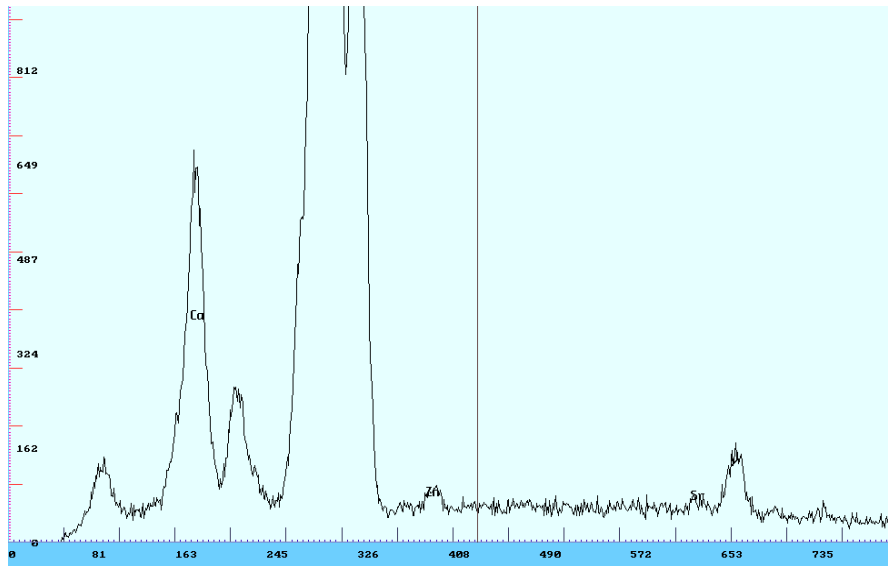
### 11.3.9 Espectro Suelo 2, Caserío los Castros (Zanahoria)



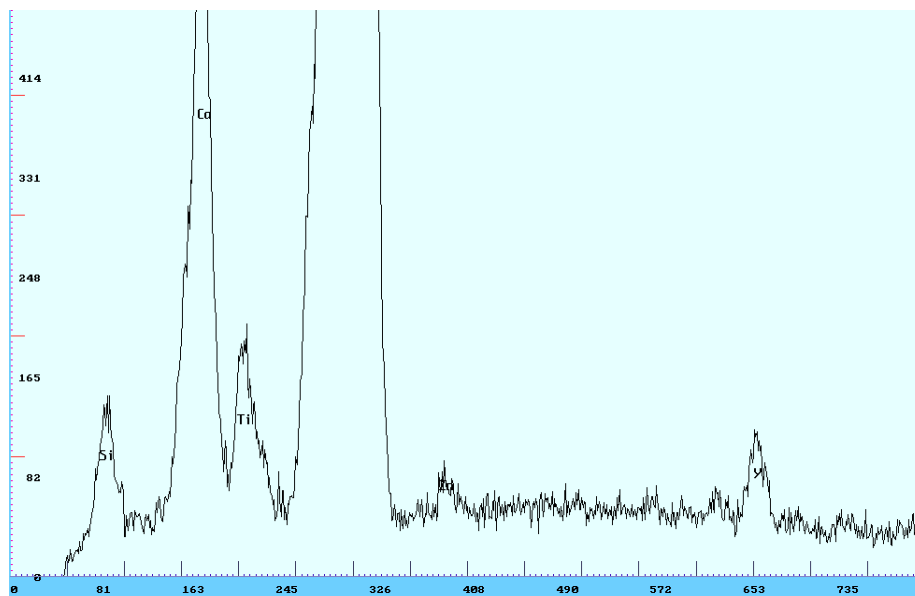
### 11.3.10 Espectro Suelo 3, Cantón el Tablón (Repollo)



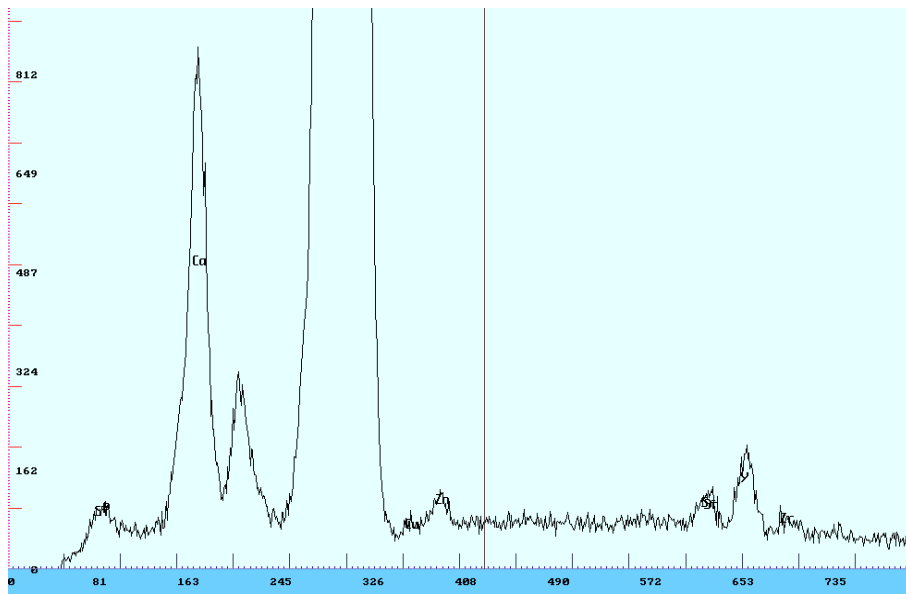
### 11.3.11 Espectro Suelo 4, Caserío Pancà (Cebolla)



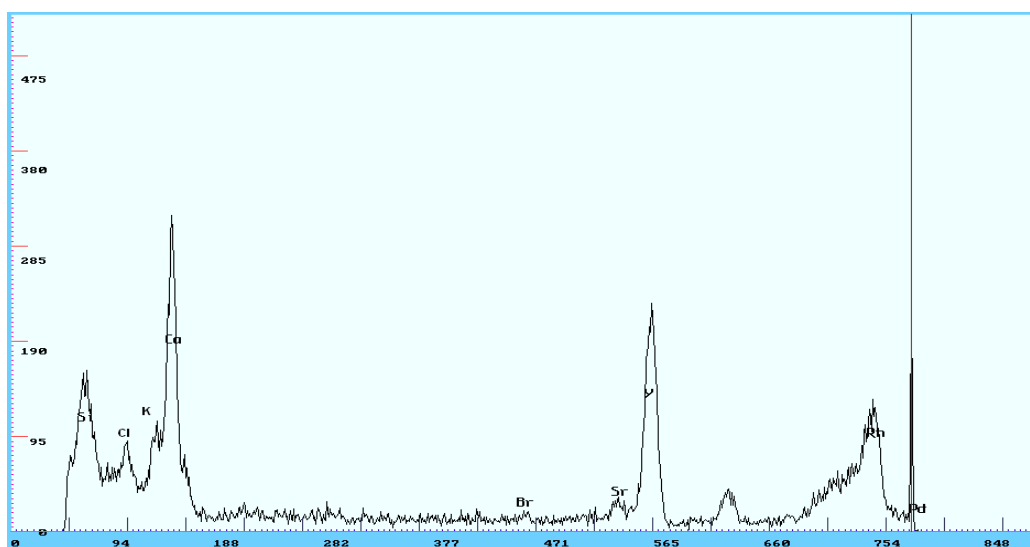
### 11.3.12 Espectro Suelo 5, Caserío Pancà (Remolacha)



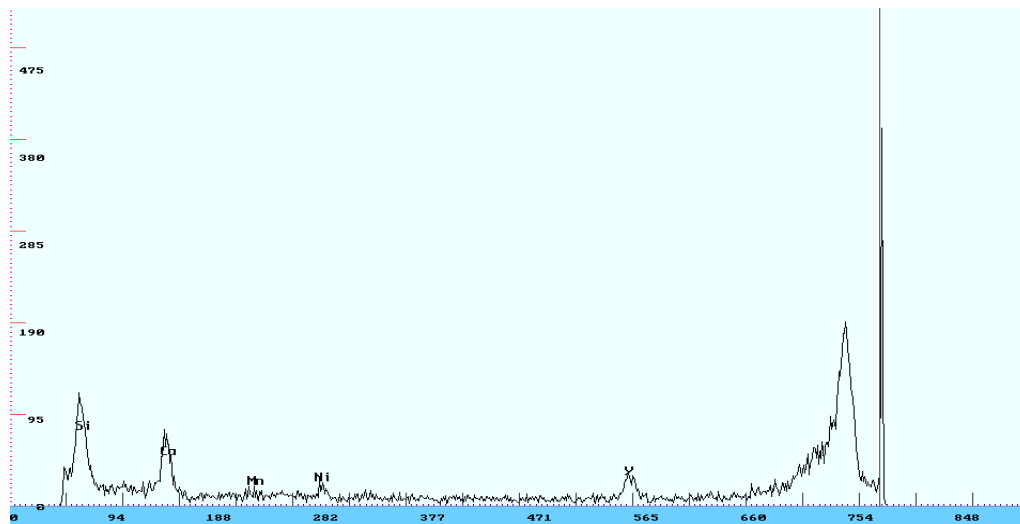
### 11.3.13 Espectro Suelo 6, San Bartolo (Ejote)



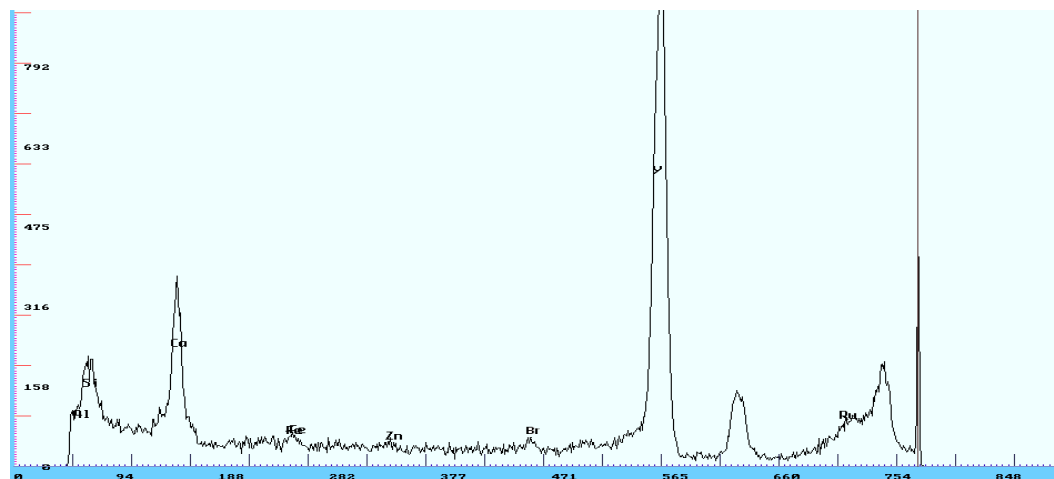
### 11.3.14 Espectro de Agua 1 (Zanahoria y Papa)



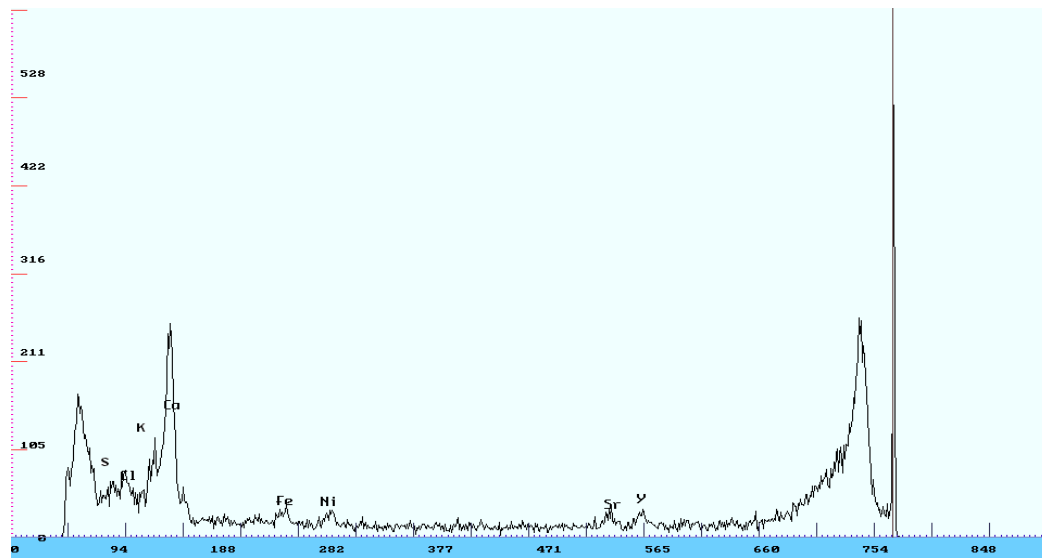
### 11.3.15 Espectro de Agua 2 (Repollo)



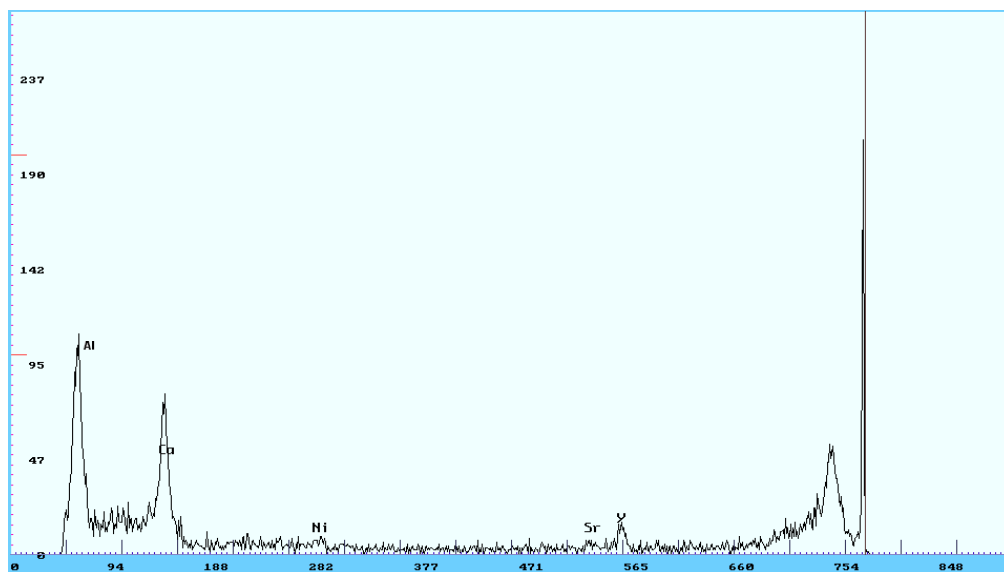
### 11.3.16 Espectro de Agua 3 (Cebolla)



### 11.3.17 Espectro de Agua 4 (Remolacha)



### 11.3.18 Espectro de Agua 5 (Ejote)



Carmen Elena Enríquez Chuc

Autora

Carlos Rolando Palencia Juárez

Autor

Licda. Sully Cruz Velásquez

Asesora

Licda. Aylín Santizo Juárez

Revisora

Licda. Lucrecia Martínez de Haase

Directora de Escuela

Química Farmacéutica

Ph.D. Óscar Cobar Pinto

Decano