

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**



**DETERMINACION DE METALES PESADOS (plomo y arsénico) Y
OLIGOELEMENTOS (hierro, cobre y zinc) EN HOJAS DE *Crotalaria
longirostrata* (CHIPILIN) POR EL METODO DE ABSORCION ATOMICA**

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

**KRISCIA BEATRIZ ANAYA RODRIGUEZ
JONATAN BALMORE SOLANO RODRIGUEZ**

**PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIADO(A) EN QUIMICA Y FARMACIA**

SEPTIEMBRE, 2016

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO

LIC. JOSE LUIS ARGUETA ANTILLON

SECRETARIA GENERAL

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANO

LIC. SALVADOR CASTILLO AREVALO

SECRETARIO

MAE. ROBERTO EDUARDO GARCIA ERAZO

DIRECCION DE PROCESOS DE GRADUACION

DIRECTORA GENERAL

MSc. Cecilia Haydee Gallardo de Velásquez

TRIBUNAL EVALUADOR

COORDINADORA DEL AREA DE QUIMICA AGRICOLA

MAE. María Elisa Vivar de Figueroa

MSc. Ena Edith Herrera Salazar

DOCENTES ASESORES

Dr. Marvin José Núñez Rivas

Lic. M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares

Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Núñez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a **Dios** permitirnos concluir esta etapa de nuestras vidas, por acompañarnos, cuidarnos y guiarnos en todo momento.

A **nuestros padres, hermanos/as, familia y amigos** quienes nos animaron, apoyaron e impulsaron para alcanzar esta meta.

A nuestros docentes asesores **Dr. Marvin José Núñez Rivas, Lic. M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares, Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Núñez** quienes consideramos componentes indispensables para el desarrollo de este proyecto; por guiarnos en este trabajo de investigación, brindarnos su tiempo, dedicación, interés y conocimientos para que lográramos culminarlo.

Al equipo del Laboratorio de Investigación en Productos Naturales de la Facultad de Química y Farmacia **Dr. Marvin José Núñez Rivas, MSc. Morena Lizette Martínez de Díaz, MAe. Ana Miriam Santamaría de Campos, Licda. Rina Antonieta Toledo Mendoza y Lic. Juan Pablo Sánchez Pérez** quienes han demostrado ser increíbles personas y docentes, gracias infinitas por su valiosa ayuda y apoyo cada vez que lo necesitamos, por compartir con nosotros sus conocimientos, experiencias, sabiduría y por depositar su confianza en nosotros. Agradecemos el apoyo y conocimiento que nos brindaron en el Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas en especial al equipo de trabajo de **Lic. Fredi Carranza, Licda. Lorena de Torres, Ing. Flor de María López, Ing. Juan Milton Flores y Lic. Norbis Solano.**

Directora General de Procesos de Graduación **M. Sc. Cecilia Gallardo de Velázquez** y a las Coordinadoras de área **MAe. María Elisa Vivar de Figueroa**

y **MSc. Ena Edith Herrera Salazar**, por el tiempo y esfuerzo que dedicaron a examinar, evaluar y corregir nuestro trabajo de graduación.

A todos los **docentes de la Facultad de Química y Farmacia** porque han sido parte de nuestra formación académica, así como a los **laboratoristas** y al **personal administrativo** quienes atentamente nos orientaron cuando lo requerimos.

Al Director de la Escuela de Matemáticas **Dr. Nerys Funes** por el tiempo que nos brindó y su valiosa ayuda.

Al **Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”** y **su personal** por su colaboración durante el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de graduación.

Kriscia Anaya Rodríguez
Jonatan Solano Rodríguez

DEDICATORIA

A **Dios** por ser mi guía en todo momento, porque sus planes son perfectos y por su gracia estoy culminando esta etapa de mi vida.

A mis padres **Ernesto Anaya y Lorena Rodríguez** porque han sido mi motor y me han impulsado a alcanzar mis metas.

A mi hermana mayor, porque me ha apoyado y me ha brindado su mano cada vez que lo he necesitado y a mis princesitas quienes a pesar de la distancia me motivan a seguir adelante.

A **mi abuelita** quien ha sido como una segunda madre dándome su amor, palabras de aliento, consejos y sus cuidados.

A toda **mi familia** por su comprensión, amor, apoyo y por estar pendientes; pues son una pieza fundamental en mi vida.

A mi amiga de toda la vida, quien ha sido un gran apoyo en todo momento, por su compañía, respaldo y por darme ánimos durante este tiempo.

A mi compañero de tesis, quién confió en mí para desarrollar este trabajo de investigación.

“Todo tiene su tiempo, y todo lo que se quiere debajo del cielo tiene su hora”

Eclesiastés 3:1

Kriscia Anaya Rodríguez

DEDICATORIA

Agradezco primeramente a **Dios** porque todo lo que soy, lo que he alcanzado y lo que tengo se lo debo a Él.

A mi mamá por los sacrificios hechos para sacarme adelante y hacer de mí la persona que soy hoy en día, por el apoyo y amor incondicional, muchísimas gracias.

A mi familia por el apoyo y la ayuda incondicional que siempre me han brindado, por creer en mí en todo momento.

A todos los que creyeron en mí, y que siempre me ofrecieron su apoyo y confianza, ahora les dedico el fruto de tantos años de estudio y esfuerzo.

A mis amigos(as) que siempre estuvieron conmigo y apoyaron en la realización de mi trabajo de graduación

Jonatan Solano Rodríguez

INDICE

	Pág.
Resumen	
Capítulo I	
1.0 Introducción	xxv
Capítulo II	
2.0 Objetivos	
Capítulo III	
3.0 Marco teórico	30
3.1 Género <i>Crotalaria</i>	30
3.1.1 Generalidades del género <i>Crotalaria</i>	30
3.2 Especie <i>Crotalaria longirostrata</i> Hook & Arn	31
3.2.1 Información taxonómica	31
3.2.2 Nombres comunes de <i>Crotalaria longirostrata</i>	32
3.2.3 Descripción botánica	32
3.2.4 Distribución geográfica de <i>C. longirostrata</i>	33
3.2.5 Composición química de la parte comestible de <i>C. longirostrata</i> según tablas del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá	34
3.2.6 Particularidades del cultivo de <i>C. longirostrata</i>	35
3.2.7 Usos principales de <i>C. longirostrata</i>	40
3.2.8 Condiciones edáfica climáticas de <i>C. longirostrata</i>	40
3.2.9 Fenología de <i>C. longirostrata</i>	41
3.3 Buenas prácticas Agrícolas (BPA)	41
3.3.1 Generalidades de las BPA	41

3.3.2	Objetivo de las BPA	41
3.3.3	Tipos de riesgos potenciales de contaminación de cultivos	42
3.3.4	Aspectos a considerar en el cultivo según las BPA	42
3.3.5	Manejo de agroquímicos en cultivos	45
3.3.6	Utilización de plaguicidas en el área agrícola	46
3.3.7	Utilización de fertilizantes en el área agrícola	47
3.3.8	Residuos de plaguicidas y fertilizantes en alimentos	49
3.4	Metales pesados	50
3.4.1	Generalidades de metales pesados.	50
3.4.2	Contenido natural de metales pesados en el suelo	51
3.4.3	Contenido de metales pesados en suelos agrícolas	52
3.4.4	Contenido natural de metales pesados en agua	53
3.4.5	Transporte de metales pesados en vegetales	55
3.4.6	Efectos tóxicos de los metales pesados en plantas	56
3.5	Plomo	58
3.5.1	Generalidades del plomo	58
3.5.2	Fuentes naturales de plomo	58
3.5.3	Concentración natural de plomo en suelo	59
3.5.4	Concentración natural de plomo en agua	59
3.5.5	Efecto del plomo en plantas	60
3.5.6	Toxicidad del plomo en el ser humano	60
3.6	Arsénico	63
3.6.1	Generalidades del arsénico	63
3.6.2	Fuentes naturales de arsénico	63
3.6.3	Concentración natural de arsénico en suelo	64
3.6.4	Concentración natural de arsénico en agua	64
3.6.5	Efecto del arsénico en plantas	64
3.6.6	Aporte y toxicidad del arsénico en el ser humano	65
3.7	Minerales	66
3.7.1	Generalidades	66
3.7.2	Clasificación de los minerales	67

3.7.3 Fuentes alimentarias de minerales esenciales	68
3.8 Oligoelementos	68
3.8.1 Generalidades.	68
3.8.2 Clasificación de oligoelemento	70
3.9 Cobre	70
3.9.1 Generalidades del cobre	70
3.9.2 Fuentes naturales de cobre	71
3.9.3 Concentración natural de cobre en suelo	71
3.9.4 Concentración natural de cobre en agua	71
3.9.5 Efecto de cobre en plantas	72
3.9.6 Toxicidad del cobre en el ser humano.	72
3.10 Hierro	74
3.10.1 Generalidades del hierro	74
3.10.2 Fuentes naturales de hierro	74
3.10.3 Concentración natural de hierro en el suelo	75
3.10.4 Concentración natural de hierro en agua	75
3.10.5 Efectos del hierro en las plantas	75
3.10.6 Toxicidad del hierro en el ser humano.	76
3.11 Zinc	76
3.11.1 Generalidades.	76
3.11.2 Fuentes naturales de zinc.	77
3.11.3 Concentración natural de zinc en el suelo.	77
3.11.4 Concentración natural de zinc en el agua.	78
3.11.5 Efecto del zinc en plantas.	78
3.11.6 Toxicidad del zinc en el ser humano	78
3.12 Contaminantes en hortalizas	79
3.12.1 Nivel máximo de determinados contaminantes permitido en productos alimenticios	79
3.12.2 Plantas hiperacumuladoras de metales pesados	80
3.12.3 Metales pesados en el género <i>Crotalaria</i> .	81
3.13 Métodos utilizados para la determinación de metales pesados.	82

3.13.1 Generalidades	82
3.13.2 Espectrofotometría de absorción atómica (EAA)	83
Capítulo IV	
4.0 Diseño metodológico	95
4.1 Tipo de Estudio	95
4.2 Investigación Bibliográfica	95
4.3 Investigación de Campo	96
4.3.1 Ubicación de la recolección del material vegetal	96
4.3.2 Recolección de muestras foliares en plantación de <i>Crotalaria longirostrata</i>	96
4.3.3 Recolección de información sobre el manejo del cultivo de <i>C. longirostrata</i>	98
4.4 Parte Experimental	100
4.4.1 Pretratamiento de las muestras	100
4.4.2 Preparación de Soluciones stock para plomo (Pb), arsénico (As), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn)	103
4.4.3 Preparación de Soluciones estándares para plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc para las curvas de calibración.	103
4.4.4 Procedimiento para la cuantificación de plomo y arsénico	105
4.4.5 Procedimiento para la cuantificación de hierro, cobre y zinc	106
4.4.6 Planteamiento de cálculos	108
4.4.7 Diseño estadístico	111
Capítulo V	
5.0 Resultados e interpretación de resultados	116
5.1 Resultados de las encuestas dirigidas a productores y Técnicos ó Ingenieros Agrónomos sobre el cultivo de <i>Crotalaria longirostrata</i>	

(Chipilín) seleccionados.	116
5.2 Resultados del análisis de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc en las muestras de <i>Crotalaria longirostrata</i> (Chipilín)	118
5.2.1 Resultados del análisis de plomo en las muestras de <i>C. longirostrata</i>	118
5.2.2 Resultados del análisis de arsénico en las muestras de <i>C. longirostrata</i>	126
5.2.3 Resultados del análisis de hierro en las muestras de <i>C. longirostrata</i>	133
5.2.4 Resultados del análisis de cobre en las muestras de <i>C. longirostrata</i>	141
5.2.5 Resultados del análisis de zinc en las muestras de <i>C. longirostrata</i>	148
5.3 Análisis estadístico	155
5.4.1 Resultados análisis de varianza (ANOVA) para plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc en las muestras de <i>Crotalaria longirostrata</i>	157
5.4.2 Pruebas post hoc: Diferencia mínima significativa (DMS) y Bonferroni	159
Capítulo VI	
6.0 Conclusiones	164
Capítulo VII	
7.0 Recomendaciones	167
Glosario	
Bibliografía	
Anexos	

INDICE DE ANEXOS

ANEXO N°

1. Composición de alimentos en 100 g de porción comestible según tablas del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá: hojas y punta de “Chipilín”.
2. Fuentes naturales y antrópicas de elementos metálicos como contaminantes ambientales.
3. Niveles máximos tolerables de ingestión y niveles máximos establecidos (en hortalizas de hoja) para plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc establecidos por JECFA - comité mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios y Codex Alimentarius.
4. Formato de encuestas, fichas informativas de los cultivos seleccionados y recopilación de información de los agroquímicos utilizados en el cultivo de *Crotalaria longirostrata* (Chipilín).
5. Recolección y preparación de las muestras de *Crotalaria longirostrata* (Chipilín).
6. Materiales, cristalería, equipo, reactivos y preparación de reactivos para la determinación de plomo, arsénico, cobre, hierro y zinc.
7. Planteamiento de cálculos para la preparación de la solución stock de 20 ppm de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc y sus soluciones estándares.
8. Cascadas de dilución, esquemas de dilución para la preparación de las soluciones estándares y cálculos para la determinación de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc.
9. Esquemas para la preparación de las soluciones stock, soluciones estándares y la determinación de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc.

10. Fichas informativas de los cultivos de *C. longirostrata* visitados y productos agroquímicos utilizados para su tratamiento.
11. Listado de plaguicidas prohibidos en el salvador y composición de agroquímicos utilizados en el cultivo de *c. longirostrata*.
12. Clasificación y conceptos de suelos por división política de El Salvador: Departamentos Sonsonate y La Libertad.
13. Análisis de varianza de las concentraciones promedio de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc.

INDICE DE TABLAS

TABLA N°		Pág.
1.	Composición química de la parte comestible de <i>C. longirostrata</i> según tablas del INCAP.	35
2.	Nivel Máximo de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc permitido en hortalizas de hojas.]	80
3.	Concentraciones de plomo obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica en las muestras de <i>C. longirostrata</i> .	119
4.	Resultados del análisis de plomo en las muestras de <i>C. longirostrata</i> recolectada.	123
5.	Concentración de arsénico obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.	126
6.	Resultados del análisis de arsénico en las muestras de <i>C. longirostrata</i> .	130
7.	Concentración de hierro obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.	134
8.	Resultados del análisis de hierro en las muestras de <i>Crotalaria longirostrata</i> .	137
9.	Concentración de cobre obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica	141
10.	Resultados del análisis de cobre en las muestras de <i>Crotalaria longirostrata</i> .	142
11.	Concentración de zinc obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.	148
12.	Resultados del análisis de zinc en las muestras de <i>Crotalaria longirostrata</i> .	151

13.	Resultados de la determinación de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc en hojas de <i>C. longirostrata</i> .	156
14.	Análisis de Varianza para las concentraciones promedio de plomo (Pb), arsénico (As), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn) en las muestras de <i>Crotalaria longirostrata</i> .	158
15.	Ejemplo de las comparaciones múltiples para las concentraciones promedio de plomo (Pb) por productor.	159

INDICE DE CUADROS

CUADRO N°		pág.
1.	Usos medicinales, culinarios y agrícolas de la especie <i>C. longirostrata</i> en El Salvador.	39
2.	Riesgos potenciales según la BPA.	42
3.	Clasificación de los plaguicidas según su toxicidad, según su vida media de efectividad y según la familia química.	48
4.	Tipo de sustancias presentes en aguas naturales.	54
5.	Carencia y sobredosis de algunos de los elementos esenciales en la dieta.	69
6.	Especies vegetales que presentan una actividad fitorremediadora.	82
7.	Codificación de los productores de <i>C. longirostrata</i> de acuerdo a los lugares de recolección de la muestra.	97

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		pág.
1.	Especies del género <i>Crotalaria</i> más importantes en la agricultura.	31
2.	Órganos de <i>C. longirostrata</i> Hook & Arn: (A) rama con hojas e inflorescencia, (B) flor, (C) frutos y (D) semillas.	32
3.	Distribución de <i>C. longirostrata</i> desde México hasta Costa Rica (países marcados con tachuelas moradas).	33
4.	Distribución de <i>C. longirostrata</i> en El Salvador. (Regiones resaltadas con tachuelas moradas).	34
5.	Etapas de producción agrícola de hortalizas y frutas donde existen riesgos potenciales de contaminación.	43
6.	Fuentes de metales pesados relacionadas con la agricultura.	45
7.	Tabla periódica de los elementos con anotaciones de relevancia en el estudio de elementos tóxicos.	51
8.	Estructura de la raíz vegetal. Se detallan con flechas las vías de absorción por la raíz: Apoplástica y Simplástica.	57
9.	Tabla periódica de los elementos esenciales de la dieta.	68
10.	Diagrama típico del quemador en Espectroscopia de Absorción Atómica con llama.	85
11.	Diagrama de Absorción Atómica atomizador sin llama o cámara de grafito.	86
12.	Método de Adición de Estándar.	88
13.	Método Simple de Adición de Estándar.	88
14.	Diagrama de Absorción Atómica Generador de Hidruro.	89

15.	Componentes básicos de un equipo de EAA	91
16.	Puntos de muestreo en forma de zigzag para la recolección del material vegetal	98
17.	Agroquímicos utilizados por los productores en el cultivo de Chipilín	116
18.	Productos agroquímicos recomendados en los AgroserVICIOS visitados	117
19.	Gráfica de resultados del análisis de plomo en <i>C. longirostrata</i> (Chipilín) por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito	122
20.	Gráfica de resultados del análisis de arsénico en <i>C. longirostrata</i> (Chipilín) por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generador de Hidruro	133
21.	Gráfica de resultados del análisis de hierro en <i>C. longirostrata</i> (Chipilín) por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama	140
22.	Gráfica de resultados del análisis de cobre en <i>C. longirostrata</i> (Chipilín) por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama	147
23.	Gráfica de resultados del análisis de zinc en <i>C. longirostrata</i> (Chipilín) por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama	155
24.	Diferencia significativa según las pruebas de comparación DMS y Bonferroni entre los lugares de recolección de resultados del análisis de arsénico	161

ABREVIATURAS

BPA:	Buenas Prácticas Agrícolas.
CIIC:	Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (Organización Internacional).
CENTA:	Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, Enrique Álvarez Córdoba de El Salvador.
EAA:	Espectrofotometría de Absorción Atómica.
ENA:	Escuela Nacional de Agricultura de El Salvador
EPA:	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
FAAS:	Espectrofotometría de absorción atómica con Llama.
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
GFAAS:	Espectrofotometría de absorción atómica en Horno de Grafito.
HGAAS:	Espectrofotometría de absorción atómica con Generación de Hidruros.
INCAP:	Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá.
ISTP:	Ingesta semanal tolerable provisional.
OMS:	Organización Mundial de la Salud.

SIMBOLOGÍAS

cm	Centímetro
cm³	Centímetro cúbico
dL	Decilitro
g	Gramos
ha	Hectárea
Kg	Kilogramo
L	Litro
m	Metro
mL	Mililitro
mg	Miligramos
mm	Milímetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mz	Manzana (medida de área)
µg	Microgramo

RESUMEN

Las frutas y las verduras son componentes esenciales de una dieta saludable, y un consumo diario suficiente podría contribuir a la prevención de enfermedades importantes debido al aporte nutricional que nos brindan; por ello es primordial conocer su calidad e inocuidad; como se sabe *Crotalaria longirostrata* conocido comúnmente como Chipilín es una de las hortalizas que desde hace mucho tiempo se ha utilizado en la preparación de diversos platillos en nuestro País.
(48)(40)

Por tanto la presente investigación tuvo como finalidad analizar esta especie vegetal cultivada en la zona Central y Occidental del territorio salvadoreño; para ello, se llevó a cabo una investigación de campo visitando los Municipios de Colón y Ciudad Arce ubicados en el Departamento de la Libertad; y los Municipios de Izalco y Nahuizalco, ambos pertenecientes al Departamento de Sonsonate; donde se recolectaron las muestras (hojas de *C. longirostrata*); así mismo se elaboraron encuestas dirigidas a Técnicos ó Ingenieros agrónomos que laboraran en Agroservicios de mayor afluencia en el país y a los productores de los cultivos seleccionados; con la finalidad de conocer los productos agroquímicos aplicados al tratamiento del cultivo de esta hortaliza.

Además se realizó un análisis químico e instrumental para determinar elementos metálicos como metales pesados (plomo y arsénico) y oligoelementos (hierro, cobre y zinc) utilizando las técnicas de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA):

- Horno de grafito para plomo.
- Generador de Hidruros para arsénico.
- Llama para hierro, cobre y zinc.

Los resultados se compararon con los límites máximos establecidos por la normativa de JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius; y se evaluaron estadísticamente a través del análisis de varianza de un factor (ANOVA), las pruebas de comparación DMS y Bonferroni; para evaluar el comportamiento de los datos experimentales obtenidos en el análisis.

Según los resultados obtenidos se encontraron trazas de plomo y arsénico en algunas muestras analizadas; así como un alto contenido de hierro, cobre y zinc en todas las muestras de *C. longirostrata*, por lo tanto, al ser esta una investigación preliminar se recomienda que se analicen muestras de suelos, agua de riego y otros cultivos de *C. longirostrata* ubicados en diversas zonas geográficas de El Salvador; con la finalidad de evaluar la calidad de las distintas hortalizas de esta especie vegetal existentes en el país.

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.0 INTRODUCCION

Tanto las frutas como las hortalizas forma parte fundamental en nuestra alimentación ya que son una excelente opción en una dieta saludable, su beneficiosa aportación a la salud se hace cada día más evidente; las hortalizas nos proveen de vitaminas, minerales e incluso fibra lo que favorece la digestión.

Pero para ello todas las plantas necesitan tomar del suelo ciertos nutrientes importantes para su metabolismo; sin embargo si el suelo está contaminado quedan expuestas a absorber estos elementos tóxicos perjudiciales para su desarrollo y para quienes las consuman. Por esta razón el conocer la calidad de estos alimentos es de suma importancia. (1)(15)

Por tal motivo en el presente trabajo se analizó *Crotalaria longirostrata* (Chipilín) especie vegetal perteneciente a la familia de las Fabaceae; ya que esta hortaliza ha sido utilizada desde hace mucho tiempo en la preparación de diversos platillos típicos por el aporte nutricional de sus hojas y además en la actualidad ha llegado a formar parte del comercio de plantas salvadoreñas.

El estudio comprendió de una investigación de campo, en la cual se recolectaron las muestras del material vegetal (hojas de *C. longirostrata*) visitando los Municipios de Colón y Ciudad Arce ubicados en el Departamento de la Libertad; y los Municipios de Izalco y Nahuizalco pertenecientes al Departamento de Sonsonate.

Así mismo se elaboraron encuestas dirigidas a Técnicos e Ingenieros agrónomos que laboran en Agroservicios de mayor afluencia en el país y a los productores de cada cultivo seleccionado; con la finalidad de conocer los productos agroquímicos aplicados al tratamiento del cultivo de esta hortaliza.

La parte experimental de la investigación comprendió de muestreo y análisis químico e instrumental para la determinación de metales pesados (plomo, arsénico) y oligoelementos (hierro, cobre y zinc); aplicando el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica vía seca por sus tres técnicas: Espectroscopia de Llama para hierro, cobre y zinc; Horno de grafito para plomo y Generador de Hidruros para arsénico. La parte experimental fue desarrollada en el periodo comprendido entre febrero y octubre del año 2015 en el Laboratorio de Investigación en Productos Naturales de la Facultad de Química y Farmacia y en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas ambos de la Universidad de El Salvador. La investigación ha sido realizada desde enero de 2015 hasta julio de 2016.

Los resultados obtenidos en la determinación de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc se tabularon y compararon con la normativa de JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius; la evaluación de los resultados se realizó a través del análisis de varianza de un factor (ANOVA), las pruebas de comparación DMS (diferencia mínima significativa) y Bonferroni utilizando el programa SPSS Statistics 18.

La investigación revela que las muestras analizadas de la especie vegetal *C. longirostrata* (Chipilín) presentan trazas de plomo y arsénico, así como un alto contenido de hierro, cobre y zinc; por lo tanto, al ser esta una investigación preliminar se recomienda que se analicen muestras de suelos, agua de riego y otros cultivos de *C. longirostrata* para evaluar la calidad de las distintas hortalizas existentes en el país, al mismo tiempo un estudio enfocado al ámbito alimenticio y nutricional donde se determine la cantidad de hojas que brinden un adecuado aporte de nutrientes al organismo.

CAPITULO II
OBJETIVOS

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar metales pesados (plomo y arsénico) y oligoelementos (hierro, cobre y zinc) en hojas de *Crotalaria longirostrata* (Chipilín) por el método de Absorción Atómica.

2.2 Objetivo específicos

- 2.2.1 Elaborar dos encuestas para conocer la aplicación, frecuencia y dosis de agroquímicos utilizados en los cultivos de *Crotalaria longirostrata* (Chipilín) seleccionados.
- 2.2.2 Cuantificar metales pesados (plomo y arsénico) y oligoelementos (hierro, cobre y zinc) en hojas de la especie vegetal *Crotalaria longirostrata* por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- 2.2.3 Comparar los resultados obtenidos del análisis con los límites establecidos por JECFA - Comité Mixto FAO/OMS para hortalizas de hojas.
- 2.2.4 Realizar análisis de varianza para comprobar si existe diferencia significativa en las concentraciones de metales pesados (plomo y arsénico) y oligoelementos (hierro, cobre y zinc) en las hojas de la especie vegetal *Crotalaria longirostrata* según el lugar de recolección.

CAPITULO III
MARCO TEORICO

3.0 MARCO TEORICO

3.1 Género *Crotalaria*

3.1.1 Generalidades del género *Crotalaria*

El género *Crotalaria*, perteneciente a la Familia de las Fabaceae, Subfamilia Faboideae o Papilionoideae, incluye alrededor de 600 especies de *Crotalaria*, que provienen mayormente de las regiones tropicales del planeta y unas 500 especies son nativas de África.

En América se conocen 89 especies (Ver **Figura N° 1**) las cuales presentan una amplia tolerancia de condiciones climáticas y edáficas, limitadas por aridez y frío en extremo. (18)(30)

Las especies de *Crotalaria* tienen considerable valor como alimento, forraje, ensilaje, abono verde, fuente de fibras, cobertura del suelo en el control de erosión y ornamentales. (17)(30)(62)

A nivel mundial, algunas de las especies más importantes para la agricultura como cultivos son las siguientes:

- *Crotalaria grantiana* Harv.
- *Crotalaria juncea* L.
- *Crotalaria longirostrata* Hook & Arn.
- *Crotalaria micans* Link.
- *Crotalaria mucronata* Desv.
- *Crotalaria retusa* L.
- *Crotalaria spectabilis* Roth

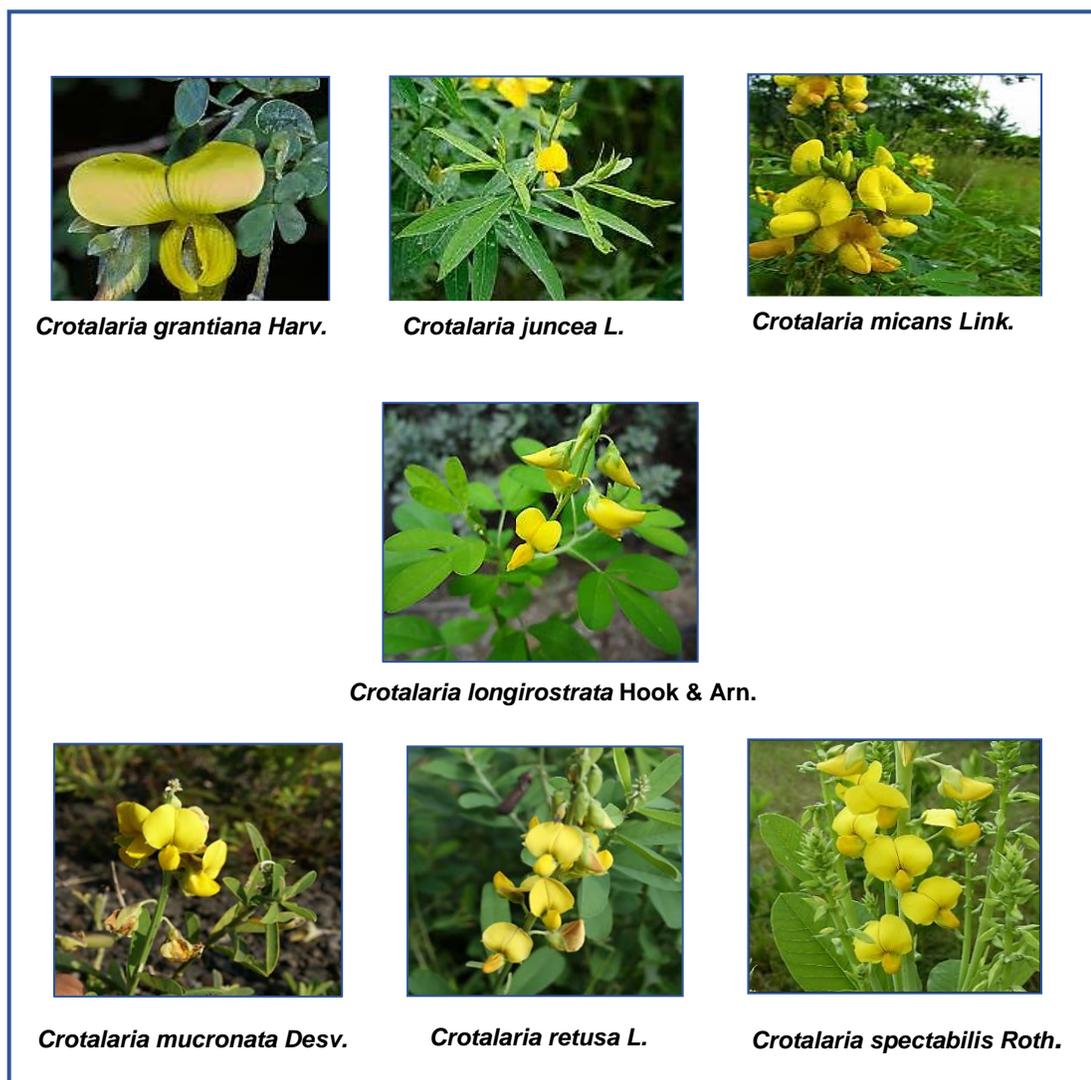


Figura N° 1. Especies del género *Crotalaria* más importantes en la agricultura.
(17)(18)

3.2 Especie *Crotalaria longirostrata* Hook & Arn.

3.2.1 Información taxonómica (17)(18)

- **Reino:** *Plantae*
- **División:** *Magnoliopsida*
- **Subclase:** *Rosidae*

- **Familia:** *Fabaceae*
- **Subfamilia:** *Faboideae*
- **Tribu:** *Crotalarieae*
- **Género:** *Crotalaria*
- **Especie:** *C. longirostrata* Hook & Arn., 1838

3.2.2 Nombres comunes de *Crotalaria longirostrata*

Chipilín (Honduras, El Salvador y Costa Rica), Chipile (El Salvador), Quiebraplato (Costa Rica), Tcap-in y chop (Guatemala). (18)(32)

3.2.3 Descripción botánica

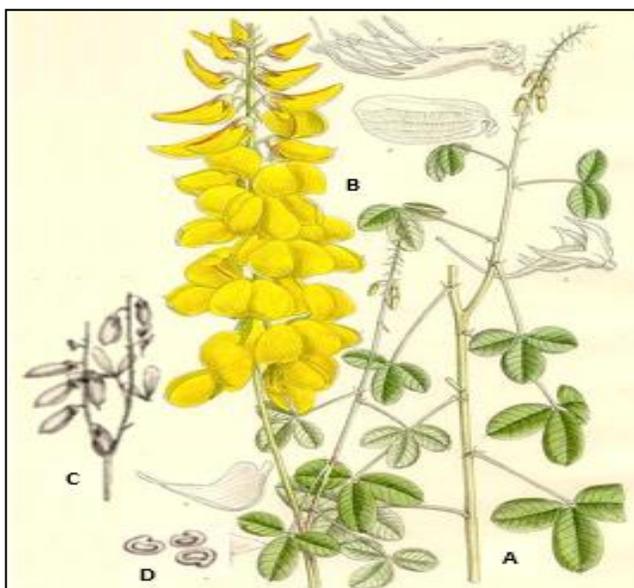


Figura N° 2. Órganos de *C. longirostrata* Hook & Arn: (A) rama con hojas e inflorescencia, (B) flor, (C) frutos y (D) semillas. (17)(18)

Arbusto hasta 1.5 m de altura, el tallo es recto y se ramifica abundantemente, hojas compuestas por tres hojas pequeñas de forma ovalada color verde, oscuro en la cara superior y verde claro en el envés, alternas, pecioladas,

folíolos de 1–3.8 x 0.5–2.5 cm, elípticos, el ápice obtuso, la base aguda, márgenes enteros, glabras. (Ver **Figura N° 2**). (17)(18)(32)

Inflorescencias espigas terminales, con muchas flores de forma amariposada, amarillas y con manchas rojas, pediceladas, lóbulos de los sépalos de 3–5 x 1.5–2 mm, estandarte de 11–16 x 8–10 mm, alas de 11–14 x 4–5 mm, quilla de 12–16 x 8–11 mm, agrupadas en la punta de las ramas. Frutos legumbres, de 1.8–1.9 cm de largo, pubescentes, café cuando maduras, con varias semillas de forma de riñón, cilíndrica y que al madurar presenta dehiscencia explosiva.

3.2.4 Distribución geográfica de *C. longirostrata*

El cultivo comúnmente se encuentra en campos y jardines, sobre las laderas de cerros, barrancas, cañadas húmedas, a los lados de corrientes de agua, en suelos profundos o rocosos, sabanas, en bosque caducifolio mixto, abundante en bosque de pino-encino entre los 1000-2200 m de altitud.



Figura N° 3. Distribución de *C. longirostrata* desde México hasta Costa Rica (países marcados con tachuelas moradas). (17)(32)(69)

Esta planta se encuentra relativamente bien distribuida en (Ver **Figura N° 3**):

- **Norteamérica:** México.
- **Centroamérica:** Costa Rica, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Guatemala y Panamá. (17)(32)

En el territorio nacional actualmente no existe una distribución geográfica específica de su cultivo pues se encuentra ampliamente distribuida en todo el país (Ver **Figura N° 4**).

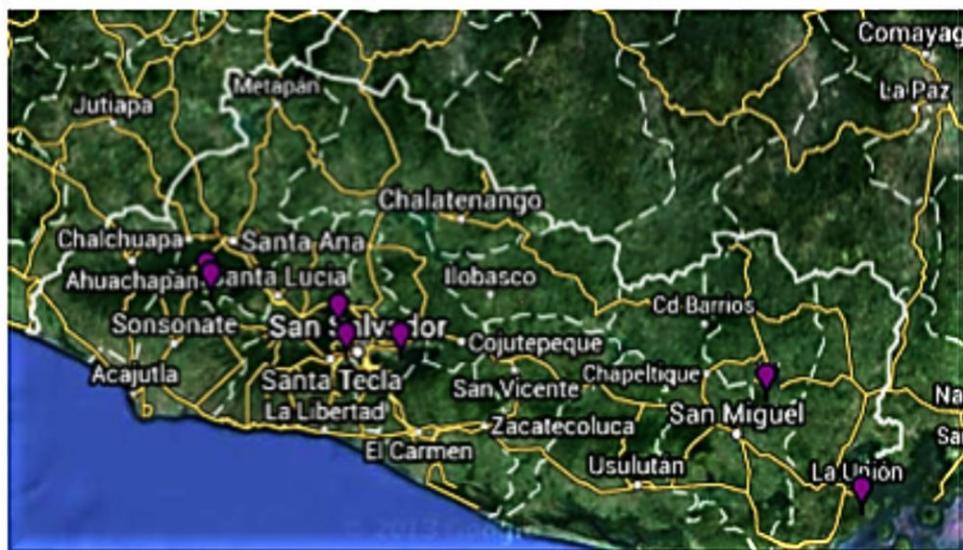


Figura N° 4. Distribución de *C. longirostrata* en El Salvador. (Regiones resaltadas con tachuelas moradas). (17)(32)(69)

3.2.5 Composición química de la parte comestible de *C. longirostrata* según tablas del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (Ver Anexo N° 1).

Según las tablas del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá cada 100 gramos de hojas de *C. longirostrata* presenta siete componentes nutricionales. (Ver **Tabla N° 1**)

Tabla N° 1. Composición química de la parte comestible de *C. longirostrata* según tablas del INCAP. (17)(44)

Componente	Porcentaje o cantidad por 100 g
agua	81.6 %
proteína	7.00 g
grasa total	0.80 g
carbohidratos	9.10 g
fibra	3.24 g
ceniza	1.50 g
calcio	287 mg
fosforo	72.0 mg
hierro	4.70 mg
tiamina	0.33 mg
niacina	2.00 mg
riboflavina	0.49 mg
vitamina C	100 mg
vitamina A	667 µg

3.2.6 Particularidades del cultivo de *C. longirostrata*

A. Siembra

Es un cultivo de siembra directa y por trasplante, se puede sembrar en cualquier época del año, siempre que haya agua para su desarrollo. La topografía no es determinante para *C. longirostrata*, se ha observado su cultivo en laderas y hasta

vegas de los ríos, es necesaria la aplicación de materia orgánica por postura y al boleo según la disponibilidad. A nivel comercial hay poca experiencia en el manejo de áreas grandes, sin embargo algunos productores siembran intercalado con otros cultivos; tradicionalmente se siembra directo poniendo 3 a 5 semillas por postura, después se hacen raleos. Según la experiencia de pequeños productores, se utilizan 2.5 libras de semillas por manzana; con un distanciamiento de 0.90 a 1.20 metros entre surco y 0.30 a 0.40 metros entre planta. (18)(30)

B. Abonado

El abonado se hace para mejorar el crecimiento de la masa foliar, se recomienda hacer 2 aplicaciones al suelo aplicando 2 onzas por postura de abono orgánico compostado y 3 aplicaciones de abono foliar; se recomienda los biofertilizantes a base de frutas o estiércol de vaca, aplicando 2 litros por bomba de 4 galones. Este cultivo tiene la capacidad de mejorar la fertilidad del suelo, ya que es buen fijador de nitrógeno. (17)(30)(69)

C. Control de plagas

Las principales plagas del cultivo son: Gusanos cortadores (*Spodoptera sp*), Tortuguillas (*Diabrotica balteata* y *Cerotoma ruficornis*), Minadores (*Liriomyza sp.*), Mosca Blanca (*Bemisia tabaco*).

Para evitar el daño de las plagas antes descritas, se recomienda la aplicación de extractos botánicos de diferentes componentes entre lo que se recomienda el extracto de EM5 (200 cc por bomba con capacidad para 4 galones), extracto de Chile con Ajo (1 litro por bomba con capacidad para 4 galones) y extracto de Epacina con Ajo (1 litro por bomba de capacidad para 4 galones). (20)(30)(52)

D. Control de enfermedades

El desarrollo de enfermedades causadas por hongos, a menudo favorecidas por el clima fresco y húmedo, aunque es bastante resistente, cuando hay aparición, se recomienda aplicar caldos minerales en las siguientes dosis: caldo ceniza, 2 litros por bomba, caldo bordelés, 1 litro por bomba y caldo sulfocálcico, 200 cc por bomba de 4 galones. (20)(30)(52)

E. Control de malezas

Por el tamaño de las áreas sembradas con *C. longirostrata*, el control de malezas manual es el más recomendado. (20)(30)

F. Riego

Se practica solo cuando el terreno esté seco, cada 4-5 días puede ser suficiente; si el clima es particularmente seco se pueden acortar las frecuencias, regando cada 2 días, utilizando de 1-2 horas. Se aconseja regar en horas frescas para evitar la excesiva evapotranspiración. (17)(30)

G. Cosecha

Se recolecta durante la temporada de lluvia, que es cuando presenta mayor masa foliar y mejor rebrote, aunque se le encuentra todo el año.

Generalmente se corta la mitad del tallo y se conserva en el suelo la parte de la raíz, para que comience a rebrotar a los quince días y alcance su tamaño aprovechable en un periodo de tiempo de 1 mes; la parte comestible de la planta que se consume son las hojas y partes del tallo. Es un ingrediente importante en

la cocina regional del sur de México, Guatemala y El Salvador, donde se consume en forma muy variada: en tamales, caldos, sopas y cremas. (17)(30)

Esta hortaliza tiene la capacidad de rebrote a cualquier edad y altura; las investigaciones realizadas muestran que las plantas jóvenes tienen menos fibra, pero la conjugación de un buen porcentaje de nutrientes como fibra, buen peso foliar y alta rentabilidad se obtiene al cosechar la planta 45 días después de la siembra y una segunda cosecha 30 días después de haber realizado la primera.

El primer corte se aconseja realizarlo a 10 cm del nivel del suelo y el segundo a unos 3 cm de la base de cada retoño. Esto permitirá que si no se dejó un pequeño lote para semilla, pueda obtenerse ésta de los rebrotes surgidos después del segundo corte, siempre y cuándo apliquen un abono completo para estimular la respuesta de la planta a la producción de semilla. (18)

H. Manejo Pos-cosecha

Esta especie vegetal como cualquier otro producto foliar, debe conservarse en lugares frescos y con sombra; para su comercialización en mercados locales o muy cercanos al terreno, el cultivo debe envolverse en hoja de papel o en bolsas de nylon. Si el mercado está lejos, el producto debe transportarse empacado en bolsas selladas al vacío y a temperaturas de 5 a 10 grados centígrados. Su consumo debe ser el mismo día de cosecha, en caso de no consumirse de inmediato debe conservarse dentro de bolsas nylon de color negro, selladas, en refrigeración o sumergidas en agua.

Las hojas de esta especie vegetal no deben pasar más de tres días después del corte sin ser consumidas, porque pierden rápidamente sus nutrientes con el tiempo. (30)

Cuadro N° 1. Usos medicinales, culinarios y agrícolas de la especie *C. longirostrata* en El Salvador. (17)(18)(19)(45)

Uso	Órgano vegetal utilizado	Procedimiento para la elaboración	Ejemplos
Culinario	hojas, tallos y las yemas tiernas	Se deshoja el “Chipilín”, se lava y escurre, posteriormente se limpia y remoja por 15 minutos. A la masa lista, se agrega el “Chipilín”. (45)	Tamales
			Pupusas
		Se deshoja el “Chipilín”, se lava, escurre y hierve en agua. Se agregan vegetales, arroz y se sazona al gusto. (45)	Sopas
	La flor	La flor se guisa con cilantro y ajo. (45)	Infusiones
Uso	Órgano vegetal utilizado	Procedimiento para la elaboración	Enfermedad
Medicinal	Hojas, tallos y flores	Se prepara una cocción de toda la planta y se aplica como un emplasto sobre la parte afectada. (18)	Cistitis no infecciosa
	Hojas	Se ponen a cocción las hojas y se usa por vía oral. (18)	Reumatismo (sedante)
			Insomnio (sedante)
Hojas y tallos	Se cuecen las hojas y se come como caldo de verdura. (17)	Anemia	

Cuadro N° 1. Continuación

Uso	Órgano vegetal utilizado	Procedimiento para la elaboración	Actividad
Agrícola	Raíz	Se muele la raíz y se mezcla con masa de maíz, para emplearla como cebo. (19)	Rodenticida
	Flor, fruto, semilla y raíz	Se seca el material vegetal, se tritura y pulveriza para realizar una extracción por infusión por 5 minutos. (19)	Nematicida

3.2.7 Usos principales de *C. longirostrata*

Esta especie vegetal posee una gran variedad de aplicaciones y usos tradicionales, los cuales se detallan en el **Cuadro N° 1:** (17)(19)(35)(45)

3.2.8 Condiciones edáfica climáticas de *C. longirostrata*

Hortaliza perenne cultivada en clima cálido húmedo a temperaturas de 350 a 400 msnm, utilizada principalmente como alimento. Crece bien en suelos francos, franco arcilloso, arenoso; de climas cálidos y no muy húmedos, esta hortaliza necesita al menos de algunas horas al día de luz solar y se aconseja que al cultivarla el lugar debe estar abierto durante todo el año, porque soportan el frío.

En climas particularmente ventosos, se aconseja de asegurar los arbusto jóvenes a palos altos y sólidos, para evitar que el viento pueda sacar las raíces desarrolladas; puede suceder que los ejemplares que tienen pocos años, no soporten el frío fuerte y el viento; crece en asocio de cultivos limpios como Maíz, Frijol, así como entre el Café, algunas crecen en forma silvestre y sin manejo agronómico. (18)(30)

3.2.9 Fenología de *C. longirostrata*

En El Salvador florece de septiembre a enero y fructifica de septiembre a diciembre. (30)

3.3 Buenas prácticas Agrícolas (BPA). (46)

3.3.1 Generalidades de las BPA

La globalización del comercio de productos agrícolas exige una adecuada realización de las actividades productivas y de manejo, para el caso del sector agrícola y así evitar la posibilidad de que estos productos presenten contaminación de sustancias químicas o microorganismos que afecten a los consumidores.

Es así como surge la necesidad de aplicar un conjunto de principios, normas y recomendaciones técnicas (BPA) aplicables a las diversas etapas de producción de productos frescos, con el fin de brindar un producto inocuo para el consumo directo o su proceso agroindustrial.

Su aplicación tiene como objetivo ofrecer al mercado productos de elevada calidad e inocuidad, que generen un mínimo impacto ambiental y así minimizar el potencial de contaminación de los productos alimenticios. (46)

3.3.2 Objetivo de las BPA

El objetivo de las BPA consiste en reducir la probabilidad de contaminación del cultivo que pueda poner en riesgo la inocuidad de las hortalizas y frutas o su aptitud para el consumo en etapas posteriores de la cadena alimentaria.

3.3.3 Tipos de riesgos potenciales de contaminación de cultivos.

La importancia de conocer los riesgos de contaminación de los cultivos (Ver **Cuadro N° 2**) radica en la posible identificación de las fuentes que los emiten. Es por ello que se deben considerar todas las etapas que conforman el ciclo del cultivo desde la preparación del terreno hasta su cosecha.

Cuadro N° 2. Riesgos potenciales según la BPA. (46)

Riesgos	Clasificación	Ejemplos
Físicos	Metal	Medallas, utensilios y alambre
	Vidrio	Botellas y frascos
	Plástico	Material de empaque y botellas
	Otros	Piedras, papel, etc.
Químicos	Naturales	Toxinas de hongos
	Agrícolas	Plaguicidas, fertilizantes y hormonas.
	Metales pesados	plomo , arsénico, mercurio y cadmio
Microbiológicos	Bacterias	<i>Salmonella</i> y <i>Vibrio cholerae</i>

3.3.4 Aspectos a considerar en el cultivo según las BPA.

Los principales aspectos a considerar en los cultivos según las Buenas Prácticas Agrícolas se muestran en el ciclo de producción (Ver **Figura N° 5**): (46)

- Selección y preparación del terreno:

Debe considerarse aspectos como ubicación, fuentes de aguas, condiciones agroclimáticas, tipo de suelo, características del suelo, entre otros; de manera

que el cultivo por sembrar cuente con sus requerimientos. De ser posible debe conocerse el historial del lugar, problemas presentados anteriormente (plagas, enfermedades, malezas, peligros potenciales de inundación o sequía) para conocer el peligro de contaminación al que se expone el cultivo. (46)

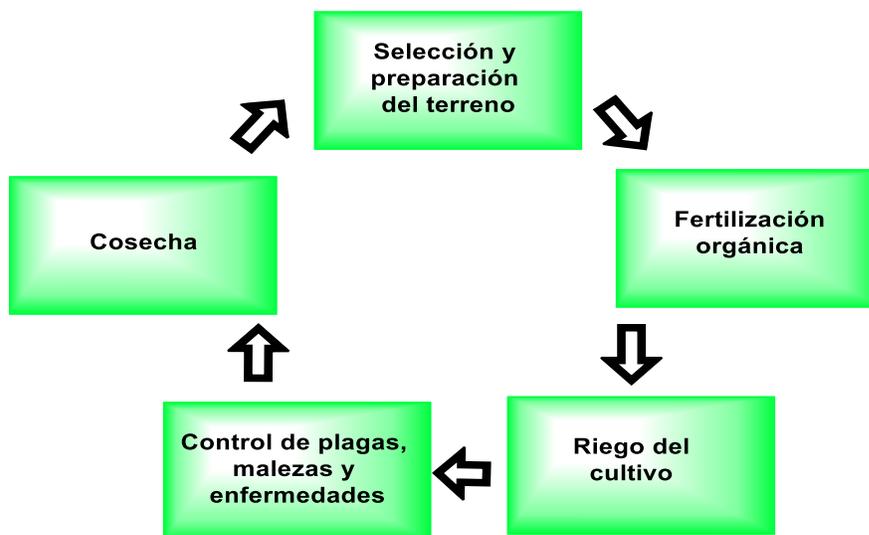


Figura N° 5. Etapas de producción agrícola de hortalizas y frutas donde existen riesgos potenciales de contaminación.

- Fertilización orgánica:

Los abonos orgánicos contribuyen a mejorar la fertilidad del suelo al aumentar el contenido de materia orgánica y por consiguiente su capacidad de retención de agua y nutrientes; sin embargo también constituyen una fuente de contaminación microbiológica, química, física del suelo, aguas subterráneas y superficiales que pueden contaminar los cultivos hortícolas y finalmente al humano. (46)

- Riegos:

El agua dada su naturaleza, puede ser un excelente transporte de microorganismos, sustancias químicas de desecho así como de materiales

extraños a los campos de cultivo. Las principales fuentes de contaminación pueden ser aguas residuales de poblados y materia fecal humana o animal, así como animales muertos depositados en la fuente de abastecimiento de agua de riego. El agua utilizada para riego debe cumplir con las normas de calidad ya que esta puede contener plaguicidas que no están permitidos para el cultivo que se está regando, microorganismos patógenos o metales pesados que por salpicaduras puede llegar a las hortalizas. (46)

- Control de plaga, malezas y enfermedades:

Las plagas cuestan miles de millones de dólares anuales por pérdidas de producción agrícola, los plaguicidas ayudan, pero un uso inadecuado y excesivo puede contaminar los alimentos y el ambiente, deteriorando en algunos casos la salud de los agricultores.

Los residuos de plaguicidas en los alimentos son de gran peligrosidad porque afectan en la salud de la población por ello la FAO combina una variedad de métodos de control de plagas, comprendida la conservación de los enemigos naturales, rotación de cultivos, cultivos mixtos y el uso de variedades resistentes a las plagas así los plaguicidas pueden seguir utilizándose pero de manera selectiva y en cantidades mucho menores. (46)

- Cosecha:

Las BPA deben seguirse durante y después de la cosecha, tratando la manera de no contaminar el cultivo, depositando las hortalizas frescas limpias y lavadas en recipientes adecuados sin golpearlas o presionarlas y no almacenándola cerca de productos tales como plaguicidas, fertilizantes, gasolina, lubricantes, etc. (46)

3.3.5 Manejo de agroquímicos en cultivos.

Los agroquímicos han sido una de las herramientas que el hombre ha usado para incrementar los rendimientos de sus cultivos y satisfacer las necesidades crecientes de alimentos por parte de una población en expansión. Por agroquímicos se entiende los herbicidas, fungicidas, fumigantes, rodenticidas, reguladores de crecimiento, ceras, desinfectantes, aditivos y todo otro producto de naturaleza química que se utilice durante la producción o postcosecha.

La presencia de residuos en niveles peligrosos para el ser humano ha sido siempre una preocupación, para ello el uso de agroquímicos debe enmarcarse dentro de las Buenas Prácticas Agrícolas que tiende a garantizar la máxima seguridad y disminuir el riesgo para la salud del consumidor.

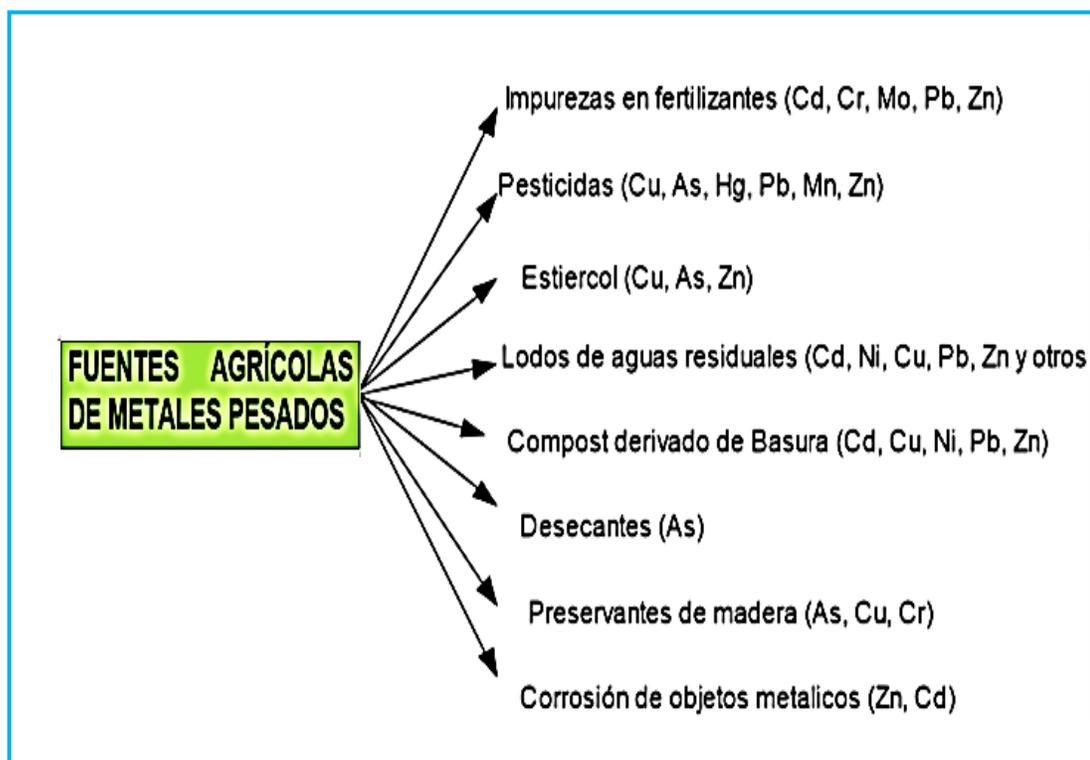


Figura N° 6. Fuentes de metales pesados relacionadas con la agricultura.

Entre los residuos más tóxicos que se deben controlar o monitorear en el área agrícola están los metales pesados ya que la agricultura constituye una muy importante fuente no puntual de estos elementos, de la misma manera contribuyen significativamente a su concentración en los suelos, en muchas partes del mundo en especial regiones de agricultura extensiva. Las más importantes fuentes relacionadas con la agricultura se presentan en la (Ver **Figura N° 6**). (10)(46)

Se debe usar los productos específicos para controlar la plaga o enfermedad siguiendo las indicaciones del fabricante, particularmente en lo referido a cultivos en los que puede ser usado así como tiempos de espera entre aplicación y cosecha. Sin embargo en nuestro país existen sustancias químicas de síntesis en el mercado que no cuentan con información sobre seguridad o peligros asociados en su aplicación o manejo. (10)(46)

3.3.6 Utilización de plaguicidas en el área agrícola.

La FAO establece que un plaguicida es la sustancia o mezcla de ellas, destinada a prevenir, destruir o controlar plagas que ocasionan un daño duradero y que interfieren con la producción, procesamiento, almacenamiento, transporte y comercialización de alimentos. En las actividades agrícolas los plaguicidas son productos de uso difundido que contribuyen a disminuir el esfuerzo físico en las actividades agrícolas y cuando estos productos químicos se manejan o depositan inadecuadamente pueden afectar la salud humana.

Una vez liberados en el entorno, los plaguicidas pueden contaminar los ríos, el aire, el suelo y los alimentos; la capacidad de producir daño se encuentra relacionada con su estructura química, aspecto que determina la toxicidad específica, acompañada por las condiciones de uso, especialmente la

exposición, siendo fundamentales los procesos químicos y físicos a que son sometidos luego de la aplicación.

Existen diversos grupos químicos de plaguicidas, desde el punto de vista agroquímico es muy importante conocerlos. Los plaguicidas se clasifican en función de algunas de sus características principales, como son la toxicidad aguda, la vida media, la estructura química y su uso (Ver **Cuadro N° 3**):

- La toxicidad aguda es la capacidad del plaguicida de producir un daño agudo a la salud a través de una o múltiples exposiciones, en un período de tiempo relativamente corto.
- Por su vida media, los plaguicidas se clasifican en permanentes, persistentes, moderadamente persistentes y no persistentes.
- De acuerdo a su estructura química, los plaguicidas se clasifican en diversas familias, que incluyen desde los compuestos organoclorados y organofosforados hasta compuestos inorgánicos. (10)(46)

3.3.7 Utilización de fertilizantes en el área agrícola.

Los fertilizantes para plantas o también conocidos como abonos, son todos aquellos materiales que aportan nutrientes útiles para la planta, pueden ser de origen:

- Orgánico: Compostas como estiércol, basura urbana orgánica, extractos vegetales y desechos de animales (huesos, sangre).
- Inorgánicos: Sales minerales procedentes de yacimientos naturales o síntesis industrial. Algunos fertilizantes inorgánicos para plantas, son las sales (grado agrícola) como el Nitrato de potasio, Nitrato de calcio, Sulfato de potasio, Fosfato monoamónico, Sulfato de magnesio y urea, etc.

Cuadro N° 3. Clasificación de los plaguicidas según su toxicidad, según su vida media de efectividad y según la familia química. (10)(46)

CLASIFICACION DE LOS PLAGUICIDAS	Según su toxicidad, expresada en DL₅₀ (mg/kg)	Clase	Toxicidad	Ejemplos
		Clase IA	Extremadamente peligrosos	Paratión y Dieldrín
		Clase IB	Altamente peligrosos	Eldrín y Diclorvos
		Clase II	Moderadamente peligrosos	DDT y Clordano
		Clase III	Ligeramente peligrosos	Malatión
	Según su vida media de efectividad	Persistencia	Vida media	Ejemplos
		No persistente	De días hasta 12 semanas	Malatión, Diazinón, Carbarilo y Diametrín
		Moderadamente persistente	De 1 a 18 meses	Paratión y Lannate
		Persistente	De varios meses a 20 años	DDT, Aldrín y Dieldrín
		Permanentes	Indefinidamente	Productos hechos a partir de mercurio, plomo y arsénico
	Según la familia química	Familia química	Ejemplos	
		Organoclorados	DDT, Aldrín, Endosulfán y Endrín	
Organofosforados		Bromophos, Diclorvos y Malatión		
Carbamatos		Carbaryl, Methomyl y Propoxur		
Tiocarbamatos		Ditiocarbamato y Mancozeb		
Piretroides		Cypermethrin, Fenvalerato y Permetrín		
Derivados bipiridilos		Cloromequat, Diquat y Paraquat		
Derivados del ácido fenoxiacético		Dicloroprop, Picram y Silvex		
Compuestos de origen botánico		Rotenona, Nicotina, Y Aceite de canola		
Derivados de triazinas		Atrazine, Ametryn y Desmetryn		
Compuestos orgánicos del estaño		Cyhexatin y Plictrán		
Compuestos inorgánicos	Arsénico, Fosfito de magnesio, Cloruro de mercurio, Arsenato de plomo, Bromuro de metilo, Antimonio, mercurio, selenio, talio y fósforo blanco			

Los cultivos en nuestro país utilizan regularmente fertilizantes y/o guano (excremento de animales como: cabra, vaca, aves) y en pocos casos se usa el compost (derivado de desechos vegetales) en el manejo de los mismos. Estos insumos agrícolas pueden ser fuentes potenciales de metales en cantidades apreciables. Se debe considerar aquellos insumos que acidifican el suelo, como por ejemplo los superfosfatos, ya que esto facilita la movilidad y bioviabilidad de los metales pesados. (29)(39)

3.3.8 Residuos de plaguicidas y fertilizantes en alimentos.

Los residuos de plaguicidas en alimentos, en especial en frutas y hortalizas, como consecuencia de los tratamientos fitosanitarios, son una preocupación creciente para los técnicos, agricultores, comerciantes y consumidores. Los residuos de plaguicidas en los alimentos son uno de los aspectos de la peligrosidad de estos agroquímicos que más preocupan actualmente, porque afectan a toda la población.

Existen cuatro factores que influyen en la menor o mayor gravedad de los residuos de plaguicidas, entre los que podemos considerar:

- Clasificación toxicológica del plaguicida, es decir, su mayor o menor nocividad para la salud humana o de animales domésticos.
- El grado o probabilidad de exposición del hombre a esos residuos, en función, entre otros factores, de la participación de producto tratado en la dieta alimentaria.
- La posible magnificación de los mismos a través de la cadena alimenticia. Por ejemplo, el alimentarse de carne o tomar leche de ganado alimentado de

forrajes tratados con plaguicidas organoclorados y que ha ido concentrado los residuos en sus grasas o vísceras.

- La posibilidad de que los residuos sean o se transformen en formas moleculares todavía más tóxicas que los plaguicidas originales. (39)

3.4 Metales pesados

3.4.1 Generalidades de metales pesados.

Los metales están entre los tóxicos más antiguos conocidos por el hombre. En el industrializado mundo actual las fuentes de exposición a metales provienen tanto del campo laboral como a partir del agua, los alimentos o el ambiente contaminado (Ver **Anexo N° 2**). Su toxicidad está caracterizada por el elemento metálico en cuestión; Las biomoléculas más afectadas por los metales son las proteínas con actividad enzimática por lo que su patología es multisistema. Los principales sistemas afectados son el gastrointestinal, neurológico central y periférico, hemático y renal.

Algunos de los compuestos metálicos son carcinógenos, entre los metales pesados que más contaminan el ambiente están el plomo, el cadmio, el mercurio y el arsénico (Ver **Figura N° 7**) reconocidos a nivel mundial por ser potencialmente tóxicos para el organismo humano, por los cuadros clínicos crónicos que producen, por su poder acumulativo y la gran afinidad por grupos biológicos endógenos como son los grupos sulfidrilos presentes en gran cantidad en los sistemas enzimáticos. Hay casos en los cuales, algunos metales son indispensables en bajas concentraciones (Ver **Anexo N° 3**), ya que forman parte de sistemas enzimáticos, como el cobalto, zinc, molibdeno, o como el hierro que forma parte de la hemoglobina. Su ausencia causa enfermedades, su exceso

intoxicaciones; su toxicidad se debe frecuentemente por la imposibilidad del organismo afectado para mantener los niveles necesarios de excreción de estos elementos. (4)(29)(56)

Elementos nutrientes para animales o plantas. Algunos también son tóxicos en cantidades excesivas.

Elementos tóxicos en pequeñas cantidades, sin funciones biológicas conocidas.

Otros elementos estudiados por sus implicaciones en el medio edáfico. El bromo se usa como trazador de solutos aniónicos como nitrato; isótopos de rubidio y estroncio se usan como trazadores de potasio y calcio en plantas y suelos; cesio y titanio se usan como trazadores de procesos geológicos, como la erosión del suelo.

1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs										

Metales ← → No metales

1	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw

Figura N° 7. Tabla periódica de los elementos con anotaciones de relevancia en el estudio de elementos tóxicos.

3.4.2 Contenido natural de metales pesados en el suelo.

De manera natural los suelos contienen elementos de transición que en concentraciones elevadas pueden afectar la dinámica del sistema; un grupo de

ellos en particular son los llamados metales pesados. Estos presentan una densidad igual o mayor a 5 g.cm^{-3} y su número atómico es superior a 20. Dentro de este grupo se incluyen elementos muy tóxicos que no poseen función biológica conocida, como son: bario (Ba), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb) y bismuto (Bi). La presencia de altas concentraciones de metales pesados en los suelos representa un grave problema para la salud humana, debido a su posible inclusión dentro de los diferentes niveles de cadenas tróficas.

Los suelos tienen una resistencia limitada con respecto a la retención de sustancias químicas, pero si los contaminantes sobrepasan esta capacidad, pueden llegar a ser móviles y biodisponibles para plantas, animales y seres humanos. Además tienen la particularidad de no degradarse y acumularse dentro de los organismos con la dificultad de ser expulsado, lo que ocasiona intoxicaciones, enfermedades, desordenes metabólicos y neuronales. El contenido natural de metales pesados en los suelos, depende de la composición de los minerales primarios, así como de la presencia de formas solubles y activas de metales pesados. (4)(56)

Dentro de los elementos que constituyen la corteza terrestre, menos de 0.1% son metales pesados, los más abundantes son el manganeso (Mn), cromo (Cr), zinc (Zn), níquel (Ni) y plomo (Pb) en concentraciones de 1-1500 mg.kg^{-1} ; el Mn puede llegar a 10000 mg.kg^{-1} . En menores concentraciones (0.1-250 mg.kg^{-1}) se encuentra el cobalto (Co), cobre (Cu) y arsénico (As) y en mínima cantidad (0.01-2 mg.kg^{-1}) se encuentra cadmio (Cd) y mercurio (Hg).

3.4.3 Contenido de metales pesados en suelos agrícolas

En suelos agrícolas de uso intensivo es muy común encontrar concentraciones de metales pesados (cromo, cadmio, cobre, zinc, níquel y plomo) por encima de

los valores naturales, ya que estos pueden ser enriquecidos por la aplicación de fertilizantes químicos fosfatados u otros agroquímicos como plaguicidas que pueden contener el arseniato de plomo y muchos compuestos utilizados para controlar insectos, parásitos o plagas en diversos cultivos y plantaciones de frutas. El alto contenido de metales en suelos agrícolas también está asociado con prácticas de aplicación de lodos y aguas residuales, así como el uso de estiércoles y otros abonos orgánicos. (56)

3.4.4 Contenido natural de metales pesados en agua

La composición química de las aguas continentales depende de varios factores, tanto naturales como antropogénicos; entre los primeros se pueden considerar por ejemplo: ocurrencia, intensidad y cantidad de precipitación, área de drenaje, erosión y solubilización del suelo, procesos de evaporación y transpiración e interacción atmósfera-agua. Los vertidos urbanos, industriales y agrícolas, se consideran los principales aportes del hombre a la alteración de la composición química de los recursos acuáticos. Así mismo el desarrollo tecnológico, el consumo masivo e indiscriminado y la producción de desechos principalmente urbanos han provocado la presencia de muchos metales en cantidades importantes en el ambiente, provocando numerosos efectos sobre la salud y el equilibrio de los ecosistemas. (28)(54)

Las aguas naturales interaccionan con la atmósfera, con el suelo y con organismos que representan fuentes y sumideros de sustancias específicas, como consecuencia de estas interacciones es posible encontrar en las aguas naturales diferentes sustancias, tanto en suspensión, disueltas o en estado coloidal, orgánicas o inorgánicas. En el **Cuadro N° 4** se considera la tipología anterior y se la naturaleza química y el estado de dispersión de las distintas sustancias presentes con mayor frecuencia en aguas superficiales. (42)(54)

Algunos elementos tóxicos como los metales pesados podrían incorporarse en los alimentos cuando estos entran en contacto con agua contaminada y se van acumulando en el organismo, hasta llegar a límites de toxicidad, si la incorporación en el cuerpo es lenta se producen intoxicaciones crónicas, que dañan los tejidos u órganos en los que se acumulan.

Cuadro N° 4. Tipo de sustancias presentes en aguas naturales. (42)

Fuente	En suspensión	En dispersión coloidal	En solución
ATMOSFERA	Macropartículas orgánicas e inorgánicas	Partículas orgánicas e inorgánicas	Gases y iones disueltos
LITOSFERA (Minerales, rocas y suelo)	Arenas, arcillas y sustancias húmicas	Sílice y sustancias húmicas	Aniones y cationes de sales disueltas
BIOSFERA (Seres vivos)	Algas, otras plantas, animales acuáticos y bacterias	Macromoléculas orgánicas y virus	Moléculas orgánicas y especies inorgánicas provenientes de descomposición de materia orgánica

A pesar de la gran variabilidad de los elementos presentes en el agua subterránea y de sus concentraciones; estos han sido clasificados de la siguiente manera:

- Constituyentes mayoritarios o fundamentales

Aniones: HCO_3^- + HCO_4^- , Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^-

Cationes: Ca^{++} , Na^+ , K^+ y NH_4^+

- Constituyentes minoritarios o secundarios
Aniones: F^- , S^{2-} , SH^- , Br^- , I^- , NO_2^- , PO_4^{2-} y BO_3^-
Cationes: Mn^{++} , Fe^{++} , Li^+ , Sr^{++} y Zn^{++}

- Constituyentes trazas :
 Al^{+++} , Cu^{++} , Pb^{++} , Ni^{++} y Cr^{+++}

Debe tenerse en cuenta, que en condiciones particulares un constituyente minoritario puede alcanzar, rangos de concentración que permitan incluirlo dentro de los mayoritarios. En un agua natural dulce estos constituyentes aparecen por lo general en forma iónica (sales casi totalmente disociadas), con menor frecuencia se presentan en forma molecular, parcialmente disociadas o como iones complejos de sustancias orgánicas o inorgánicas. (28)

3.4.5 Transporte de metales pesados en vegetales.

La toxicidad de los metales pesados se puede definir como elevada, tanto para microorganismos como para animales y plantas. Los metales pesados pasan del suelo a las plantas, y de ahí a los mamíferos. El problema esencial es que debido a la semejanza entre muchos contaminantes y los elementos traza esenciales, las células pueden incorporar elementos tóxicos que quedan dentro de ellas o incorporados en su membrana causando un daño letal. (5)(64)

Los iones inorgánicos y el agua se transportan desde la raíz hasta las hojas mediante una serie de células tubulares que pertenecen a un tejido leñoso denominado xilema (Ver **Figura N° 8**). La raíz constituye el tejido de entrada principal de metales pesados en la planta. Hasta allí los metales pesados pueden llegar, fundamentalmente, por un proceso de difusión en el medio, mediante un

flujo masivo y por intercambio catiónico. La raíz posee cargas negativas en sus células, debido en gran medida a la presencia de grupos carboxilo del ácido péctico.

Las cargas negativas de estas células de la rizodermis interaccionan con las positivas de los metales pesados presentes en el suelo, creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular. De esta forma, los cationes entran por la pared celular, que además es hidrofílica, lo que facilita el transporte iónico. Una vez unidas las cargas positivas a las negativas de la pared celular, los metales pesados se transportan, en parte por la vía apoplástica, y en parte por la simplástica. No obstante, se ha demostrado recientemente que parte del flujo de metales pesados, al menos en el caso del plomo puede quedar retenido en la pared celular por la estructura de lignina y celulosa. (64)

La fuerza que mueve esta solución no radica en las células del tejido xilemático, sino en la fuerza propia del proceso de ósmosis y en otra fuerza, menos habitual, conocida como fuerza de succión. La ósmosis se produce porque existe una gran diferencia de concentración entre la parte superior de la planta (hojas, inflorescencias) donde es mayor y la parte inferior, es decir existe un potencial hídrico favorable al impulso ascendente. La fuerza de succión se produce cuando en las hojas se pierde agua por transpiración, pues las moléculas perdidas producen una succión de nuevas moléculas cercanas para reemplazar a las anteriores, de tal manera que se produce una fuerza que atrae agua desde las raíces hacia las hojas. (5)(6)

3.4.6 Efectos tóxicos de los metales pesados en plantas

Algunos metales pesados juegan un papel dual, al ser esenciales para el desarrollo de plantas y a su vez pueden ser dañinos a altas concentraciones. Los

elementos limitantes en el desarrollo de las plantas pueden conducirlos a la muerte y producirse por incrementos relativamente pequeños en la concentración del elemento esencial, como puede ser el caso del zinc y cobre.

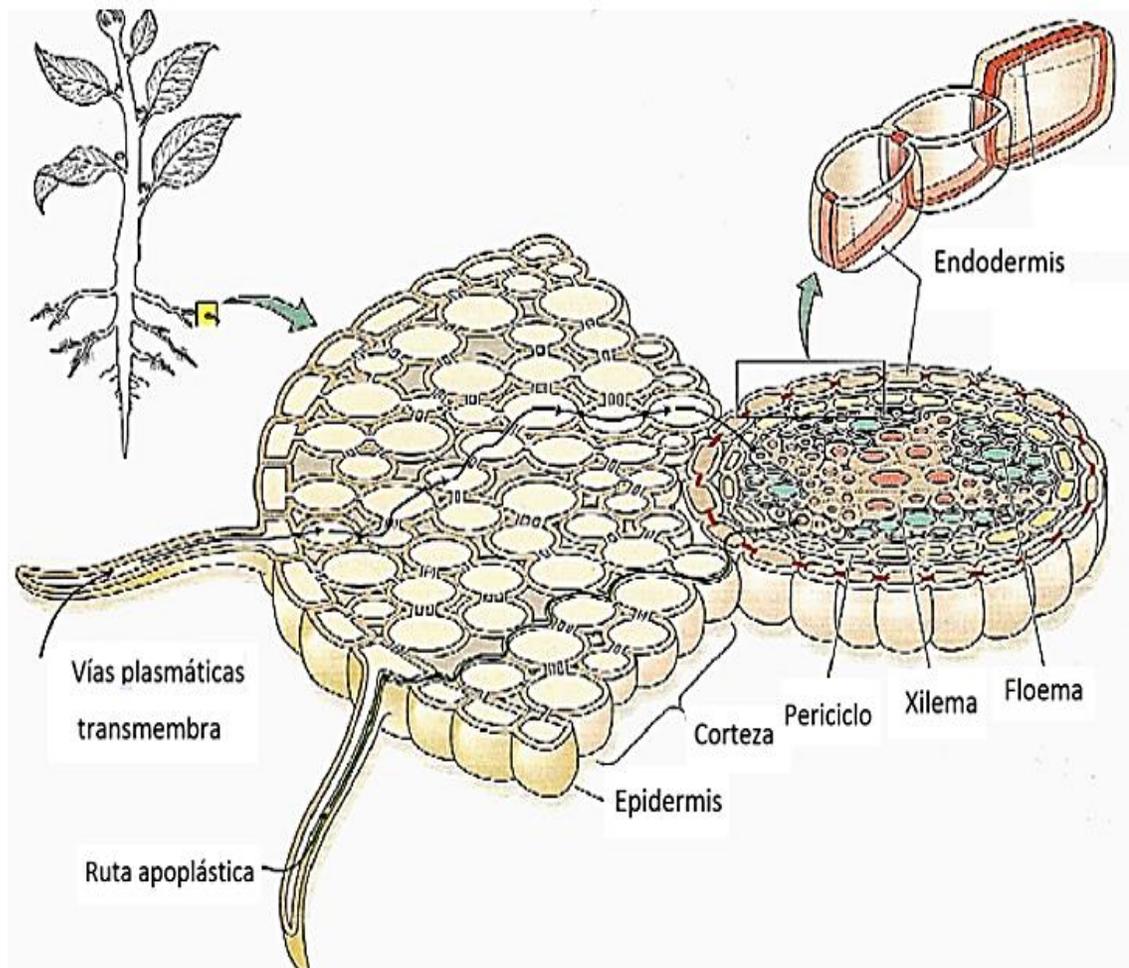


Figura N° 8. Estructura de la raíz vegetal. Se detallan con flechas las vías de absorción por la raíz: Apoplástica y Simplástica. (5)

Para el caso de aquellos elementos no esenciales, las bajas concentraciones de estos no ocasionan efecto alguno sobre las plantas; los daños pueden ser observados cuando la concentración llega a valores considerados tóxicos. La habilidad que tienen las plantas de impedir la toma de metales, es limitada y depende del proceso de acumulación de los elementos en el suelo.

La reducción en la capacidad de exclusión por parte de la planta está en función del incremento de la cantidad de estos elementos. (5)(56)

3.5 Plomo

3.5.1 Generalidades del plomo

El plomo es un metal de color gris azulado, brillante en la superficie, muy blando tan blando que se raya con la uña, muy maleable, posee gran densidad y punto de fusión bajo, cristaliza en octaedros y deja en el papel una mancha gris. Pertenece a la familia IVA de la tabla periodica, la cual esta conformada por los siguientes elementos químicos:

- Carbono
- Silicio
- Germanio
- Estaño
- Plomo

Como se sabe de estos cinco miembros de la familia IVA ó 14, el carbón es un no metal, el silicio y el germanio son metaloides y el plomo y el estaño son metales. (50)

3.5.2 Fuentes naturales de plomo

El plomo es un elemento poco abundante en la litosfera (de 10 a 20 $\mu\text{g/g}$) y su mayor concentración se halla en el mineral denominado galena. Los depósitos de plomo por acción de la erosión eliminan plomo, por lo que de esta manera la hidrosfera, adquiere o se convierte en una fuente natural de plomo. Otra fuente importante de este metal en la atmosfera es el plomo depositado de las

expulsiones de la lava meteórica, cuerpos que producen gran cantidad de partículas y aerosoles; todas estas cantidades de plomo se consideran como fuentes naturales de este metal, ya que no intervienen intencionalmente la acción directa o indirecta del hombre. (63)(70)

3.5.3 Concentración natural de plomo en suelo

En las zonas alejadas de la actividad humana, la concentración media de plomo en el suelo es similar a la concentración natural de la corteza o en las rocas. El suelo es contaminado principalmente por depósitos de partículas del aire y por agua contaminada por actividades industriales.

Si se continúa usando plaguicidas, con contenido de plomo como el arseniato de plomo, se debe considerar como un elemento adicional de contaminación del suelo, especialmente en suelos utilizados con fines agrícolas. (63)(70)

3.5.4 Concentración natural de plomo en agua

El agua en áreas no contaminadas presenta concentraciones bajas de plomo (1 $\mu\text{g/litro}$), en aguas superficiales alrededor de (8 $\mu\text{g/litro}$), en agua de mar las concentraciones de plomo son más altas, que las concentraciones de este metal en aguas de ríos y lagos, en aguas subterráneas hasta una profundidad 100 metros, se han detectado concentraciones de alrededor de (0.03 $\mu\text{g/litro}$).

Pero a nivel de contaminación la exposición del plomo a través del agua es mínima, debido que forma por lo general compuestos insolubles del tipo carbonatos y sulfatos. El consumo humano de agua sobre la base de 2 litros diarios, pueden significar un aporte habitual del plomo al organismo en un rango de 10 a 1 $\mu\text{g/litro}$. (40)(70)

3.5.5 Efecto del plomo en plantas

En sitios contaminados con plomo y otros Metales Pesados, la estructura de la vegetación y biodiversidad se encuentra reducida. En las plantas, las altas concentraciones de plomo inhiben la germinación de semillas, el crecimiento y desarrollo, además de alterar muchos procesos bioquímicos y fisiológicos. Su presencia daña las membranas de las células, reduce la transpiración, impide la síntesis de proteínas, daña e inhibe la fotosíntesis y afecta la actividad de varias enzimas. Afecta también la radícula saliente y el crecimiento de la planta. El efecto del plomo en la germinación de semillas puede depender de su penetración a través de la cubierta de la semilla, lo cual puede alterar una serie de procesos fisiológicos involucrados en la germinación. En algunas especies de plantas, el plomo penetra fácilmente la cubierta de la semilla, lo que impide su germinación. (40)(50)

3.5.6 Toxicidad del plomo en el ser humano

El plomo es uno de los cuatro metales pesados (cadmio, arsénico, mercurio, plomo) que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%). Es más común que la intoxicación con plomo se dé por acumulación lenta con el paso del tiempo y esto ocurre por exposición repetitiva a pequeñas cantidades de este elemento. El plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías, esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. (55)

Cuando la acumulación es lenta puede que no se presenten síntomas obvios, con el tiempo incluso niveles bajos de exposición al plomo pueden causar daño al desarrollo mental de un niño y los posibles problemas de salud empeoran a medida que el nivel de este elemento en la sangre se eleva.

Cabe mencionar que el plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano y es mucho más dañino para los niños que para los adultos, dado que puede afectar el cerebro y nervios en desarrollo. Otro dato importante es que este elemento puede ingresar en el feto a través de la placenta de la madre, debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer. (40)(55)(70)

Entre las posibles complicaciones de intoxicación con plomo tenemos: (51)

- Problemas de comportamiento o atención
- Bajo rendimiento escolar
- Problemas auditivos
- Daño renal
- Reducción del coeficiente intelectual
- Lentitud en el crecimiento corporal

Los síntomas de la intoxicación con plomo pueden abarcar: (55)

- Dolor y cólicos abdominales (generalmente el primer signo de una dosis tóxica alta de intoxicación)
- Comportamiento agresivo
- Anemia
- Estreñimiento
- Dificultad para dormir
- Dolores de cabeza
- Irritabilidad
- Pérdida de habilidades del desarrollo previas (en niños pequeños)
- Inapetencia y falta de energía
- Reducción de la sensibilidad

Los niveles muy altos pueden ocasionar efectos que dañan irreparablemente la salud del humano, entre estos se encuentran: (55)

- **Efectos neurológicos**

Se pueden presentar aún en individuos con niveles de plomo en sangre considerados seguros ($<10 \mu\text{g/dL}$). Individuos aún sin síntomas, especialmente en niños pueden tener daño neurológico. En los niños la exposición aguda a dosis altas de plomo puede causar encefalopatía, con la presencia de ataxia, convulsiones, hiperirritabilidad, estupor, coma y muerte. Varios estudios en niños se refieren a diferentes niveles sanguíneos de plomo asociados con encefalopatía, pero un nivel $\geq 70 \mu\text{g/dL}$ indica un riesgo alto de presentar la complicación. Este nivel está asociado con daño neurológico o alteraciones de conducta a largo plazo.

- **Efecto renal**

La severidad de la exposición al plomo se relaciona directamente con los efectos en el riñón. Una exposición severa por un periodo breve se la asocia con alteraciones reversibles de la función tubular proximal: glicosuria aminoaciduria e hiperfosfaturia. Sin embargo exposiciones continuas o repetidas pueden conducir a nefropatía crónica (nefritis intersticial), que es generalmente irreversible.

- **Anemia**

La presencia del plomo disminuye la producción del núcleo hemo, lo que afecta la habilidad del organismo de producir hemoglobina. El plomo inhibe la dehidratasa del ácido *d*-amino levulínico y la actividad de la ferroquelatasa. La ferroquelatasa cataliza la inserción del hierro a la protoporfirina IX y es muy sensible al efecto del plomo.

3.6 Arsénico

3.6.1 Generalidades del arsénico

Es un metaloide que puede presentarse en tres estados alotrópicos: gris, negro y amarillo. El más estable es el gris, como una masa cristalina, de aspecto metálico, brillante y frágil. El arsénico amarillo es una forma cristalina metaestable que se oxida a temperatura ambiente por la acción del aire y revierte al estado gris por la acción de la luz. Los compuestos más utilizados en la industria son el anhídrido arsénico, arseniato de calcio, tricloruro de arsénico y los arsenitos. El arsénico no es insoluble en agua, pero sí en los ácidos fuertes. Pertenece a la familia VA de la tabla periodica, la cual esta conformada por los siguientes elementos químicos:

- Nitrogeno
- Fósforo
- Arsénico
- Antimonio
- Bismuto

Como se sabe de estos cinco miembros de la familia VA o 15, el nitrógeno y el fósforo son no metales, el arsénico y el antimonio son metaloides y el bismuto es metal. (34)

3.6.2 Fuentes naturales de arsénico

En la naturaleza el arsénico se encuentra libre y combinado en un gran número de minerales, generalmente se encuentra en forma pentavalente. Existen más de 150 minerales que lo contienen algunos de estos son: Arsenolita, Cobaltita, Oropimento y Arseniuros. El promedio de arsénico en la corteza terrestre es de

2 ppm. No obstante, su distribución es muy heterogénea en los suelos que yacen sobre depósitos de sulfuros, se ha encontrado en concentraciones de hasta 800 mg/kg. (34)(49)

3.6.3 Concentración natural de arsénico en el suelo

El intervalo de arsénico en el suelo varía de 0.2 a 40 g kg⁻¹ y esto va a depender en gran medida, de la cantidad de minerales presentes y que contenga este elemento. (33)(49)

3.6.4 Concentración natural de arsénico en agua

En las aguas naturales el arsénico se encuentra en concentraciones con rangos de 1 a 10 µg/litro para aguas no contaminadas, 100 a 5000 µg/litro para aguas en áreas con actividad minera y de 1800 a 6400 µg/litro para aguas geotérmicas. La concentración máxima de arsénico permisible en aguas de consumo es de 50 µg/litro con un valor recomendado por la agencia de protección ambiental (EPA) y la organización mundial de la salud recomienda un valor máximo de 10 µg/litro. (33)(42)

3.6.5 Efecto del arsénico en plantas

La reducción del crecimiento es uno de los síntomas visuales que se atribuyen al arsénico. En el caso del arseniato algunos autores han relacionado esta reducción con la disminución de la concentración de fosforo, provocada por altas dosis de arsénico.

Los síntomas que provoca el arseniato son la reducción de la elongación radicular, la falta de ramificación radicular, clorosis en las hojas, marchitamiento

foliar, o el achaparramiento e incluso la necrosis en la parte aérea. Los daños producidos en la raíz y las hojas dificultan el flujo normal de agua en la planta. (49)

3.6.6 Aporte y toxicidad del arsénico en el ser humano

Elemento ya considerado esencial para el organismo humano desde 1975, después de haber sido utilizado durante décadas en funciones terapéuticas contra la anorexia, sífilis, neuralgias y reumatismo. En el metabolismo de mamíferos su forma activa es la trimetilada, sus funciones biológicas están relacionadas con la síntesis de metabolitos metilados provenientes de la metionina (S-adenosil-met, S-adenosil-homocisteína y taurina) o de la arginina (espermidina, espermina y putrecina). El arsénico es capaz de potenciar la síntesis de ADN en los linfocitos. (33)

Este elemento existe tanto en forma orgánica como inorgánica, los compuestos de arsénico inorgánico (como los que se encuentran en el agua) son extremadamente tóxicos, en tanto que los compuestos de arsénico orgánico (como los que se encuentran en pescados y mariscos) son menos perjudiciales para la salud.

Dentro de los efectos dañinos causados por el arsénico se pueden presentar los siguientes: (33)

- **Efectos agudos**

Los síntomas inmediatos de intoxicación aguda por arsénico incluyen vómitos, dolor abdominal y diarrea. Seguidamente, aparecen otros efectos, como entumecimiento u hormigueo en las manos y los pies o calambres musculares y en casos extremos la muerte.

- **Efectos a largo plazo**

Los primeros síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas, durezas, callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis).

Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel.

Además de cáncer de piel, la exposición prolongada al arsénico también puede causar cáncer de vejiga y de pulmón. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para los seres humanos; el arsénico presente en el agua de bebida también ha sido incluido en esa categoría por el CIIC.

Entre los demás efectos perjudiciales para la salud que se pueden asociar a la ingesta prolongada de arsénico destacan los que siguen: problemas relacionados con el desarrollo, neurotoxicidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares. (33)

3.7 Minerales

3.7.1 Generalidades

En los seres vivos, además de los elementos químicos que constituyen la materia orgánica (oxígeno, hidrógeno, carbono y nitrógeno), existen otros que forman parte de la composición de aquellos aunque en pequeñas cantidades, y a los que se les denomina minerales.(60)

Los minerales son elementos esenciales para el organismo (Ver **Figura N° 9**) por lo que al igual que las vitaminas, deben formar parte de la dieta diaria de las personas en cantidad adecuada. Participan en procesos muy variados, tanto del metabolismo general (mecanismo de obtención de energía, síntesis de multitud de sustancias y estructuras vitales, etc.) como cumpliendo funciones más específicas (formando parte del hueso, transporte de oxígeno, contracción muscular, etc.).

3.7.2 Clasificación de los minerales ⁽⁶⁰⁾

Los minerales u oligoelementos pueden clasificarse atendiendo a las cantidades que son necesarias para el organismo, así se diferencian en dos grupos importantes:

- Elementos principales o macrominerales:

Son los que están presentes en mayor proporción en los tejidos, por lo que tienen que ser aportados en mayores cantidades (más de 100 mg) por dieta. En este grupo se incluyen el azufre, calcio, fósforo, magnesio, cloro, potasio y sodio, a los últimos tres se les consideran electrolitos.

- Elementos trazas, microminerales u oligoelementos:

Son igualmente necesarios para el organismo pero a diferencia que los macrominerales son requeridos en cantidades mucho menores. Los requerimientos de ingesta diaria para el hombre son menores de 100 mg. En este grupo se incluyen el hierro, yodo, flúor, cromo, cobre, selenio, zinc, cobalto, manganeso y molibdeno.

3.7.3 Fuentes alimentarias de minerales esenciales (60)

Las fuentes alimentarias de los minerales esenciales para el hombre son muchas y variadas; tanto alimentos de origen vegetal como animal aportan minerales, incluso el agua de bebida de determinadas zonas es rica en algunos minerales. Ningun alimento contiene todos los minerales en cantidades tales que satisfagan las necesidades del individuo por ello se recomienda una dieta mixta balanceada.

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg							
* Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu																		
** Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr																		

Los cuatro elementos básicos del organismo	Elementos importantes	Elementos traza esenciales	No se sabe si funcionan en el organismo
--	-----------------------	----------------------------	---

Figura N° 9. Tabla periódica de los elementos esenciales de la dieta.

3.8 Oligoelementos

3.8.1 Generalidades

Son bioelementos presentes en pequeñas cantidades (menos de un 0,05%) en los seres vivos y tanto su ausencia como una concentración por encima de su nivel característico, puede ser perjudicial para el organismo, llegando a ser hepatotóxicos (Ver **Cuadro N° 5**).

Aparte de los cuatro grandes elementos de los que se compone la vida en la tierra (oxígeno, hidrógeno, carbono y nitrógeno), existen una gran variedad de elementos químicos esenciales. Las plantas absorben los minerales disueltos en el suelo, que son en consecuencia recolectados por los herbívoros y así los minerales se van transmitiendo entre los seres vivos. (60)

Cuadro N° 5. Carencia y sobredosis de algunos de los elementos esenciales en la dieta. (8)(26)(41)(60)

Elemento de la dieta	Fuente dietética	Carencia	Sobredosis
Hierro	Vegetales, pescados, moluscos, carnes, huevos, legumbres y cereales integrales.	Anemia ferropénica (debilidad, menor resistencia a las infecciones).	Hemocromatosis, siderosis, cirrosis hepática.
Cobre	Vegetales verdes, pescado, guisantes, las lentejas, hígado, los moluscos y los crustáceos.	Deficiencia de cobre, anemia (rara).	Toxicidad por cobre, enfermedad de Wilson.
Zinc	Vegetales, carne de res, ostras crudas, leche, en el chocolate	El sistema inmunológico se ve comprometido.	Llagas y erupciones cutáneas.
Sodio	Mariscos, leche, sal y espinacas.	Hiponatremia	Hipernatremia
Calcio	Leche, pescado, nueces y semillas.	Hipocalcemia	Hipercalcemia

3.8.2 Clasificación de oligoelemento. (26)(60)

Los oligoelementos se clasifican de la siguiente manera:

- a) Oligoelementos esenciales: hierro, yodo, zinc y magnesio.
- b) Oligoelementos importantes: selenio, cobre, manganeso, azufre, flúor, cromo, molibdeno y cobalto.
- c) Electrolitos y minerales vitales : potasio, sodio, fósforo y calcio.

3.9 Cobre

3.9.1 Generalidades del cobre

Es uno de los metales más abundantes en el organismo, para los seres humanos es importante en la formación de glóbulos rojos, tejido colágeno y conectivo, favorece la síntesis de hemoglobina, ayuda a la mielinización del sistema nervioso, al metabolismo del hierro, selenio y de la vitamina C, al mantenimiento de los vasos sanguíneos, nervios, sistema inmunitario y huesos.

Se le considera un elemento esencial para la vida pues además posee un importante papel biológico en el proceso de fotosíntesis de las plantas, aunque no forme un compuesto con la clorofila. (8)(60)

El desequilibrio de cobre en el organismo cuando se produce en forma excesiva ocasiona una enfermedad hepática poco común conocida como enfermedad de Wilson, el origen de esta enfermedad es hereditario y el trastorno hepático que ocasiona también daña al sistema nervioso. Por otra parte la deficiencia severa de cobre provoca disminución de los glóbulos blancos, de las plaquetas, alteraciones de los huesos, impide la absorción y la movilización del hierro almacenado lo que conlleva a una baja concentración de este metal para una

producción normal de los glóbulos rojos y por tanto se desarrolla anemia. Puede producirse deficiencia de cobre en el organismo con una dieta pobre en calcio, también hay enfermedades que disminuyen su absorción como: la enfermedad celíaca, la fibrosis quística o al realizar dietas restrictivas. (3)(8)

3.9.2 Fuentes naturales de cobre

El cobre se encuentra naturalmente en la corteza terrestre en una variedad de formas, se puede encontrar en depósitos de sulfuros, carbonatos y silicatos.

Además se está presente en una gran cantidad de alimentos habituales de la dieta tales como vegetales verdes, legumbres, nueces, el pescado, los guisantes, las lentejas, el hígado, los moluscos, los crustáceos, levadura de cerveza, hígado de vaca, melaza, avena, germen de trigo, habichuela, arveja seca, lenteja, alfalfa (harina), coco seco, aceituna, cebada, albaricoque seco, conejo, arroz integral, queso parmesano, higo seco, jugo fresco de manzana. (3)(8)

3.9.3 Concentración natural de cobre en suelo

El cobre es el elemento menos disponible para las plantas en el suelo, con un alto contenido orgánico o alto pH. La concentración de cobre normal en suelos descontaminados se encuentra en un rango de 20-50 µg/g. (8)

3.9.4 Concentración natural de cobre en agua

En aguas no contaminadas se detectan niveles de este elemento entre 0.0001 y 0.005 mg/L, pero por lo general, en el mar se encuentran concentraciones más bajas a las mencionadas, sin embargo en los cursos de aguas cercanas a zonas industrializadas se pueden encontrar concentraciones de 0.05 mg/L. (8)(28)

3.9.5 Efecto de cobre en plantas

El cobre es esencial para el crecimiento saludable y la reproducción de un gran número de plantas, debido a su existencia como constituyente de varias proteínas, principalmente enzimas, las cuales tienen variadas pero importantes funciones metabólicas. Estas proteínas que contienen cobre (proteínas de cobre o enzimas de cobre) tienen funciones clave en: respiración, fotosíntesis, lignificación y metabolismo de fenol, síntesis de proteínas y regulación de auxinas (hormonas de crecimiento). Como con otros micronutrientes, el metabolismo de las plantas se deteriora cuando el contenido en cobre está por encima o por debajo de los valores establecidos, debido a la gran influencia que tiene en variados procesos, esta cantidad de cobre depende del tipo de especie vegetal y la edad de esta. (8)

3.9.6 Toxicidad del cobre en el ser humano.

La enfermedad de Wilson es un trastorno hereditario que provoca la acumulación de cobre en el hígado y en otros órganos pudiendo provocar hepatitis y alteraciones renales si no es tratada y diagnosticada adecuadamente. (34)

Los niveles elevados de cobre en el plasma causan en pacientes con reumatismo (osteoartritis o artritis reumatoide) una inflamación crónica. (8)

Además este elemento está implicado en determinadas e importantes funciones a nivel biológico, entre las que cabe destacar las siguientes:

- **Síntesis de Hemoglobina:** estudios recientes han demostrado la interdependencia que existe entre cobre e hierro. En cerdos por ejemplo se ha comprobado que una deficiencia de cobre puede indicar una defectuosa absorción de hierro por el tracto gastrointestinal. La Ceruloplasmina es una proteína transportadora de cobre en sangre y participa en el metabolismo del

hierro, movilizándolo desde las células del retículo endotelial al resto del organismo. (8)

- **Pigmentación y textura de pelo:** uno de los signos más fácilmente reconocibles de la deficiencia de cobre en animales son el cambio en el color y la textura del pelo; el fundamento químico del cambio de color es una alteración en el metabolismo de la tirosina, un precursor de la melanina.(8)
- **Función nerviosa:** diversos trastornos del sistema nervioso central incluyendo ataxia, temblor, ataque clónico, hipomielinización o desmielinización y reducidos niveles de esfingolípidos son sintomáticos de deficiencia de cobre en muchos animales.

La función del cobre en el cerebro es asociada probablemente con dopamina y noradrenalina, las cuales se encuentran en concentraciones más bajas de lo normal en el tronco cerebral de corderos y ratas con deficiencias de cobre. Bajas concentraciones de dopamina y adrenalina se asocian en humanos con la enfermedad del Parkinson, una enfermedad caracterizada por temblores moderados y alteraciones motoras. (8)

- **Integridad cardiovascular:** probablemente la indicación más importante de la deficiencia de cobre es la que afecta a la integridad y elasticidad de las arterias, de considerable significación en la etiología de enfermedades cardiovasculares.

Así, se ha observado en animales (pollos, cerdos, gatos, ratas, etc) que una deficiencia de cobre puede provocar la debilitación repentina y ruptura de una arteria principal, incluso del corazón. En humanos, esta alteración arterial es frecuentemente el suceso terminal en pacientes con enfermedad de Menkes.

(8)

- **Pulmones:** la función normal del pulmón depende de las células del parénquima del pulmón apoyadas por el colágeno extracelular y elastina. Se ha observado que el enfisema pulmonar en animales puede ser debido a fallos en su formación originados a su vez por deficiencias de cobre. (8)

3.10 Hierro

3.10.1 Generalidades del hierro

El hierro es esencial para la vida de los organismos, la función dominante del hierro en el cuerpo humano es fijar el oxígeno a la hemoglobina, proteína que se encarga de transportar el oxígeno desde los pulmones a todos los tejidos. Ayuda a la síntesis de mioglobina, a la formación de glóbulos rojos, tejido muscular, ayuda al metabolismo de las vitaminas del complejo B, facilita el transporte de O₂ para la respiración celular.

Es un componente de enzimas de desintoxicación microsomal, ayuda al metabolismo oxidativo, mejora los mecanismos de defensa e inmunológicos, mejora la actividad física y favorece el control de la temperatura corporal. El rápido crecimiento hace de los lactantes y los niños de corta edad un grupo de riesgo particular para la anemia deficiente en hierro. (16)(59)

3.10.2 Fuentes naturales de hierro

Este oligoelemento se presenta en las estructuras cristalinas de numerosos minerales y en alimentos como la levadura de cerveza, salchicha, mortadela, soya, germen de trigo, melaza, frijol, garbanzo, hígado de res, melocotón seco, yema de huevo, haba blanca, almeja fresca, harina de cambur, solomo y avena. (16)(59)

3.10.3 Concentración natural de hierro en el suelo

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, después del silicio, oxígeno y aluminio, representa el 5.1% de su peso total y su contenido en suelo se estima en un 3.8%. Al igual que para el resto de nutrientes el punto de partida de este elemento en el suelo son los minerales primarios, que incluyen silicatos ferromagnéticos; estos minerales junto con las biotitas constituyen la mayor fuente de hierro en las rocas ígneas.

A partir de la meteorización de los minerales primarios se libera hierro soluble, que podrá ser utilizado por los organismos, unirse a distintos ligandos orgánicos, o bien ser transformado a minerales secundarios tales como sulfuros, carbonatos, minerales de arcilla, pero fundamentalmente óxidos e hidróxidos de distinta composición y grados de cristalización que serán los que controlen principalmente la solubilidad de este elemento en el suelo. (22)

3.10.4 Concentración natural de hierro en agua

Este oligoelemento está presente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0.5-50 mg/L y debido a la utilización de coagulantes de hierro o a la corrosión de tuberías de acero durante la distribución del agua puede haber hierro en el agua de consumo humano. (22)(42)

3.10.5 Efectos del hierro en las plantas

Las plantas necesitan hierro para la formación de la clorofila, pigmento que da a las hojas su color verde y es necesario para que la planta produzca el alimento que necesita para su propio crecimiento; también es necesario para muchas funciones enzimáticas involucradas en el metabolismo y la respiración de la

planta. El pH es un factor que posee un papel importante en la absorción de este elemento a través de la planta, el cual se absorbe solamente como ion libre cuando el pH se encuentra entre 5.0 y 6.5. (22)

El principal síntoma de la falta de hierro en la planta es la pérdida del color verde de las hojas, denominado clorosis férrica, la cual se manifiesta por el amarillamiento del tejido de las hojas debido a la carencia de clorofila, existen diferentes condiciones que provocan una deficiencia de hierro como puede ser la existencia de un pH elevado en el suelo, o que el suelo sea excesivamente calizo o excesivamente rico en fósforo. (22)

3.10.6 Toxicidad del hierro en el ser humano.

La ausencia o exceso en el organismo humano de este elemento puede causar diversos síntomas, una disminución en la concentración de hierro produce anemia microcítica y un exceso fomenta el estrés oxidativo por favorecer la formación de radicales libres ($\cdot O H$), incrementa el riesgo a infecciones, diabetes, siderosis y cáncer. (34)(59)

3.11 Zinc

3.11.1 Generalidades.

El zinc es un elemento químico esencial para las personas e interviene en el metabolismo de proteínas y ácidos nucleicos, estimula la actividad de aproximadamente 100 enzimas, colabora en el buen funcionamiento del sistema inmunitario, es necesario para la cicatrización de las heridas, interviene en las percepciones del gusto y en la síntesis del ADN. Este oligoelemento ayuda a mantener la homeostasis de los tejidos y prevenir el estrés oxidativo, es

importante para mantener el equilibrio dinámico ácido básico, ayuda a la síntesis de proteínas, de insulina, a la regeneración de los tejidos, incrementa el crecimiento y la actividad mental, mejora la fertilidad. (41)(61)

Se encuentra presente en la mayor parte de los alimentos, especialmente en los que son ricos en proteínas y el cuerpo humano contiene aproximadamente 2 g de zinc. (41)

3.11.2 Fuentes naturales de zinc.

El zinc es un mineral el cual no existe libre en la naturaleza, se encuentra en forma de óxido de zinc, silicato de zinc, carbonato de zinc y sulfuro de zinc. Está presente en diversos alimentos como semillas, habas, nueces, germen de trigo, levadura de cerveza, leche, huevo, carne, mariscos y granos. (41)(61)

3.11.3 Concentración natural de zinc en el suelo.

La disponibilidad del zinc se reduce de manera significativa en la medida que aumenta el pH del suelo, varias investigaciones han demostrado que su disponibilidad se puede reducir hasta 30 veces por cada unidad de pH que se aumente dentro del rango entre 5.0-7.0.

Además del pH una alta disponibilidad de fósforo disminuye la absorción de zinc, lo cual es poco común en terrenos de El Salvador ya que la mayoría son muy deficientes en fósforo, algunos investigadores han demostrado que un exceso de uno de ellos puede reducir la disponibilidad del otro y viceversa. Otro aspecto importante es cuando los terrenos han sido nivelados para mejorar el manejo del agua de irrigación ya que produce deficiencias de zinc debido a la eliminación de materia orgánica y/o a la compactación de los suelos. (61)

3.11.4 Concentración natural de zinc en el agua.

Se presenta de forma natural en el agua, la media de concentración presente en el agua de mar es de 0.6-5 ppb y en los ríos generalmente entre 5 y 10 ppb de este elemento. (41)

3.11.5 Efecto del zinc en plantas.

Las plantas utilizan el zinc como parte del proceso de formación de la clorofila y también es importante en la activación de varias enzimas principales en el crecimiento de las plantas. La movilidad del zinc dentro de la planta es muy pequeña, de forma que se encuentra en gran parte en la raíz, mientras que en los frutos su contenido es siempre bajo.

Este mineral estabiliza la molécula de clorofila, interfiere en la síntesis y conservación de auxinas así como de hormonas vegetales involucradas en el crecimiento; la deficiencia de zinc en la planta ocasiona que las hojas más jóvenes presenten zonas cloróticas que terminan necrosándose y afectando a todo el parénquima foliar. (41)(60)

3.11.6 Toxicidad del zinc en el ser humano.

El zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana, cuando la gente absorbe poco zinc estos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor. La deficiencia de zinc perjudica el sistema inmunitario, se relaciona con retraso en el crecimiento y puede causar pérdida del cabello, diarrea, impotencia, lesiones oculares y de piel, pérdida de apetito, pérdida de peso, tardanza en la cicatrización de las heridas y anomalías en el sentido del olfato. Puede dañar a los niños que no han nacido y a los recién

nacidos, está relacionado en la dermatitis del lactante por su carencia en leches artificiales o de vaca, siendo abundante en la leche materna, pero cuando sus madres han absorbido grandes concentraciones de zinc puede producir defectos de nacimiento. (41)(61)

3.12 Contaminantes en hortalizas

3.12.1 Nivel máximo de determinados contaminantes permitido en productos alimenticios.

Los metales se encuentran en todos los organismos vivos y poseen diferentes roles, pueden ser elementos estructurales, estabilizadores de estructuras biológicas, componentes de mecanismos de control y activadores de los sistemas redox; por ello algunos metales son elementos esenciales y su deficiencia afecta a las funciones biológicas, sin embargo, cuando estos se presentan en exceso pueden llegar a ser tóxicos. Algunos metales no tienen una función esencial conocida, contrario a esto muestran manifestaciones toxicas a exposiciones moderadas. Los efectos que estos elementos tienen sobre la salud del ser humano dependen de la naturaleza del compuesto, ruta de exposición, tiempo de exposición y dosis de exposición; las vías de exposición pueden ser por inhalación de humos o aire contaminado, ingesta de alimentos o agua contaminada y contacto directo con la piel; actualmente una de las más importantes rutas de exposición es la ingesta de alimentos contaminados. (24)

El Codex Alimentarius, órgano de las Naciones Unidas es la entidad responsable de regular los alimentos y ha acordado nuevas normas para proteger la salud de los consumidores en todo el mundo, entre ellas normas referentes a las frutas, hortalizas, pescado, productos pesqueros y piensos. La Comisión del Codex gestionada conjuntamente por la Organización de las Naciones Unidas para la

Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), establece normas internacionales de inocuidad y calidad de los alimentos a fin de fomentar la producción de alimentos más sanos y nutritivos para los consumidores en todo el mundo. Las normas del Codex sirven en muchos casos para fundamentar la legislación nacional y como criterio de referencia en materia de inocuidad de los alimentos. (23)

A continuación se hace referencia al nivel máximo de los elementos en estudio (plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc) permitido en hortalizas de hojas, representados en la **Tabla N° 2** según JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius. (23)(24)

Tabla N° 2. Nivel Máximo de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc permitido en hortalizas de hojas. (23)(24)(73)

Metal pesado, mineral	Límite máximo permitido en mg.kg-1 (ppm)
Plomo	0.1-0.3
Arsénico	0.02
Cobre	5.0
Hierro	15.0
Zinc	5.0

3.12.2 Plantas hiperacumuladoras de metales pesados.

Uno de los problemas más importantes en la actualidad es la contaminación del suelo y del agua por sustancias tóxicas o metales pesados; para disminuir el contenido de metales pesados, tanto en el suelo y ciertos cultivos es mediante la aplicación de plantas hiperacumuladoras como tecnología alternativa (fitorremediación). Este método consiste en el uso de una planta específica para

eliminar, transferir o estabilizar los contaminantes, tanto orgánicos como inorgánicos; para ello la planta utilizada debe presentar alta adsorción y capacidad de crecer en suelos contaminados. Existen dos tipos de hiperacumuladoras, las que han sido capaces de adsorber metales en diferentes concentraciones y las que han sido capaces de acumular elementos específicos en alta concentración. (5)(12)(27)(43)

En el proceso de fitoextracción las plantas acumulan los contaminantes en sus tejidos o acumulan estos compuestos en sus órganos aéreos, y pueden concentrar metales en niveles que exceden aquellos presentes en el suelo o en las plantas no acumuladoras cercanas. Se ha propuesto que una planta que contienen más del 0.1% de níquel, cobalto, cobre, cromo o plomo en sus hojas (en base a materia seca) sea denominada hiperacumuladora, sin importar el metal o metales que concentre. (5)(63)

Actualmente se han identificado unas 400 especies hiperacumuladoras (320 especies hiperacumulan níquel, 30 especies cobalto, 34 especies cobre, 20 especies selenio, 14 especies plomo, 11 especies zinc y 10 especies manganeso) pertenecientes a 45 familias en la mayoría de los casos no se trata de especies raras, sino de cultivos conocidos, aunque las familias *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Poaceae*, *Violaceae*, *Fabaceae*, *Euphobiaceae*, *Celastraceae* y *Laminaceae* engloban la mayor parte de ellas (Ver **Cuadro N° 6**). (12)(27)

3.12.3 Metales pesados en el género *Crotalaria*.

Algunas investigaciones científicas han demostrado el éxito que tiene el uso de plantas para fines de remediación, y el género *Crotalaria sp.* no es la excepción ya que se han estudiado algunas de sus especies y se ha observado que poseen una actividad hiperacumuladora de metales como zinc, plomo, cadmio y cobre. Tal

es el caso de las especies *Crotalaria juncea* y *Crotalaria mucronata*, las cuales han demostrado la capacidad de acumular metales pesados del suelo, en este estudio: aluminio y plomo. (2)(3)(37)(38)

Cuadro N° 6. Especies vegetales que presentan una actividad fitorremediadora.
(37)(38)

Famila	Especie vegetal	Elemento	Órgano vegetal
<i>Poaceae</i>	<i>Zea mays</i>	Cadmio y plomo	Hojas y raíz
<i>Asteraceae</i>	<i>Helianthus annuus</i>	Uranio y plomo	Tallos y hojas
<i>Celastraceae</i>	<i>Stackhousia tryonii</i>	Níquel	Frutos
<i>Brassicaceae</i>	<i>Hirschfeldia incana</i>	Cobre y cromo	Raíz y órganos aéreos
<i>Brassicaceae</i>	<i>Streptanthus polygaloides</i> y <i>Allyssum bertolonii</i>	Níquel	Órganos aéreos
<i>Fabaceae</i>	<i>Crotalaria juncea</i> y <i>Crotalaria mucronata</i>	Aluminio y plomo	Órganos aéreos

3.13 Métodos utilizados para la determinación de metales pesados.

3.13.1 Generalidades

Los métodos empleados en la determinación de metales pesados son diversos, dentro de los que se destacan Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X, Espectrofotometría Ultravioleta Visible y Espectrofotometría de Absorción Atómica, siendo esta última una de las técnicas más utilizadas debido a su

relativa simplicidad, buena exactitud, precisión y costo para la cuantificación de especies inorgánicas en una gran cantidad de muestras. Sin embargo el método de Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X es un procedimiento analítico del cual se puede destacar su aplicación debido a que se puede utilizar para cualquier elemento de número atómico mayor que 4 (berilio). Su simplicidad reside en que el espectro de emisión de rayos X es muy sencillo de obtener y de interpretar. Las interferencias espectrales son relativamente infrecuentes, aunque hay que considerar los posibles efectos de matriz que pueden suponer efectos de absorción y de refuerzo de las líneas analíticas. Se trata de un método no destructivo en el sentido de que la muestra no sufre daños durante el análisis. Entre sus desventajas y limitaciones, se cita la necesidad de disponer de patrones generalmente caros; además existe una cierta problemática en el análisis de los elementos ligeros, por su baja sensibilidad debida a fenómenos de absorción. Es por ello que debido a que el número de muestras de *C. longirostrata* es considerablemente alto y a que el costo de su análisis es alto, se decidió realizar el estudio, por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica. (6)(36)(40)(56)

3.13.2 Espectrofotometría de absorción atómica (EAA)

3.13.2.1 Generalidades

La Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) utiliza la absorción de la luz a longitudes de onda intrínsecas característica de cada átomo, es un método instrumental en el cual se emplean principalmente radiaciones del espectro ultravioleta (UV), visible y Rayos X. Este método engloba las técnicas de espectrofotometría de absorción atómica con Llama (FAAS), espectrofotometría de absorción atómica en Horno de Grafito (GFAAS) y espectrofotometría de absorción atómica con Generación de Hidruros (HGAAS). (40)

Estas técnicas consisten en la medición de las especies atómicas por su absorción a una longitud de onda particular, la especie atómica se logra con la descomposición de las muestras en átomos mediante una Llama, Horno de Grafito o Generador de Hidruros lo que permite cuantificar metales presentes en diferentes matrices. (40)(56)

3.13.2.2 Descripción de la técnica

A) Espectroscopia de Absorción Atómica con llama:

La técnica de atomización más usada es la FAAS, donde se nebuliza la muestra y luego se disemina en forma de aerosol dentro de una llama de aire de acetileno u óxido nitroso-acetileno, que es producida por un quemador para que se lleve a cabo la atomización. Se reconoce como una técnica estándar ya que está disponible en casi todos los dispositivos de absorción atómica en el mercado. (40)

Es importante saber que el elemento contenido en la solución a analizar se encuentra en forma de molécula, la muestra se atomiza mediante un nebulizador mientras grandes gotas de agua se descargan al drenaje, y sólo una niebla fina se mezcla con el combustible y oxidante en la cámara de atomización. Luego es enviado a la llama donde la niebla se evapora instantáneamente y finas partículas de moléculas se producen, cuando estas partículas avanzan aún más en la llama, se disuelve en átomos por acción del calor (Ver **Figura N° 10**); estos átomos absorben cualitativamente la radiación emitida por la lámpara y la cantidad de radiación absorbida está en función de su concentración. (40)

La señal de la lámpara una vez que pasa por la llama llega a un monocromador, que tiene como finalidad el discriminar todas las señales que acompañan la línea de interés; esta señal de radiación electromagnética llega a un detector o

transductor y pasa a un amplificador y por último a un sistema de lectura. Para lograr un análisis de sensibilidad, seguridad, facilidad de uso, costo y otros puntos; hay cuatro llamas estándar que se han utilizado para este método: aire acetileno, óxido de acetileno, hidrógeno-aire nitroso y argón-hidrógeno. Estas llamas se utilizan para cada elemento dependiendo de la temperatura y características del gas. (66)

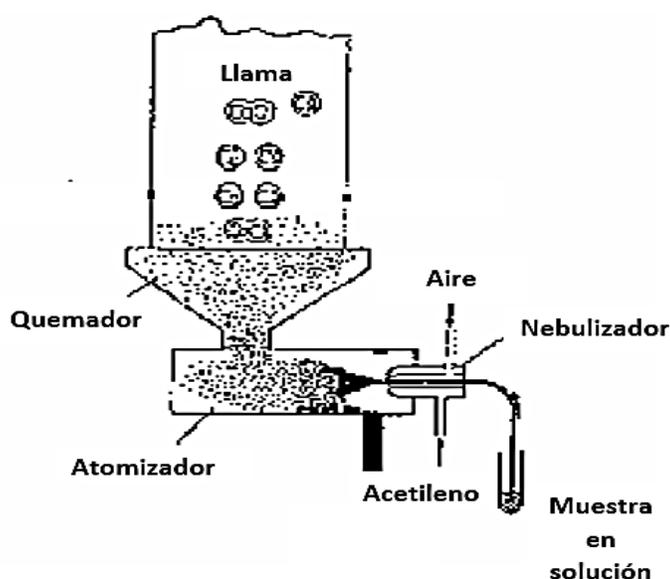


Figura N° 10. Diagrama típico del quemador en Espectroscopia de Absorción Atómica con llama.

B) Espectroscopia de Absorción Atómica Electrotérmico (cámara de grafito):

Es otra técnica de atomización y presenta más sensibilidad que la AA por el método de llama ya que supera sus limitaciones, pero es específica para algunos elementos según sus propiedades y características. (66)

Un volumen pequeño de muestra, usualmente entre 2 a 20 μL , es adicionado directamente en el tubo de grafito revestido pirolíticamente; dicho revestimiento

lo vuelve resistente a los procesos de oxidación que ocurren dentro del tubo, aumentando así su vida útil y haciéndolo impermeable a líquidos, para evitar su ingreso al interior; todo esto mejora la sensibilidad y reproducibilidad de las medidas en GFAAS. Este tubo es calentado por el pasaje de una corriente eléctrica controlada a través de una serie de pasos programados para remover el solvente y la mayor parte de componentes de la matriz. Luego se atomiza la muestra para generar vapores atómicos.

Todo el analito que se introduce en el tubo de grafito es atomizado; los átomos son retenidos y posicionados en el camino óptico por un período de tiempo mayor que en el caso del método que utiliza llama (FAAS), para lograr la atomización. Como consecuencia de esto, la sensibilidad y el límite de detección son muy bajos, del orden de partes por billón. Esto puede atribuirse principalmente al hecho de que el solvente no está presente al mismo tiempo que el analito, y a la ausencia de dilución que ocurre en FAAS por el gas portador. Cuando el grafito se calienta a una alta temperatura, los elementos de la muestra se atomizan y si la luz de la fuente de luz se envía a través del tubo, la luz es absorbida por la muestra cuando se atomiza. (Ver **Figura N° 11**)

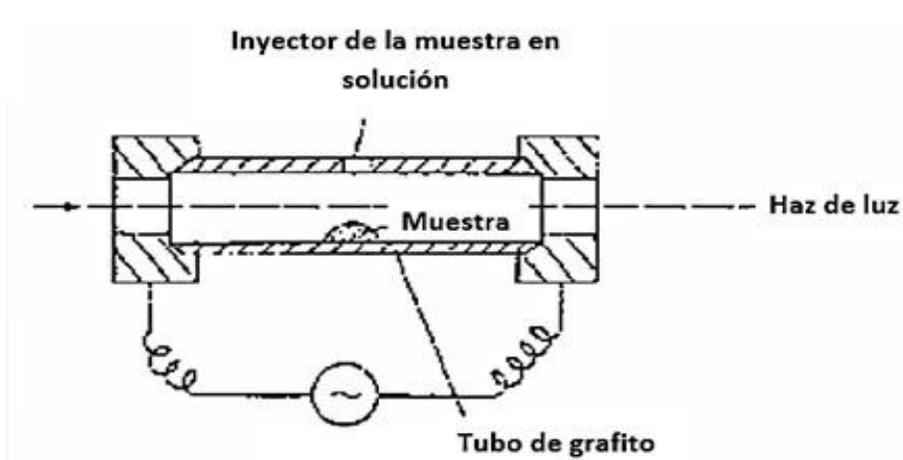


Figura N° 11. Diagrama de Absorción Atómica atomizador sin llama o cámara de grafito.

Después que se inyecta la muestra en el tubo, el calentamiento se realiza en tres etapas:

- Etapa de secado: el tubo se calienta a aproximadamente 100 °C y el agua en la muestra se evapora por completo.
- Etapa de calcinación: el tubo se calienta de 400°C a 1000°C en donde la materia orgánica y la otra materia coexistente se disuelve y evapora.
- Etapa de atomización: se calienta de 1400°C a 3000°C y las sales metálicas que quedan en el tubo se atomizan.

El calentamiento se realiza generalmente mediante el cambio de temperatura en cada etapa anteriormente mencionada. (40)

En este método, se adiciona una cantidad conocida de analíto a una alícuota de la muestra a lo que se conoce como el uso de adiciones estándar.

Se determinan los valores de absorbancia de la muestra adicionada y de la muestra sin adicionar, se grafican los resultados y se extrapolan para absorbancia cero; se determina el contenido de analíto en la muestra original.

El mayor problema de este método es que se debe asumir que los componentes de la matriz afectan la formación de átomos libres del analíto de la misma manera que afectan a los que se encuentran presentes en la matriz adicionada. (40)

- Método de Adición de Estándar

El método de adición de estándar se usa cuando hay interferencia por el material coexistente (matriz) en la muestra e influye en el valor medido. Para este método, se preparan volúmenes iguales de la muestra desconocida, y a cada una de ellas se les adiciona soluciones estándar de diferente concentración conocida. Se mide la absorbancia para cada una de las muestras, y se crea una curva de

calibración. La concentración de la muestra desconocida se obtiene desde el punto en que la curva de calibración extendida intersecta con el eje horizontal (Ver **Figura N° 12**). (40)

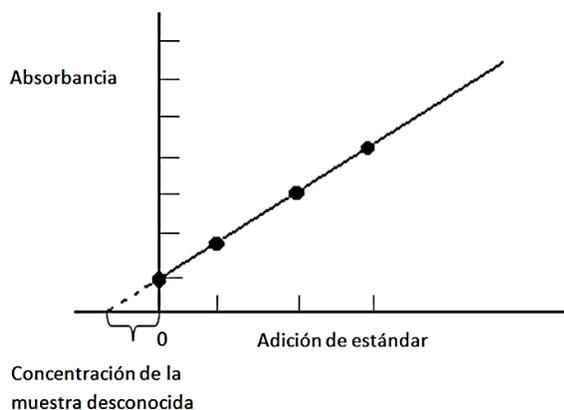


Figura N° 12. Método de Adición de Estándar.

- Método Simple de Adición de Estándar

Cuando el material coexistente o la matriz de muestras plurales desconocidas son similares, medir una de ella por el método de adición de estándar, y puede utilizar la pendiente de la misma curva de calibración para determinar las concentraciones de las otras muestras desconocidas (Ver **Figura N° 13**). (40)

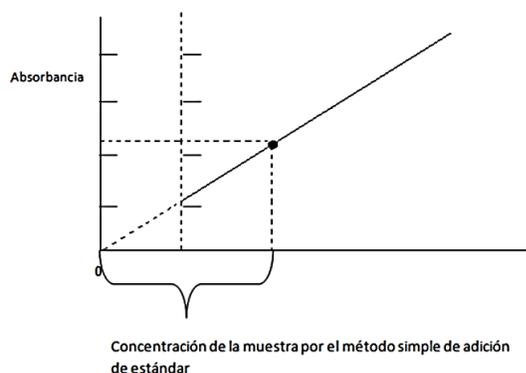


Figura N° 13. Método Simple de Adición de Estándar.

C) Espectroscopia de Absorción Atómica con Generador de Hidruros:

Con este método se pueden analizar elementos capaces de formar hidruros volátiles como el As, Hg, Sn, Bi, Se y Sb, llegando a detectarse niveles de unos pocos ppb (Ver **Figura N° 14**).

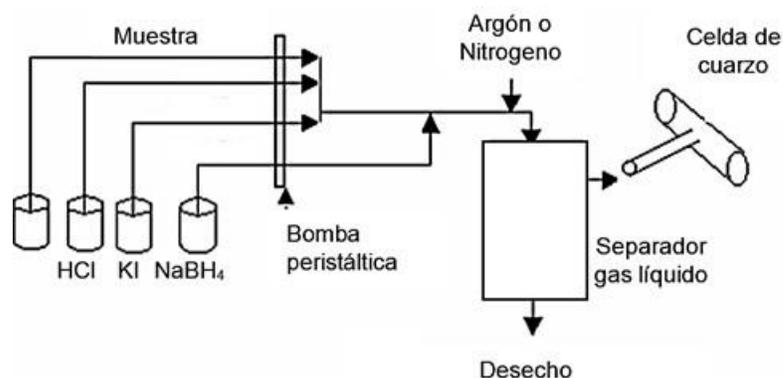
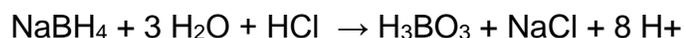


Figura N° 14. Diagrama de Absorción Atómica Generador de Hidruro.

La técnica de GH-AAS consta de tres etapas fundamentales: la generación y volatilización del hidruro, la transferencia del mismo y su posterior atomización en el Espectrómetro de Absorción Atómica. La generación del hidruro se consigue, tratando la muestra que contiene arsénico (As) por ejemplo, con una disolución de Hidroborato de sodio (NaBH_4) en medio ácido (HCl).



Donde:

H^+ : es el hidrógeno nascente

As: el elemento formador de hidruro

$m+$: su estado de oxidación (que puede o no coincidir con “n”, el índice de coordinación). (56)

El reductor utilizado universalmente es el Hidroborato de sodio lo que hace que la reacción sea completa y rápida pero cuando se trata de la especie inorgánica As (III), en el caso de As (V) y las especies orgánicas Monometilarsénico (MMA) y Dimetilarsénico (DMA), la reacción es muy lenta por lo que es necesaria una reducción previa, para lo cual se utiliza yoduro de potasio.

La mezcla del hidruro con el resto de la dilución es bombeada a un separador gas-líquido, donde una corriente de gas inerte (generalmente argón o nitrógeno) impulsa el hidruro hacia la llama liberándolo de la disolución. La atomización del hidruro se realiza en un tubo de cuarzo en forma de “T” que calentado por la llama de aire-acetileno, donde se aumenta el tiempo de residencia de los átomos y evita la dispersión de los mismos y el ruido de fondo. (6)(56)

Cuando los gases pasan a través de este tubo calentado, ocurre una descomposición térmica, y se liberan los átomos del elemento:



Al pasar la luz emitida por la lámpara a través del conjunto de átomos, la absorción crece a medida que estos se producen, llega a un máximo y cae al consumirse el analito y agotarse los átomos de la celda de absorción.

3.13.2.3 Equipo de Absorción Atómica

Los componentes básicos de un equipo de Absorción Atómica se esquematizan en la **Figura N° 15**.

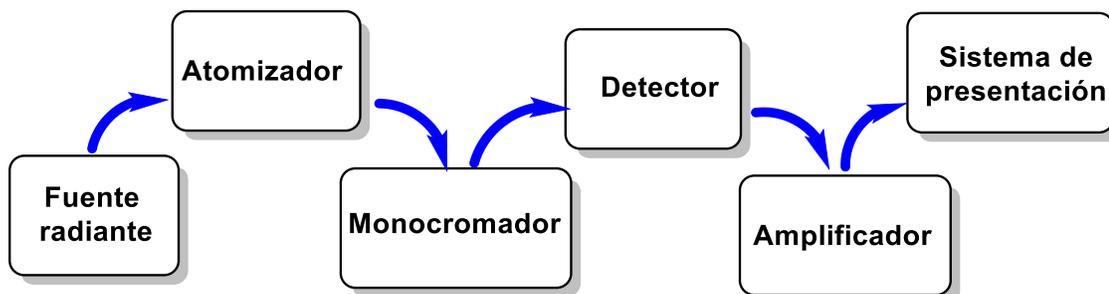


Figura N° 15. Componentes básicos de un equipo de EAA.

Cada uno de estos componentes se describe a continuación: (40)(56)

- **Fuente radiante:** la más común para las mediciones de absorción atómica es la lámpara de cátodo hueco, que consiste en un cilindro relleno con un gas inerte dentro del cual se encuentra un cátodo (construido del metal a analizar) y un ánodo. Al aplicar un cierto potencial a través de los electrodos esta fuente emite el espectro atómico del metal del cual está construido el cátodo.
- **Atomizadores con y sin llama:** producen los átomos libres del metal en el haz de la radiación. El atomizador con llama está compuesto de un nebulizador y un quemador. La solución de la muestra es convertida primero a un fino aerosol y luego llevada a la llama que entrega la energía suficiente para evaporar el solvente y descomponer los compuestos químicos resultantes en átomos libres en su estado fundamental. En los atomizadores sin llama o atomización electrotérmica con horno de grafito, el vapor atómico se genera en un tubo de grafito calentado eléctricamente, en cuyo interior se ubica la muestra.

Estos atomizadores que presentan diversas ventajas, como una alta eficiencia en generar vapor atómico, permite el empleo de pequeños volúmenes de muestra y análisis directo de muestras sólidas.

- **Monocromadores:** permiten aislar una línea de resonancia del espectro emitido por la lámpara de cátodo hueco.
- **Detector:** se emplea un fotomultiplicador que produce una corriente eléctrica, la cual es proporcional a la intensidad de la línea aislada por el monocromador.
- **Amplificador:** es selectivo y amplifica la señal pasando luego a un dispositivo de lectura que puede ser un voltímetro digital o un registrador u otros. (56)

3.13.2.4 Aplicaciones

La Espectrofotometría de Absorción Atómica constituye una de las técnicas empleadas para la determinación de más de 60 elementos, algunas aplicaciones incluyen: el análisis de agua de mar, aguas residuales, agua potable, determinación de metales en sangre, especiación de metales en solución, análisis de metales en solventes orgánicos, determinación de fertilizantes, análisis de suelos, análisis de metales pesados en alimentos contaminados, análisis de metales pesados en hortalizas, determinación de metales en muestras geológicas, composición de aceros, cementos, etc. (56)

Además de una amplia gama de muestras de industrias químicas y farmacéuticas. Las características más importantes son:

- Aplicaciones principales: análisis cuantitativo de precisión para un metal dado.
- Fenómeno atómico: absorción de la línea atómica característica.
- Ventajas en el análisis cualitativo: no es aplicable.
- Ventajas en el análisis cuantitativo: análisis rápido y fiable de un elemento dado. en algunos casos alta sensibilidad.

- Muestra promedio deseable: 100 mg.
- Limitaciones del método: los metales se analizan individualmente no simultáneamente. por lo general no es aplicable a no metales.
- Limitaciones para la muestra: la mayoría de muestras orgánicas líquidas y sólidas requieren de digestión antes del análisis.
- Muestra de inyección: 50 μL , cantidad ideal es de 10 μL a 20 μL .

CAPITULO IV
DISEÑO METODOLOGICO

4.0 DISEÑO METODOLOGICO

4.1 Tipo de Estudio

- **Prospectivo:** porque es un antecedente para futuras investigaciones.
- **Experimental:** ya que se llevó a cabo un Análisis Químico Instrumental, en las instalaciones de los Laboratorios de Química Agrícola en la Facultad de Ciencias Agronómicas y en el Laboratorio de Investigación en Productos Naturales de la Facultad de Química y Farmacia, ambos de la Universidad de El Salvador.

4.2 Investigación Bibliográfica

Se realizaron consultas en:

Bibliotecas:

- Dr. Benjamín Orozco de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.
- Central de la Universidad de El Salvador.
- Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.
- “Hugo Lindo” de la Universidad Dr. José Matías Delgado.
- Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer.

Sitios web:

- Internet.

Con la finalidad de recolectar información teórica que sustentara el análisis de la determinación de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc en hojas de *Crotalaria longirostrata* (Chipilín) a través de consultas en publicaciones científicas, libros, trabajos de graduación y otros.

4.3 Investigación de Campo

4.3.1 Ubicación de la recolección del material vegetal

La recolección de muestras vegetales de *Crotalaria longirostrata* se realizó en el Departamento de la Libertad (zona Central) y el Departamento de Sonsonate (zona Occidental) de El Salvador.

4.3.2 Recolección de muestras foliares en plantación de *Crotalaria longirostrata*.

Se realizaron visitas de campo a las zonas de estudio seleccionadas ubicadas en los Cantones:

- Zapotitán y San Andrés ambos del Municipio de Ciudad Arce, Entre Ríos del Municipio de Colón, en el Departamento de la Libertad.
- Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco y Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco, ambos pertenecientes al Departamento de Sonsonate.

Las muestras del material vegetal se recolectaron en seis cultivos diferentes, ubicados en las zonas antes mencionadas y se codificaron a los productores de cada cultivo. (Ver **Cuadro N° 7**)

Para establecer los puntos de muestreo se tomó como criterio principal de selección las zonas de mayor producción de *C. longirostrata* en el país, según información proporcionada por el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, Enrique Álvarez Córdoba (CENTA). (21)(25)(30)(68)

Se visitaron a tres productores en el Departamento de la Libertad y a tres productores en el Departamento de Sonsonate; en cada zona de muestreo se colectó la hortaliza en forma de zigzag, seleccionando diez puntos de muestreo

(Ver **Figura N° 16**); en cada uno de los puntos se tomó una cantidad de 540 g - 550 g de muestra vegetal, obteniendo diez muestras simples en total por cada cultivo visitado; que posteriormente se unificaron, obteniendo de esta manera seis muestras compuestas con un peso entre 5400 g - 5500 g.

Cuadro N° 7. Codificación de los productores de *C. longirostrata* de acuerdo a los lugares de recolección de la muestra.

Productor	código	Lugares de recolección de la muestra.	Departamento
1	P1	Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón.	La Libertad
2	P2	Cantón Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco.	Sonsonate
3	P3	Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco.	Sonsonate
4	P4	Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco.	Sonsonate
5	P5	Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce. (Vía Férrea)	La Libertad
6	P6	Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce. (Escuela Nacional de Agricultura Roberto Quiñonez)	La Libertad

Para la recolección del material vegetal (hojas de *C. longirostrata*) se tomaron en cuenta los siguientes cuidados:

1. Recolectar manualmente las muestras frescas (tallo y hojas) con las manos limpias, utilizando cuchillo plástico y guantes de látex.
2. Empacar cada muestra (tallo y hojas) en bolsas de polietileno nuevas, limpias y previamente rotuladas.
3. Transportar las muestras frescas en hielera a una temperatura de $\pm 4^{\circ}$ C, hacia el Laboratorio de Investigación en Productos Naturales de la Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.

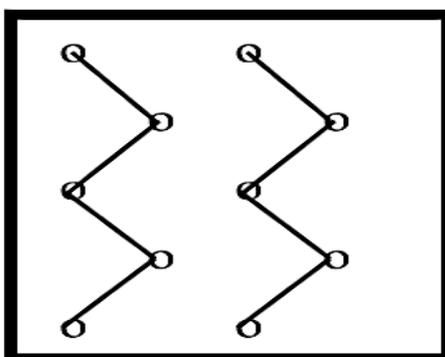


Figura N° 16. Puntos de muestreo en forma de zigzag para la recolección del material vegetal. (21)(68)

4.3.3 Recolección de información sobre el manejo del cultivo de *C. longirostrata*.

Se elaboraron dos encuestas (Ver **Anexo N° 4**) destinadas a la recolección de información sobre el manejo del cultivo; una encuesta se dirigió a los seis productores de cada cultivo donde se recolectó el material vegetal, con la finalidad de conocer si están adicionando elementos metálicos (hierro, cobre, zinc, plomo o arsénico) al cultivo por la aplicación de fertilizantes o plaguicidas;

y la otra encuesta se destinó a Técnicos ó Ingenieros Agrónomos que laboraban en seis Agroservicios de mayor afluencia del país según información proporcionada por el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, Enrique Álvarez Córdoba (CENTA), para obtener información sobre algunos productos agroquímicos que comercializan y que son utilizados por productores que cultivan *C. longirostrata* y se codificaron de la siguiente manera:

- A1: El Surco S.A De C.V (Lourdes Colón)
- A2: Agroservicio El Agricultor (Sonsonate)
- A3: Villavar Agroservicio (San Juan Opico)
- A4: El Surco S.A De C.V (Santa Tecla)
- A5: Agroservicio Farrar (San Salvador)
- A6: Agroservicio El Agricultor (San salvador)

A partir de la información proporcionada se realizó la investigación bibliográfica para conocer las sustancias activas de los productos agroquímicos mencionados y también se pudo inferir sobre los resultados obtenidos a través de la cuantificación de los elementos metálicos en estudio con el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

- **Universo:** todos los cultivos de *C. longirostrata* ubicado en los Cantones Entre Ríos perteneciente al Municipio de Colón; Zapotitán y San Andrés ambos del Municipio de Ciudad Arce en el Departamento de la Libertad; Cantones Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco y Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco, pertenecientes al Departamento de Sonsonate.
- **Muestra:** las seis muestras compuestas de *C. longirostrata* con un peso de 5400 g – 5500g de hojas frescas recolectadas en las zonas seleccionadas.
- **Tipo de muestreo:** aleatorio simple. (53)

4.4 Parte Experimental

4.4.1 Pretratamiento de las muestras

En el Laboratorio de Investigación de Productos Naturales de la Facultad de Química y Farmacia, las seis muestras compuestas con un peso entre 5400 g - 5500 g, se dividieron en dos manojos iguales (tallos con hojas) con la finalidad de llevar un duplicado; los cuales se lavaron con agua destilada. Los manojos se dividieron en cinco muestras simples, que posteriormente se secaron con papel toalla para retirar el exceso de humedad y se separaron las hojas de los tallos manualmente (utilizando guantes de látex). Obteniéndose al final sesenta muestras simples de las cuales se partió para iniciar el proceso experimental.

A. Determinación del porcentaje de humedad parcial. (11)(13)(36)(71)

Principio:

La humedad (agua) de la muestra se elimina por medio de la evaporación inducida por el calor, utilizando para ello una estufa de aire reforzado a una temperatura entre 50 – 70 °C por un período de doce horas, determinando en esta forma la humedad parcial. (Ver **Anexo N° 5**)

Procedimiento:

1. Pesar 100.0 ± 0.1 g de hojas dentro de bolsas de papel previamente tarada e identificada, utilizando una balanza analítica METTLER TOLEDO ML 204.
2. Colocar las bolsas de papel en la estufa de aire reforzado Thermo Scientific™ HERAtherm.
3. Secar a una temperatura de 50 °C por 12 horas.

4. Enfriar en el desecador por 30 minutos y pesar (anotar peso).
5. Pulverizar utilizando mortero y pistilo hasta obtener un polvo fino.
6. Almacenar dentro bolsas herméticas de una libra de capacidad, en un lugar fresco y seco con su debida identificación.

Nota: En todo el análisis se procuró evitar el contacto directo de la muestra con materiales de metal con la finalidad de no contaminar las muestras con elementos metálicos.

B. Determinación del porcentaje de cenizas. (11)(13)(36)(71)

Principio:

La muestra se incinera en un horno de mufla a temperatura de 550 °C por dos horas, para quemar todo el material orgánico. El material inorgánico que no se destruye a esta temperatura se le llama cenizas (minerales). (Ver **Anexo N° 5**)

Procedimiento:

1. Colocar los crisoles de porcelana limpios, secos e identificados en el horno mufla Nabertherm L 24/12 P-320 a 550 °C por 1 hora.
2. Sacar los crisoles del horno de mufla, colocar en un desecador y enfriar durante 30 minutos.
3. Pesar los crisoles de porcelana vacíos y anotar peso.
4. Pesar 5.0000 ± 0.1 g de muestra (hojas de *C. longirostrata*) seca y molida directamente en los crisoles de porcelana previamente tarados, utilizando una balanza analítica METTLER TOLEDO ML 204.
5. Colocar en el horno de mufla y mantener a temperatura de 550 °C durante 2 horas; controlar el tiempo y la temperatura.
6. Retirar los crisoles del horno de mufla, colocar en un desecador durante 30 minutos y enfriar.

7. Pesar los crisoles con las muestras calcinadas y anotar el peso (la diferencia de peso con el crisol vacío son las cenizas).
8. Observar el color de las cenizas, si no poseen una coloración blanca esto indica que la calcinación es incompleta: en este caso se debe agregar 2 mL de ácido nítrico 1:1 (Ver **Anexo N° 6**) y agitar cuidadosamente.
9. Continuar la incineración y añadir 4.0 mL de agua para favorecer la formación de cenizas.

C. Preparación de soluciones madres de los elementos en estudio (Ver Anexo N° 5). (66)(71)

1. Solubilizar las cenizas contenidas en cada crisol de porcelana con 5 mL de ácido clorhídrico 1:1 (Ver **Anexo N° 6**) y 2 mL de agua bidestilada.
2. Agitar cuidadosamente para disolver las sales.
3. Ebullición lentamente en un hotplate Corning PC-420D a una temperatura de 60 ± 5 °C por 5 minutos, hasta que no se observen vapores.
4. Enfriar a temperatura ambiente y filtrar la solución con papel whatman poro # 42.
5. Recibir el filtrado en balones volumétricos de 50.0 mL, previamente identificados.
6. Agregar agua bidestilada con ayuda de un agitador y lavar tres veces cada crisol.
7. Aforar los balones volumétricos con agua bidestilada, homogenizar y rotular.

Nota:

se identificaron dos crisoles como “blanco” y dichos crisoles se trabajaron de la misma manera que los crisoles que contenían las muestras, a partir del apartado **4.4.1 B** (Determinación del porcentaje de cenizas).

4.4.2 Preparación de Soluciones stock para plomo (Pb), arsénico (As), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc Zn). (66)(71)

A) Preparación de Solución stock (20 ppb) para plomo y arsénico. (Ver Anexo N° 7 y 8). (66)(71)

Medir 2.0 mL de una solución de 1000 ppb de plomo con una pipeta de 5.0 mL, luego colocarla en un frasco volumétrico de 100.0 mL, diluir con agua destilada, llevar a volumen y homogenizar.

Para la preparación de la Solución stock (20 ppb) de arsénico, se siguió el mismo procedimiento, partiendo de una solución de 1000 ppb de As.

B) Preparación de Solución stock (20 ppm) para hierro, cobre y zinc. (Ver Anexo N° 7 y 8).

Medir 2.0 mL de la solución de 1000 ppm de hierro con una micropipeta de 5.0 mL, colocarla en un frasco volumétrico de 100.0 mL, diluir con agua destilada, llevar a volumen y mezclar.

En la preparación de las Soluciones Stock (20 ppm) para cobre (Cu) y zinc (Zn) se siguió el mismo procedimiento, en este caso se utilizó una solución de 1000 ppm de cada elemento respectivamente.

4.4.3 Preparación de Soluciones estándares para plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc para las curvas de calibración (Ver Anexo N° 8). (66)(71)

a) Estándar de plomo (2.0 ppb, 5.0 ppb, 10.0 ppb y 20.0 ppb) a partir de una solución stock de 20 ppm de Pb.

Transferir alícuotas de 5.0 mL, 12.5 mL, 25.0 mL y 50.0 mL de la Solución stock

de plomo (20.0 ppb) con una pipeta de 25.0 mL, colocarlas en un balón de 50.0 mL. Diluir con agua destilada, llevar a volumen y homogenizar.

b) Estándar de arsénico (0.5 ppb, 1.0 ppb, 2.0 ppb y 5.0 ppb) a partir de una solución stock de 20 ppb de As.

Transferir alícuotas de 1.25 mL, 2.5 mL, 5.0 mL y 12.5 mL de la Solución stock de arsénico (20.0 ppb) con una pipeta de 15.0 mL, colocarlas en un balón de 50.0 mL, aforar con agua destilada y homogenizar.

c) Estándar de hierro (0.3 ppm, 1.0 ppm, 3.0 ppm y 6.0 ppm) a partir de una solución stock de 20 ppm de Fe.

Transferir a balones volumétricos de 50.0 mL alícuotas de 0.75 mL, 2.5 mL, 7.5 mL y 15.0 mL de Solución stock de 20.0 ppm de hierro. Aforar con agua destilada y homogenizar.

d) Estándar de cobre (0.2 ppm, 1.0 ppm, 2.0 ppm y 4.0 ppm) a partir de una solución stock de 20 ppm de Cu.

Transferir a balones volumétricos de 50.0 mL alícuotas de 0.5 mL, 2.5 mL, 5.0 mL y 10.0 mL de Solución stock de 20.0 ppm de cobre, aforar con agua destilada.

e) Estándar de zinc (0.05 ppm, 0.1 ppm, 0.5 ppm y 1.0 ppm) a partir de una solución stock de 20 ppm de Zn.

Transferir a balones volumétricos de 50.0 mL alícuotas de 0.13 mL, 0.25 mL, 1.25 mL y 2.50 mL de Solución stock de 20.0 ppm de zinc. Aforar con agua destilada y mezclar.

4.4.4 Procedimiento para la cuantificación de plomo y arsénico (Ver Anexo N° 9). (66)(71)

4.4.4.1 Plomo (Espectroscopia de Absorción Atómica Horno de Grafito).

1. Añadir un volumen de 20 mL de la solución de nitrato de paladio (II) 10.0 ppm, 100 mL de ácido nítrico proporción 1:1 (Ver **Anexo N° 6**), 10 mL de cada solución estándar de plomo (2.0 ppb, 5.0 ppb, 10.0 ppb y 20.0 ppb) y 2.0 mL de cada solución muestra en viales.
2. Colocar los viales en el carrusel del automuestreador del equipo de EAA.
3. Correr el blanco y ajustar a cero el equipo, a una longitud de onda de 283.3 nm.
4. Elaborar la curva de calibración con los estándares 2.0 ppb, 5.0 ppb, 10.0 ppb y 20.0 ppb de plomo.
5. Hacer la lectura de la concentración en ppb de cada muestra para dicho elemento utilizando el método de adición de estándar el cual consistió en hacer una dilución previa con 100.0 μ L de solución muestra a un volumen de 600.0 μ L.
6. Realizar tres réplicas.

4.4.4.2 Arsénico (Espectroscopia de Absorción Atómica Generador de Hidruro).

1. Tomar una alícuota de 10.0 mL de cada muestra con ayuda de una pipeta de 10.0 mL y transferirla a balones volumétricos de 50.0 mL.
2. Añadir 2.0 mL de solución de yoduro de potasio y 1.0 mL de ácido clorhídrico 1:1 (Ver **Anexo N° 6**).
3. Agitar para homogenizar y aplicar calor en un hotplate Corning PC-420D a temperatura de 85 ± 5 °C por 30 minutos, sin ebulir.

4. Dejar enfriar hasta temperatura ambiente, agregar agua bidestilada y aforar.
5. Colocar en el equipo de EAA un volumen de 500.0 mL de tetrahidrobórato de sodio, 500.0 mL de ácido clorhídrico (1:1), 10.0 mL de cada solución estándar de arsénico (0.5 ppb, 1.0 ppb, 2.0 ppb y 5.0 ppb) y 4.0 mL de solución de cada una de las muestras (Ver **Anexo N° 6**).
6. Correr el blanco y ajustar a cero el equipo, a una longitud de onda de 193.7 nm.
7. Elaborar la curva de calibración con los estándares 0.5 ppb, 1.0 ppb, 2.0 ppb y 5.0 ppb) de arsénico.
8. Hacer la lectura de la concentración en ppb de cada muestra para dicho elemento.
9. Realizar tres réplicas.

4.4.5 Procedimiento para la cuantificación de hierro, cobre y zinc (Ver Anexo N° 9). (66)(71)

4.4.5.1 Hierro (Espectroscopia de Absorción Atómica con llama).

1. Tomar una alícuota de 1.0 mL de la solución madre de minerales, transferirla a un balón de 10.0 mL y llevar a aforo con agua bidestilada.
2. Colocar en el equipo de EAA un volumen de 10.0 mL de cada solución estándar de hierro (0.3 ppm, 1.0 ppm, 3.0 ppm y 6.0 ppm) y 4.0 mL de solución de cada muestra y correr el blanco,
3. Ajustar a cero el equipo a una longitud de onda de 248.3 nm.
4. Elaborar la curva de calibración con los estándares 0.3 ppm, 1.0 ppm, 3.0 ppm y 6.0 ppm de hierro.
5. Hacer la lectura de la concentración en ppm de cada muestra para dicho elemento.

6. Realizar tres réplicas.

4.4.5.2 Cobre (Espectroscopia de Absorción Atómica con llama).

1. Colocar en el equipo de EAA un volumen de 10.0 mL de las soluciones estándar de cobre (0.2 ppm, 1.0 ppm, 2.0 ppm y 4.0 ppm) y 4.0 mL de solución de cada muestra.
2. Correr el blanco y ajustar a cero el equipo, a una longitud de onda de 324.7 nm.
3. Elaborar la curva de calibración con los estándares 0.2 ppm, 1.0 ppm, 2.0 ppm y 4.0 ppm de cobre.
4. Hacer la lectura de la concentración en ppm de cada muestra para dicho elemento.
5. Realizar tres réplicas.

4.4.5.3 Zinc (Espectroscopia de Absorción Atómica con llama).

1. Tomar una alícuota de 1.0 mL de la solución madre de minerales, transferirla a un balón de 10.0 mL y llevar a aforo con agua bidestilada.
2. Colocar en el equipo de EAA un volumen de 10.0 mL de las soluciones estándar de zinc (0.05 ppm, 0.1 ppm, 0.5 ppm y 1.0 ppm) y 4.0 mL de solución de cada muestra.
3. Correr el blanco y ajustar a cero el equipo, a una longitud de onda de 213.9 nm.
4. Elaborar la curva de calibración con los estándares 0.05 ppm, 0.1 ppm, 0.5 ppm y 1.0 ppm de zinc.
5. Hacer la lectura de la concentración en ppm de cada muestra para dicho elemento.
6. Realizar tres réplicas.

4.4.6 Planteamiento de cálculos.

- **Determinación del porcentaje de humedad parcial:** (71)

$$\text{Porcentaje de Humedad Parcial (HP)} = \frac{\text{Pérdida de peso (g)}}{\text{Peso muestra (g)}} \times 100$$

- Peso de muestra = (Peso de bolsa con la muestra húmeda – Peso de bolsa vacía)
- Pérdida de peso = (Peso de bolsa con muestra húmeda) – (Peso de bolsa con muestra después de secar)

- **Determinación del porcentaje de cenizas:** (71)

$$\text{Porcentaje de ceniza} = \frac{\text{Peso de ceniza (g)}}{\text{Peso de muestra (g)}} \times 100$$

- Peso de muestra = Peso de crisol con muestra – Peso de crisol vacío
- Peso de ceniza = Peso de crisol con muestra después de incinerar – Peso de crisol vacío.

- **Planteamiento de cálculos para determinar la concentración (ppm) de Pb, y As en las muestras (hojas) de *C. longirostrata*:** (71)

Para calcular el factor de dilución se realizó primero el esquema de dilución correspondiente a las muestras según el elemento a analizar, con este factor se calculó la concentración total de plomo y/o arsénico en ppb.

Para convertir las concentraciones de ppb a ppm se aplicó una regla de tres, a continuación se presentan dichos cálculos utilizando la fórmula de la ley de Bourguer-Lambert-Beer:

$$FD = \frac{\text{Volumenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}} \quad C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD$$

Donde:

C_{mx} = Concentración de la alícuota de la muestra

C_{st} = Concentración de la solución estándar

A_{st} = Absorbancia de la solución estándar

A_{mx} = Absorbancia de la alícuota de la muestra

FD = Factor de dilución

$$FD \times C_{mx} = \text{concentración total en } \mu\text{g de Pb o As}$$

Ya que la normativa se encuentra en unidades de mg/ Kg (ppm) de cada elemento, se realizó la siguiente conversión:

- Ejemplo:

Para la conversión de μg a mg de plomo (Pb) se utilizara la siguiente conversión:

$$1 \text{ mg} = 1000 \mu\text{g}$$

$$2.0165 \cancel{\mu\text{g}} \times \frac{1 \text{ mg}}{1000 \cancel{\mu\text{g}}} = 0.0020165 \text{ mg Pb}$$

Para calcular los ppm de Pb en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.0020165 \text{ mg Pb}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} = 0.4032 \text{ mg Pb/ Kg}$$

Las lecturas de las muestras se realizaron en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Shimadzu ASC-7000) con Horno de Grafito para plomo y con Generador de Hidruros para arsénico obteniendo los resultados en partes por billón (ppb) y a las concentraciones obtenidas en el proceso de cuantificación se le determinó la desviación estándar.

- **Planteamiento de cálculos para determinar la concentración (ppm) de Fe, Cu y Zn en las muestras (hojas) de *C. longirostrata*. (71)**

Para poder calcular el factor de dilución se realizó primero el esquema de dilución correspondiente a las muestras, con este factor se calculó la concentración total de hierro, cobre y zinc en partes por millón (ppm).

A continuación se presentan dichos cálculos utilizando la fórmula de la ley de Bourguer-Lambert-Beer:

$$FD = \frac{\text{Volumenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}} \quad C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD$$

Donde:

C_{mx} = Concentración de la alícuota de la muestra

C_{st} = Concentración de la solución estándar

A_{st} = Absorbancia de la solución estándar

A_{mx} = Absorbancia de la alícuota de la muestra

FD = Factor de dilución

FD x Cmx = concentración total en (mg) de Fe, Cu o Zn

Ya que la normativa se encuentra en unidades de mg/ Kg (ppm) de cada elemento, se realizó la siguiente conversión:

- Ejemplo:

Para calcular los ppm de Fe en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.6198 \text{ mg Fe}}{5.0009 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} = 123.93 \text{ mg Fe/ Kg}$$

Las lecturas de las muestras se realizaron en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Shimadzu ASC-7000) con Llama para hierro, cobre y zinc, obteniendo los resultados en mg/Kg (ppm) y a las concentraciones obtenidas en el proceso de cuantificación se les determinó la desviación típica estándar.

4.4.7 Diseño estadístico

En el diseño estadístico se analizaron las concentraciones de cada elemento, utilizando la desviación típica estándar y sus respectivos intervalos de confianza para obtener los resultados de la cantidad de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc expresados en mg presentes en el peso muestra. (53)(57)

4.4.7.1 Desviación típica estándar

Es la más importante de las medidas de dispersión; puede definirse como la raíz cuadrada de la media aritmética del cuadrado de las desviaciones de cada valor de la variable con respecto a la media.

Es útil para obtener el intervalo de confianza y se representa con la siguiente ecuación: (53)

$$S = \frac{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}}{n - 1}$$

Donde:

S = Desviación típica estándar.

X_i = Muestra individual.

\bar{X} = Promedio de muestras.

n = Numero de muestras.

\sum = Sumatoria desde muestra 1 a "n" número de muestras.

La desviación típica estándar se calculó mediante Microsoft Office Excel.

4.4.7.2 Intervalo de confianza al 95% (53)

Es un rango de valores (calculado en una muestra) en el cual se encuentra el verdadero valor del parámetro, con una probabilidad determinada. Este valor define que tan confiable son los resultados.

$$IC(\mu) = \bar{x} \pm t_{n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Dónde:

IC (μ) = intervalo de confianza

\bar{X} = Promedio de muestras

t = T de student

n-1 = Grados de libertad

S = Desviación típica estándar

n = número de muestras

Tanto la desviación estándar como los intervalos de confianza, permitieron evidenciar que tan dispersos se encontraban los datos de los valores promedios; fueron calculados mediante Microsoft Office Excel.

4.4.7.3 Análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación múltiple Diferencia Mínima Significativa (DMS) y Bonferroni. (53)(57)

El análisis de varianza de un factor (ANOVA) es de utilidad para comprobar si hay diferencia significativa en la media de los resultados obtenidos, en este caso nos referimos a las concentraciones promedio de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc de las muestras analizadas; una vez que se ha determinado que existen diferencias entre las medias, las pruebas de comparación múltiple permiten determinar qué medias difieren contrastando la diferencia entre cada pareja de medias y generando una matriz donde los asteriscos indican las medias de grupo significativamente diferentes a un nivel alfa de 0,05.

Para el desarrollo de este análisis se utilizó el programa SPSS Statistics 18, y al iniciar se plantearon las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula: $Cx1=Cx2=Cx3=Cx4=Cx5=Cx6$
- Hipótesis alternativa: $Cx1 \neq Cx2 \neq Cx3 \neq Cx4 \neq Cx5 \neq Cx6$

Donde:

C= concentración

x= plomo, arsénico, hierro, cobre o zinc

La hipótesis nula indica que las concentraciones promedio de cada elemento son similares y la hipótesis alternativa que las concentraciones promedio presentan diferencia significativa; el criterio de aceptación en el que nos basamos para saber si existe diferencia significativa a un 95% de confianza fue el valor-P (un valor-P menor a 0.05 confirma la hipótesis alternativa e invalida la hipótesis nula).

A los resultados obtenidos de la investigación se les aplicó el análisis estadístico de un factor (ANOVA), el cual representó los datos en una tabla resumen. Y ya que se observó que las concentraciones promedio de cada elemento en estudio presentaban diferencia significativa, se utilizaron las pruebas de comparación múltiple post hoc Diferencia Mínima Significativa (DMS) y Bonferroni para conocer según el lugar de recolección que concentraciones promedio diferían entre sí.

CAPITULO V
RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

5.0 RESULTADOS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

5.1 Resultados de encuestas dirigidas a productores y Técnicos ó Ingenieros Agrónomos sobre el cultivo de *Crotalaria longirostrata* (Chipilín) seleccionados.

Luego de obtener la información proporcionada por cada productor (Ver **Figura N° 17**) y técnicos ó Ingenieros Agrónomos (Ver **Figura N° 18**) sobre los agroquímicos que se utilizan en el tratamiento del cultivo de *Crotalaria longirostrata*, se elaboraron las siguientes gráficas para interpretar los resultados. (Ver **Anexo N° 10**)

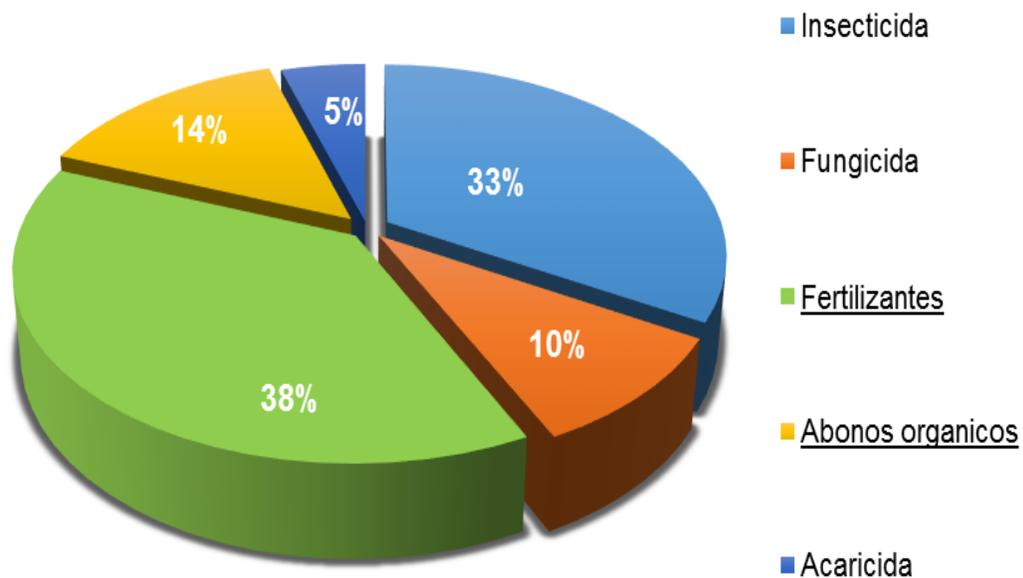


Figura N° 17. Gráfica de los productos agroquímicos utilizados por los productores en el cultivo de Chipilín.

Se pudo observar que entre los agroquímicos utilizados por los productores que cultivan la hortaliza en estudio, se encuentran fertilizantes y abonos orgánicos con el propósito de reponer ó evitar deficiencias de nutrientes y aumentar el

rendimiento de la tierra o de sus cultivos. Estos productos son empleados previo a la siembra para preparar el terreno, y posterior a la siembra cada 5- 15 días dependiendo del fertilizante utilizado y la necesidad de la planta.

Así mismo aplican insecticidas, fungicidas y acaricidas; esto es con la finalidad de proteger sus cultivos de plagas o enfermedades que puedan ser una amenaza y afectar el desarrollo del mismo.

A excepción de los alumnos de la Escuela Nacional de Agricultura de El Salvador (ENA) donde el cultivo es tratado de manera orgánica; la mayoría de los productores emplean estos agroquímicos como prevención, ya que los aplican cada 10- 15 días según el producto utilizado, así como después de cada cosecha; la primer cosecha de la hortaliza la colectan a los sesenta días posterior a la siembra, luego esperan sesenta días más para realizar un segundo corte del cual se obtiene un incremento en la producción.

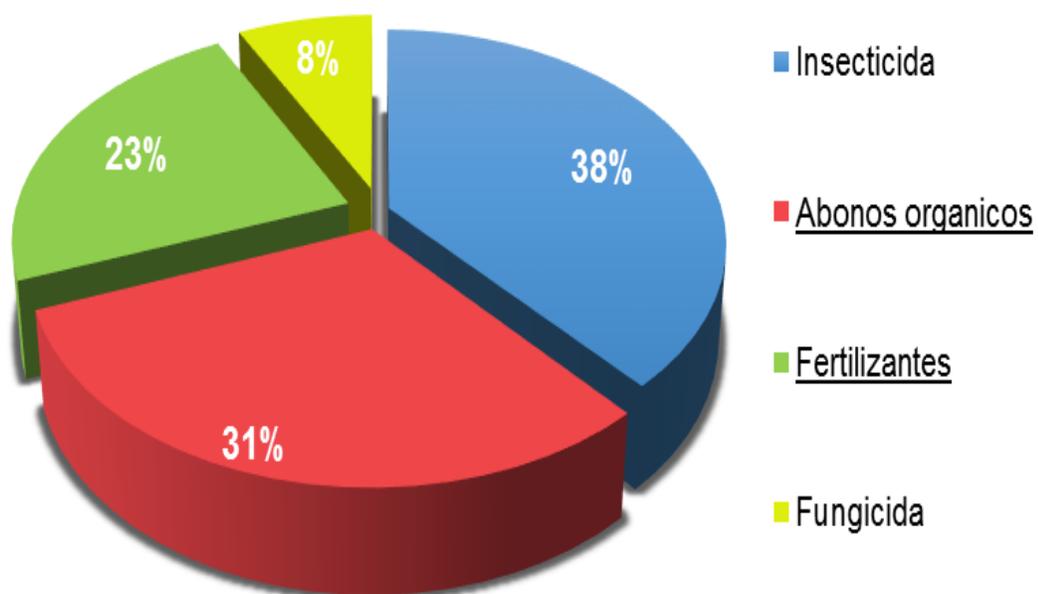


Figura N° 18. Gráfica de los productos agroquímicos recomendados en los Agroservicios visitados.

Los productores cultivan *C. longirostrata* todo el año y transportan los manojos de la hortaliza dentro de sacos de nylon ya que consideran que es una forma segura e higiénica para su transporte.

Y con la información proporcionada por los Técnicos ó Ingenieros Agrónomos que laboran en agroservicios de mayor afluencia en el país, se logró comprobar que los productos que utilizan la mayoría de productores encuestados coinciden con los agroquímicos recomendados para el cultivo de *Crotalaria longirostrata* (Chipilín).

Esto abonó para indagar sobre la composición química de los productos mencionados y se encontró que ningún producto utilizado para eliminar plagas, insectos o gusanos posee plomo ó arsénico (Ver **Anexo N° 11**) entre sus componentes.

5.2 Resultados del análisis de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc en las muestras de *Crotalaria longirostrata* (Chipilín).

5.2.1 Resultados del análisis de plomo en las muestras de *C. longirostrata*

En la **Tabla N° 3** se detallan los resultados obtenidos del análisis de plomo en la alícuota de muestra tomada, la codificación de las muestras y el peso muestra realizadas.

Para conocer la concentración de plomo en la muestra analizada se esquematizó la cascada de dilución de la muestra y a través de dicho esquema se calculó el factor de dilución (FD), con dicho valor se calculó la concentración total en unidades de ppb y para convertir las unidades de concentración de ppb a ppm se utilizó una regla de tres (Ver **Anexo N° 8**).

Tabla N° 3. Concentraciones de plomo obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica en las muestras de *C. longirostrata*.

Lugares de recolección	Código de Muestra	Peso muestra (g)	Lectura directa réplica N° 1 (ppb)	Lectura directa réplica N° 2 (ppb)	Lectura directa réplica N° 3 (ppb)	Resultado promedio en alícuota muestra (ppb)
Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón.	P1A1	5.0006	N/D	N/D	N/D	N/D
	P1B1	5.0009	6.7215	6.1247	6.2699	6.3720
	P1C1	5.0004	N/D	N/D	N/D	N/D
	P1D1	5.0007	2.5926	3.9555	3.2740	3.2740
	P1E1	5.0009	1.4193	1.6894	1.1491	1.4193
	P1A2	5.0007	0.7851	0.7162	0.7530	0.7514
	P1B2	5.0004	0.8815	1.0560	0.9688	0.9688
	P1C2	5.0008	1.0376	1.0284	1.0330	1.0330
	P1D2	5.0007	4.1690	5.1732	4.7611	4.7011
	P1E2	5.0005	1.5105	1.4095	1.4600	1.4600
Cantón Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco	P2A1	5.0000	N/D	N/D	N/D	N/D
	P2B1	5.0003	3.4021	4.0081	3.7051	3.7051
	P2C1	5.0009	7.1531	7.7040	7.4285	7.4285
	P2D1	5.0008	6.1981	5.2799	5.7390	5.7390
	P2E1	5.0004	3.2643	3.5949	3.4296	3.4296
	P2A2	5.0006	10.6745	10.422	10.551	10.5490
	P2B2	5.0004	7.3505	6.7307	6.2155	6.7656
	P2C2	5.0006	1.4784	1.9283	1.7033	1.7033
	P2D2	5.0002	3.3699	3.7694	3.5719	3.5704
	P2E2	5.0007	2.2910	3.7694	3.0302	3.0302
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco	P3A1	5.0002	4.4182	4.3597	4.3889	4.3889
	P3B1	5.0000	2.0538	2.0538	2.0538	2.0538
	P3C1	5.0005	2.3425	2.3352	2.3388	2.3388
	P3D1	5.0008	0.782	0.6761	0.7309	0.7297
	P3E1	5.0006	0.4787	0.5957	0.5372	0.5372

Tabla N° 3. Continuación

Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco	P3A2	5.0007	0.4716	0.5798	0.5257	0.5257
	P3B2	5.0002	6.7022	7.0822	6.8922	6.8922
	P3C2	5.0002	2.8818	2.9007	2.8932	2.8919
	P3D2	5.0007	5.4085	5.3537	5.3793	5.3805
	P3E2	5.0001	0.5372	0.5518	0.5445	0.5445
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco	P4A1	5.0001	5.8256	5.7123	5.9134	5.8171
	P4B1	5.0001	13.112	12.560	12.834	12.8349
	P4C1	5.0001	1.03684	1.1622	1.0166	1.0719
	P4D1	5.0000	0.5141	0.4175	0.4639	0.4652
	P4E1	5.0001	3.2029	3.3237	3.2633	3.2633
	P4A2	5.0002	1.7279	1.5462	1.6390	1.6377
	P4B2	5.0002	1.5578	1.6390	1.6003	1.5990
	P4C2	5.0002	0.8388	1.1403	0.9896	0.9896
	P4D2	5.0002	9.2270	9.3237	9.2773	9.2760
	P4E2	5.0002	4.7971	4.7353	4.7662	4.7662
Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce. (Vía Férrea)	P5A1	5.0001	2.9912	2.9315	2.9514	2.9580
	P5B1	5.0002	1.8545	1.7638	1.8092	1.8092
	P5C1	5.0000	2.9271	2.8932	2.9083	2.9095
	P5D1	5.0000	1.4692	1.4164	1.4428	1.4428
	P5E1	5.0001	2.9347	2.9007	2.9158	2.9171
	P5A2	5.0001	2.7636	2.7723	2.7798	2.7719
	P5B2	5.0003	2.1538	3.0933	3.1235	2.7902
	P5C2	5.0002	2.6741	2.6401	2.6590	2.6577
	P5D2	5.0003	2.9951	2.8403	2.9158	2.9171
	P5E2	5.0001	3.0593	3.0480	3.0518	3.0530
Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce. (ENA)	P6A1	5.0003	N/D	N/D	N/D	N/D
	P6B1	5.0001	0.8117	0.9062	0.8589	0.8589
	P6C1	5.0003	N/D	N/D	N/D	N/D
	P6D1	5.0004	N/D	N/D	N/D	N/D
	P6E1	5.0004	0.7687	0.8203	0.7945	0.7945
	P6A2	5.0003	N/D	0.8203	0.7945	N/D
	P6B2	5.0003	1.3098	N/D	N/D	1.3041
	P6C2	5.0001	N/D	1.2970	1.3055	N/D
	P6D2	5.0003	0.9062	N/D	N/D	0.9491
	P6E2	5.0004	N/D	0.9920	0.9491	N/D

*No detecta: N/D = 1ppb.

- **Concentración de plomo en ppm:**

Los valores que se presentan en la **Tabla N° 4**, son las concentraciones de plomo en ppm de las muestra de *C. longirostrata* analizadas, para lo cual se utilizó el Método de Absorción Atómica con Horno de Grafito y se aplicó la Ley de Bourguer-Lambert-Beer obteniendo los resultados en mg/Kg (ppm) para cada una de las tres réplicas que se promediaron para comparar con el valor de la normativa.

Las concentraciones promedio de plomo en las muestras recolectadas en Municipios de Izalco (P2) y Nahuizalco (P3) se encuentran fuera del rango establecido para este elemento en hortalizas de hojas por JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius que es de **0.1 - 0.3 ppm**; entre las muestras que sobrepasan el límite de plomo establecido están:

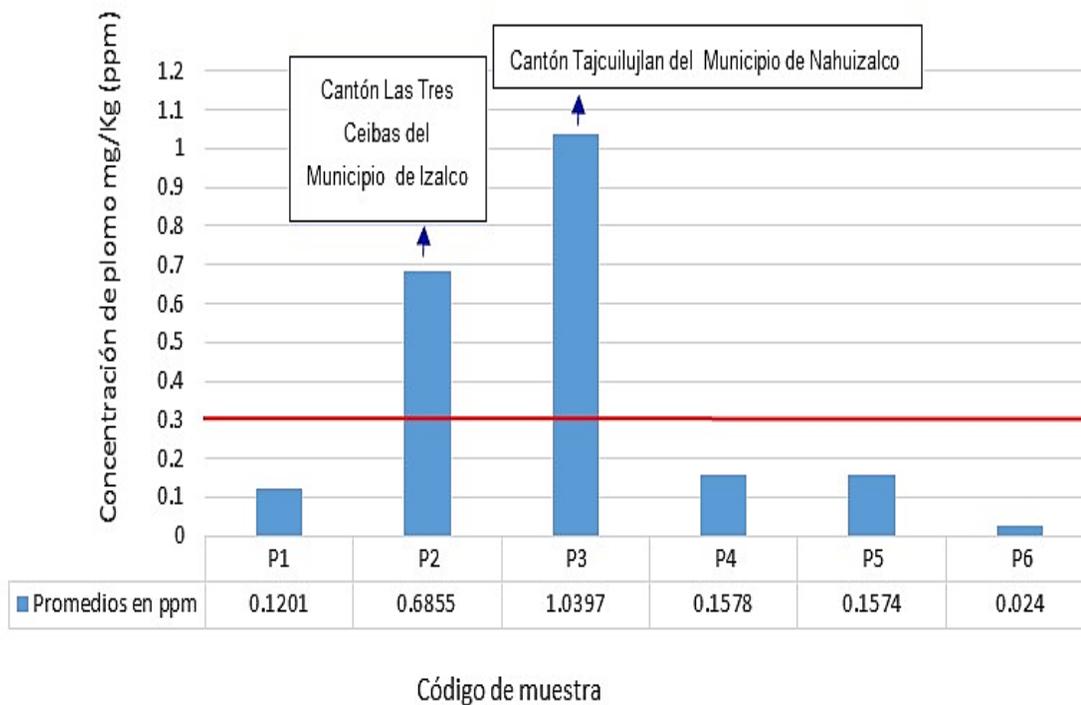
- La muestra recolectada en el Cantón Tres Ceibas del Municipio de Izalco (P2) con concentraciones promedio de **0.6855 ppm**.
- La muestra recolectada en el Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco (P3) con concentración promedio de **1.0397ppm**.

Tomando en cuenta la información que brindaron los productores de ambos cultivos, ninguno aplica productos agroquímicos que en su composición contienen plomo, sin embargo los suelos donde se encuentran las hortalizas analizadas son derivados de cenizas volcánicas (Ver **Anexo N° 8**).

Pudiendo ser esta una fuente directa de contaminación ya que los cultivos están propensos a absorber elementos tóxicos de la tierra donde esta cultivados. (47)

Se graficaron las concentraciones promedio de plomo en las muestras de *C. longirostrata* según las zonas de recolección, en la gráfica de barra, (Ver **Figura N° 19**) el eje vertical representa concentraciones de plomo en ppm y el eje horizontal el código de cada muestra analizada.

La línea roja indica el límite máximo establecido por la normativa en hortalizas de hoja que es 0.3 ppm y las barras color celeste corresponden a cada muestra analizada, con ello se puede visualizar las muestras de los productores (P2 y P3) que sobrepasan dicho límite (**0.1-0.3 ppm**) y con color azul se hace énfasis las zonas donde se recolectó el material vegetal analizado.



— Valor máximo Según JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius

Figura N° 19. Gráfica de resultados del análisis de plomo en *C. longirostrata* (Chipilín) por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.

Tabla N° 4. Resultados del análisis de plomo en las muestras de *C. longirostrata* recolectada.

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de plomo (ppm)	Promedio de plomo (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón (P1)	P1A1	N/D	N/D	N/D	N/D	0.1201	0.1-0.3 ppm
	P1B1	0.4032	0.3674	0.3761	0.3823		
	P1C1	N/D	N/D	N/D	N/D		
	P1D1	0.1555	0.2373	0.1964	0.1964		
	P1E1	0.0851	0.1013	0.0689	0.0851		
	P1A2	0.0471	0.0430	0.0452	0.0451		
	P1B2	0.0529	0.0634	0.0581	0.0581		
	P1C2	0.0622	0.0617	0.0620	0.0620		
	P1D2	0.2501	0.3103	0.2856	0.2820		
	P1E2	0.0906	0.0846	0.0876	0.0876		
Cantón Tres Ceibas del Municipio de Izalco (P2)	P2A1	N/D	N/D	N/D	N/D	0.6855	0.1-0.3 ppm
	P2B1	0.2041	0.2405	0.2223	0.2223		
	P2C1	0.8582	0.9243	0.8913	0.8913		
	P2D1	0.3718	0.3167	0.3443	0.3443		
	P2E1	0.1958	0.2157	0.2058	0.2058		
	P2A2	0.6404	0.6252	0.6330	0.6329		
	P2B2	4.4099	4.0381	3.7290	4.0590		
	P2C2	0.0887	0.1157	0.1022	0.1022		
	P2D2	0.2022	0.2262	0.2143	0.2142		
	P2E2	0.1374	0.2261	0.1818	0.1818		

Tabla N° 4. Continuación

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de plomo (ppm)	Promedio de plomo (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco (P3)	P3A1	0.2651	0.2616	0.2633	0.2633	1.0397	0.1-0.3 ppm
	P3B1	0.1232	0.1232	0.1232	0.1232		
	P3C1	0.1405	0.1401	0.1403	0.1403		
	P3D1	0.0469	0.0406	0.0438	0.0438		
	P3E1	0.0287	0.0357	0.0322	0.0322		
	P3A2	0.0943	0.1159	0.1051	0.1051		
	P3B2	0.4021	0.4249	0.4135	0.4135		
	P3C2	8.6451	8.7018	8.6793	8.6754		
	P3D2	0.3245	0.3212	0.3227	0.3228		
P3E2	0.0322	0.0331	0.0327	0.0327			
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco (P4)	P4A1	0.3495	0.3427	0.3548	0.3490	0.1578	
	P4B1	0.7867	0.7535	0.7700	0.7701		
	P4C1	0.0622	0.0697	0.0610	0.0643		
	P4D1	0.0308	0.0251	0.0278	0.0279		
	P4E1	0.1922	0.1994	0.1958	0.1958		
	P4A2	0.1037	0.0928	0.0983	0.0983		
	P4B2	0.0935	0.0983	0.0960	0.0959		
	P4C2	0.0503	0.0684	0.0594	0.0594		
	P4D2	0.5536	0.5594	0.5566	0.5565		
P4E2	0.2878	0.2841	0.2860	0.2860			

Tabla N° 4. Continuación

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de plomo (ppm)	Promedio de plomo (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce (P5)	P5A1	0.1795	0.1759	0.1771	0.1775	0.1574	0.1-0.3 ppm
	P5B1	0.1113	0.1058	0.1085	0.1085		
	P5C1	0.1756	0.1736	0.1745	0.1746		
	P5D1	0.0882	0.0850	0.0866	0.0866		
	P5E1	0.1761	0.1740	0.1749	0.1750		
	P5A2	0.1658	0.1663	0.1668	0.1663		
	P5B2	0.1292	0.1856	0.1874	0.1674		
	P5C2	0.1604	0.1584	0.1595	0.1595		
	P5D2	0.1797	0.1704	0.1749	0.1750		
	P5E2	0.1836	0.1829	0.1831	0.1832		
Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce (P6)	P6A1	N/D	N/D	N/D	N/D	0.0240	0.1-0.3 ppm
	P6B1	0.0487	0.0544	0.0515	0.0515		
	P6C1	N/D	N/D	N/D	N/D		
	P6D1	N/D	N/D	N/D	N/D		
	P6E1	0.0461	0.0492	0.0477	0.0477		
	P6A2	N/D	N/D	N/D	N/D		
	P6B2	0.0786	0.0778	0.0783	0.0782		
	P6C2	N/D	N/D	N/D	N/D		
	P6D2	0.0544	0.0595	0.0569	0.0569		
	P6E2	N/D	N/D	N/D	N/D		

*No detecta: N/D = 0.001ppm. **Los resultados obtenidos en determinación de plomo en muestra foliares de *C. longirostrata* por el método de EAA son declarados en base seca.

Algunas muestras recolectadas en el Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón presentaron concentraciones altas de plomo. Sin embargo la concentración promedio no sobrepasó el rango establecido, a diferencia de las muestras recolectadas en los Cantones Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco y Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco.

5.2.2 Resultados del análisis de arsénico en las muestras de *C. longirostrata*

En la **Tabla N° 5** se detallan los resultados obtenidos del análisis de arsénico en la alícuota de muestra tomada, la codificación de las muestras y el peso muestra realizadas.

Para conocer la concentración de arsénico en la muestra analizada se esquematizó la cascada de dilución de la muestra y a través de dicho esquema se calculó el factor de dilución (FD), con dicho valor se calculó la concentración total en unidades de ppb y para convertir las unidades de concentración de ppb a ppm se utilizó una regla de tres (Ver **Anexo N° 8**).

Tabla N° 5. Concentración de arsénico obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Lugares de recolección	Código de Muestra	Peso muestra (g)	Lectura directa réplica N° 1 (ppb)	Lectura directa réplica N° 2 (ppb)	Lectura directa réplica N° 3 (ppb)	Resultado promedio en la alícuota muestra (ppb)
Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón.	P1A1	5.0006	1.6367	1.4834	1.5593	1.5598
	P1B1	5.0009	1.0605	1.1060	1.0863	1.0843
	P1C1	5.0004	1.0203	1.0368	1.0286	1.0286
	P1D1	5.0007	1.1060	1.0269	1.0665	1.0665
	P1E1	5.0009	0.9841	0.9561	0.9693	0.9698

Tabla N° 5. Continuación

Cantón Entre Ríos	P1A2	5.0007	1.5362	1.8328	1.6845	1.6845
	P1B2	5.0004	1.0583	1.0764	1.0681	1.0676
	P1C2	5.0008	1.1143	1.1225	1.1176	1.1181
	P1D2	5.0007	1.2000	1.2478	1.2231	1.2236
	P1E2	5.0005	1.3895	1.3565	1.3730	1.3730
Cantón Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco	P2A1	5.0000	0.1930	0.3084	0.2507	0.9174
	P2B1	5.0003	0.2227	0.2046	0.2144	0.2139
	P2C1	5.0009	0.3578	0.3661	0.3628	0.3622
	P2D1	5.0008	0.3150	0.1947	0.2540	0.2546
	P2E1	5.0004	0.2936	0.3133	0.3034	0.3034
	P2A2	5.0006	0.2870	0.2886	0.2870	0.2875
	P2B2	5.0004	0.3051	0.3364	0.3199	0.3205
	P2C2	5.0006	0.2491	0.2606	0.2540	0.2546
	P2D2	5.0002	0.2227	0.2491	0.2359	0.2359
	P2E2	5.0007	0.2276	0.3298	0.2787	0.2787
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco	P3E1	5.0006	0.2622	0.2721	0.2672	0.2672
	P3A2	5.0007	0.3809	0.4221	0.4023	0.4018
	P3B2	5.0002	0.3067	0.3216	0.3133	0.3139
	P3C2	5.0002	0.4550	0.4221	0.4435	0.4402
	P3D2	5.0007	0.0398	0.0579	0.0496	0.0491
	P3E2	5.0001	0.0299	0.0348	0.0332	0.0326
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco	P4A1	5.0001	0.0480	0.0216	0.0348	0.0348
	P4B1	5.0001	0.1634	0.2392	0.2013	0.2013
	P4C1	5.0001	N/D	N/D	N/D	N/D
	P4D1	5.0000	0.0777	0.1551	0.1156	0.1161
	P4E1	5.0001	0.0793	0.1403	0.1090	0.1095
	P4A2	5.0002	N/D	N/D	N/D	N/D
	P4B2	5.0002	0.0249	0.0315	0.0282	0.0282
	P4C2	5.0002	N/D	N/D	N/D	N/D
	P4D2	5.0002	0.0579	0.0249	0.0414	0.0414
	P4E2	5.0002	N/D	N/D	N/D	N/D
Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce.	P5A1	5.0001	1.6005	1.6548	1.6285	1.6279
	P5B1	5.0002	1.1555	1.2659	1.2099	1.2104
	P5C1	5.0000	1.9993	2.0306	2.0141	2.0147
	P5D1	5.0000	2.8662	2.9156	2.8909	2.8909
	P5E1	5.0001	1.4983	1.4686	1.4834	1.4834
	P5A2	5.0001	1.9367	1.9119	1.9251	1.9246
	P5B2	5.0003	1.3582	1.3186	1.3389	1.3386

Tabla N° 5. Continuación

Cantón Zapotitán	P5C2	5.0002	2.3272	2.4228	2.3750	2.3750
	P5D2	5.0003	2.2646	2.3536	2.3091	2.3091
	P5E2	5.0001	1.4769	1.4604	1.4686	1.4686
Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce. (ENA)	P6A1	5.0003	0.9643	0.9198	0.9429	0.9423
	P6B1	5.0001	0.7748	0.8183	0.7979	0.7970
	P6C1	5.0003	0.6578	0.6874	0.6726	0.6726
	P6D1	5.0004	0.8555	0.7946	0.8242	0.8248
	P6E1	5.0004	0.7220	0.7517	0.7319	0.7352
	P6A2	5.0003	0.8292	0.9379	0.8836	0.8836
	P6B2	5.0003	0.9495	1.0385	0.9940	0.9940
	P6C2	5.0001	0.7451	0.6611	0.7023	0.7028
	P6D2	5.0003	0.7138	0.7089	0.7122	0.7116
P6E2	5.0004	0.5095	0.5523	0.5309	0.5309	

*No detecta: N/D= 1ppb.

- Concentración de arsénico en ppm:

Los valores presentados en la **Tabla N° 6**, son las concentraciones de arsénico en las muestra de *C. longirostrata* analizadas, para ello se utilizó el Método de Absorción Atómica con Generador de Vapor de Hidruro y se aplicó la Ley de Bourguer-Lambert-Beer obteniendo los resultados en mg/Kg (ppm) para cada una de las tres réplicas que se promediaron para comparar con el valor de la normativa.

Los valores de los productores (P1, P5 y P6) se encuentran fuera del rango establecido para arsénico en hortalizas de hojas por JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius que es de **0.02 ppm**; entre las muestras que sobrepasan el límite de arsénico establecido en hortalizas de hojas están:

- La muestra recolectada en el Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón (P1) con concentración promedio de **0.0609 ppm**.

- La muestra recolectada en el Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce (P5) con concentración promedio de **0.1184 ppm**.
- La muestra recolectada en el Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce (P6) con concentración promedio de **0.0390 ppm**.

Al tomar en cuenta la información que proporcionaron los productores de los tres cultivos donde se recolectaron las muestras que sobrepasaron la normativa para este elemento, ninguno aplica productos agroquímicos que en su composición contienen arsénico, sin embargo hay estudios que indican que los suelos donde se encuentran las hortalizas analizadas son derivados de cenizas volcánicas pudiendo ser esta una fuente directa de contaminación (Ver **Anexo N° 12**); otro aspecto relevante es que el agua es una fuente propensa a un alto grado de contaminación con este elemento, de ser así estos elementos contaminantes pueden ser depositados directamente en la hortaliza o en el suelo lo que la vuelve vulnerable a absorberlos. (33)(40)(42)(56) Es de importancia mencionar que la especie vegetal en estudio pertenece al género *Crotalaria*, al cual corresponden especies utilizadas como remediadoras de suelos contaminados con elementos metálicos incluyendo el arsénico. (27)(37)(38)(49)

Se graficaron las concentraciones promedio de plomo en las muestras de *C. longirostrata* según las zonas de recolección, en la gráfica de barra (Ver **Figura N° 20**) el eje vertical representa la concentración de arsénico en ppm y el eje horizontal el código de cada muestra analizada.

La línea roja indica el límite máximo establecido por la normativa en hortalizas de hoja que es 0.02 ppm y las barras color celeste corresponden a cada muestra analizada, con ello se puede visualizar cuales muestras sobrepasan dicho límite y con color azul se hace énfasis las zonas donde se recolectó el material vegetal analizado.

Tabla N° 6. Resultados del análisis de arsénico en las muestras de *C. longirostrata*.

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de arsénico (ppm)	Promedio de arsénico (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón (P1)	P1A1	0.0818	0.0742	0.0780	0.0780	0.0609	0.02 ppm
	P1B1	0.0530	0.0553	0.0543	0.0542		
	P1C1	0.0510	0.0518	0.0514	0.0514		
	P1D1	0.0553	0.0513	0.0533	0.0533		
	P1E1	0.0492	0.0478	0.0485	0.0485		
	P1A2	0.0768	0.0916	0.0842	0.0842		
	P1B2	0.0529	0.0538	0.0534	0.0534		
	P1C2	0.0557	0.0561	0.0559	0.0559		
	P1D2	0.0600	0.0624	0.0611	0.0612		
	P1E2	0.0695	0.0678	0.0686	0.0686		
Cantón Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco (P2)	P2A1	0.0097	0.0154	0.0125	0.0125	0.0138	0.02 ppm
	P2B1	0.0111	0.0102	0.0107	0.0107		
	P2C1	0.0179	0.0183	0.0181	0.0181		
	P2D1	0.0157	0.0097	0.0127	0.0127		
	P2E1	0.0147	0.0157	0.0152	0.0152		
	P2A2	0.0143	0.0144	0.0143	0.0144		
	P2B2	0.0153	0.0168	0.0160	0.0160		
	P2C2	0.0125	0.0130	0.0127	0.0127		
	P2D2	0.0111	0.0125	0.0118	0.0118		
	P2E2	0.0114	0.0165	0.0139	0.0139		

Tabla N° 6. Continuación

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de arsénico (ppm)	Promedio de arsénico (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco (P3)	P3A1	0.0818	0.0742	0.0780	0.0780	0.0129	0.02 ppm
	P3B1	0.0530	0.0553	0.0543	0.0542		
	P3C1	0.0510	0.0518	0.0514	0.0514		
	P3D1	0.0553	0.0513	0.0533	0.0533		
	P3E1	0.0492	0.0478	0.0485	0.0485		
	P3A2	0.0768	0.0916	0.0842	0.0842		
	P3B2	0.0529	0.0538	0.0534	0.0534		
	P3C2	0.0557	0.0561	0.0559	0.0559		
	P3D2	0.0600	0.0624	0.0611	0.0612		
P3E2	0.0695	0.0678	0.0686	0.0686			
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco (P4)	P4A1	0.0097	0.0154	0.0125	0.0125	0.0031	
	P4B1	0.0111	0.0102	0.0107	0.0107		
	P4C1	0.0179	0.0183	0.0181	0.0181		
	P4D1	0.0157	0.0097	0.0127	0.0127		
	P4E1	0.0147	0.0157	0.0152	0.0152		
	P4A2	0.0143	0.0144	0.0143	0.0144		
	P4B2	0.0153	0.0168	0.0160	0.0160		
	P4C2	0.0125	0.0130	0.0127	0.0127		
	P4D2	0.0111	0.0125	0.0118	0.0118		
P4E2	0.0114	0.0165	0.0139	0.0139			

Tabla N° 6. Continuación

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de arsénico (ppm)	Promedio de arsénico (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce (P5)	P5A1	0.0800	0.0827	0.0814	0.0814	0.1184	0.02 ppm
	P5B1	0.0578	0.0633	0.0605	0.0605		
	P5C1	0.1000	0.1015	0.1007	0.1007		
	P5D1	0.1433	0.1458	0.1445	0.1445		
	P5E1	0.0749	0.0734	0.0742	0.0742		
	P5A2	0.0968	0.0956	0.0963	0.0962		
	P5B2	0.0679	0.0659	0.0669	0.0669		
	P5C2	0.1164	0.1211	0.1187	0.1187		
	P5D2	0.1132	0.1177	0.1154	0.1154		
	P5E2	0.0738	0.0730	0.0734	0.0734		
Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce (P6)	P6A1	0.0482	0.0460	0.0471	0.0471	0.0390	
	P6B1	0.0387	0.0409	0.0399	0.0398		
	P6C1	0.0329	0.0344	0.0336	0.0336		
	P6D1	0.0428	0.0397	0.0412	0.0412		
	P6E1	0.0361	0.0376	0.0366	0.0368		
	P6A2	0.0415	0.0469	0.0442	0.0442		
	P6B2	0.0475	0.0519	0.0497	0.0497		
	P6C2	0.0373	0.0331	0.0351	0.0351		
	P6D2	0.0357	0.0354	0.0356	0.0356		
	P6E2	0.0255	0.0276	0.0265	0.0265		

*No detecta: N/D= 0.001ppm. **Nota: los resultados obtenidos en determinación de arsénico en muestra foliares de *C. longirostrata* por el método de EAA son declarados en base seca.

Algunas muestras recolectadas en el Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco presentaron concentraciones altas de arsénico.

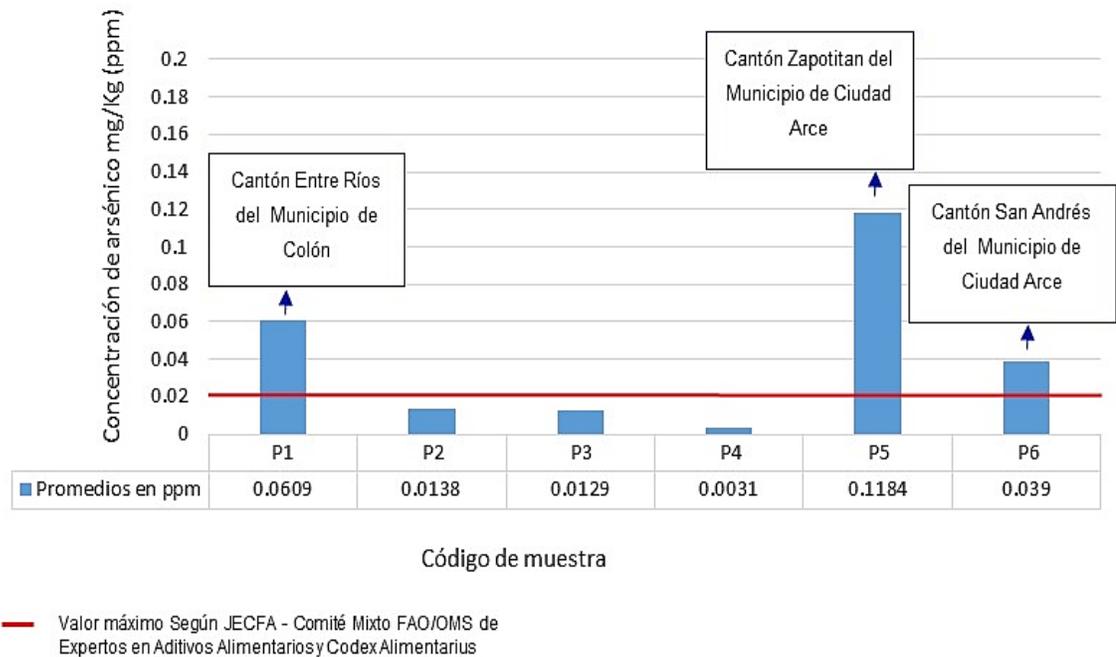


Figura N° 20. Gráfica de resultados del análisis de arsénico en *C. longirostrata* (Chipilín) por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generador de Hidruro.

5.2.3 Resultados del análisis de hierro en las muestras de *C. longirostrata*

La codificación de las muestras, el peso de muestra y los resultados de las lecturas directas en la primera, segunda y tercer replica realizadas por el equipo, para la determinación de hierro en las muestras de *C.*

***longirostrata* se detallan en la Tabla N° 7.**

Para calcular el factor de dilución se realizó primero el esquema de dilución de la muestra, con este factor se calculó la concentración total de hierro en ppm (Ver **Anexo N° 8**).

Al utilizar el Método de Absorción Atómica con llama, los resultados obtenidos fueron en mg/Kg (ppm) para este elemento (Pb), posteriormente se calculó la concentración promedio de cada réplica y se promediaron para comparar con el valor de la normativa.

Tabla N° 7. Concentración de hierro obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Lugares de recolección	Código de Muestra	Peso muestra (g)	Lectura directa réplica N° 1 (ppm)	Lectura directa réplica N° 2 (ppm)	Lectura directa réplica N° 3 (ppm)	Resultado promedio en alícuota muestra (ppm)
Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón	P1A1	5.0006	1.3113	1.3042	1.3077	1.3077
	P1B1	5.0009	1.2395	1.3095	1.2736	1.2742
	P1C1	5.0004	1.0383	1.0706	1.0545	1.0545
	P1D1	5.0007	1.1335	1.1407	1.1371	1.1371
	P1E1	5.0009	1.1173	1.1048	1.1120	1.1114
	P1A2	5.0007	1.9813	1.9113	1.9454	1.9460
	P1B2	5.0004	1.3598	1.3958	1.3778	1.3778
	P1C2	5.0008	1.2107	1.2592	1.2341	1.2347
	P1D2	5.0007	1.5628	1.5179	1.5395	1.5401
	P1E2	5.0005	1.2467	1.2539	1.2503	1.2503
Cantón Las Tres Ceibas Municipio de Izalco	P2A1	5.0000	1.0455	1.0275	1.0365	1.0365
	P2B1	5.0003	1.2233	1.3006	1.2628	1.2622
	P2C1	5.0009	0.9485	0.9539	0.9503	0.9509
	P2D1	5.0008	0.9754	1.0203	0.9970	0.9976
	P2E1	5.0004	1.0958	1.1587	1.1263	1.1269
	P2A2	5.0006	0.9251	0.9216	0.9234	0.9234
	P2B2	5.0004	1.0688	1.1048	1.0868	1.0868
	P2C2	5.0006	1.1030	1.1497	1.1263	1.1263
	P2D2	5.0002	1.0473	1.0581	1.0527	1.0527
	P2E2	5.0007	1.0958	1.0850	1.0904	1.0904

Tabla N° 7. Continuación

Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco	P3A1	5.0002	0.7545	0.7725	0.7635	0.7635
	P3B1	5.0000	1.0293	1.0203	1.0257	1.0251
	P3C1	5.0005	0.7563	0.7994	0.7779	0.7779
	P3D1	5.0008	0.5857	0.5605	0.5731	0.5731
	P3E1	5.0006	1.1784	1.2054	1.1910	1.1916
	P3A2	5.0007	0.8479	0.8641	0.8569	0.8563
	P3B2	5.0002	0.8767	0.9090	0.8928	0.8928
	P3C2	5.0002	0.7779	0.7599	0.7689	0.7689
	P3D2	5.0007	1.0599	1.1120	1.0868	1.0862
	P3E2	5.0001	0.9521	0.9898	0.9719	0.9713
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco	P4A1	5.0001	1.3059	1.2772	1.2916	1.2916
	P4B1	5.0001	0.9970	1.0491	1.0221	1.0227
	P4C1	5.0001	0.9521	0.9251	0.9395	0.9389
	P4D1	5.0000	0.9413	0.9521	0.9467	0.9467
	P4E1	5.0001	1.2790	1.2754	1.2772	1.2772
	P4A2	5.0002	0.9629	1.0311	0.9970	0.9970
	P4B2	5.0002	1.0635	1.0778	1.0706	1.0706
	P4C2	5.0002	0.7958	0.8066	0.8012	0.8012
	P4D2	5.0002	0.9162	0.8713	0.8928	0.8934
	P4E2	5.0002	1.0635	1.0078	1.0365	1.0359
Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce. (Vía Férrea)	P5A1	5.0001	1.5197	1.5017	1.5107	1.5107
	P5B1	5.0002	1.4856	1.4730	1.4784	1.4790
	P5C1	5.0000	1.0635	1.0387	1.0509	1.0510
	P5D1	5.0000	1.2503	1.1748	1.2125	1.2125
	P5E1	5.0001	1.4586	1.4676	1.4640	1.4634
	P5A2	5.0001	1.3670	1.4065	1.3868	1.3868
	P5B2	5.0003	1.2592	1.3149	1.2880	1.2874
	P5C2	5.0002	1.3077	1.3365	1.3221	1.3221
	P5D2	5.0003	0.9485	0.9503	0.9503	0.9497
	P5E2	5.0001	1.0976	1.1515	1.1245	1.1245
Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce. (ENA)	P6A1	5.0003	1.0635	1.0670	1.0653	1.0653
	P6B1	5.0001	1.0760	1.1173	1.0976	1.0970
	P6C1	5.0003	0.9108	0.9557	0.9323	0.9329
	P6D1	5.0004	1.1389	1.1281	1.1335	1.1335
	P6E1	5.0004	1.0042	0.9431	0.9736	0.9736
	P6A2	5.0003	1.1138	1.1658	1.1407	1.1401
	P6B2	5.0003	1.1371	1.1928	1.1658	1.1652
	P6C2	5.0001	0.9683	0.9359	0.9521	0.9521
	P6D2	5.0003	1.0958	1.1371	1.1155	1.1161
	P6E2	5.0004	1.0168	1.0329	1.0257	1.0251

- **Concentración de hierro en ppm:**

A continuación en la **Tabla N° 8** se presentan las concentraciones de hierro en cada muestra de Chipilín analizada, utilizando el Método de Absorción Atómica con llama, obteniendo los resultados en mg/Kg (ppm) para cada una de las réplicas que se promediaron para comparar con el valor de la normativa. Se observa que todas las concentraciones individuales y las concentraciones promedio sobrepasan el límite establecido para hierro según JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius; que es de **15 ppm** para hortalizas de hojas.

Al tomar en cuenta la información que brindaron los productores de los seis cultivos, solo los productores P2 (Cantón Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco), P3 (Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco) y P6 (Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce) aplican productos agroquímicos que en su composición contiene hierro, la aplicación de dichos productos es a través del suelo en el caso del fertilizante Micromix y abono compostaje; también por contacto en el caso de los fertilizantes foliares.

Estos productos podría contribuir a que los resultados sobrepasen los límites establecidos ya que las vías de aplicación son favorables para la absorción de dicho elementó por la planta. Sin embargo no solo a este factor se le puede atribuir las altas concentraciones encontradas en dicho estudio un dato importante al respecto es que los suelos donde se encuentran las hortalizas analizadas son derivados de cenizas volcánicas con pedología Latosoles arcillo – rojizo (Ver **Anexo N° 12**), en los cuales el color del suelo generalmente es rojo aunque algunas veces se encuentran amarillentos. Esta coloración se debe principalmente a la presencia de minerales de hierro; pudiendo estar propensos los cultivos a absorber estos minerales a través de la tierra. (47)

Tabla N° 8. Resultados del análisis de hierro en las muestras de *Crotalaria longirostrata*.

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de hierro (ppm)	Promedio de hierro (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón (P1)	P1A1	131.11	130.40	130.75	130.7576	132.3195	15 ppm
	P1B1	123.92	130.93	127.34	127.3971		
	P1C1	103.82	107.05	105.44	105.4382		
	P1D1	113.33	114.05	113.69	113.6941		
	P1E1	111.71	110.46	111.18	111.1167		
	P1A2	198.10	191.10	194.51	194.5728		
	P1B2	135.97	139.57	137.77	137.7690		
	P1C2	121.05	125.90	123.39	123.4469		
	P1D2	156.26	151.77	153.93	153.9851		
P1E2	124.66	125.38	125.02	125.0175			
Cantón Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco (P2)	P2A1	104.55	102.75	103.65	103.6500	106.5271	
	P2B1	122.32	130.05	126.27	126.2158		
	P2C1	94.83	95.37	95.01	95.0729		
	P2D1	97.52	102.01	99.68	99.7407		
	P2E1	109.57	115.86	112.62	112.6843		
	P2A2	92.50	92.15	92.33	92.3256		
	P2B2	106.87	110.47	108.67	108.6713		
	P2C2	110.29	114.96	112.62	112.6198		
	P2D2	104.73	105.81	105.27	105.2658		
P2E2	109.57	108.49	109.03	109.0247			

Tabla N° 8. Continuación

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de hierro (ppm)	Promedio de hierro (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco (P3)	P3A1	75.45	77.25	76.35	76.3469	89.0600	15 ppm
	P3B1	102.93	102.03	102.57	102.5100		
	P3C1	75.62	79.93	77.78	77.7789		
	P3D1	58.56	56.04	57.30	57.3008		
	P3E1	117.83	120.53	119.09	119.1457		
	P3A2	84.78	86.40	85.68	85.6180		
	P3B2	87.67	90.90	89.28	89.2798		
	P3C2	77.79	75.99	76.89	76.8869		
	P3D2	105.98	111.18	108.67	108.6081		
	P3E2	95.21	98.98	97.19	97.1247		
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco (P4)	P4A1	130.59	127.72	129.16	129.1541	102.7502	15 ppm
	P4B1	99.70	104.91	102.21	102.2713		
	P4C1	95.21	92.52	93.95	93.8881		
	P4D1	94.13	95.21	94.67	94.6700		
	P4E1	127.90	127.54	127.72	127.7174		
	P4A2	96.29	103.11	99.70	99.6960		
	P4B2	106.35	107.78	107.06	107.0591		
	P4C2	79.58	80.66	80.12	80.1168		
	P4D2	91.62	87.13	89.28	89.3398		
	P4E2	106.35	100.78	103.65	103.5892		

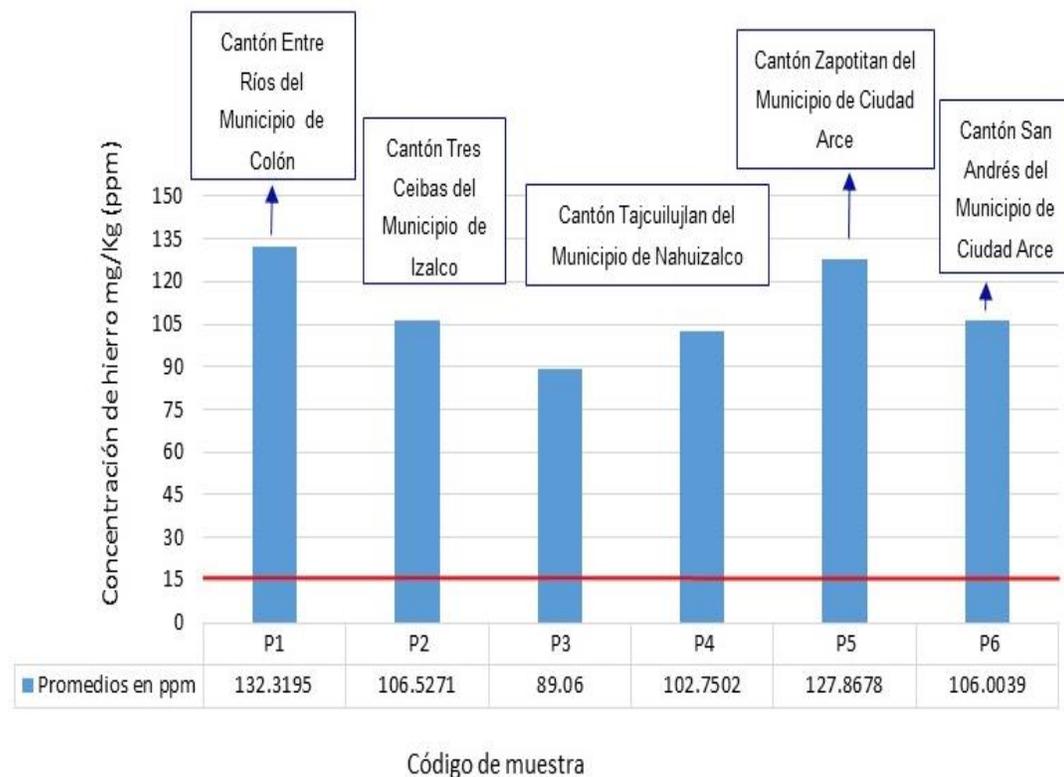
Tabla N° 8. Continuación

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de hierro (ppm)	Promedio de hierro (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce (P5)	P5A1	151.97	150.17	151.07	151.0670	127.8678	15 ppm
	P5B1	148.55	147.29	147.83	147.8941		
	P5C1	106.35	103.87	105.09	105.1033		
	P5D1	125.03	117.48	121.25	121.2533		
	P5E1	145.86	146.76	146.40	146.3371		
	P5A2	136.70	140.65	138.68	138.6739		
	P5B2	125.91	131.48	128.79	128.7289		
	P5C2	130.77	133.65	132.21	132.2047		
	P5D2	94.84	95.02	95.02	94.9643		
P5E2	109.76	115.15	112.45	112.4511			
Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce (P6)	P6A1	106.34	106.69	106.52	106.5203	106.0039	
	P6B1	107.60	111.73	109.76	109.6945		
	P6C1	91.07	95.56	93.22	93.2877		
	P6D1	113.88	112.80	113.34	113.3409		
	P6E1	100.41	94.30	97.35	97.3555		
	P6A2	111.37	116.57	114.06	114.0032		
	P6B2	113.70	119.27	116.57	116.5163		
	P6C2	96.83	93.59	95.22	95.2081		
	P6D2	109.57	113.70	111.54	111.6066		
P6E2	101.67	103.28	102.56	102.5051			

*Nota: los resultados obtenidos en determinación de hierro en muestra foliares de *C. longirostrata* por el método de EAA son declarados en base seca.

Se presenta una gráfica de barra (Ver **Figura N° 21**) en la cual el eje vertical representa concentraciones de hierro en ppm y el eje horizontal el código de cada muestra analizada.

La línea roja indica el límite máximo establecido por la normativa en hortalizas de hoja que es 15 ppm y las barras color celeste corresponden a cada muestra analizada, con ello se puede visualizar cuales muestras sobrepasan dicho límite y con color azul se hace énfasis en las zonas donde se recolectó el material vegetal analizado.



— Valor máximo Según JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius

Figura N° 21. Gráfica de resultados del análisis de hierro en *C. longirostrata* (Chipilín) por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama.

Los resultados que se obtuvieron en la determinación de hierro en las muestras de *C. longirostrata*; todos los valores promedios sobrepasan más de cinco veces el límite máximo permisible de hierro establecido por la normativa; aunque no sobrepasa el valor máximo de ingestión tolerable diaria para hierro que es 40 - 45 mg/Kg de peso (Ver **Anexo N° 3**). (16)(34)

5.2.4 Resultados del análisis de cobre en las muestras de *C. longirostrata*

La codificación de las muestras, el peso de muestra y los resultados de las lecturas directas en la primera, segunda y tercer replica realizadas por el equipo, para la determinación de cobre en las muestras de *C. longirostrata* se detallan en la **Tabla N° 9**.

Tabla N° 9. Concentración de cobre obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Lugares de recolección	Código de Muestra	Peso muestra (g)	Lectura directa réplica N° 1 (ppm)	Lectura directa réplica N° 2 (ppm)	Lectura directa réplica N° 3 (ppm)	Resultado promedio en alícuota muestra (ppm)
Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón	P1A1	5.0006	0.9372	0.9740	0.9561	0.9558
	P1B1	5.0009	1.0728	1.0675	1.0696	1.0700
	P1C1	5.0004	0.9498	0.9866	0.9687	0.9684
	P1D1	5.0007	0.9172	0.9487	0.9330	0.9330
	P1E1	5.0009	0.9319	0.9498	0.9414	0.9410
	P1A2	5.0007	0.9340	0.9645	0.9498	0.9494
	P1B2	5.0004	1.0875	1.0896	1.0885	1.0885
	P1C2	5.0008	1.0423	1.0118	1.0276	1.0272
	P1D2	5.0007	1.0559	1.0791	1.0675	1.0675
	P1E2	5.0005	0.9172	0.9656	0.9414	0.9414
Cantón Las Tres Ceibas	P2A1	5.0000	1.1799	1.1926	1.1863	1.1863
	P2B1	5.0003	1.2546	1.2998	1.2777	1.2774

Tabla N° 9. Continuación

Cantón Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco	P2C1	5.0009	1.2388	1.3103	1.2745	1.2745
	P2D1	5.0008	1.1579	1.2031	1.1810	1.1807
	P2E1	5.0004	1.2472	1.2115	1.2293	1.2293
	P2A2	5.0006	1.1652	1.2062	1.1852	1.1855
	P2B2	5.0004	1.2304	1.2987	1.2651	1.2647
	P2C2	5.0006	1.3302	1.3922	1.3618	1.3614
	P2D2	5.0002	1.2388	1.2598	1.2493	1.2493
	P2E2	5.0007	1.3008	1.3649	1.3323	1.3327
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco	P3A1	5.0002	0.8605	0.9183	0.8888	0.8892
	P3B1	5.0000	0.9445	0.9698	0.9572	0.9572
	P3C1	5.0005	1.0454	1.0643	1.0549	1.0549
	P3D1	5.0008	0.6524	0.6871	0.6702	0.6699
	P3E1	5.0006	0.9582	0.9635	0.9603	0.9607
	P3A2	5.0007	0.9151	0.9319	0.9235	0.9235
	P3B2	5.0002	0.9256	0.9677	0.9466	0.9466
	P3C2	5.0002	1.0065	1.0580	1.0318	1.0321
	P3D2	5.0007	0.9866	0.9960	0.9918	0.9915
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco	P4A1	5.0001	0.9698	0.9908	0.9803	0.9803
	P4B1	5.0001	0.9046	0.9319	0.9183	0.9183
	P4C1	5.0001	0.8731	0.8888	0.8804	0.8808
	P4D1	5.0000	1.0559	1.0738	1.0654	1.0650
	P4E1	5.0001	1.0370	1.0496	1.0433	1.0433
	P4A2	5.0002	0.8983	0.9319	0.9151	0.9151
	P4B2	5.0002	0.9246	0.9813	0.9529	0.9529
	P4C2	5.0002	0.7953	0.8500	0.8226	0.8226
	P4D2	5.0002	0.8972	0.9424	0.9204	0.9200
	P4E2	5.0002	0.8951	0.9298	0.9120	0.9123
Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce. (Vía Férrea)	P5A1	5.0001	0.9813	0.9929	0.9876	0.9873
	P5B1	5.0002	1.0643	1.0328	1.0486	1.0486
	P5C1	5.0000	0.9519	0.9929	0.9729	0.9726
	P5D1	5.0000	1.0864	1.1474	1.1169	1.1169
	P5E1	5.0001	0.9614	0.9992	0.9803	0.9803
	P5A2	5.0001	1.0307	1.0549	1.0423	1.0426
	P5B2	5.0003	0.9466	0.9614	0.9540	0.9540
	P5C2	5.0002	1.0202	1.0423	1.0318	1.0314
	P5D2	5.0003	0.8573	0.9088	0.8825	0.8829
	P5E2	5.0001	0.9036	0.9403	0.9225	0.9221
Cantón San Andrés	P6A1	5.0003	0.7154	0.7386	0.7270	0.7270
	P6B1	5.0001	0.6871	0.7249	0.7060	0.7060

Tabla N° 9. Continuación

Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce (ENA)	P6C1	5.0003	0.7386	0.7438	0.7417	0.7414
	P6D1	5.0004	0.7133	0.7533	0.7333	0.7333
	P6E1	5.0004	0.7743	0.7753	0.7753	0.7750
	P6A2	5.0003	0.6829	0.7039	0.6934	0.6934
	P6B2	5.0003	0.7701	0.8132	0.7922	0.7918
	P6C2	5.0001	0.7932	0.7953	0.7943	0.7943
	P6D2	5.0003	0.8668	0.8899	0.8783	0.8783
	P6E2	5.0004	0.7690	0.7974	0.7837	0.7834

Para poder calcular el factor de dilución se realizó primero el esquema de dilución de la muestra, con este factor se calculó la concentración total de cobre en ppm (Ver **Anexo N° 8**).

- **Concentración de cobre en ppm:**

A continuación en la **Tabla N° 10** se resumen las concentraciones de cobre en cada muestra de Chipilín analizada, utilizando el Método de Absorción Atómica con llama, obteniendo los resultados en mg/Kg (ppm) para cada una de las tres réplicas que se promediaron para comparar con el valor de la normativa. Se observa que todas las concentraciones individuales y las concentraciones promedio sobrepasan el límite establecido para cobre según JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius; que es de **5 ppm** para hortalizas de hojas.

Estos productos podrían contribuir a que los resultados sobrepasen los límites establecidos ya que las vías de aplicación son favorables para la absorción de dicho elemento por la planta, pero este no es el único factor que se debe mencionar ya que todas las muestras en los seis cultivos presentaron una elevación en las concentraciones de cobre.

Tabla N° 10. Resultados del análisis de cobre en las muestras de *Crotalaria longirostrata*.

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de cobre (ppm)	Promedio de cobre (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón (P1)	P1A1	9.3709	9.7388	9.5599	9.5565	9.9409	5 ppm
	P1B1	10.7261	10.6731	10.6941	10.6977		
	P1C1	9.4972	9.8652	9.6862	9.6829		
	P1D1	9.1707	9.4857	9.3287	9.3284		
	P1E1	9.3173	9.4963	9.4123	9.4086		
	P1A2	9.3387	9.6436	9.4967	9.4930		
	P1B2	10.8741	10.8951	10.8841	10.8845		
	P1C2	10.4213	10.1164	10.2744	10.2707		
	P1D2	10.5575	10.7895	10.6735	10.6735		
P1E2	9.1711	9.6550	9.4131	9.4131			
Cantón Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco (P2)	P2A1	11.7990	11.9260	11.8630	11.8627	12.5406	
	P2B1	12.5452	12.9972	12.7762	12.7729		
	P2C1	12.3858	13.1006	12.7427	12.7430		
	P2D1	11.5771	12.0291	11.8081	11.8048		
	P2E1	12.4710	12.1140	12.2920	12.2923		
	P2A2	11.6506	12.0606	11.8506	11.8539		
	P2B2	12.3030	12.9860	12.6500	12.6463		
	P2C2	13.3004	13.9203	13.6164	13.6124		
	P2D2	12.3875	12.5975	12.4925	12.4925		
P2E2	13.0062	13.6471	13.3211	13.3248			

Tabla N° 10. Continuación

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de cobre (ppm)	Promedio de cobre (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco (P3)	P3A1	8.6047	9.1826	8.8876	8.8916	9.4527	5 ppm
	P3B1	9.4450	9.6980	9.5720	9.5717		
	P3C1	10.4530	10.6419	10.5479	10.5476		
	P3D1	6.5230	6.8699	6.7009	6.6979		
	P3E1	9.5809	9.6338	9.6018	9.6055		
	P3A2	9.1497	9.3177	9.2337	9.2337		
	P3B2	9.2556	9.6766	9.4656	9.4660		
	P3C2	10.0646	10.5796	10.3176	10.3206		
	P3D2	9.8646	9.9586	9.9166	9.9133		
P3E2	9.9708	10.5908	10.2758	10.2791			
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco (P4)	P4A1	9.6978	9.9078	9.8028	9.8028	9.4104	
	P4B1	9.0458	9.3188	9.1828	9.1825		
	P4C1	8.7308	8.8878	8.8038	8.8075		
	P4D1	10.5590	10.7380	10.6540	10.6503		
	P4E1	10.3698	10.4958	10.4328	10.4328		
	P4A2	8.9826	9.3186	9.1506	9.1506		
	P4B2	9.2456	9.8126	9.5286	9.5290		
	P4C2	7.9527	8.4997	8.2257	8.2260		
	P4D2	8.9716	9.4236	9.2036	9.1996		
P4E2	8.9506	9.2976	9.1196	9.1226			

Tabla N° 10. Continuación

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de cobre (ppm)	Promedio de cobre (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce (P5)	P5A1	9.8128	9.9288	9.8758	9.8725	9.9384	5 ppm
	P5B1	10.6426	10.3276	10.4856	10.4852		
	P5C1	9.5190	9.9290	9.7290	9.7257		
	P5D1	10.8640	11.4740	11.1690	11.1690		
	P5E1	9.6138	9.9918	9.8028	9.8028		
	P5A2	10.3068	10.5488	10.4228	10.4261		
	P5B2	9.4654	9.6134	9.5394	9.5394		
	P5C2	10.2016	10.4226	10.3176	10.3139		
	P5D2	8.5725	9.0875	8.8245	8.8281		
	P5E2	9.0358	9.4028	9.2248	9.2211		
Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce (P6)	P6A1	7.1536	7.3856	7.2696	7.2696	7.6234	5 ppm
	P6B1	6.8709	7.2489	7.0599	7.0599		
	P6C1	7.3856	7.4376	7.4166	7.4132		
	P6D1	7.1324	7.5324	7.3324	7.3324		
	P6E1	7.7424	7.7524	7.7524	7.7490		
	P6A2	6.8286	7.0386	6.9336	6.9336		
	P6B2	7.7005	8.1315	7.9215	7.9179		
	P6C2	7.9318	7.9528	7.9428	7.9425		
	P6D2	8.6675	8.8985	8.7825	8.7828		
P6E2	7.6894	7.9734	7.8364	7.8330			

Nota: los resultados obtenidos en determinación de cobre en muestra foliares de *C. longirostrata* por el método de EAA son declarados en base seca

Un dato importante al respecto es que los suelos donde se encuentran las hortalizas analizadas son derivados de cenizas volcánicas (Ver **Anexo N° 12**), pudiendo estar propensos los cultivos a absorber minerales a través de la tierra. (8)(47)

En la gráfica de barra (Ver **Figura N° 22**) que se muestra a continuación el eje vertical representa concentraciones de cobre en ppm y el eje horizontal el código de cada muestra analizada, la línea roja indica el límite máximo establecido por la normativa en hortalizas de hoja que es 5 ppm y las barras color celeste corresponden a cada muestra analizada, con ello se puede visualizar cuales muestras sobrepasan dicho límite y con color azul se hace énfasis las zonas donde se recolecto el material vegetal analizado.

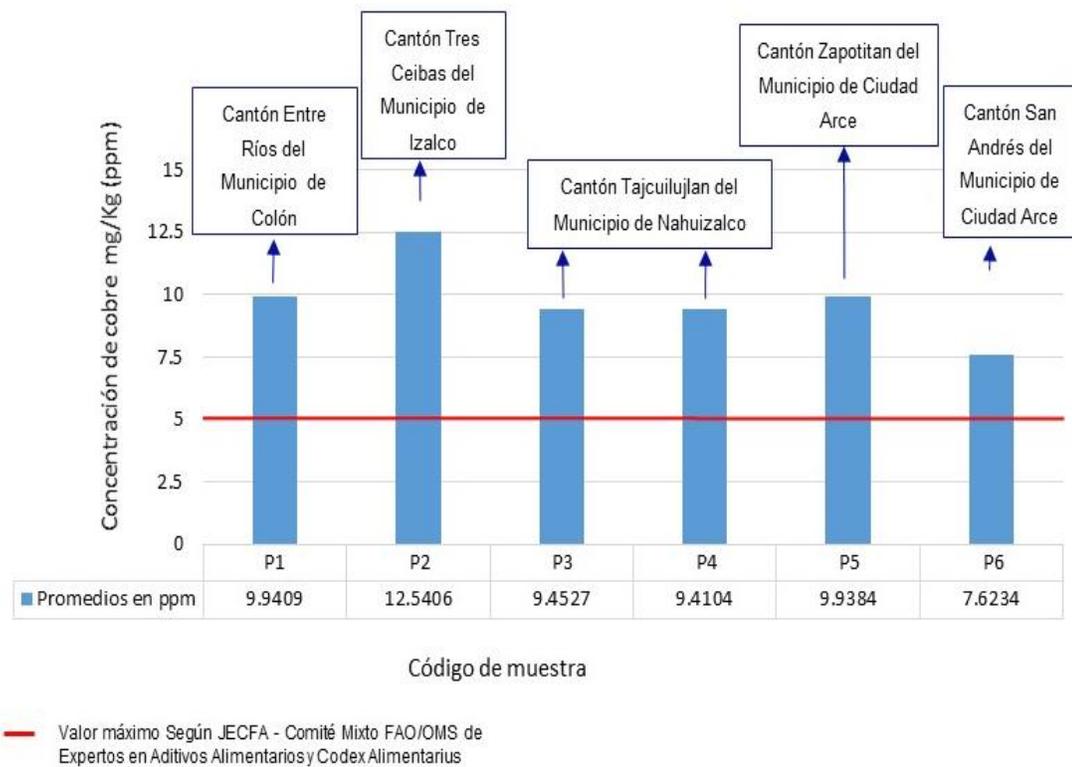


Figura N° 22. Gráfica de resultados del análisis de cobre en *C. longirostrata* (Chipilín) por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama.

Los resultados que se obtuvieron en la determinación de cobre realizada a las muestras de *C. longirostrata*; todos los valores promedios sobrepasan el límite máximo permisible de cobre establecido por la normativa, aunque no excede el valor máximo de ingestión tolerable diaria para cobre que es de 1- 10 mg/Kg de peso (Ver **Anexo N° 3**). (34)

5.2.5 Resultados del análisis de zinc en las muestras de *C. longirostrata*

La codificación de las muestras, el peso de muestra y los resultados de las lecturas directas en la primera, segunda y tercer replica realizadas por el equipo, para la determinación de zinc en las muestras de *C. longirostrata* se detallan en la **Tabla N° 11**. Para poder calcular el factor de dilución se realizó primero el esquema de dilución de la muestra, con este factor se calculó la concentración total de zinc en ppm (Ver **Anexo N° 8**).

Tabla N° 11. Concentración de zinc obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Lugares de recolección	Código de Muestra	Peso muestra (g)	Lectura directa réplica N° 1 (ppm)	Lectura directa réplica N° 2 (ppm)	Lectura directa réplica N° 3 (ppm)	Resultado promedio en alícuota muestra (ppm)
Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón	P1A1	5.0006	0.3478	0.3617	0.3549	0.3548
	P1B1	5.0009	0.4163	0.4353	0.4257	0.4258
	P1C1	5.0004	0.3512	0.3736	0.3622	0.3623
	P1D1	5.0007	0.3138	0.3288	0.3214	0.3213
	P1E1	5.0009	0.3229	0.3240	0.3234	0.3234
	P1A2	5.0007	0.3478	0.3469	0.3475	0.3474
	P1B2	5.0004	0.3736	0.3959	0.3849	0.3848

Tabla N° 11. Continuación

Cantón Entre Ríos	P1C2	5.0008	0.3192	0.3365	0.3277	0.3278
	P1D2	5.0007	0.3546	0.3631	0.3588	0.3588
	P1E2	5.0005	0.3724	0.3863	0.3792	0.3793
Cantón Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco	P2A1	5.0000	0.6401	0.6367	0.6384	0.6384
	P2B1	5.0003	0.6650	0.6976	0.6812	0.6813
	P2C1	5.0009	0.5849	0.6242	0.6047	0.6046
	P2D1	5.0008	0.5758	0.6047	0.5903	0.5903
	P2E1	5.0004	0.7639	0.8052	0.7846	0.7846
	P2A2	5.0006	0.6081	0.6489	0.6285	0.6285
	P2B2	5.0004	0.7531	0.7344	0.7438	0.7438
	P2C2	5.0006	0.6781	0.6843	0.6812	0.6812
	P2D2	5.0002	0.6282	0.6715	0.6500	0.6499
	P2E2	5.0007	0.6446	0.6446	0.6446	0.6446
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco	P3A1	5.0002	0.3889	0.4010	0.3951	0.3950
	P3B1	5.0000	0.4342	0.4594	0.4466	0.4467
	P3C1	5.0005	0.3642	0.3821	0.3730	0.3731
	P3D1	5.0008	0.3294	0.3506	0.3401	0.3400
	P3E1	5.0006	0.5506	0.5379	0.5441	0.5442
	P3A2	5.0007	0.5370	0.5333	0.5350	0.5351
	P3B2	5.0002	0.3886	0.4158	0.4022	0.4022
	P3C2	5.0002	0.4172	0.4299	0.4234	0.4235
	P3D2	5.0007	0.5013	0.5240	0.5126	0.5126
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco	P3E2	5.0001	0.6223	0.6005	0.6115	0.6114
	P4A1	5.0001	0.4441	0.4719	0.4580	0.4580
	P4B1	5.0001	0.5107	0.5347	0.5226	0.5227
	P4C1	5.0001	0.3874	0.4022	0.3948	0.3948
	P4D1	5.0000	0.4294	0.4347	0.4319	0.4320
	P4E1	5.0001	0.4237	0.4506	0.4370	0.4371
	P4A2	5.0002	0.3370	0.3569	0.3469	0.3469
	P4B2	5.0002	0.5033	0.5050	0.5041	0.5041
	P4C2	5.0002	0.4418	0.4554	0.4486	0.4486
	P4D2	5.0002	0.4064	0.4347	0.4206	0.4206
Cantón Zapotitán	P4E2	5.0002	0.3532	0.3767	0.3651	0.3650
	P5A1	5.0001	0.4741	0.5013	0.4877	0.4877
	P5B1	5.0002	0.4577	0.4795	0.4687	0.4686
	P5C1	5.0000	0.4597	0.4415	0.4506	0.4506
	P5D1	5.0000	0.4571	0.4750	0.4659	0.4660

Tabla N° 11. Continuación

Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce	P5A1	5.0001	0.4741	0.5013	0.4877	0.4877
	P5B1	5.0002	0.4577	0.4795	0.4687	0.4686
	P5C1	5.0000	0.4597	0.4415	0.4506	0.4506
	P5D1	5.0000	0.4571	0.4750	0.4659	0.4660
	P5E1	5.0001	0.4775	0.5002	0.4888	0.4888
	P5A2	5.0001	0.4639	0.4897	0.4767	0.4768
	P5B2	5.0003	0.4486	0.4784	0.4636	0.4635
	P5C2	5.0002	0.4336	0.4495	0.4415	0.4415
	P5D2	5.0003	0.4648	0.4574	0.4611	0.4611
	P5E2	5.0001	0.4413	0.4506	0.4461	0.4460
Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce	P6A1	5.0003	0.2529	0.2654	0.2591	0.2591
	P6B1	5.0001	0.2835	0.2948	0.2892	0.2892
	P6C1	5.0003	0.2875	0.3067	0.2971	0.2971
	P6D1	5.0004	0.3268	0.3489	0.3379	0.3379
	P6E1	5.0004	0.3277	0.3475	0.3376	0.3376
	P6A2	5.0003	0.2923	0.2877	0.2900	0.2900
	P6B2	5.0003	0.2948	0.3144	0.3045	0.3046
	P6C2	5.0001	0.2909	0.3059	0.2982	0.2983
	P6D2	5.0003	0.3407	0.3594	0.3501	0.3501
	P6E2	5.0004	0.3200	0.3359	0.3280	0.3280

- **Concentración de zinc en ppm:**

A continuación en la **Tabla N° 12**, se presentan las concentraciones de zinc en las muestras de Chipilín analizadas a través del Método de Absorción Atómica con llama, obteniendo los resultados en mg/Kg (ppm) para cada una de las tres réplicas que se promediaron para comparar con el valor de la normativa.

Se observa que todas las concentraciones individuales y las concentraciones promedio sobrepasan el límite establecido para zinc según JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius; que es de **5 ppm** para hortalizas de hojas.

Tabla N° 12. Resultados del análisis de zinc en las muestras de *Crotalaria longirostrata*.

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de zinc (ppm)	Promedio de zinc (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Entre Ríos del Municipio de Colón (P1)	P1A1	34.7758	36.1657	35.4857	35.4757	35.8533	5 ppm
	P1B1	41.6225	43.5222	42.5623	42.5690		
	P1C1	35.1172	37.3570	36.2171	36.2304		
	P1D1	31.3756	32.8754	32.1355	32.1288		
	P1E1	32.2842	32.3942	32.3342	32.3375		
	P1A2	34.7751	34.6851	34.7451	34.7351		
	P1B2	37.3570	39.5868	38.4869	38.4769		
	P1C2	31.9149	33.6446	32.7648	32.7748		
	P1D2	35.4550	36.3049	35.8750	35.8783		
P1E2	37.2363	38.6261	37.9162	37.9262			
Cantón Las Tres Ceibas del Municipio de Izalco (P2)	P2A1	64.0100	63.6700	63.8400	63.8400	66.4643	
	P2B1	66.4960	69.7558	68.1159	68.1226		
	P2C1	58.4795	62.4088	60.4591	60.4491		
	P2D1	57.5708	60.4603	59.0206	59.0172		
	P2E1	76.3839	80.5136	78.4537	78.4504		
	P2A2	60.8027	64.8822	62.8425	62.8425		
	P2B2	75.3040	73.4341	74.3741	74.3707		
	P2C2	67.8019	68.4218	68.1118	68.1118		
	P2D2	62.8175	67.1473	64.9974	64.9874		
P2E2	64.4510	64.4510	64.4510	64.4510			

Tabla N° 12. Continuación

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de zinc (ppm)	Promedio de zinc (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco (P3)	P3A1	38.8884	40.0984	39.5084	39.4984	45.8357	5 ppm
	P3B1	43.4200	45.9400	44.6600	44.6733		
	P3C1	36.4164	38.2062	37.2963	37.3063		
	P3D1	32.9347	35.0544	34.0046	33.9979		
	P3E1	55.0534	53.7835	54.4035	54.4135		
	P3A2	53.6925	53.3225	53.4925	53.5025		
	P3B2	38.8584	41.5783	40.2184	40.2184		
	P3C2	41.7183	42.9883	42.3383	42.3483		
	P3D2	50.1230	52.3927	51.2528	51.2562		
P3E2	62.2288	60.0488	61.1488	61.1421			
Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco (P4)	P4A1	44.4091	47.1891	45.7991	45.7991	43.2968	
	P4B1	51.0690	53.4689	52.2590	52.2656		
	P4C1	38.7392	40.2192	39.4792	39.4792		
	P4D1	42.9400	43.4700	43.1900	43.2000		
	P4E1	42.3692	45.0591	43.6991	43.7091		
	P4A2	33.6987	35.6886	34.6886	34.6919		
	P4B2	50.3280	50.4980	50.4080	50.4113		
	P4C2	44.1782	45.5382	44.8582	44.8582		
	P4D2	40.6384	43.4683	42.0583	42.0550		
P4E2	35.3186	37.6685	36.5085	36.4985			

Tabla N° 12. Continuación

Lugares de recolección	Código de Muestra	réplica N° 1 (ppm)	réplica N° 2 (ppm)	réplica N° 3 (ppm)	Concentración de zinc (ppm)	Promedio de zinc (ppm)	Normativa JECFTA-Comité Mixto FAO/OMS Expertos en Aditivos Alimentarius y Codex Alimentarius (23)(24)(31)
Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce (P5)	P5A1	47.4091	50.1290	48.7690	48.7690	46.5057	5 ppm
	P5B1	45.7682	47.9481	46.8681	46.8615		
	P5C1	45.9700	44.1500	45.0600	45.0600		
	P5D1	45.7100	47.5000	46.5900	46.6000		
	P5E1	47.7490	50.0190	48.8790	48.8824		
	P5A2	46.3891	48.9690	47.6690	47.6757		
	P5B2	44.8573	47.8371	46.3572	46.3506		
	P5C2	43.3583	44.9482	44.1482	44.1516		
	P5D2	46.4772	45.7373	46.1072	46.1072		
	P5E2	44.1291	45.0591	44.6091	44.5991		
Cantón San Andrés del Municipio de Ciudad Arce (P6)	P6A1	25.2885	26.5384	25.9084	25.9118	30.9162	5 ppm
	P6B1	28.3494	29.4794	28.9194	28.9161		
	P6C1	28.7483	30.6682	29.7082	29.7082		
	P6D1	32.6774	34.8872	33.7873	33.7840		
	P6E1	32.7674	34.7472	33.7573	33.7573		
	P6A2	29.2282	28.7683	28.9983	28.9983		
	P6B2	29.4782	31.4381	30.4482	30.4548		
	P6C2	29.0894	30.5894	29.8194	29.8327		
	P6D2	34.0680	35.9378	35.0079	35.0046		
P6E2	31.9974	33.5873	32.7974	32.7940			

*Nota: los resultados obtenidos en determinación de zinc en muestra foliares de *C. longirostrata* por el método de EAA son declarados en base seca.

Al tomar en cuenta la información que brindaron los productores de los seis cultivos, los productores P3 (Cantón Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco) y P5 (Cantón Zapotitán del Municipio de Ciudad Arce) aplican productos agroquímicos que en su composición contiene zinc, la aplicación de dichos productos es a través del suelo en el caso del fertilizante Micromix y por contacto en el caso del fertilizante foliar Metalosato, al igual que el fungicida Antracol.

Estos productos utilizados como fertilizantes, podrían contribuir a que los resultados sobrepasen los límites establecidos pues las vías de aplicación son favorables para la absorción de dicho elemento por la planta; sin embargo los suelos donde se encuentran las hortalizas analizadas son derivados de cenizas volcánicas (Ver **Anexo N° 12**), lo que podría influir en los resultados obtenidos ya que los cultivos están propensos a absorber minerales a través de la tierra y todas las muestras tuvieron la tendencia a sobrepasar el límite para zinc en hortalizas de hoja.

Se muestra una gráfica de barra donde el eje vertical representa concentraciones de zinc en ppm y el eje horizontal el código de cada muestra analizada. La línea roja indica el límite máximo establecido por la normativa en hortalizas de hoja que es 5 ppm y las barras color celeste corresponden a cada muestra analizada, con ello se puede visualizar cuales muestras sobrepasan dicho límite y con color azul se hace énfasis las zonas donde se recolectó el material vegetal analizado (Ver **Figura N° 23**).

Los resultados que se obtuvieron en la determinación de zinc realizada a las muestras de *C. longirostrata*; todos los valores promedios sobrepasan más de cinco veces el límite máximo permisible de zinc establecido por la normativa, aunque no excede el valor máximo de ingestión tolerable diaria para zinc que es de 4 - 40 mg/Kg de peso (Ver **Anexo N° 3**).

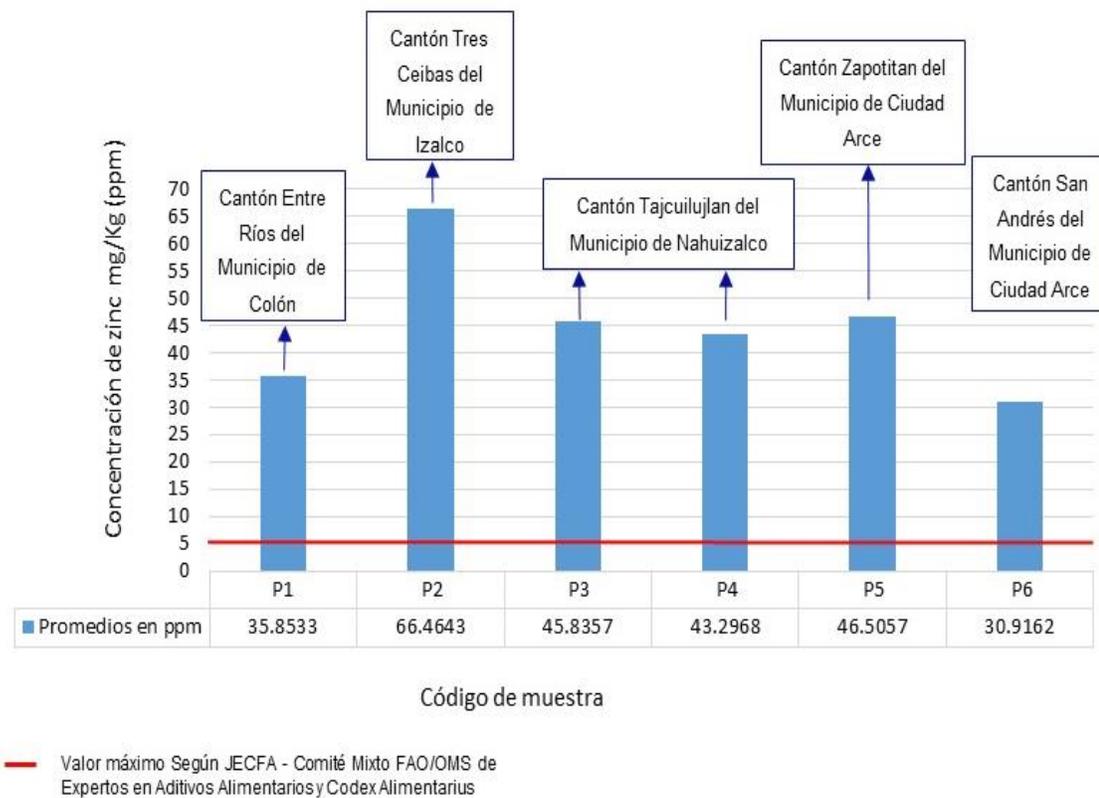


Figura N° 23. Gráfica de resultados del análisis de zinc en *C. longirostrata* (Chipilín) por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama.

A continuación (Ver **Tabla N° 13**) se resumen los resultados obtenidos en el análisis de hojas de *C. longirostrata*, los valores resaltados con color rojo sobrepasaron los límites establecidos según la normativa JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius.

5.3 Análisis estadístico.

Con la finalidad de evaluar el comportamiento de los datos experimentales obtenidos en el análisis de hojas de *C. longirostrata* por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, se aplicó el análisis de varianza de un factor (ANOVA).

Tabla N° 13. Resultados de la determinación de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc en hojas de *C. longirostrata*.

Lugares de recolección	Código de Muestra	Concentración Promedio (ppm)				
		plomo	arsénico	hierro	cobre	zinc
Cantón Entre Ríos Colón	P1	0.1201	0.0609	132.3195	9.9409*	35.8533
Cantón Las Tres Ceibas Izalco	P2	0.6855	0.0138	106.5271*	12.5406*	66.4643*
Cantón Tajcuilujlan Nahuizalco	P3	1.0397	0.0129	89.0600*	9.4527*	45.8357*
Cantón Tajcuilujlan Nahuizalco	P4	0.1578	0.0031	102.7502	9.4104	43.2968
Cantón Zapotitán Ciudad Arce	P5	0.1573	0.1184	127.8678*	9.9384*	46.5057*
Cantón San Andrés Ciudad Arce	P6	0.0240	0.0390	106.0039*	7.6234*	30.9162*

*Los productores aplican agroquímicos que en su composición contiene hierro, cobre ó zinc según la información proporcionada.

El análisis de un factor (ANOVA) es un método estadístico que permite conocer si existe diferencia significativa entre las concentraciones promedio de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc individualmente; para ello se utilizó el programa SPSS Statistics 18. (57)

5.3.1 Resultados análisis de varianza (ANOVA) para plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc en las muestras de *Crotalaria longirostrata*.

Para revelar si existe una diferencia significativa entre las concentraciones promedio de cada elemento (plomo, arsénico, hierro, cobre o zinc) en las muestras analizadas con un nivel de confianza de 95%, se plantean las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula: $Cx1=Cx2=Cx3=Cx4=Cx5=Cx6$
- Hipótesis alternativa: $Cx1 \neq Cx2 \neq Cx3 \neq Cx4 \neq Cx5 \neq Cx6$

Donde:

C= concentración

x= plomo, arsénico, hierro, cobre o zinc

Como el P- Valor (obtenido de tabla) asociado al valor de F encontrado para cada elemento es menor que $\alpha = 0.05$ para un nivel de confianza del 95%, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos que hay diferencias entre las medias de las concentraciones de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc de los seis productores (Ver **Tabla N° 14**). Para identificar entre que grupos de productores existe diferencia de concentraciones promedio para plomo, arsénico, cobre, hierro y zinc; se aplicaron las pruebas de rango post hoc (DMS y Bonferroni).

Criterio de aceptación el cual indica que existe diferencia significativa a un 95% de confianza es un valor-P < 0.05.

Tabla N° 14. Análisis de Varianza para las concentraciones promedio de plomo (Pb), arsénico (As), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn) en las muestras de *Crotalaria longirostrata*.

Elemento		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P- Valor (Sig.)
Pb	Inter-grupos	72.372	5	14.474	235.38	0.000
	Intra-grupos	10.700	174	0.061	-	-
	Total	83.072	179	-	-	-
As	Inter-grupos	0.180	5	0.036	234.77	0.000
	Intra-grupos	0.027	174	0.000	-	-
	Total	0.207	179	-	-	-
Fe	Inter-grupos	39992.244	5	7998.449	28.68	0.000
	Intra-grupos	48528.104	174	278.897	-	-
	Total	88520.348	179	-	-	-
Cu	Inter-grupos	376.734	5	75.347	142.68	0.000
	Intra-grupos	91.889	174	0.528	-	-
	Total	468.623	179	-	-	-
Zn	Inter-grupos	22451.580	5	4490.316	169.85	0.000
	Intra-grupos	4599.991	174	26.437	-	-
	Total	27051.571	179	-	-	-

Como el P- Valor (obtenido de tabla) asociado al valor de F encontrado para cada elemento es menor que $\alpha = 0.05$ a un nivel de confianza del 95%, se rechaza la hipótesis nula y se acepta que existe diferencias significativa entre las medias de las concentraciones de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc obtenidas en el análisis de hijas de *Crotalaria longirostrata* (Chipilín).

Pero para lograr identificar entre que lugares de recolección existe diferencia de concentraciones promedio para cada elemento en estudio (Pb, As, Fe, Cu y Zn); se aplicaron las pruebas de rango post hoc (DMS y Bonferroni).

5.3.2 Pruebas post hoc: Diferencia mínima significativa (DMS) y Bonferroni.

Son pruebas de comparación múltiple que permiten determinar de forma más específica cuales son los lugares de recolección que presentan o no una diferencia significativa en base a las concentraciones promedio para plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc respectivamente, en el **Anexo N° 12** se muestran las tablas obtenidas después de realizar las comparaciones antes citadas. (57)

Tabla N° 15. Ejemplo de Comparaciones múltiples de las concentraciones promedio de plomo (Pb) por productor.

(I) Productor	(J) Productores	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
DMS	1.0	2.0	.9413800*	.0640280	.000	.815008	1.067752
		3.0	.9595733*	.0640280	.000	.833202	1.085945
		_ 4.0	1.1640433*	.0640280	.000	1.037672	1.290415
		5.0	-.6467433*	.0640280	.000	-.773115	-.520372
		6.0	.4380967*	.0640280	.000	.311725	.564468
	2.0	1.0	-.9413800*	.0640280	.000	-1.06775	-.815008
		3.0	.0181933	.0640280	.777	-.108178	.144565
		_ 4.0	.2226633*	.0640280	.001	.096292	.349035
		5.0	-1.588123*	.0640280	.000	-1.71450	-1.46175
		6.0	-.5032833*	.0640280	.000	-.629655	-.376912
	3.0	1.0	-.9595733*	.0640280	.000	-1.08595	-.833202
		2.0	-.0181933	.0640280	.777	-.144565	.108178
		_ 4.0	.2044700*	.0640280	.002	.078098	.330842
		5.0	-1.606317*	.0640280	.000	-1.73269	-1.47995
		6.0	-.5214767*	.0640280	.000	-.647848	-.395105
	4.0	1.0	-1.164043*	.0640280	.000	-1.29042	-1.03767
		2.0	-.2226633*	.0640280	.001	-.349035	-.096292
		_ 3.0	-.2044700*	.0640280	.002	-.330842	-.078098
		5.0	-1.810787*	.0640280	.000	-1.93716	-1.68442
		6.0	-.7259467*	.0640280	.000	-.852318	-.599575
5.0	1.0	.6467433*	.0640280	.000	.520372	.773115	
	3.0	1.5881233*	.0640280	.000	1.461752	1.714495	
	_ 4.0	1.6063167*	.0640280	.000	1.479945	1.732688	
	5.0	1.8107867*	.0640280	.000	1.684415	1.937158	
	6.0	1.0848400*	.0640280	.000	.958468	1.211212	

Tabla N° 15. Continuación

Bonferroni	6.0	1.0	-.4380967*	.0640280	.000	-.564468	-.311725
		2.0	.5032833*	.0640280	.000	.376912	.629655
		4.0	.5214767*	.0640280	.000	.395105	.647848
		5.0	.7259467*	.0640280	.000	.599575	.852318
		6.0	-1.084840*	.0640280	.000	-1.21121	-.958468
	1.0	2.0	.9413800*	.0640280	.000	.750815	1.131945
		3.0	.9595733*	.0640280	.000	.769009	1.150138
		4.0	1.1640433*	.0640280	.000	.973479	1.354608
		5.0	-.6467433*	.0640280	.000	-.837308	-.456179
		6.0	.4380967*	.0640280	.000	.247532	.628661
	2.0	1.0	-.9413800*	.0640280	.000	-1.13195	-.750815
		3.0	.0181933	.0640280	1.000	-.172371	.208758
		4.0	.2226633*	.0640280	.010	.032099	.413228
		5.0	-1.588123*	.0640280	.000	-1.77869	-1.39769
		6.0	-.5032833*	.0640280	.000	-.693848	-.312719
	3.0	1.0	-.9595733*	.0640280	.000	-1.15014	-.769009
		2.0	-.0181933	.0640280	1.000	-.208758	.172371
		4.0	.2044700*	.0640280	.025	.013905	.395035
		5.0	-1.606317*	.0640280	.000	-1.79688	-1.41575
		6.0	-.5214767*	.0640280	.000	-.712041	-.330912
	4.0	1.0	-1.164043*	.0640280	.000	-1.35461	-.973479
	2.0	-.2226633*	.0640280	.010	-.413228	-.032099	
	3.0	-.2044700*	.0640280	.025	-.395035	-.013905	
	5.0	-1.810787*	.0640280	.000	-2.00135	-1.62022	
	6.0	-.7259467*	.0640280	.000	-.916511	-.535382	
5.0	1.0	.6467433*	.0640280	.000	.456179	.837308	
	3.0	1.5881233*	.0640280	.000	1.397559	1.778688	
	4.0	1.6063167*	.0640280	.000	1.415752	1.796881	
	5.0	1.8107867*	.0640280	.000	1.620222	2.001351	
	6.0	1.0848400*	.0640280	.000	.894275	1.275405	
6.0	1.0	-.4380967*	.0640280	.000	-.628661	-.247532	
	2.0	.5032833*	.0640280	.000	.312719	.693848	
	4.0	.5214767*	.0640280	.000	.330912	.712041	
	5.0	.7259467*	.0640280	.000	.535382	.916511	
	6.0	-1.084840*	.0640280	.000	-1.27541	-.894275	

Al ingresar los datos al programa SPSS Statistics 18 y seleccionar la opción de las pruebas de comparación se obtienen las tablas correspondientes para cada elemento en estudio; en la primera columna se encuentra la prueba de comparación (DMS y Bonferroni) así como el productor que es comparado con respecto a los cinco productores restantes ubicados en la segunda columna; en

la tercera, cuarta, quinta y sexta columna se observa la diferencia de medias, error típico, P-Valor (Sig.) y el intervalo de confianza a un 95%.

Los productores que presentan diferencia significativa en sus concentraciones promedio son (Ver **Figura N° 24**):

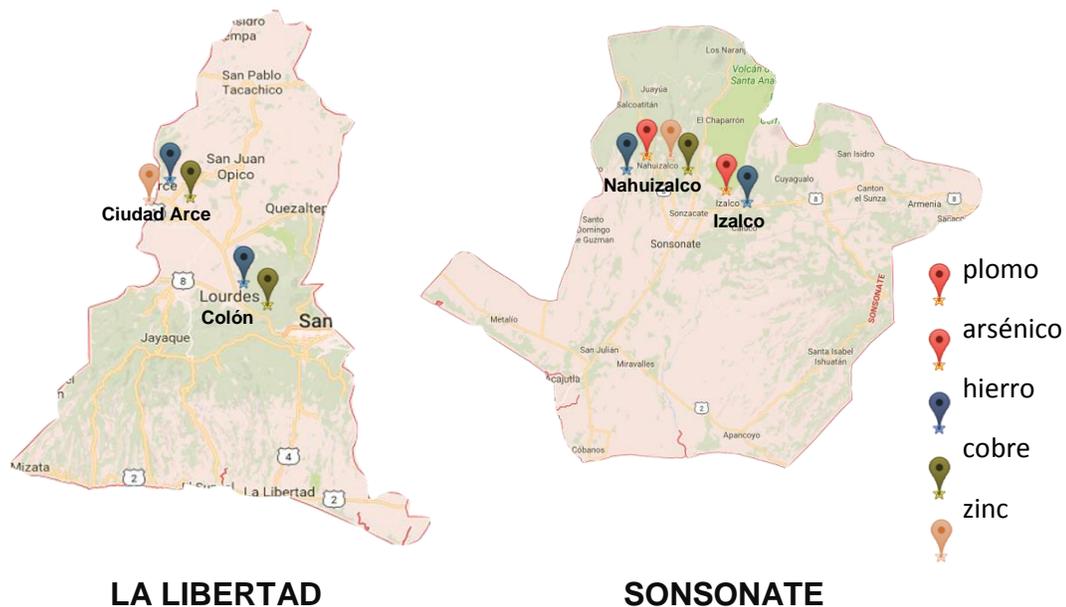


Figura N° 24. Diferencia significativa según las pruebas de comparación DMS y Bonferroni entre los lugares de recolección.

- Para plomo y arsénico se observó el mismo comportamiento en los resultados estadísticos (Ver **Anexo N° 13**), según las pruebas de comparación DMS y Bonferroni todos los lugares presentan diferencia significativa entre sus concentraciones promedio para estos elementos, a excepción de las muestras recolectadas en los Municipios de Izalco y Nahuizalco; ambos pertenecientes al Departamento de Sonsonate.
- Para hierro (Ver **Anexo N° 13**) se observó una diferencia significativa entre las concentraciones promedio obtenidas en las hojas de *C. longirostrata* en todos

los lugares de recolección a excepción de las muestras recolectadas en los Municipios de Colón – Ciudad Arce y Nahuizalco- Izalco –Ciudad Arce para ambas pruebas de comparación.

- Para cobre (Ver **Anexo N° 13**) se observó diferencia significativa en todas las concentraciones promedio obtenidas de las muestras analizadas a excepción del material vegetal recolectado en los Municipios de Colón- Ciudad Arce y Nahuizalco para ambas pruebas de comparación.

- Para zinc (Ver **Anexo N° 13**), se observó diferencia significativa entre todas las concentraciones promedios obtenidas de las muestras analizadas a excepción del material vegetal recolectado en los Municipios de Ciudad Arce y Nahuizalco para ambas pruebas de comparación.

Esto indica que las concentraciones promedio de la mayoría de muestras analizadas al aplicar el análisis estadístico de varianza (ANOVA), a un nivel de confianza del 95% para cada metal pesado (plomo y arsénico) y oligoelemento (hierro, cobre y zinc) presentan diferencia significativa; y que difieren según el lugar de recolección del material vegetal, así mismo del lugar de recolección de la hortaliza.

A excepción de las muestras recolectadas en el Municipio de Izalco (P2) - Nahuizalco (P3) para plomo y arsénico y las muestras provenientes de los Municipios de Colón (P1) - Ciudad Arce (P5) y de Izalco (P2) - Nahuizalco (P4) - Ciudad Arce (P6) para hierro; Colón (P1) - Ciudad Arce (P5) y de Nahuizalco (P3 y P4) para cobre; así como de Nahuizalco (P3 y P4) - Ciudad Arce (P5) para zinc.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

6.0 CONCLUSIONES

1. Con la información que proporcionaron los técnicos ó Ingenieros agrónomos y los productores de cada cultivo, se encontró que algunos productos agroquímicos utilizados como fertilizantes y abonos orgánicos en el tratamiento de *Crotalaria longirostrata* (Chipilín) declaran contener entre sus nutrientes elementos como hierro, cobre y zinc según su composición.
2. Los resultados obtenidos en la determinación de plomo de la especie vegetal *C. longirostrata* (Chipilín), indican que las muestras recolectadas en los Cantones Tres Ceibas del Municipio de Izalco y Tajcuilujlan del Municipio de Nahuizalco con valores de 0.6855 ppm Pb y 1.0397 ppm Pb respectivamente; sobrepasan el límite máximo permitido (0.3 ppm Pb) según la normativa JECFA – Comité mixto FAO/OMS de expertos en Aditivos Alimentarios y Códex Alimentarius.
3. De acuerdo al análisis de arsénico realizado, las muestras de *C. longirostrata* (Chipilín) recolectadas en los Cantones Entre Ríos del Municipio de Colón (0.0609 ppm As), Zapotitán (0.1184 ppm As) y San Andrés (0.0390 ppm As) del Municipio de Ciudad Arce sobrepasaron el límite establecido (0.02 ppm As) por la normativa JECFA – Comité mixto FAO/OMS de expertos en Aditivos Alimentarios y Códex Alimentarius.
4. En cuanto a la determinación de los oligoelementos en estudio, todas las muestras analizadas de *C. longirostrata* (Chipilín) mostraron resultados superiores al límite máximo establecido para hierro (15 ppm Fe), cobre (5 ppm Cu) y zinc (5 ppm Zn) según la normativa de JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius; sin

embargo, aunque estos valores fueron altos, no sobrepasaron los niveles máximos de ingestión tolerable en mg por Kg de Peso al día para adultos y niños (40 - 45 mg Fe/ Kg, 1 - 10 mg Cu / Kg y 4 - 40 mg Zn / Kg) según la Unión Europea, el Comité Mixto FAO/OMS y el Codex Alimentarius.

5. Las concentraciones promedio de plomo y arsénico en la mayoría de muestras analizadas presentan diferencia significativa, esto indica que las concentraciones para ambos elementos difieren según el lugar de recolección del material vegetal; excepto las muestras que fueron recolectadas en el Municipio de Izalco y Nahuizalco.

6. Las concentraciones promedio de hierro, cobre y zinc en algunas muestras analizadas presentan diferencia significativa, esto indica que las concentraciones para estos oligoelementos difieren según el lugar de recolección del material vegetal; a excepción de las muestras que fueron recolectadas en los Municipios de Colón, Ciudad Arce, Izalco y Nahuizalco para hierro; Colón, Ciudad Arce y Nahuizalco para cobre; así mismo en Nahuizalco y Ciudad Arce para zinc.

CAPITULO VII
RECOMENDACIONES

7.0 RECOMENDACIONES

1. A las entidades competentes gestionar una norma salvadoreña que regule el contenido límite máximo de plomo, arsénico y otros metales en hortalizas de hojas comestibles.
2. Al Ministerio de Agricultura y Ganadería supervisar periódicamente si las técnicas que los agricultores practican para el manejo de los diversos cultivos son las adecuadas.
3. Que se realicen investigaciones orientadas a evaluar si la especie vegetal *C. longirostrata* presenta la capacidad de extraer elementos metálicos depositados en el suelo; para ser utilizada en la fitorremediación de suelos contaminados con estos elementos.
4. A las Instituciones o entes competentes que realicen investigaciones enfocados al ámbito alimenticio y nutricional en donde se determine la cantidad de hojas de *C. longirostrata* (Chipilín) necesarias para la preparación de alimentos; que brinden un adecuado aporte de nutrientes al organismo.
5. Siendo esta investigación un estudio preliminar; se recomienda que en el futuro se analicen muestras de suelos, agua de riego y otros cultivos de *C. longirostrata* ubicados en diversas zonas geográficas de El Salvador; con la finalidad de evaluar la calidad de las distintas hortalizas de esta especie vegetal existentes en el país.

BIBLIOGRAFIA

1. Alegría Salmerón, C. V. y Rivera Rosales, R. J. (2014). Estudio gastronómico y nutricional de frutas y hortalizas salvadoreñas. [Seminario de graduación] El Salvador: Universidad Dr. José Matías Delgado. Facultad de Agricultura e Investigación Agrícola.
2. Alidoust, D.; Suzuki, S.; Matsumura, S. and Yoshida, M. (2009). The role of citric acid in enhanced phytoextraction of heavy metals in an Andosol by *Crotalaria juncea*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(5b), 835-842.
3. Aguilar, S. B.; Silva, F. C. (2007). Fitoextracción de Co, Cu, Cr, Cd y Pb por *Crotalaria* en suelo desde las afueras de PS en Teresina. Brasil: Asociación brasileña de Química Ambiental.
4. Alonso Díaz, A. [Fecha de acceso 16 de Marzo de 2015]. Metales pesados: contenidos máximos en productos alimenticios. [On line]. Disponible: <http://www.plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>.
5. Aguilar Alonzo, L.; López Moya, J. R. y Navarro Aviñó, J. P. (2007). Aspectos Bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 16 (2), 10-25.
6. Ambel Carracedo, M. (1999). Desarrollo de técnicas electroanalíticas aplicables a metales en fluidos biológicos de interés biosanitario. [Tesis doctoral]. Badajoz, España: Universidad de Extremadura.
7. Ángel González, C. (2014). Estudio microbiológico de muestras de hortalizas comercializadas en mercados públicos de San Salvador. El Salvador: *Minerva Revista en línea CIC-UES*, 4, 13-21
8. Araya, M.; Olivare Grohnert, M. y Pizarro, F. (2013). Cobre Salud, Medio Ambiente y nuevas Tecnologías. Chile: Ecosea.
9. Asamblea Legislativa de El Salvador. [fecha de acceso 13 de febrero de 2015]. Listado de plaguicidas prohibidos en El Salvador. [On line]. Disponible en <http://www.asamblea.gob.sv>

10. Asociación Argentina de Médicos por el Medio Ambiente. (2007). La problemática de los agroquímicos y sus envases: su incidencia en la salud de los trabajadores, la población expuesta y el ambiente. (1 ed.). Argetina: Autor.
11. Association of Official Analytical Chemistry (AOAC). (1989). Oficial Methods of Analisis 14th Ed. United States of America: Washington DC.
12. Bahemuka, T.E. and Mubofu, E.B. (1999). Heavy metals in edible green vegetables grown along the sites of the Sinza and Msimbazi rivers in Dar es Salaam, Tanzania. Food Chemistry, 66 (1), 63–66.
13. Bateman, J. V. (1970) Nutrición Animal, Manual de Métodos Analíticos. México: México D. F.
14. Bayer: Science for a Better Life. [fecha de acceso 15 de febrero de 2016]. Ingredientes activos de Agroquímicos. [On line]. Disponible: <http://www.pro-agro.com.mx/prods/bayer/bayer31.htm>.
15. Berendsohn, W. G. y González, A. E. (1989). Listado básico de la Flora Salvadorensis: Familia 118: *Leguminosae*. Journal Article, 1(2), 1-16.
16. Borja Rodríguez, F. (2005). Propiedades del hierro. Madrid, España: Pearson
17. Brunner, B.; Martínez, S.; Flores, L y Morales, P. (2009). Hoja informativa de la especie *Crotalaria*. Puerto Rico: Estación Experimental Agrícola de Lajas.
18. Castillo Montejo, M. R. (1991). Efecto de Cuatro frecuencias de corte en chipilín (*Crotalaria longirostrata* Hook & Arn). [Trabajo de graduación]. Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas.
19. Carranza González, A. E. (2004). Evaluación de tres productos botánicos (*Crotalaria longirostrata*, *Tagetes tenuifolia* y *Asparagus officinalis*) y dos concentraciones para control del nematodo *meloidogyne sp.* en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota*); a nivel de invernadero. [Trabajo de

- graduación]. Guatemala: Universidad de San Carlos Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas.
20. Carvantes Menes, A. (2014). Evaluación de riesgo de plagas para la importación de follaje fresco de Chipilín (*Crotalaria longirostrata* Hook & Arn) procedentes de Guatemala en los Estados Unidos. [Tesis de Grado]. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas.
 21. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. [Consultado el 03.03. 2015]. Muestreo y análisis de suelos. [On line]. Disponible en: www.centa.gob.sv
 22. Cerdán, M.; Juárez, M. y Sánchez Sánchez, A. (2007). Hierro en el sistema suelo-planta. España: Universidad de Alicante.
 23. Comisión del Codex Alimentarius. [Fecha de acceso 18 de Marzo de 2015]. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias comisión del Codex Alimentarius: informe del comité sobre aditivos alimentarios. [On line]. Disponible: http://www.codexalimentarius.org/input/report/90/REP14_FAs.pdf
 24. Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) y Codex Alimentarius. [Consultado: 25 de marzo 2015]. Comité del Codex sobre aditivos alimentarios y contaminantes de los alimentos (CCFAC). [on line]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w4982s/w4982s09.htm>.
 25. Complejo de Laboratorios. [Consultado el 03.03. 2013]. Toma de muestra en análisis de suelo (2ª ed). [On line]. Disponible: <https://www.bcr.com.ar/Laboratorio%20Varios/Instructivo%20toma%20de%20muestras%20de%20suelo.pdf>.
 26. Corbridge, D.E. (1995). *Phosphorus: An outline of Its Chemistry, Biochemistry and Technology* (5th ed). New York : Elsevier
 27. De la Cruz Landero, N. (2010). Especies de leguminosas como fitorremediadoras en suelos contaminados. [Trabajo de Graduación]

México: Colegio de Postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.

28. Díaz, O; Colasurdo, V. [fecha de acceso 9 de febrero de 2015]. El agua revela sus secretos: Química de las lagunas pampeanas. Biblioteca Virtual de Buenos Aires, Argentina [On line]. Disponible: <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/Cap3.pdf>
29. Domy C. Adriano. (2001). Trace Elements in Terrestrial Environments (2^{da} ed). New York: Springer-Verlag.
30. Escalante, W.; Galdámez, I. y Morales, I. [fecha de acceso 12 de febrero de 2015]. Manejo agronómico del cultivo de Chipilín (*Crotalaria longirostrata* Hook & Arn). [On line]. Disponible: <http://www.fundesyram.info/biblioteca/displayFicha.php?fichaID=1194>
31. FAO/OMS Comité Mixto de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) y Codex Alimentarius. [Consultado: 25 de marzo 2015]. Comité del Codex sobre aditivos alimentarios y contaminantes de los alimentos (CCFAC). [on line]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w4982s/w4982s09.htm>
32. Fernández, C. (2009). Plantas comestibles de Centroamérica (1^a ed). Costa Rica: Santo Domingo de Heredia.
33. Flanagan, S. V.; Jonhston, R. B. and Zheng, Y. (2012). Arsenic in tube well wáterin Bangladesh: Health and economic impacts and Implication for Arsenic mitigation. Bull World Health Organ, 90(11), 839–846.
34. Food and Nutrition Board/Institute of Medicine. [fecha de acceso 16 de febrero de 2015]. Dietary Reference Intakes (DRI) for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromiun, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, and Vanadium. [On line]. Disponible en: <http://www.nap.edu/openbook/0309062794/html>.
35. Fundación Rockefeller. (2001). Bases de información sobre especies con potencial de abonos verdes y cultivos de cobertura *Crotalaria longirostrata* Hook. México: Autor.

36. Gary, C. D. (1990). Química Analítica. México: México D.F.
37. Hasegawa, I. and Kurihara, H. (2002). Remediation of soil polluted with heavy metal by plant growth. Jpn. Kokai Tokkyo Koho, JP 20, 233-282 (patente).
38. Hidayati, K.; Tatik, W.; Dawam M. (2014). The Effect of Phytoremediation of Heavy Metal by Orok-Orok (*Crotalaria* sp.) On the Growth of Aloe Vera. Journal of Agriculture and Veterinary Science, 7: 7, 08-15.
39. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. [Fecha de acceso 21 de Abril de 2015]. Biblioteca Nacional de Agricultura de México. [On line]. Disponible: http://agclass.nal.usda.gov/glossary_az_sz_es.html
40. López Flores, K. M; López Linares, B. G. (2015). Cuantificación de plomo y arsénico en el arroz del programa de alimentación y salud escolar de El Salvador. [Trabajo de Graduación] El Salvador: Universidad de El Salvador, Facultad de Química y Farmacia.
41. López Romaña, D.; Castillo, C. D.; Diazgranados, D. (2010). El zinc en la salud humana - II. Rev. Chil. Nutr., 37(2), 240-247.
42. Lorca Muñoz, X. M. (2005). Análisis de As, Ca, F, Fe, Mn y Mg en aguas minerales y termales de la novena y décima regiones de Chile. [Trabajo de Graduación] Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias.
43. Martín Lara, M. A. (2008). Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados. [Tesis doctoral]. España: Universidad de Granada.
44. Menchú, M. T.; Méndez, H. (2012). Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica (2ª ed). Guatemala: INCAP/OPS. (Versión original 2007).
45. Mérida Guzmán, M. Recetas de cocina a base de hortalizas nativas de Guatemala. Guatemala: Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola (ICTA).

46. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. [fecha de acceso 13 de febrero de 2015]. Manual técnico sobre inocuidad en frutas y hortalizas frescas. [Online]. Disponible: <http://www.oirsa.org/aplicacion/subidarchivo/Biblio-Virtual/MANUALINOCUIDAD/frutasyhortalizas.pdf>
47. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. (2012). Clasificación de suelos por división política en El Salvador, C.A. El Salvador: Autor./ds97796reglamento
48. Ministerio de salud de Chile. [Fecha de acceso 18 de Marzo de 2015]. Reglamento sanitario de los alimentos. [On line]. Disponible: <http://www.sernac.cl/wp/decreto/ds977-96reglamento-alimentos.pdf>
49. Moreno Jiménez, E. (2010). Plant-based methods for remediating arsenic-polluted mine soils in Spain. [Tesis Doctoral] España: Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Química Agrícola.
50. Muñoz N. M. (2007). Determinación de plomo y cadmio en hierbas medicinales. [Las tesinas de Belgrano] Buenos Aires, Argentina: Universidad de Belgrano, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Carrera de Farmacia.
51. Organismo Español Agrícola. [Fecha de acceso 25 de Noviembre de 2015]. Propiedades, usos y principios activos de agroquímicos. Madrid, España. [On line]. Disponible: <http://www.infoagro.com>
52. Pérez, D. y Sermeño Chicas, J.M. (2014). Gusano Cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (*Lepidoptera: Noctuidae*) en plantas de chipilín (*Crotalaria longirostrata* Hook y Arn.) en El Salvador. San Vicente: Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Departamento de ciencias agronómicas.
53. Pérez López, C. (2005). Muestreo estadístico: conceptos y problemas resueltos. España: Pearson Educación.

54. Pimienta, J. [fecha de acceso 10 de febrero de 2015]. La captación de aguas subterráneas. [On line]. Disponible: http://aguas.igme.es/igme/publica/libro_43/pdf/lib43/1_1.pdf
55. Poma, P. A. (2008). Lead effects on humans. An. Fac. Med, 69 (2), 120-126.
56. Prieto, M. C. (2011). Determinación de metales pesados en hortalizas distribuidas en plazas de mercado, centros de abasto e hipermercados de la ciudad de Bogotá D.C. [Trabajo de graduación] Costa Rica: Universidad para la cooperación internacional.
57. Quintín, M.; Cabero Morán, M. T.; Paz Santana, Y. R. (2007). Tratamiento estadístico de datos con SPSS. España: Thomson International.
58. Real Academia Española. [Fecha de acceso 21 de Abril de 2015]. Diccionario de la lengua española. [On line]. Disponible: www.rae.es/recursos/diccionarios/drae
59. Romero Braquehais, F. (2008). Estabilidad de vitaminas, vida comercial y bioaccesibilidad de folatos-hierro en fórmulas infantiles de continuación y crecimiento. Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo. Universidad de Murcia.
60. Rosales, D. R. Oligoelementos. (2011). Bogotá, Colombia: Universidad de los ANDES.
61. Rubio, C.; González Weller, D. (2007). El zinc: oligoelemento esencial. Nutr. Hosp., 22(1), 101-107.
62. Ruiz, P. M.; Pinto, P. (1986). Flora de Colombia. Bogotá, Colombia: ICN de la Universidad Nacional de Colombia.
63. Salas Calderón, F. K. (2007). Selección in vitro de plantas tolerantes a plomo para su uso en fitorremediación. [Trabajo de Graduación] México D.F: Universidad Autónoma Metropolitana.
64. Samayoa Ruano, P. D. (2010). Evaluación de dos tratamientos de calcio en diferentes dosis de nitrógeno, fósforo y potasio para el control de

- clorosis y desarrollo de plantas de Rabutan a nivel de vivero. [Trabajo de Graduación] Chiquimula, Guatemala: Universidad de San Carlos.
65. Secretaría de Estado de Comercio Exterior. (2014). Contenido máximo de metales pesados en productos alimenticios, norma número 96/42, UNION EUROPEA: Autor.
 66. Shimadzu Corporation. (2012). Atomic absorption spectrophotometry cookbook. Cambridge: Autor.
 67. The United States Pharmacopeia. (2007). Thirty revision and the national formulary twenty five. United States of America: Washington DC.
 68. Torres Arias, G. y Saleh Vargas, D. A. (2013). Muestreo de suelo y foliar en cultivo de café. El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdoba".
 69. Trópicos. [fecha de acceso 10 de febrero de 2015]. *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn. [On line]. Disponible: www.tropicos.org/
 70. Ubillus Limo, J. (2003). Estudio sobre la presencia de plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003. [Trabajo de Graduación] San Marcos, Perú: Universidad Nacional.
 71. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas: Departamento de Química Agrícola. (2015). Determinación de humedad y Determinación de cenizas en foliares. [Manual de Laboratorio de Química Agrícola]. Autor.
 72. Word Reference. [fecha de acceso 12 de Junio de 2015]. Diccionario en línea. [On line]. Disponible: www.wordreference.com/es/
 73. World Health Organization. (2007). WHO guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues. Spain: Autor.

GLOSARIO

1. **Abono foliar:** Fertilizante que se aplica disuelto en agua directamente sobre las hojas, para suministrar nutrientes a las plantas a través de su follaje. (71)
2. **Abono orgánico:** Residuos de origen animal y vegetal que proporcionan nutrimentos a las plantas; el suelo con la descomposición de estos abonos mejora sus características físicas, químicas y biológicas. (71)
3. **Adenosina trifosfato:** Es un mononucleótido de gran importancia biológica, está compuesta por adenina, ribosa y tres grupos fosfato. Es llamada también la moneda energética celular. (71)
4. **Agroservicio:** Negocio en el cual se suministran artículos afines a la agricultura y a la ganadería. (72)
5. **Alimentos contaminados:** Alimento que contiene microorganismos, toxinas, sustancia extrañas o tóxicas derivadas de productos químicos. (7)
6. **Anemia ferropénica:** Anemia producida por eritropoyesis deficiente debido a la falta o disminución del hierro del organismo. (71)
7. **Apoplástica:** Vía que utilizan las plantas como transporte hacia el xilema en la cual la mayor parte del agua y una parte de las sales minerales circulan por los espacios intercelulares hasta llegar a la endodermis. (72)
8. **Atomización:** Proceso por el cual una muestra se volatiliza y descompone de forma que produce un gas atómico. (66)
9. **Auxinas:** Son reguladores vegetales, inducen la elongación de las células en los meristemos apicales. (58)
10. **Biofertilizantes:** Residuos acuosos de naturaleza orgánica, proveniente de fermentación de residuos vegetales y animales introducidos en biodigestores con la finalidad de obtener gas metano, que puede ser utilizado para la fertilización de suelos. (72)

11. **Buenas Prácticas Agrícolas:** Es un conjunto de principios, normas, recomendaciones técnicas, aplicables a las diversas etapas de producción agrícola para ofrecer al mercado productos inocuos y sanos, considerando un mínimo de impacto ambiental, respetando el bienestar de los trabajadores del campo. (46)
12. **Ceruloplasmina:** Proteína multifuncional, que realiza al mismo tiempo, un papel enzimático como oxidasa y el transporte de cobre. (8)
13. **Clorosis:** Enfermedad de las plantas que se caracteriza por una disminución de hierro, que produce la pérdida del color verde. (64)
14. **Compostado:** Nombre que recibe un residuo orgánico, que ha sido tratado por diferentes técnicas, para obtener fertilizantes y enmiendas orgánicas. (72)
15. **Condiciones agroclimáticas:** Son las condiciones físicas (enfocadas al clima) que regulan la práctica agrícola. (71)
16. **Condiciones edáficas climáticas:** Son las condiciones del clima que favorece a la evolución del suelo. (71)
17. **Digestión:** Proceso usado para reducir interferencias debido a la presencia de materia orgánica y convertir los metales a una forma en un metal puro. (58)
18. **Electrolitos:** Sustancia que contiene iones libres, los cuales se comportan como un medio conductor eléctrico. Se encuentran en estado líquido o en disolución y puede ser descompuesto por una corriente eléctrica. (58)
19. **Elementos esenciales:** Son elementos químicos que se consideran esenciales para la vida o para la subsistencia de determinados organismos. (60)
20. **Elementos tóxicos:** Son elementos peligrosos para cualquier ser vivo, suelen causar daños irreversibles aun en pequeñas cantidades. (56)
21. **Elementos traza:** Son llamados también oligoelementos, son aquellos elementos que están presentes en cantidades muy pequeñas en los

tejidos corporales, son nutrientes esenciales por desempeñar una serie de funciones indispensables para mantener la vida. (60)

22. **Esfingolípidos:** Son moléculas que tienen funciones biológicas importantes, intervienen en la transmisión neuronal, en las reacciones inmunológicas de los tejidos y en el reconocimiento celular. (58)
23. **Espectrofotometría de Absorción Atómica:** Método instrumental de la que permite medir las concentraciones específicas de un material en una mezcla y determinar una gran variedad de elementos. Esta técnica se utiliza para determinar la concentración de un elemento particular en una muestra y puede determinar más de 70 elementos diferentes en solución o directamente en muestras sólidas utilizadas en farmacología, biofísica o investigación toxicológica. (66)
24. **Evapotranspiración:** Proceso por el cual el agua pasa de fase líquida a fase vapor, desde la superficie a la atmósfera. (72)
25. **Fenología:** Rama de la ecología que estudia los fenómenos periódicos externos de los seres vivos a través de la observación sistemática y el registro de dichos fenómenos. (58)
26. **Fertilización orgánica:** Método para fertilizar suelos con abonos naturales, para otorgarle una mayor fertilidad. (71)
27. **Factores antropogénicos:** Son el resultado de las actividades humanas, como la producción de gases invernadero. (72)
28. **Fertilizantes:** Sustancia que se agrega al suelo para suministrar aquellos elementos que se requieren para la nutrición de las plantas. (58)
29. **Hectárea:** Unidad de superficie equivalente a 100 áreas, una hectárea equivale a diez mil metros cuadrados. (58)
30. **Herbicidas:** Productos químicos que destruyen plantas herbáceas o impide su desarrollo. (58)
31. **Ingesta semanal tolerable provisional:** También conocido por niveles máximos de ingestión tolerable, su valor representa la exposición humana

semanal permisible de contaminantes alimenticia, como los metales pesados ya que tienen propiedades acumulativas. (34)

32. **Lignificación:** Es un proceso que realizan los tejidos vegetales, en el cual les permite resistir el ataque de los microorganismos, impidiendo la penetración de las enzimas destructivas de la pared celular. (72)
33. **Macronutrientes:** Son elementos necesarios en cantidades relativamente grandes, son elementos y otros componentes importantes de las sustancias orgánicas. (72)
34. **Manzana:** Espacio cuadrado de terreno, circunscrito por calles por sus cuatro lados. (58)
35. **Nutrición:** Es la ingesta de alimentos en relación con las necesidades dietéticas del organismo. (72)
36. **Plaguicidas:** Son sustancias químicas utilizadas para controlar, prevenir o destruir las plagas que afectan a las plantaciones agrícolas. (9)
37. **Productos agroquímicos:** Son sustancias químicas utilizadas en la agricultura, cuyo objetivo principal es mantener y conservar los cultivos. (71)
38. **Residuos de agroquímicos:** Son residuos de productos agroquímicos utilizados en un cultivo, que han quedado presentes en el terreno y causan contaminación a los nuevos cultivos. (71)
39. **Ribonucleasas:** Son enzimas muy comunes en los organismos, lo cual hace que el RNA aislado de cualquier fuente biológica tenga una vida media muy corta. (72)
40. **Requerimiento de un nutriente:** Es la cantidad necesaria de un elemento para el sostenimiento de las funciones corporales del organismo humano dirigidas hacia una salud y rendimiento óptimos. (34)
41. **Saturnismo:** Envenenamiento que produce el plomo (Pb) cuando ingresa en el cuerpo humano. (55)

42. **Siderosis:** Aumento en el depósito de hierro en el organismo, neumoconiosis fibrosa crónica debida a una exposición prolongada a óxido de hierro o hierro metálico. (16)
43. **Simplástica:** Vía que utilizan las plantas como transporte de agua y sales, dichas sales circulan por el interior de la raíz a través del citoplasma de las células del córtex. (72)
44. **Sistemas de riego:** Técnicas que hacen posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria al cultivo. (71)

ANEXOS

ANEXO N° 1

Tabla N° 17: Composición de alimentos en 100 g de porción comestible según tablas del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá: hojas y punta de “Chipilín”. (44)

Código	Nombre	Agua	Energía	Proteína	Grasa total	Carbohidrat	Fibra diet.	Centza	Calcio	Fosforo	Hierro	Tiamina	Riboflavina	Niacina	Vit. C	Vit. A Equiv.	Ác. grasos	Ác. Grasos	Colesterol	Potasio	Sodio	Zinc	Magnesio	Vit. B6	Vit. B12	Facción	
		%	Kcal	g	g	os	Total	g	g	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mcg	g	g	mg	mg	mg	mg	mg	mcg	mcg	%
11046	CHAYA O CHICASQUIL, HOJAS	79.8	64	6.2	1.3	10.7		2	234	76	2.8	0.2	0.4	1.6	194	946			0								1
11048	CHAYOTE/GUISQUIL/PATASTE, COCIDO S/SAL, ENCURTIDO	93.43	24	0.62	0.48	5.09	2.8	0.38	13	29	0.22	0.03	0.04	0.42	8	2		0.09	0	125	2	0.74		0.12	0	1	
11047	CHAYOTE/GUISQUIL/PATASTE, ENCURTIDO	90.8	31	0.9	0.2	7.7	1.7	0.4	12	30	0.6	0.03	0.04	0.4	20	3	0.01	0.03	0	125	2	0.74		0.08	0	0.77	
11049	CHAYOTE/GUISQUIL/PATASTE, HOJAS Y PUNTAS	89.7	60	4	0.4	4.7		1.2	58	108	2.5	0.08	0.18	1.1	16											0.49	
11050	CHAYOTE/GUISQUIL/PATASTE, RAÍZ (ICHINTAL)	79	79	2	0.2	17.8	1.7	1	7	34	0.8	0.05	0.03	0.9	19	3	0.01	0.03	0	125	2	0.74		0.08	0	0.73	
11052	CHILACAYOTE/CHIVERRE, MADURO	93.6	21	0.8	0.1	5.1		0.4	15	19	0.4	0.04	0.03	0.3	11											0.71	
11051	CHILACAYOTE/CHIVERRE, TIERNO	92.7	24	0.8	0.1	6		0.4	12	41	0.2	0.06	0.04	0.7	46	6		0								0.9	
11057	CHILE CHILTEPE	77.9	84	3.3	2.1	15.4		1.3	48	85	6.3	0.15	0.1	2.87	61											1	
11056	CHILE COBANERO SECO, DE GUATEMALA	9.1	312	12.9	6.4	63.6			142		4.7	0.22	0.86	8.9	55	1055		0								0.84	
11058	CHILE DULCE/PIMIENTO ROJO, FRESCO	92.21	26	0.99	0.3	6.03	2	0.47	7	26	0.43	0.05	0.09	0.98	190	157	0.01	0.06	0	211	2	0.25	12	0.29	0	0.82	
11061	CHILE GUAYAQUE, DE GUATEMALA	90.5	34	1.4	0.4	7.1		0.6	9	28	0.6	0.06	0.06	1.25	79											1	
11064	CHILE JUTIAPA	89.3	37	1.1	0.2	8.9		0.5	6	20	0.8	0.06	0.08	2.08	36											1	
11065	CHILE PASA	14.3	327	12.7	9.6	60.5			154		6.3	0.37	1.2	8.6	68	133			0							0.6	
11053	CHILE PICANTE, FRESCO	88.8	38	1.9	0.6	8		0.7	20	28	1.7	0.09	0.13	1.5	91	16	0.03	0.06	0	340	7	0.3		0.28	0	0.84	
11054	CHILE PICANTE, SECO	18.8	293	7	6.4	62.3		5.5	126	154	7.3	0.12	0.94	4	32	1055			0							0.84	
11067	CHILE SERRANO	87.5	35	2.3	0.4	7.2			35		1.6	0.14	0.05	1.3	65	50	0.02	0.04	0	340	7	0.3	25			0.95	
11066	CHILE TABASCO	87.7	40	2	0.2	9.5			18		1.2	0.09	0.09	1	242	41	0.01	0.02	0	340	7	0.3	25	0.28	0	0.8	
11068	CHIPILÍN, HOJAS Y PUNTAS	81.6	56	7	0.8	9.1	3.24	1.5	287	72	4.7	0.33	0.49	2	100	667										0.46	
11069	CHUFLE/CALATEA	92.3	22	1.8	0.2	4.4		1.3	20	49	1	0.04	0.1	0.7	7											0.74	
11070	CHUPTE/YAS	71.8	146	1.5	9.9	16		0.8	11	36	0.5	0.07	0.1	0.71	11											0.7	
11040	CILANTRO/CULANTRO	86	42	3.3	0.7	8	2.8	2	188	72	3	0.15	0.28	1.6	75	337	0.28	0.01	0	521	46	0.5		0.15	0	0.9	

ANEXO N° 2

Cuadro N° 9. Fuentes naturales y antrópicas de elementos metálicos como contaminantes ambientales. (10)

Elemento	Fuente natural o minerales metálicos	Fuentes antrópicas
Talio	Residuos de cobre, plomo y plata.	Industrias pirometalúrgica, microelectrónica y cementera.
Selenio	Elemento libre (Se0), ferroselita (FeSe ₂), depósitos de uranio, esquistos negros.	Fundición, combustión de fuel fósil, aguas de riego.
Plomo	Galena (PbS).	industria de la pintura, gases de escape de los automóviles, fontanería de plomo, manufactura de baterías, lodos de depuradora, plaguicidas, depósitos de residuos minerales y escombreras.
Plata	Metal libre (Ag0), cloruro de plata (AgCl), argentita (Ag ₂ S), minerales de cobre, plomo y zinc.	Minería, industria fotográfica.
Mercurio	Metal libre (Hg0), cinabrio (HgS).	Industria del hierro y acero, minería y fundición, manufactura metálica, industria microelectrónica, manufactura de baterías.
Cromo	Cromita (FeCr ₂ O ₄), óxido de cromo (III).	Manufactura metálica, industria del plástico, tratamiento de la madera, refinerías, industria pirometalúrgica, partículas residuales de minerales.
Cobre	Metal libre (Cu0), sulfuro de cobre (CuS ₂), calcopirita (CuFeS ₂), drenaje de minas.	Minería y fundición, manufactura metálica, industria microelectrónica, tratamiento de la madera, depósitos de desechos y escombreras metálicas, industria pirometalúrgica, estiércol de cerdos, plaguicida.
Zinc	Blenda (ZnS), calamina (ZnCO ₃), drenaje de minas.	Minería y fundición, manufactura metálica, industrias textil y microelectrónica, depósitos de residuos y escombreras metálicas, industria pirometalúrgica, lodos de depuradora, plaguicidas, residuos.
Berilio	Beril, fenacita (Be ₂ SiO ₄).	Industria nuclear, industria electrónica.
Arsénico	Arseniuros y arseniatos metálicos, sulfuros minerales (arsenopirita), arsenita, gases volcánicos.	Industria pirometalúrgica, depósitos de desechos y escombreras metálicas, fundición, conservación de la madera, combustión de fuel fósil, estiércol de aves, plaguicidas, vertederos de basuras.

ANEXO N° 3

NIVELES MAXIMOS TOLERABLES DE INGESTION Y NIVELES MAXIMOS ESTABLECIDOS (EN HORTALIZAS DE HOJA) PARA PLOMO, ARSENICO HIERRO, COBRE Y ZINC ESTABLECIDOS POR JECFA - COMITÉ MIXTO FAO/OMS DE EXPERTOS EN ADITIVOS ALIMENTARIOS Y CODEX ALIMENTARIUS. (4)(23)(24)(31)(65)

Tabla N° 17. Límite Máximo de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc permitido en hortalizas de hojas. (23)(24)(31)(65)

Metal pesado, mineral	Límite máximo permitido en mg.Kg-1 (ppm)
Plomo	0.1-0.3
Arsénico	0.02
Cobre	5.0
Hierro	15.0
Zinc	5.0

Fuente: JECFA - Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Codex Alimentarius. (1991-2014)

Cuadro N° 10. Vida media en el cuerpo, recomendación nutricional y valores máximos de ingestión tolerable diaria para plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc en mg/Kg de peso. (4) (65)

Elementos	Recomendación nutricional en mg/Kg de peso al día	Niveles máximos de ingestión tolerable en mg/Kg de peso al día
Hierro	8-14 para hombres; 18 para mujeres premenopáusicas, 27 para mujer embarazada	40 para niños y 45 para adultos.
Cobre	0.5-0.9 para hombres y mujeres.	1-5 para niños desde 1 hasta 13 años de edad y 10 para adultos.
Zinc	15 para hombres y 8 para mujeres.	4-5 para niños durante el primer año de edad, 7 para niños de 1 a 3 años, 12 para niños de 4 a 12 años, 23 entre 9 y 12 años y de 30-40 para adultos.

Cuadro N° 10. Continuación.

Elementos	Recomendación nutricional en mg/Kg de peso al día	Niveles máximos de ingestión tolerable en mg/Kg de peso al día
Arsénico	-----	0,3 - 8 mg para hombres y mujeres.
Plomo	-----	2.43 mg para adultos y 1.2 mg para niños.

ANEXO N° 4

FORMATO DE ENCUESTAS, FICHAS INFORMATIVAS DE LOS CULTIVOS SELECCIONADOS Y RECOPIACION DE INFORMACION DE LOS AGROQUÍMICOS UTILIZADOS EN EL CULTIVO DE *Crotalaria longirostrata* (Chipilín).



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA



DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS (PLOMO Y ARSÉNICO) Y OLIGOELEMENTOS (HIERRO, COBRE Y ZINC) EN HOJAS DE *Crotalaria longirostrata* (CHIPILÍN) POR EL METODO DE ABSORCION ATOMICA.

I. DATOS GENERALES:

1. Nombre Productor/a: _____
- 1.1 Nombre entrevistador: _____
2. Fecha (Año/Mes/Día): _____
3. Años de cultivar hortalizas: _____
4. Años de cultivar Chipilín: _____
5. Muestra vegetal obtenida: Follaje__ ; peso de la muestra recibida: _____(g)(Lb)
6. Observaciones: _____

II. LOCALIZACION GEOGRAFICA

1. Lugar: _____
2. Caserío/Colonia: _____
3. Cantón: _____
4. Municipio: _____
5. Departamento: _____

III MANEJO DE SEMILLA

1. Forma de obtención de la semilla y de qué lugar: _____
- 1.1 En que depósito la adquiere: _____
- 1.2 Forma de almacenamiento de su semilla (depósito y lugar): _____
- 1.3. Aplica productos agroquímicos para conservar la semilla de chipilín: SI__ NO__

*Tipos de agroquímicos: insecticidas, herbicidas, fertilizantes, fungicidas, acaricidas, fitoreguladores.

Figura N° 25. Formato de la encuesta dirigida a los productores de los cultivos de *C. longirostrata* (Chipilín) seleccionados.

Nombre del producto/ Tipo*	Dosis	Frecuencia	Forma de aplicación del producto.

III. MANEJO DEL TERRENO

1. Selecciona el lugar para cultivar: SI_____ NO_____

2. Prepara el suelo donde realiza la siembra: SI_____ NO_____

2.1 Utiliza rotación de cultivo: SI__ NO__ Que cultivo había antes (Nombre): _____

2.4 Utiliza productos agroquímicos para el manejo del suelo: SI_____ NO_____

Nombre del producto/ Tipo*	Dosis	Frecuencia	Forma de aplicación del producto.

*Tipos de agroquímicos: insecticidas, herbicidas, fertilizantes, fungicidas, acaricidas, fitoreguladores.

III. MANEJO DEL CULTIVO

1. Épocas del cultivo (Fechas de siembra): _____

2. Cuál es el sistema de siembra que utiliza: Monocultivo__; Asocio__; Intercalado__

3. Utiliza agroquímicos para el manejo del cultivo: SI__ NO__

Nombre del producto/ tipo*	Dosis	Frecuencia	Forma de aplicación del producto.

*Tipos de agroquímicos: insecticidas, herbicidas, fertilizantes, fungicidas, acaricidas, fitoreguladores.

4. Qué tipo de insectos atacan al cultivo: _____

Figura N° 25. Continuación

VI. AGUA PARA RIEGO

1. Donde obtiene el agua para riego: Pozo _____; Rio _____; Agua potable _____
2. Para el cultivo de chipilín que sistema de riego utiliza: _____ Con qué frecuencia: _____
3. Utiliza agroquímicos para aplicarlo al cultivo de chipilín a través del agua para riego: SI_ NO_

Nombre del producto/ tipo*	Dosis	Frecuencia	Forma de aplicación del producto.

*Tipos de agroquímicos: insecticidas, herbicidas, fertilizantes, fungicidas, acaricidas, fitoreguladores.

V. COSECHA

1. Cuantos días tarda para realizar el primer corte de la planta: _____
2. Cantidad de manojos que salen de dicho corte: _____; Cuantos bultos aproximadamente: _____
3. Cuantos días espera para realizar el segundo corte: _____ Cantidad de manojos que salen de dicho corte _____; Cuantos bultos aproximadamente: _____
5. Los manojos y bultos de dicha cosecha de qué forma los transporta: amarrados: _____ sacos de nylon: _____ sacos: _____ Condición del material que utiliza (limpio): SI:___ NO:___
6. Peso de manojos aproximado: _____ (g) (Lb).

Figura N° 25. Continuación



DETERMINACION DE METALES PESADOS (PLOMO Y ARSÉNICO) Y OLIGOELEMENTOS (COBRE, HIERRO Y ZINC) EN HOJAS DE *Crotalaria longirostrata* "CHIPILIN" POR EL METODO DE ABSORCION ATOMICA.

I. DATOS GENERALES:

1. Nombre del Agroservicio: _____
2. Municipio: _____
3. Dirección: _____
4. Nombre entrevistador: _____
5. Fecha (Año/Mes/Día): _____

I. INFORMACION GENERAL DE PRODUCTOS COMERCIALIZADOS

1. Posee clientes que cultivan chipilín: SI: ____ NO: ____
2. Productos agrícolas comercializados para el manejo del terreno en cultivos de chipilín:

Tipo de agroquímico*	Nombre comercial	Dosis	Frecuencia

*Tipos de agroquímicos: insecticidas, herbicidas, fertilizantes, fungicidas, acaricidas, fitoreguladores.

3. Productos agrícolas comercializados para el manejo del cultivo de chipilín:

Tipo de agroquímico*	Nombre comercial	Dosis	Frecuencia

*Tipos de agroquímicos: insecticidas, herbicidas, fertilizantes, fungicidas, acaricidas, fitoreguladores.

Figura N° 26. Encuesta dirigida a Técnicos o Ingenieros Agrónomos a cerca de agroquímicos aplicado al cultivo de *C. longirostrata* Chipilín.

ANEXO N° 5

RECOLECCION Y PREPARACION DE LAS MUESTRAS DE *Crotalaria longirostrata* (Chipilín).

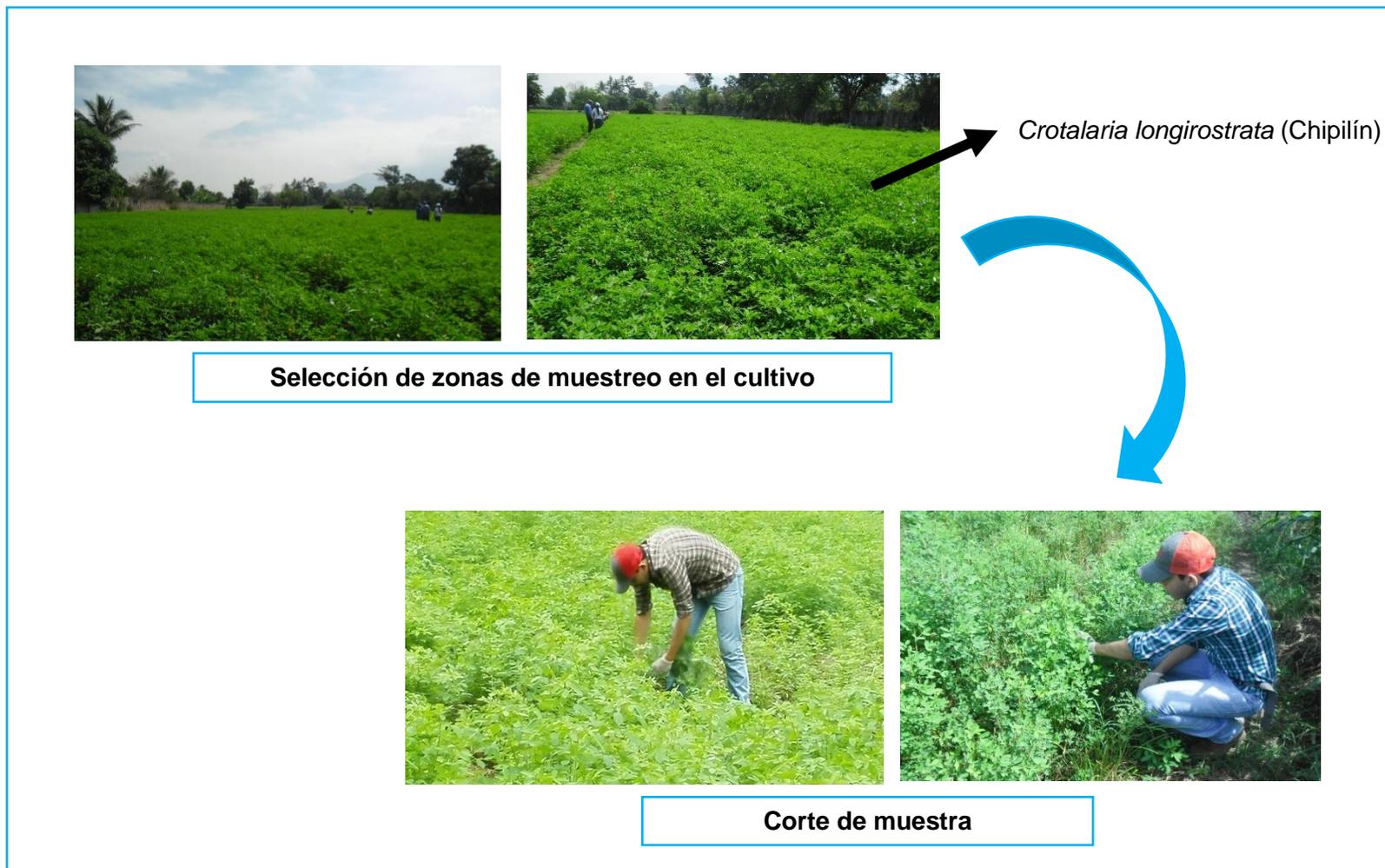


Figura N° 33. Recolección y Preparación de muestras (hojas) de *Crotalaria longirostrata*.

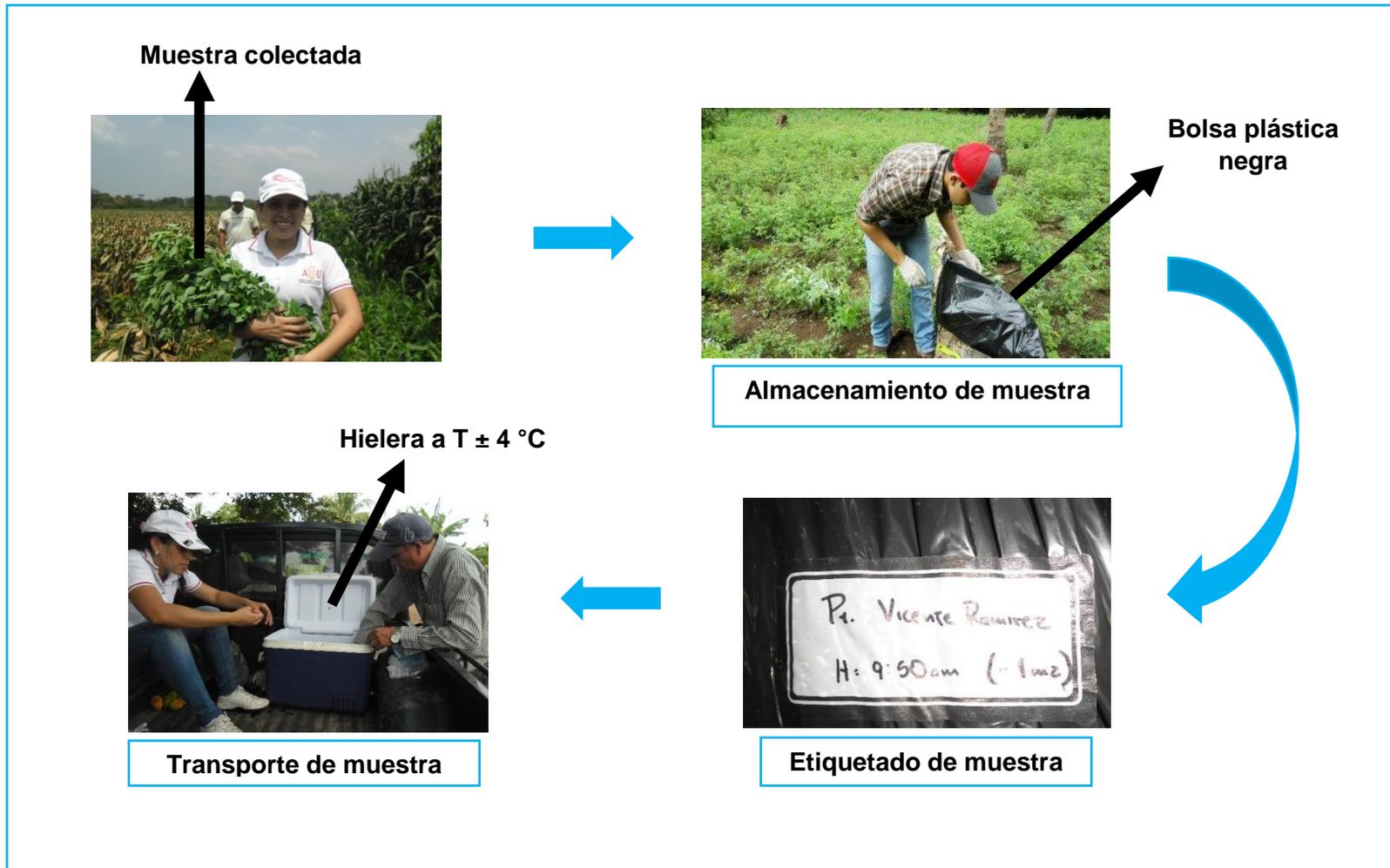


Figura N° 33. Continuación

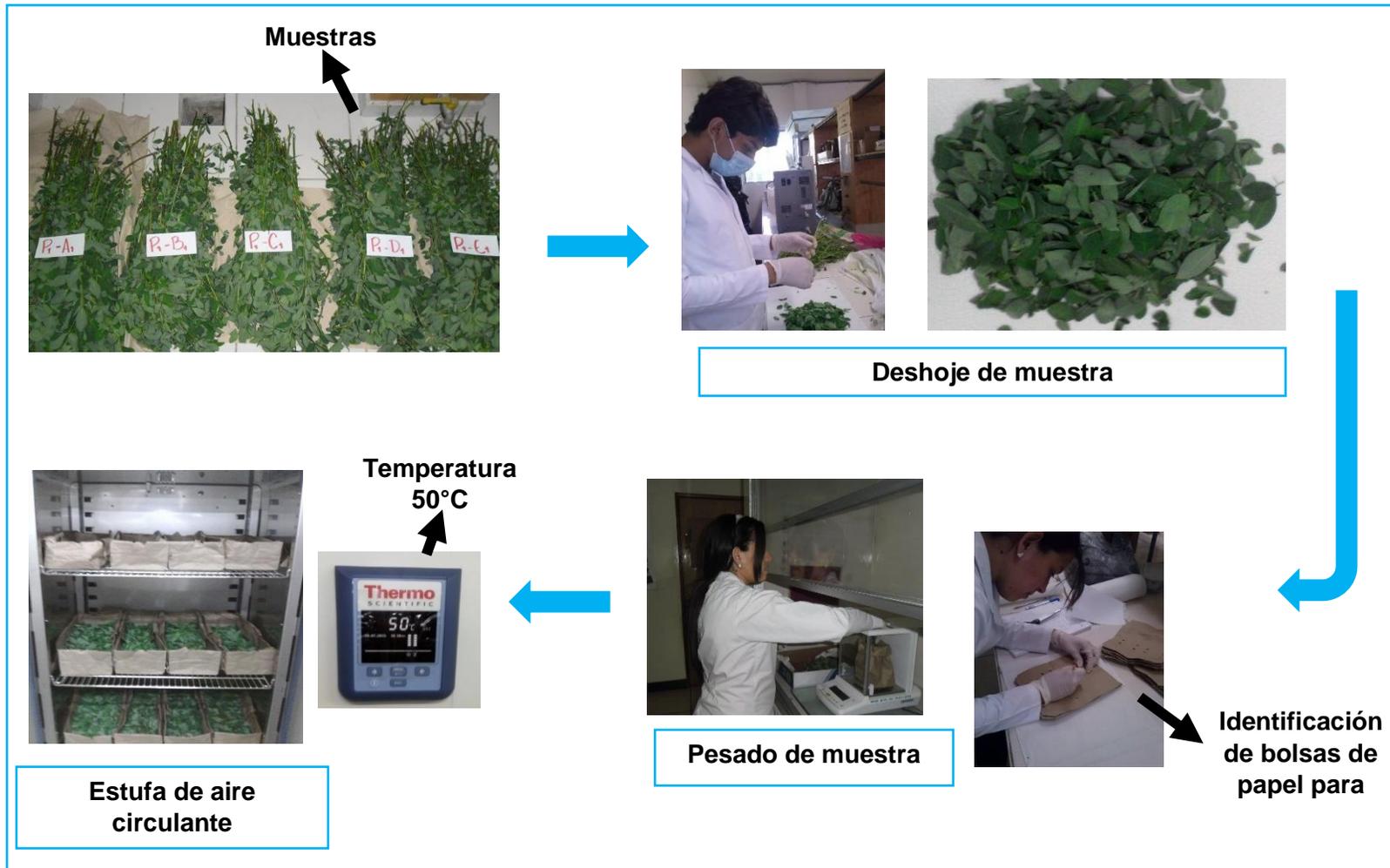


Figura N° 33. Continuación

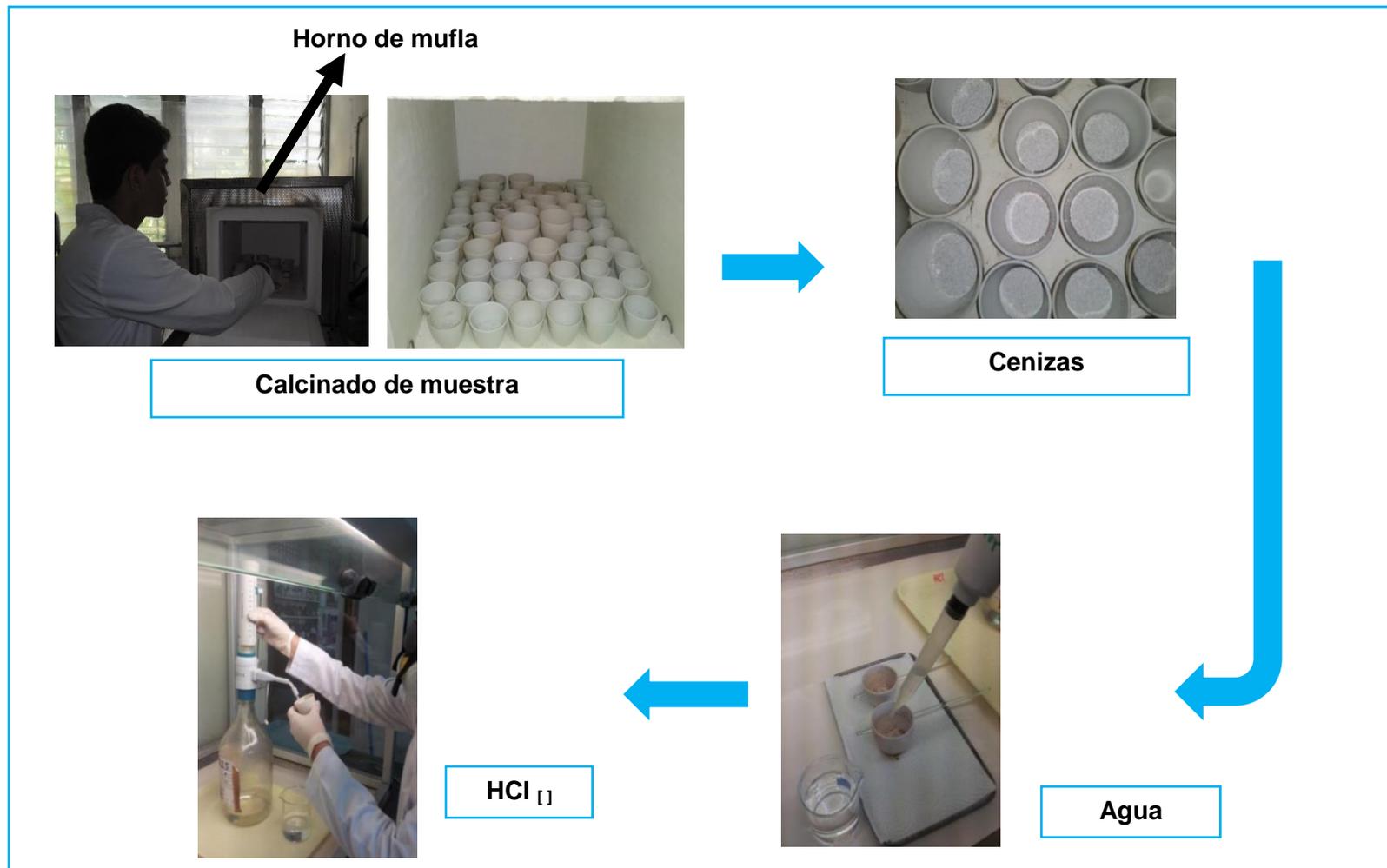


Figura N° 33. Continuación



Evaporación



Proceso de filtración



Reservorio de muestras en solución



Volumen de 50.0 mL

Figura N° 33. Continuación

ANEXO N° 6

MATERIALES, CRISTALERIA, EQUIPO, REACTIVOS Y
PREPARACION DE REACTIVOS PARA LA DETERMINACION DE
PLOMO, ARSENICO, COBRE, HIERRO Y ZINC. (67)

MATERIALES Y CRISTALERIA

- Agitadores de vidrio
- Crisoles de porcelana
- Balones volumétricos 50 mL y 100 mL
- Bolsas plásticas de 5 lb
- Bolsas plásticas de jardín
- Bolsas plásticas Ziploc
- Etiquetas de papel
- Embudo de vidrio
- Espátula de plástico
- Guantes
- Hielera y hielo
- Marcador permanente
- Mascarilla para gases
- Micropipetas de 5 y 10 mL
- Mortero y pistilo
- Papel filtro Whatman # 42
- Papel glassine
- Papel kraft
- Pipetas pasteur
- Probetas 25 mL y 50 mL
- Soporte de madera para filtrar
- Vaso de precipitado 25, 50, 100, 250 mL
- Pizeta plástica
- Puntas para micropipetas
- Papel toalla

EQUIPOS

- Balanza Analítica
- Estufa
- Hot plate
- Mufla
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Shimadzu) AA-7000
- Horno de Grafito GFA-7000
- Unidad de Generador de Vapor de Hidruros
- Unidad de llama para espectrofotómetro de Absorción Atómica

REACTIVOS

- Ácido Clorhídrico concentrado
- Ácido clorhídrico (1+1)
- Ácido nítrico (1+1)
- Agua bidestilada
- Solución Estándar de 1000 ppm de plomo
- Solución Estándar de 1000 ppm de arsénico
- Solución Estándar de 1000 ppm de hierro
- Solución Estándar de 1000 ppm de cobre
- Solución Estándar de 1000 ppm de zinc
- Solución de Nitrato de paladio (II)
- Solución de Yoduro de potasio
- Solución de Tetrahidrobórato de sodio 0.5%

PREPARACION DE REACTIVOS (67)

- **Preparación de 500 mL de solución de Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M**
 1. Pesar 2.0000 g de NaOH 1 M en un vaso de precipitado de 50 mL.
 2. Disolver con 20 mL de agua bidestilada y agitar hasta completa solubilización.
 3. Transferir a un balón volumétrico de 500 mL y aforar con agua bidestilada.
 4. Homogenizar la solución.

- **Preparación de 500 mL de solución de Tetrahidroborato de sodio (0.5 P/V)**
 1. Pesar 2.5 g de Tetrahidroborato de sodio en un vaso de precipitado de 100 mL.
 2. Disolver con 50 mL de solución de NaOH 0.1 M, agitar hasta completa solubilización en un vaso de precipitado de 250 mL.
 3. Transferir a un balón volumétrico de 500 mL y aforar con solución de Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M.
 4. Agitar para homogenizar la solución.

- **Preparación de 500 mL de ácido clorhídrico (1:1)**
 1. Medir 250 mL de ácido clorhídrico 1 N en una probeta de 250 mL.
 2. Transferir a un balón volumétrico de 500 mL.
 3. Aforar con agua bidestilada y homogenizar.

- **Preparación de solución de yoduro de potasio (Preparación reciente)**
 1. Pesar 200 g de yoduro de potasio (KI) en un vaso de precipitado de 100 mL.
 2. Agregar 50 mL de agua bidestilada y agitar hasta completa solubilización.

3. Transferir a un balón volumétrico de 1000 mL y llevar a volumen con agua bidestilada.
4. Homogenizar la solución.

- **Preparación de 100 mL de solución de nitrato de paladio (II) (10 ppm de Pd)**

1. Disolver 0.108 g de Nitrato de paladio en 10 mL de Ácido nítrico (1+1).
2. Llevar a 500 mL con agua y homogenizar.
3. Agregar agua a 20 mL de esta solución y llevar a 200 mL.

- **Preparación de 100 mL de ácido nítrico (1:1)**

1. Medir 250 mL de ácido nítrico concentrado en una probeta de 250 mL.
2. Transferir a un balón volumétrico de 500 mL.
3. Aforar con agua bidestilada y homogenizar.

ANEXO N° 7

PLANTEAMIENTO DE CÁLCULOS PARA LA PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN STOCK DE 20 PPM DE PLOMO, ARSÉNICO, HIERRO, COBRE Y ZINC Y SUS SOLUCIONES ESTÁNDARES. (71)

- **Planteamiento de cálculos para la preparación de las soluciones stock (20ppb) de plomo y arsénico, cada una a partir de una concentración de 1000ppb para cada elemento.**

Ejemplo: Cálculo para la solución stock 20 ppb de plomo (Pb)

$$C_1V_1 = C_2V_2 \longrightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Donde:

C₁ = Concentración inicial (1000 ppb de Pb)

C₂ = Concentración final (20 ppb de Pb)

V₂ = Volumen final (100.0 mL)

V₁ = Alícuota a tomar de la solución de 1000 ppb de Pb para la preparación de la solución stock (20 ppb de Pb).

$$V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1} = \frac{(20 \text{ ppb de Pb}) (100.0 \text{ mL})}{(1000 \text{ ppb de Pb})}$$

$$V_1 = 2.0 \text{ mL de la solución de 1000 ppb de Pb}$$

NOTA: El mismo planteamiento se aplicó en el cálculo para la preparación de la solución stock de arsénico.

- **Planteamiento de cálculos para la preparación de las soluciones stock (20ppm) de hierro, cobre y zinc, cada una a partir de una concentración de 1000ppm para cada elemento.**

Ejemplo: Cálculo para la solución stock 20 ppm de hierro (Fe)

$$C_1V_1 = C_2V_2 \longrightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Donde:

- C_1 = Concentración inicial (1000 ppm de Fe)
- C_2 = Concentración final (20 ppm de Fe)
- V_2 = Volumen final (100.0 mL)
- V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 1000 ppm de Pb para la preparación de la solución stock (20 ppm de Fe).

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(20 \text{ ppm de Fe}) (100.0 \text{ mL})}{(1000 \text{ ppm de Fe})}$$

$$V_1 = 2.0 \text{ mL de la solución de 1000 ppm de Fe}$$

NOTA: El mismo planteamiento se aplicó en el cálculo para la preparación de la solución stock de cobre y zinc.

- **Planteamiento de cálculos para la preparación de las soluciones estándar de plomo y arsénico, a partir de la solución stock (20 ppb) de cada elemento.**

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 2 ppb de plomo (Pb)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \quad \longrightarrow \quad V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Donde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppb de Pb)

C_2 = Concentración final (2 ppb de Pb)

V_2 = Volumen final (50.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución stock de 20 ppb de Pb para la preparación de la solución estándar (2 ppb de Pb).

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(2 \text{ ppb de Pb}) (50.0 \text{ mL})}{(20 \text{ ppb de Pb})}$$

$$V_1 = 5.0 \text{ mL de la solución de 20 ppb de Pb}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 5 ppb de plomo (Pb)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \longrightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Donde:

C₁ = Concentración inicial (20 ppb de Pb)

C₂ = Concentración final (5 ppb de Pb)

V₂ = Volumen final (50.0 mL)

V₁ = Alícuota a tomar de la solución stock de 20 ppb de Pb para la preparación de la solución estándar (5 ppb de Pb).

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(5 \text{ ppb de Pb}) (50.0 \text{ mL})}{(20 \text{ ppb de Pb})}$$

$$V_1 = 12.5 \text{ mL de la solución de 20 ppb de Pb}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 10 ppb de plomo (Pb)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \longrightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Donde:

C₁ = Concentración inicial (20 ppb de Pb)

C₂ = Concentración final (10 ppb de Pb)

V_2 = Volumen final (50.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución stock de 20 ppm de Pb para la preparación de la solución estándar (10 ppb de Pb).

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(10 \text{ ppb de Pb}) (50.0 \text{ mL})}{(20 \text{ ppb de Pb})}$$

$$V_1 = 25.0 \text{ mL de la solución de 20 ppb de Pb}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 20 ppb de plomo (Pb)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \quad \longrightarrow \quad V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Donde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppb de Pb)

C_2 = Concentración final (20 ppb de Pb)

V_2 = Volumen final (50.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución stock de 20 ppm de Pb para la preparación de la solución estándar (20 ppb de Pb)

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(20 \text{ ppb de Pb}) (50.0 \text{ mL})}{(20 \text{ ppb de Pb})}$$

$$V_1 = 50.0 \text{ mL de la solución de 20 ppb de Pb}$$

NOTA: El mismo planteamiento se aplicó en el cálculo para la preparación de la soluciones estándar de 0.5 ppb, 1.0 ppb, 2.0 ppb, 5.0 ppb para arsénico.

- **Planteamiento de cálculos para la preparación de las soluciones estándar de hierro, cobre y zinc, a partir de la solución stock (20 ppb) de cada elemento.**

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.3 ppm de hierro (Fe).

$$C_1V_1 = C_2V_2 \longrightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Donde:

C₁ = Concentración inicial (20 ppm de Fe)

C₂ = Concentración final (0.3 ppm de Fe)

V₂ = Volumen final (50.0 mL)

V₁ = Alícuota a tomar de la solución stock de 20 ppm de Fe para la preparación de la solución estándar (0.3 ppm de Fe).

$$V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1} = \frac{0.3 \text{ ppm de Fe) (50.0 mL)}}{(20 \text{ ppm de Fe)}}$$

$$V_1 = 0.75 \text{ mL de la solución de 20 ppm de Fe}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 1 ppm de hierro (Fe)

$$C_1V_1 = C_2V_2 \longrightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Donde:

C₁ = Concentración inicial (20 ppm de Fe)

C₂ = Concentración final (1 ppm de Fe)

V₂ = Volumen final (50.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución stock de 20 ppm de Fe para la preparación de la solución estándar (1 ppm de Fe).

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(1 \text{ ppm de Fe})(50.0 \text{ mL})}{(20 \text{ ppm de Fe})}$$

$$V_1 = 2.5 \text{ mL de la solución de 20 ppm de Fe}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 3 ppm de hierro (Fe).

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \quad \longrightarrow \quad V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Donde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Fe)

C_2 = Concentración final (3 ppm de Fe)

V_2 = Volumen final (50.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución stock de 20 ppm de Fe para la preparación de la solución estándar (3 ppm de Fe).

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(3 \text{ ppm de Fe})(50.0 \text{ mL})}{(20 \text{ ppm de Fe})}$$

$$V_1 = 7.5 \text{ mL de la solución de 20 ppm de Fe}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 6 ppm de hierro (Fe).

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \quad \longrightarrow \quad V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Donde:

C₁ = Concentración inicial (20 ppm de Fe)

C₂ = Concentración final (6 ppm de Fe)

V₂ = Volumen final (50.0 mL)

V₁ = Alícuota a tomar de la solución stock de 20 ppm de Fe para la preparación de la solución estándar (6 ppm de Fe).

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(6 \text{ ppm de Fe}) (50.0 \text{ mL})}{(20 \text{ ppm de Fe})}$$

$$V_1 = 15.0 \text{ mL de la solución de 20 ppm de Fe}$$

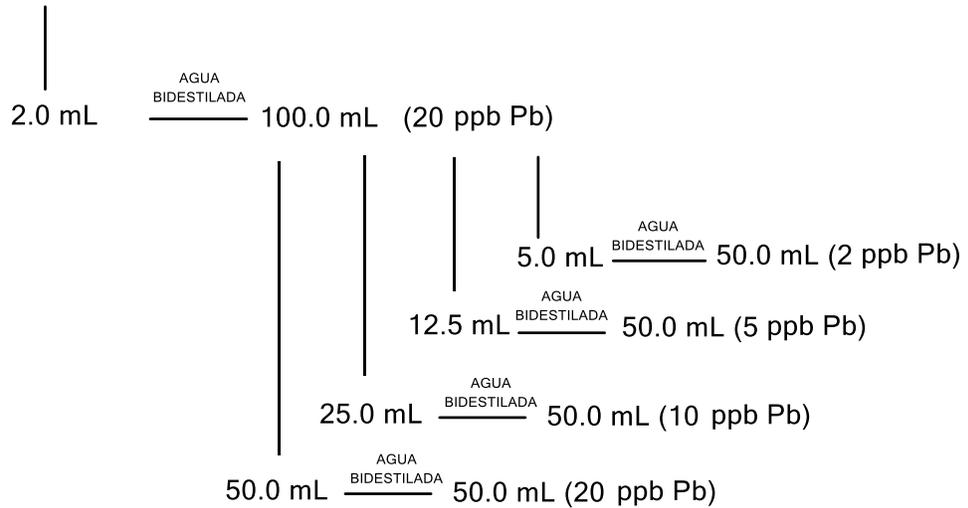
NOTA: El mismo planteamiento se aplicó en el cálculo para la preparación de las soluciones estándares de 0.2 ppm, 1.0 ppm, 2.0 ppm y 4.0 ppm para cobre así como para la preparación de las soluciones estándares de 0.05 ppm, 0.1 ppm, 0.5 ppm y 1.0 ppm para zinc.

ANEXO N° 8

CASCADAS DE DILUCION, ESQUEMAS DE DILUCION PARA LA PREPARACION DE LAS SOLUCIONES ESTANDARES Y CALCULOS PARA LA DETERMINACION DE PLOMO, ARSÉNICO, HIERRO, COBRE Y ZINC. (71)

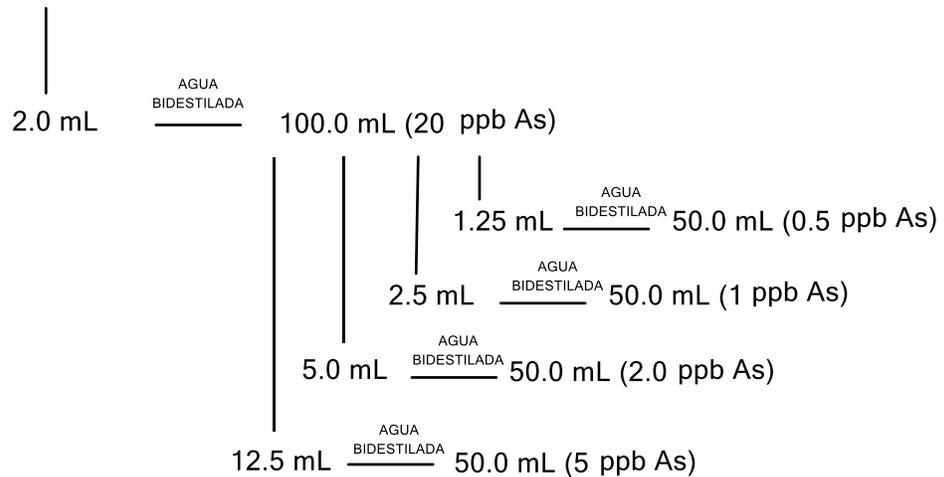
- **Cascada de disoluciones para preparar la curva de estándares de plomo.**

1,000.0 ppb de plomo (Pb)



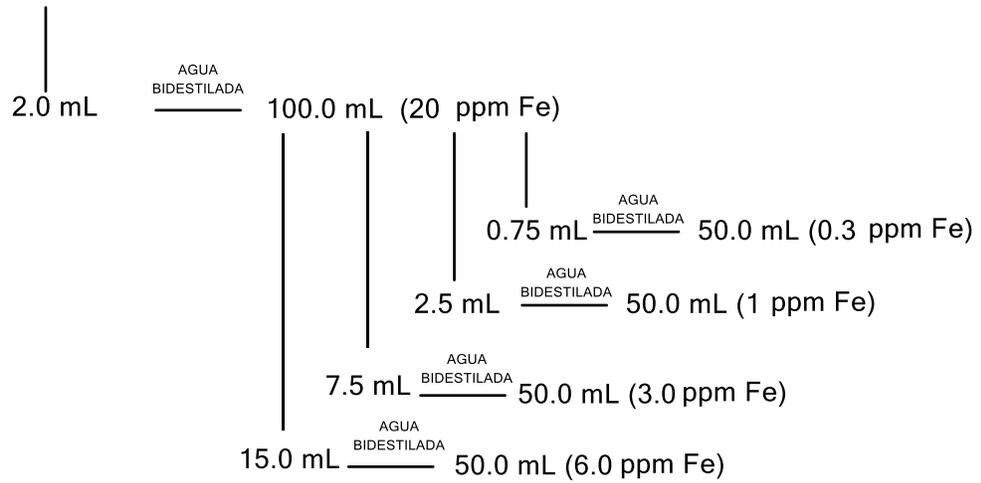
- **Cascada de disoluciones para preparar la curva de estándares de arsénico.**

1,000.0 ppb de arsénico (As)



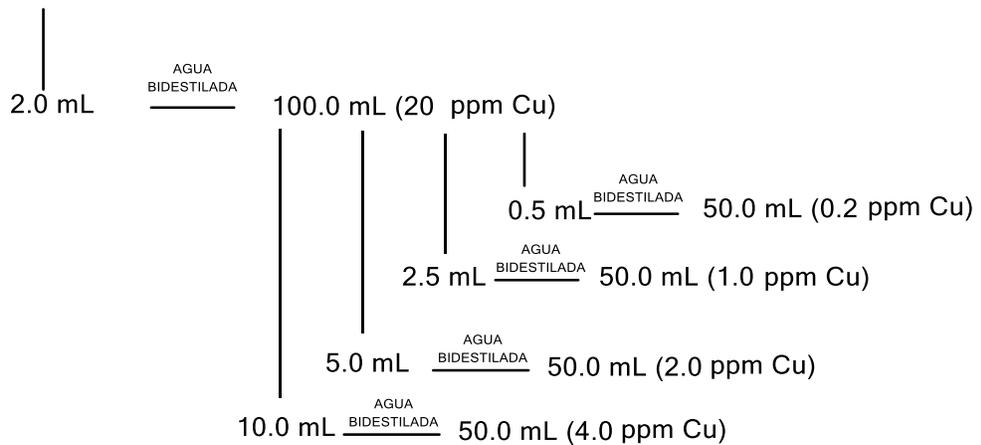
- **Cascada de disoluciones para preparar la curva de estándares de hierro.**

1,000.0 ppm de hierro (Fe)

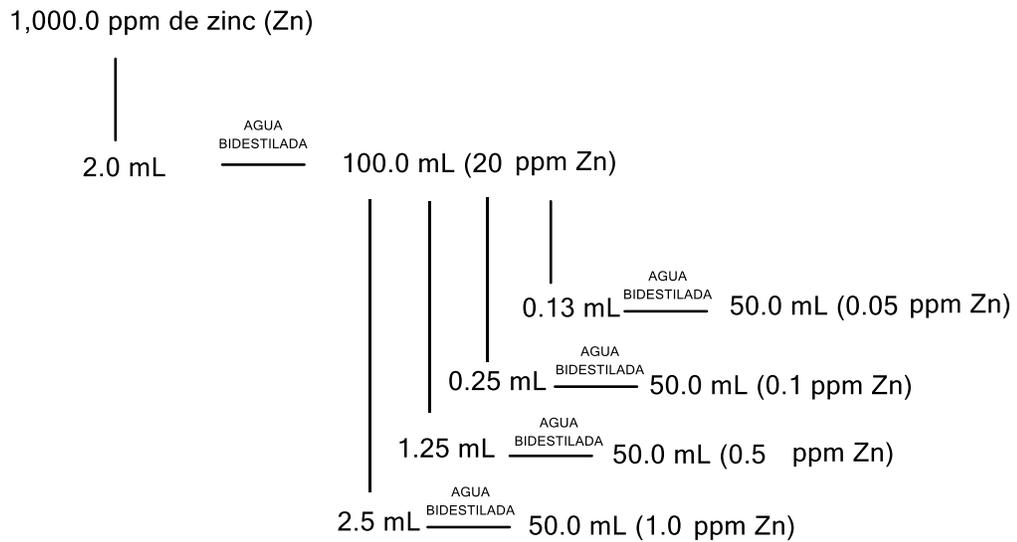


- **Cascada de disoluciones para preparar la curva de estándares de cobre.**

1,000.0 ppm de cobre (Cu)



- **Cascada de disoluciones para preparar la curva de estándares de zinc.**



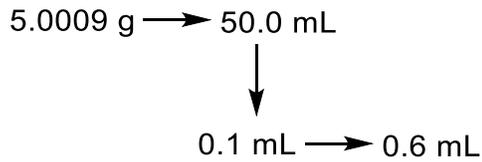
Cálculos para la determinación de plomo, arsénico, hierro, cobre y zinc.

1) Determinación de plomo (Pb)

Ejemplo: esquema de dilución y cálculos para la muestra con código: **P1B1** (Ver datos en la **Tabla N° 3**).

a) Esquema de dilución para la determinación de plomo:

Para la determinación de plomo se realizó una dilución previa a la lectura, con 100 μL de solución muestra a un volumen de 600 μL ya que se aplicó el método de adición de estándar; el Horno de Grafito posee una celda de dilución que es de 600 μL y automáticamente el equipo con una micropipeta especial tomó una alícuota de 100 μL de solución muestra.



$$\text{FD} = \frac{\text{Volúmenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}}$$

$$\text{FD} = \frac{50.0 \text{ mL} \times 0.6 \text{ mL}}{0.1 \text{ mL}} = 300 \text{ mL} \equiv 0.3 \text{ L}$$

b) Cálculos aplicando la Ley de Bourguer-Lambert-Beer.

El equipo de Absorción Atómica proporcionó una lectura directa en ppb del elemento en estudio (plomo), en cada una de las réplicas de las muestras. Pero para calcular la concentración equivalente al peso muestra se aplicó la Ley de Bourguer-Lambert-Beer:

Muestra P1B1 réplica N° 1:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times \text{FD} \iff C_{mx} \times \text{FD}$$

$C_{mx} \times \text{FD}$ = concentración total en $\mu\text{g Pb}$

$$6.7215 \text{ ppb} \times 0.3 = 2.0165 \mu\text{g Pb}$$

- Para la conversión de μg a mg se utilizó la siguiente conversión:

$$1 \text{ mg} = 1000 \mu\text{g}$$

Conversión de μg a mg de plomo (Pb):

$$2.0165 \cancel{\mu\text{g}} \times \frac{1 \text{ mg}}{1000 \cancel{\mu\text{g}}} = 0.0020165 \text{ mg Pb}$$

- Para calcular los ppm de Pb en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.0020165 \text{ mg Pb}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \text{ Kg}} = 0.4032 \text{ mg Pb/ Kg}$$

Muestra P1B1 réplica N° 2:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times \text{FD} \Leftrightarrow C_{mx} \times \text{FD}$$

$C_{mx} \times \text{FD} =$ concentración total en μg Pb

$$6.1247 \text{ ppb} \times 0.3 = 1.8374 \mu\text{g Pb}$$

- Para la conversión de μg a mg se utilizó la siguiente conversión:
 $1 \text{ mg} = 1000 \mu\text{g}$

Conversión de μg a mg de plomo (Pb):

$$1.8374 \cancel{\mu\text{g}} \times \frac{1 \text{ mg}}{1000 \cancel{\mu\text{g}}} = 0.0018374 \text{ mg Pb}$$

- Para calcular los ppm de Pb en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.0018374 \text{ mg Pb}}{5.0009 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} = 0.3674 \text{ mg Pb/ Kg}$$

Muestra P1B1 réplica N° 3:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD \Leftrightarrow C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD$ = concentración total en $\mu\text{g Pb}$

$$6.2699 \text{ ppb} \times 0.3 = 1.8810 \mu\text{g Pb}$$

- Para la conversión de μg a mg se utilizó la siguiente conversión:

$$1 \text{ mg} = 1000 \mu\text{g}$$

Conversión de μg a mg de plomo (Pb):

$$1.8810 \mu\text{g} \times \frac{1 \text{ mg}}{1000 \mu\text{g}} = 0.0018810 \text{ mg Pb}$$

- Para calcular los ppm de Pb en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.0018810 \text{ mg Pb}}{5.0009 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} = 0.3761 \text{ mg Pb/ Kg}$$

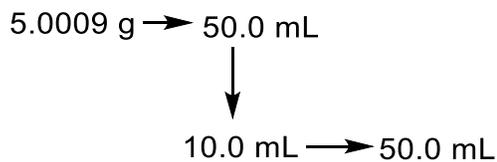
NOTA: Para conocer la concentración en ppm de plomo en todas las muestras analizadas, se debe aplicar el mismo cálculo a cada lectura directa en las réplicas

N° 1, N° 2 y N° 3 correspondiente a cada muestra, representadas en la **Tabla N° 3**.

2) Determinación de arsénico (As)

Ejemplo del esquema de dilución y cálculos para la muestra código: **P1B1** (Ver datos en la **Tabla N° 5**).

a) Esquema de dilución para la determinación de arsénico:



$$FD = \frac{\text{Volúmenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}}$$

$$FD = \frac{50.0 \text{ mL} \times 50.0 \text{ mL}}{10.0 \text{ mL}} = 250 \text{ mL} \equiv 0.25 \text{ L}$$

b) Cálculos aplicando la ley de Bourguer-Lambert-Beer.

El equipo de absorción atómica proporcionó una lectura directa en ppb del elemento en estudio (arsénico), en cada una de las réplicas de las muestras. Pero para calcular la concentración equivalente al peso muestra se aplicó la Ley de Bourguer-Lambert-Beer:

Muestra P1B1 réplica N° 1:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD \Rightarrow C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD$ = concentración total en $\mu\text{g As}$

$$1.0605 \text{ ppb} \times 0.25 = 0.2651 \mu\text{g As}$$

- Para la conversión de μg a mg se utilizó la siguiente conversión:
 $1 \text{ mg} = 1000 \mu\text{g}$

Conversión de μg a mg de arsénico (As):

$$0.2651 \cancel{\mu\text{g}} \times \frac{1 \text{ mg}}{1000 \cancel{\mu\text{g}}} = 0.0002651 \text{ mg As}$$

- Para calcular los ppm de As en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.0002651 \text{ mg As}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \text{ Kg}} = 0.0530 \text{ mg As/ Kg}$$

Muestra P1B1 réplica N° 2:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD \Rightarrow C_{mx} \times FD$$

$C_m \times FD = \text{concentración total en } \mu\text{g As}$

$$1.1060 \text{ ppb} \times 0.25 = 0.2765 \mu\text{g As}$$

- Para la conversión de μg a mg se utilizó la siguiente conversión:
 $1 \text{ mg} = 1000 \mu\text{g}$

Conversión de μg a mg de arsénico (As):

$$0.2765 \cancel{\mu\text{g}} \times \frac{1 \text{ mg}}{1000 \cancel{\mu\text{g}}} = 0.0002765 \text{ mg As}$$

- Para calcular los ppm de As en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.0002765 \text{ mg As}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \text{ Kg}} = 0.0553 \text{ mg As/ Kg}$$

Muestra P1B1 réplica N° 3:

$$C_m = \frac{(C_{st})(A_m)}{A_{st}} \times FD \Rightarrow C_m \times FD$$

$C_m \times FD = \text{concentración total en } \mu\text{g As}$

$$1.0863 \text{ ppb} \times 0.25 = 0.2716 \mu\text{g As}$$

- Para la conversión de μg a mg se utilizó la siguiente conversión:
 $1 \text{ mg} = 1000 \mu\text{g}$

Conversión de μg a mg de arsénico (As):

$$0.2716 \cancel{\mu\text{g}} \times \frac{1 \text{ mg}}{1000 \cancel{\mu\text{g}}} = 0.0002716 \text{ mg As}$$

- Para calcular los ppm de As en el peso de muestra vegetal:

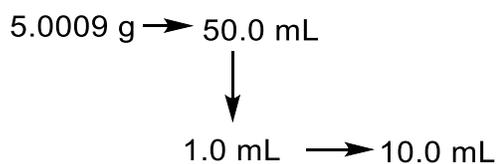
$$\frac{0.0002716 \text{ mg As}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \text{ Kg}} = 0.0543 \text{ mg As/ Kg}$$

NOTA: Para conocer la concentración en ppm de arsénico en todas las muestras analizadas, se debe aplicar el mismo cálculo a cada lectura directa en las réplicas N° 1, N° 2 y N° 3 correspondiente a cada muestra, representadas en la **Tabla N° 5**.

3) Determinación de hierro (Fe)

Ejemplo del esquema de dilución y cálculos para la muestra código: **P1B1** (Ver datos en la **Tabla N° 7**).

a) Esquema de dilución para la determinación de hierro:



$$FD = \frac{\text{Volúmenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}}$$

$$FD = \frac{50.0 \text{ mL} \times 10.0 \text{ mL}}{1.0 \text{ mL}} = 500 \text{ mL} \equiv 0.5 \text{ L}$$

b) Cálculos aplicando la ley de Bourguer-Lambert-Beer.

El equipo de absorción atómica utilizado proporcionó una lectura directa en ppm del elemento en estudio (hierro), en cada una de las réplicas de las muestras analizadas.

Muestra P1B1 réplica N° 1:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD \Rightarrow C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD =$ concentración total en mg Fe

$$1.2395 \text{ ppm} \times 0.5 = 0.6198 \text{ mg Fe}$$

- Para calcular los ppm de Fe en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.6198 \text{ mg Fe}}{5.0009 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} = 123.92 \text{ mg Fe/ Kg}$$

Muestra P1B1 réplica N° 2:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD \Rightarrow C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD = \text{concentración total en mg Fe}$

$$1.3095 \text{ ppm} \times 0.5 = 0.6548 \text{ mg Fe}$$

- Para calcular los ppm de Fe en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.6548 \text{ mg Fe}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \text{ Kg}} = 130.93 \text{ mg Fe/ Kg}$$

Muestra P1B1 réplica N° 3:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD \Rightarrow C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD = \text{concentración total en mg Fe}$

$$1.2736 \text{ ppm} \times 0.5 = 0.6368 \text{ mg Fe}$$

- Para calcular los ppm de Fe en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.6368 \text{ mg Fe}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \text{ Kg}} = 127.34 \text{ mg Fe/ Kg}$$

NOTA: Para conocer la concentración en ppm de hierro en las muestras analizadas, se debe aplicar el mismo cálculo a cada lectura directa en las réplicas N° 1, N° 2 y N° 3 correspondiente a cada muestra, representadas en la **Tabla N° 7**.

4) Determinación de cobre (Cu)

Ejemplo del esquema de dilución y cálculos para la muestra código: **P1B1** (Ver datos en la **Tabla N° 9**).

a) Esquema de dilución para la determinación de cobre:

$$5.0009 \text{ g} \rightarrow 50.0 \text{ mL}$$

$$FD = \frac{\text{Volúmenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}}$$

$$FD = 50.0 \text{ mL} \equiv 0.05 \text{ L}$$

b) Cálculos aplicando la ley de Bourguer-Lambert-Beer.

El equipo de absorción atómica utilizado proporcionó una lectura directa en ppm del elemento en estudio (cobre), en cada una de las réplicas de las muestras analizadas.

Muestra P1B1 réplica N° 1:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD \Rightarrow C_{mx} \times FD$$

$$C_{mx} \times FD = \text{concentración total en mg Cu}$$

$$1.0728 \text{ ppm} \times 0.05 = 0.0536 \text{ mg Cu}$$

- Para calcular los ppm de Cu en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.0536 \text{ mg Cu}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \text{ Kg}} = 10.7261 \text{ mg Cu/ Kg}$$

Muestra P1B1 réplica N° 2:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD \Rightarrow C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD =$ concentración total en mg Cu

$$1.0675 \text{ ppm} \times 0.05 = 0.0534 \text{ mg Cu}$$

- Para calcular los ppm de Cu en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.0534 \text{ mg Cu}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \text{ Kg}} = 10.6731 \text{ mg Cu/ Kg}$$

Muestra P1B1 réplica N° 3:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD \Rightarrow C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD =$ concentración total en mg Cu

$$1.0696 \text{ ppm} \times 0.05 = 0.0535 \text{ mg Cu}$$

- Para calcular los ppm de Cu en el peso de muestra vegetal:

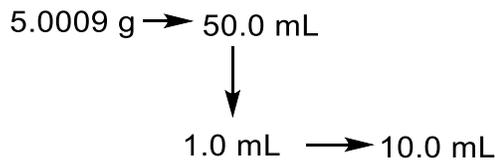
$$\frac{0.0534 \text{ mg Cu}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \text{ Kg}} = 10.6941 \text{ mg Cu/ Kg}$$

NOTA: Para conocer la concentración en ppm de cobre en las muestras analizadas, se debe aplicar el mismo cálculo a cada lectura directa en las réplicas N° 1, N° 2 y N° 3 correspondiente a cada muestra, representadas en la **Tabla N° 9**.

5) Determinación de zinc (Zn)

Ejemplo del esquema de dilución y cálculos para la muestra código: **P1B1** (Ver datos en la **Tabla N° 11**).

- a) Esquema de dilución para la determinación de zinc:



$$FD = \frac{\text{Volúmenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}}$$

$$FD = \frac{50.0 \text{ mL} \times 10 \text{ mL}}{1.0 \text{ mL}} = 500 \text{ mL} \equiv 0.5 \text{ L}$$

b) Cálculos aplicando la ley de Bourguer-Lambert-Beer.

El equipo de absorción atómica utilizado proporcionó una lectura directa en ppm del elemento en estudio (zinc), en cada una de las réplicas de las muestras analizadas.

Muestra P1B1 réplica N° 1:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD \Rightarrow C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD =$ concentración total en mg Zn

$$0.4163 \text{ ppm} \times 0.5 = 0.2082 \text{ mg Zn}$$

- Para calcular los ppm de Zn en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.2082 \text{ mg Zn}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \text{ Kg}} = 41.6225 \text{ mg Zn/ Kg}$$

Muestra P1B1 réplica N° 2:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD \Rightarrow C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD =$ concentración total en mg Zn

$$0.4353 \text{ ppm} \times 0.5 = 0.2177 \text{ mg Zn}$$

- Para calcular los ppm de Zn en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.2177 \text{ mg Zn}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \text{ Kg}} = 43.5222 \text{ mg Zn/ Kg}$$

Muestra P1B1 réplica N° 3:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD \Rightarrow C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD =$ concentración total en mg Zn

$$0.4257 \text{ ppm} \times 0.5 = 0.2129 \text{ mg Zn}$$

- Para calcular los ppm de Zn en el peso de muestra vegetal:

$$\frac{0.2129 \text{ mg Zn}}{5.0009 \cancel{\text{g}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{g}}}{1 \text{ Kg}} = 42.5623 \text{ mg Zn/ Kg}$$

NOTA: Para conocer la concentración en ppm de zinc en las muestras analizadas, se debe aplicar el mismo cálculo a cada lectura directa en las réplicas N° 1, N° 2 y N° 3 correspondiente a cada muestra, representadas en la **Tabla N° 11**.

ANEXO N° 9

ESQUEMAS PARA LA PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES STOCK, SOLUCIONES ESTÁNDARES Y LA DETERMINACION DE PLOMO, ARSÉNICO, HIERRO, COBRE Y ZINC. (71)

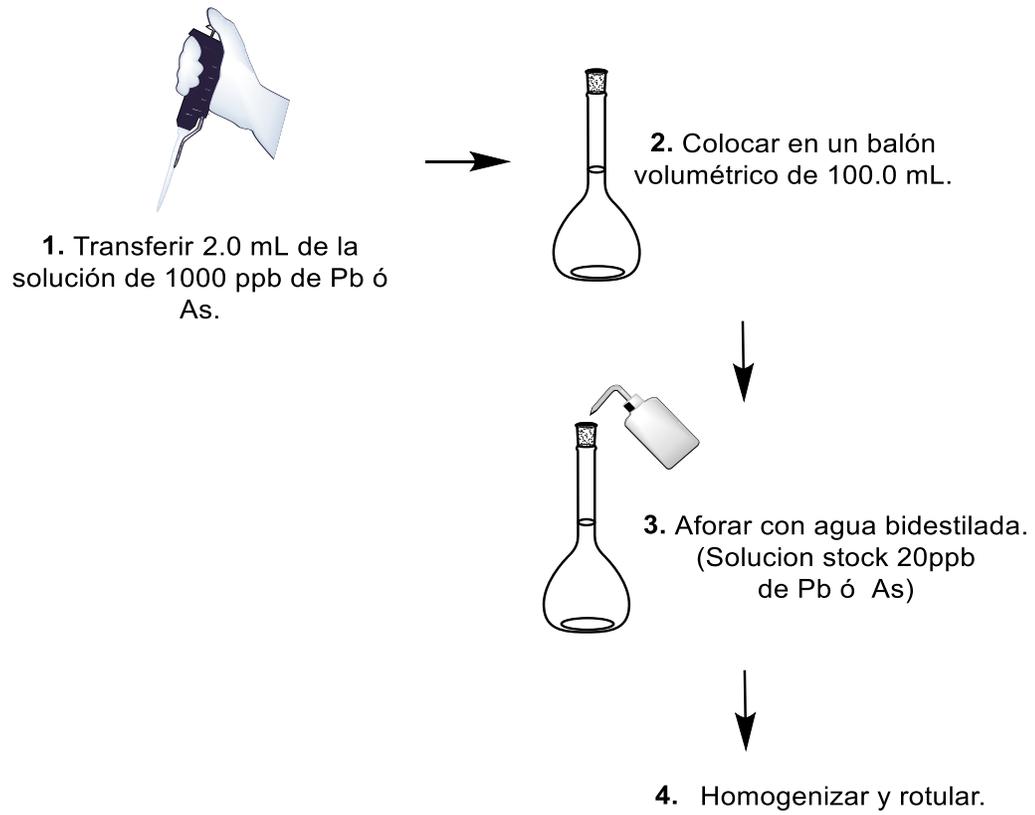


Figura N° 31. Esquema de la preparación de solución stock 20 ppm de plomo y/ó arsénico.

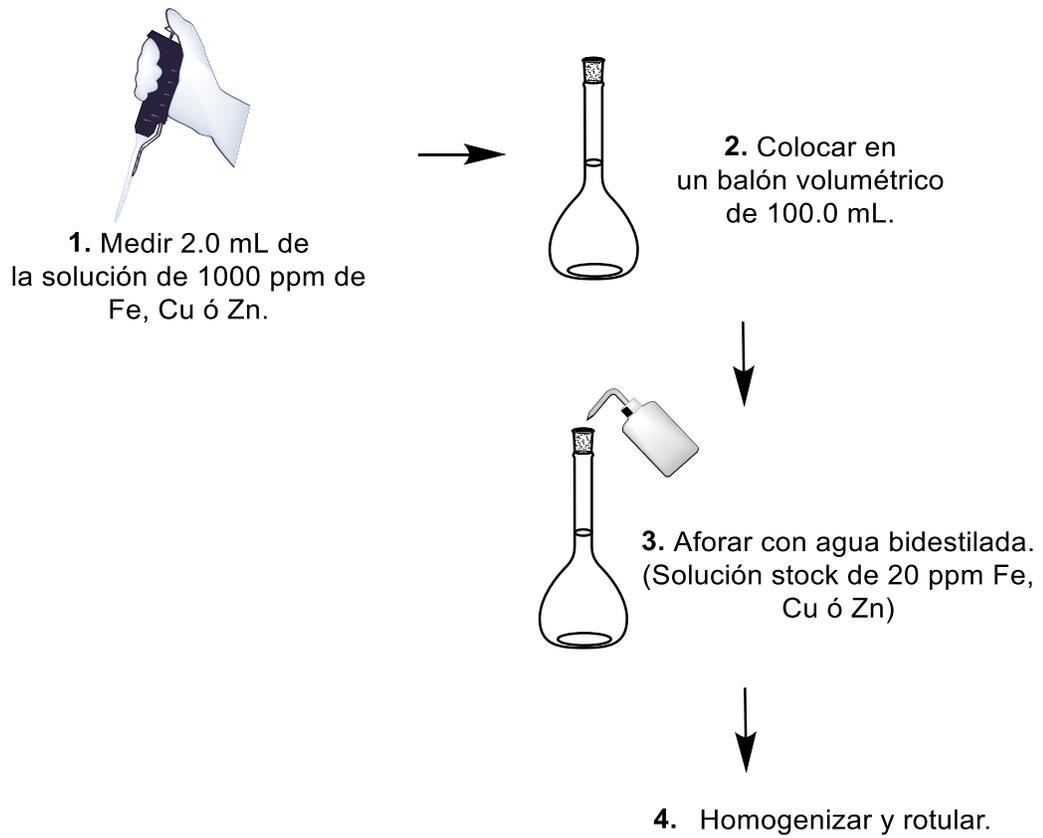


Figura N° 34. Esquema de la preparación de solución stock 20 ppm de hierro, cobre y/ó zinc.

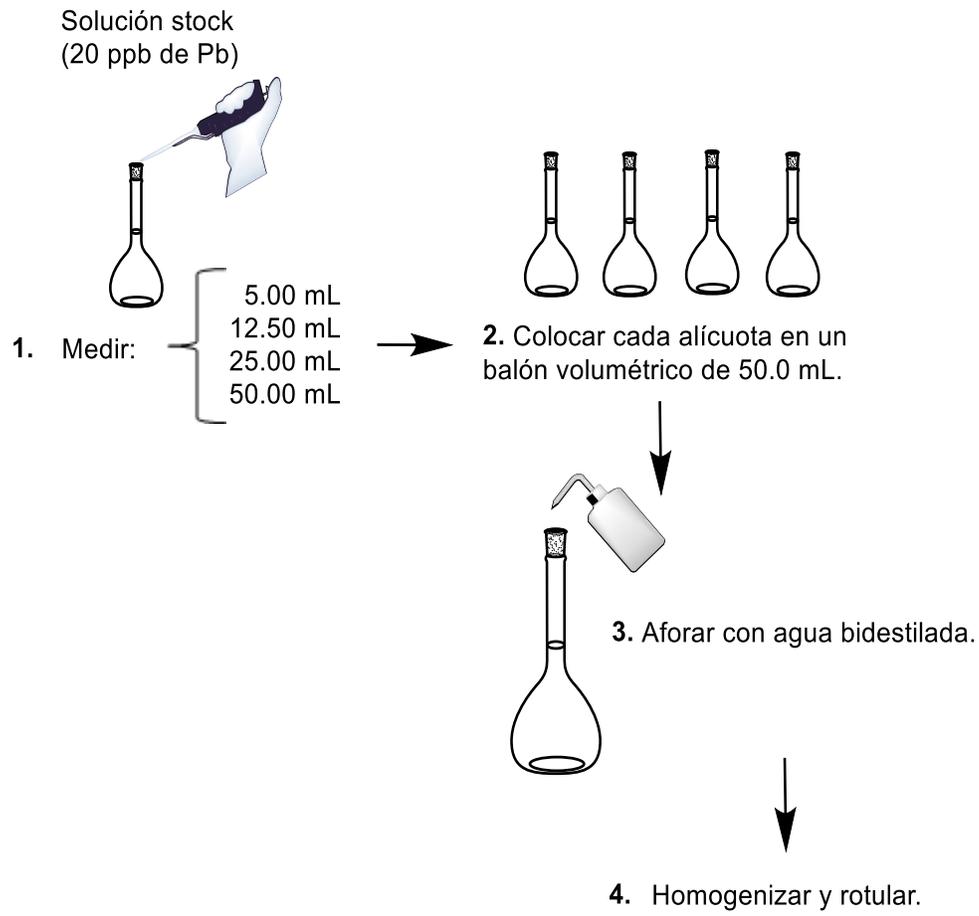


Figura N° 35. Esquema de la preparación de soluciones estándar para plomo.

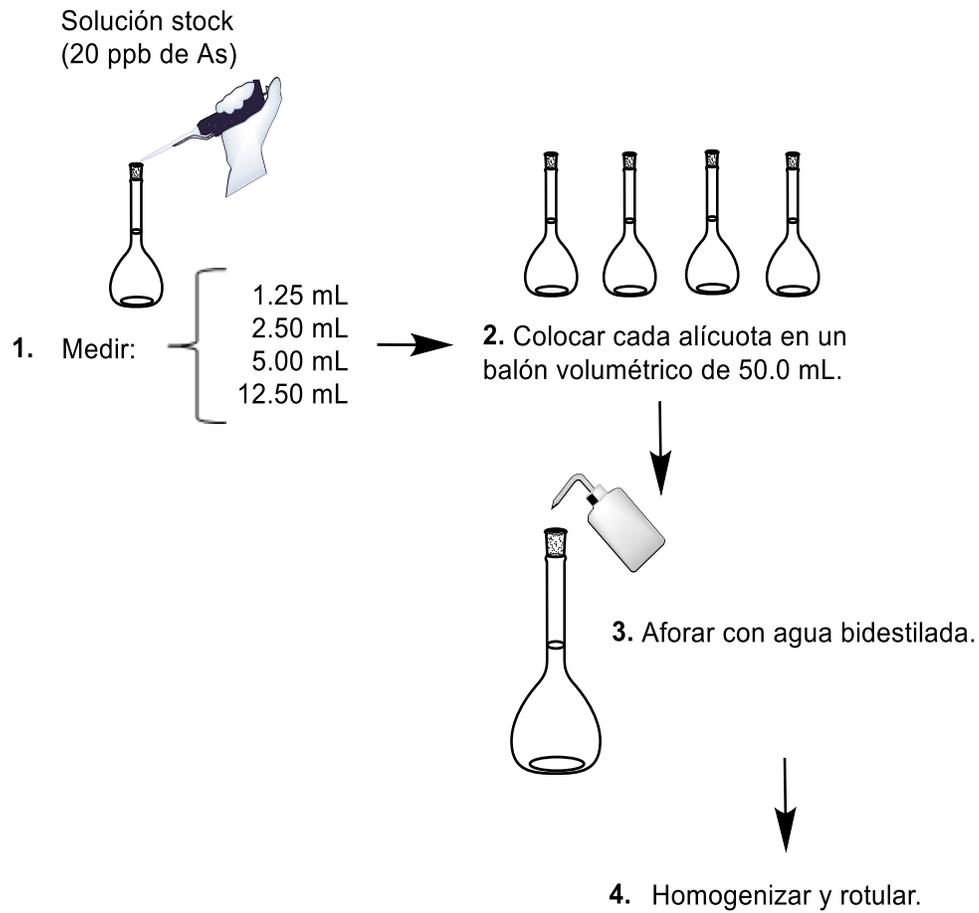


Figura N° 36. Esquema de la preparación de soluciones estándar para arsénico

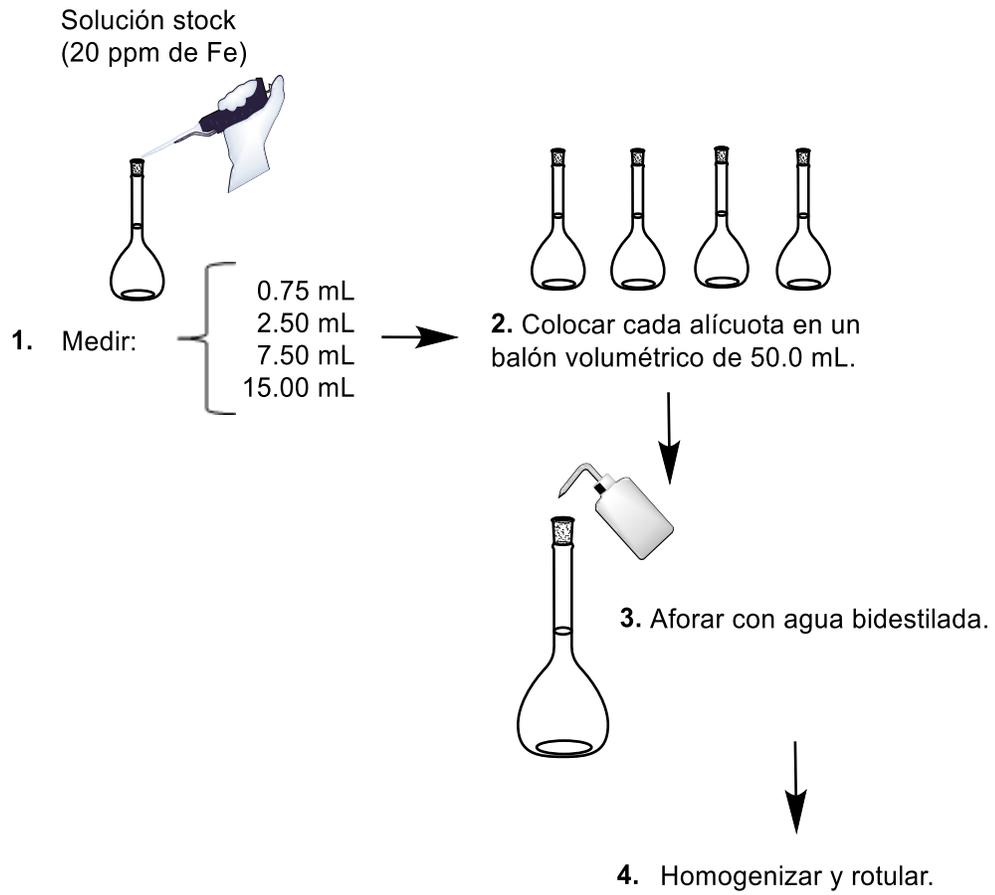


Figura N° 37. Esquema de la preparación de soluciones estándar para hierro.

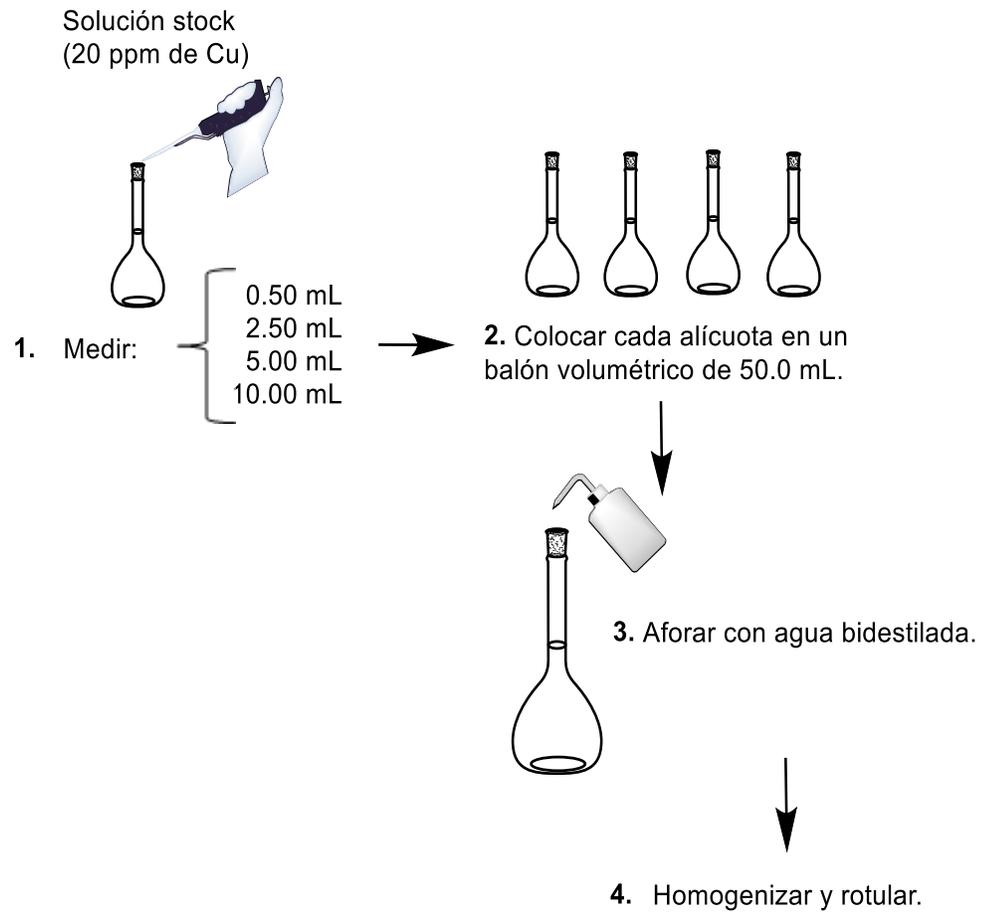


Figura N° 38. Esquema de la preparación de soluciones estándar para cobre.

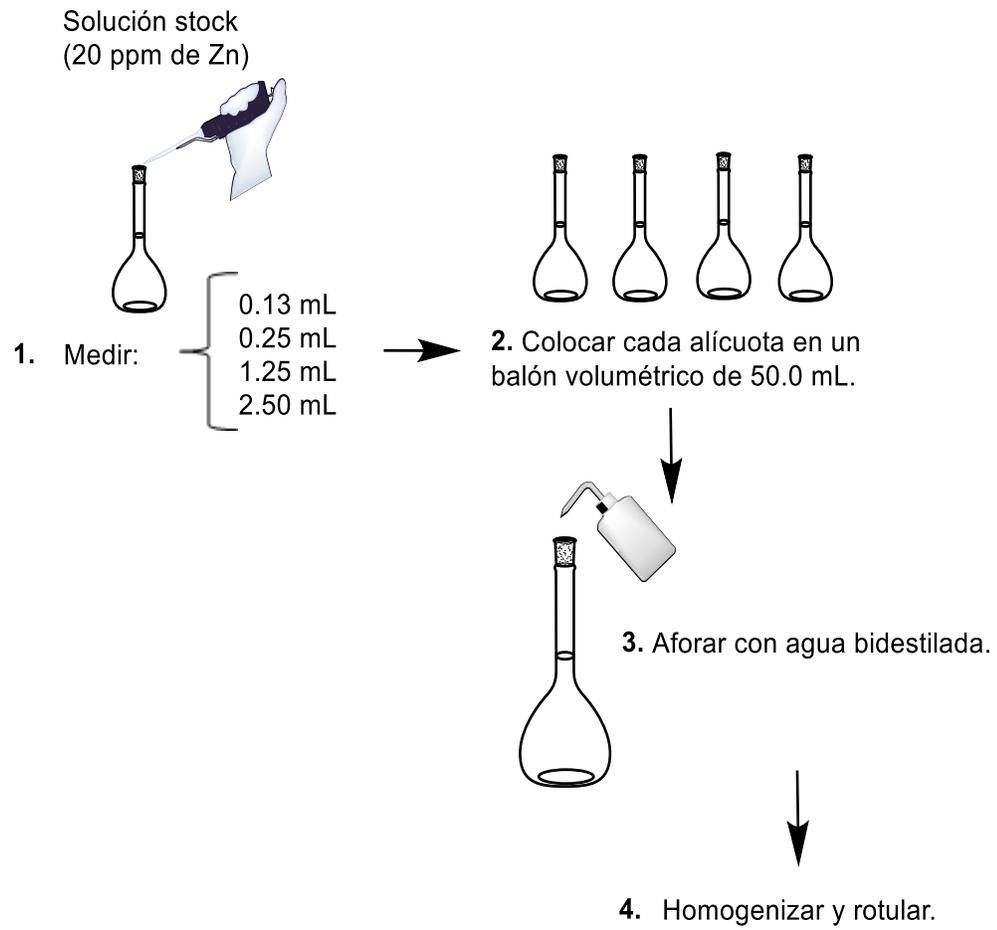


Figura N° 39. Esquema de la preparación de soluciones estándar para zinc.

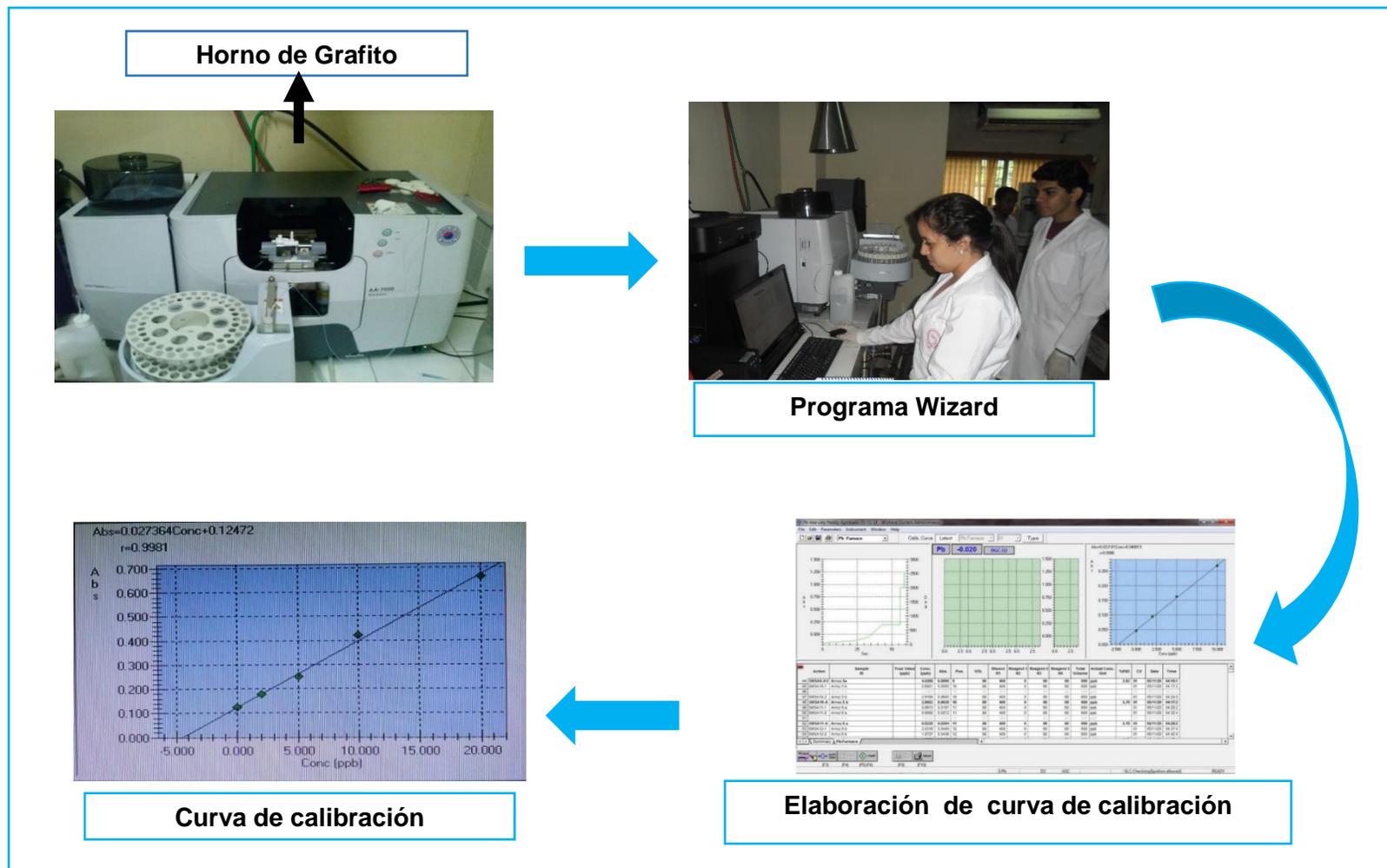


Figura N° 40. Determinación de plomo por el método de EAA con Horno de Grafito.

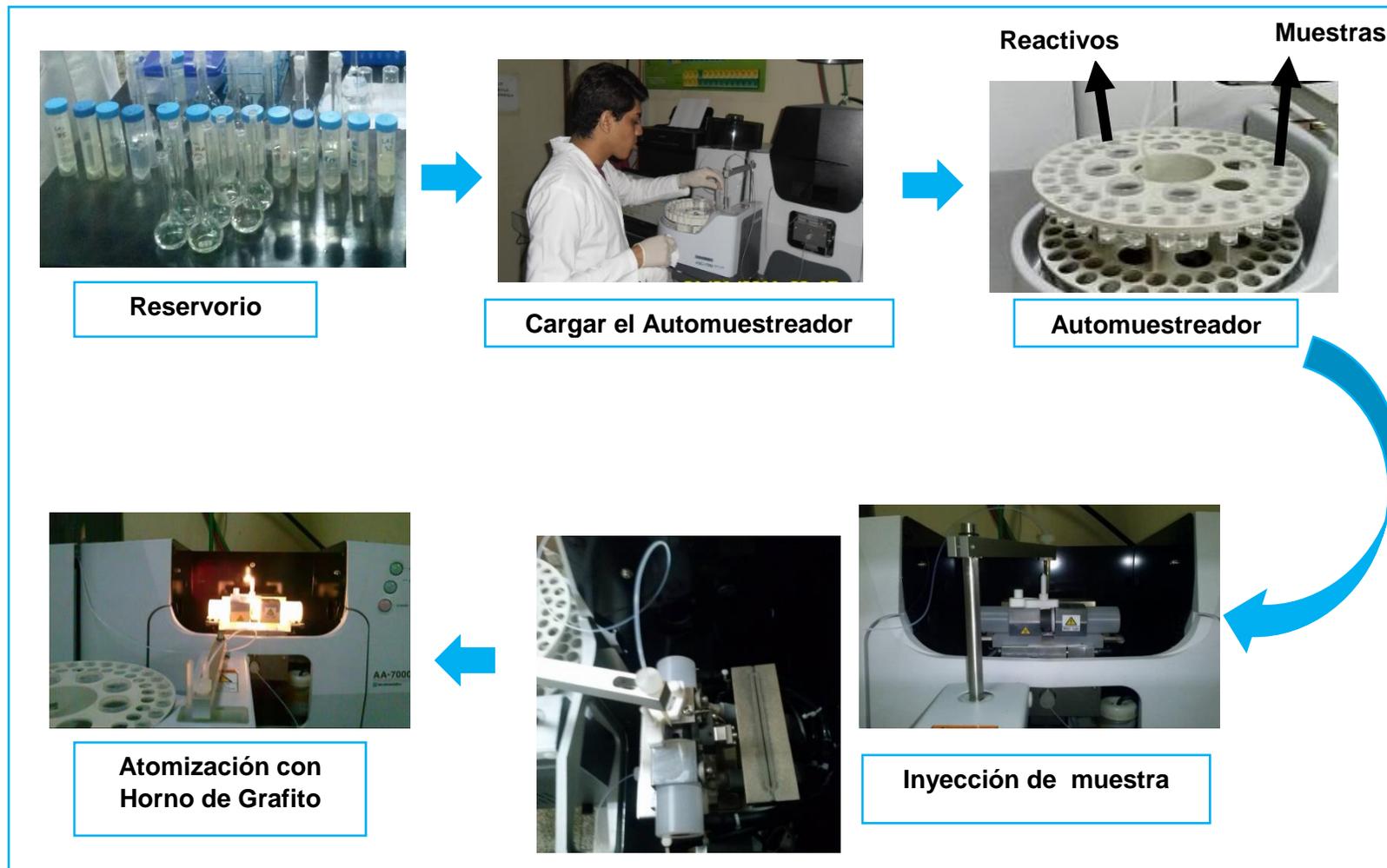


Figura N° 40. Continuación

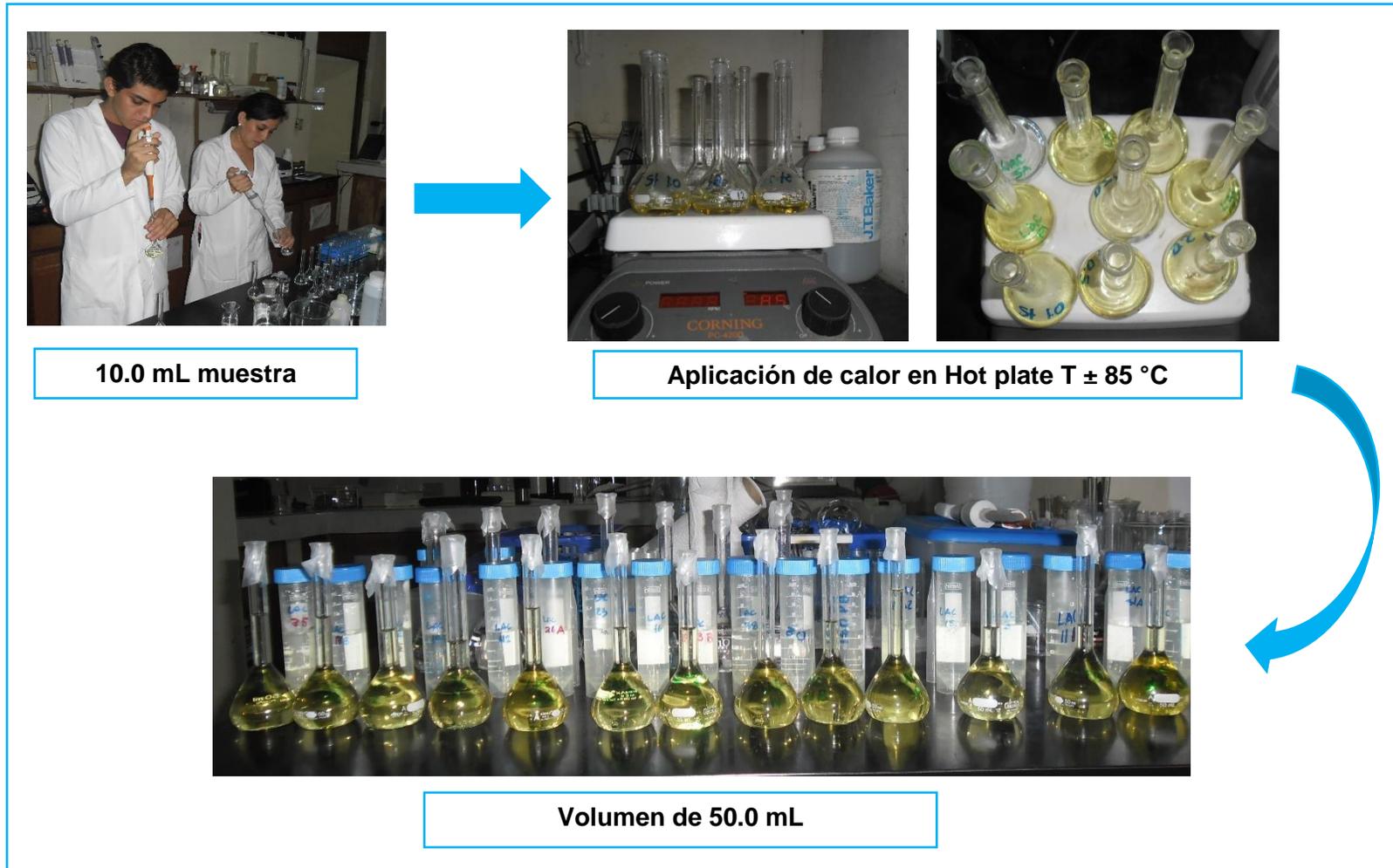


Figura N° 41. Determinación de arsénico por el método de EAA con Generador de Hidruros.

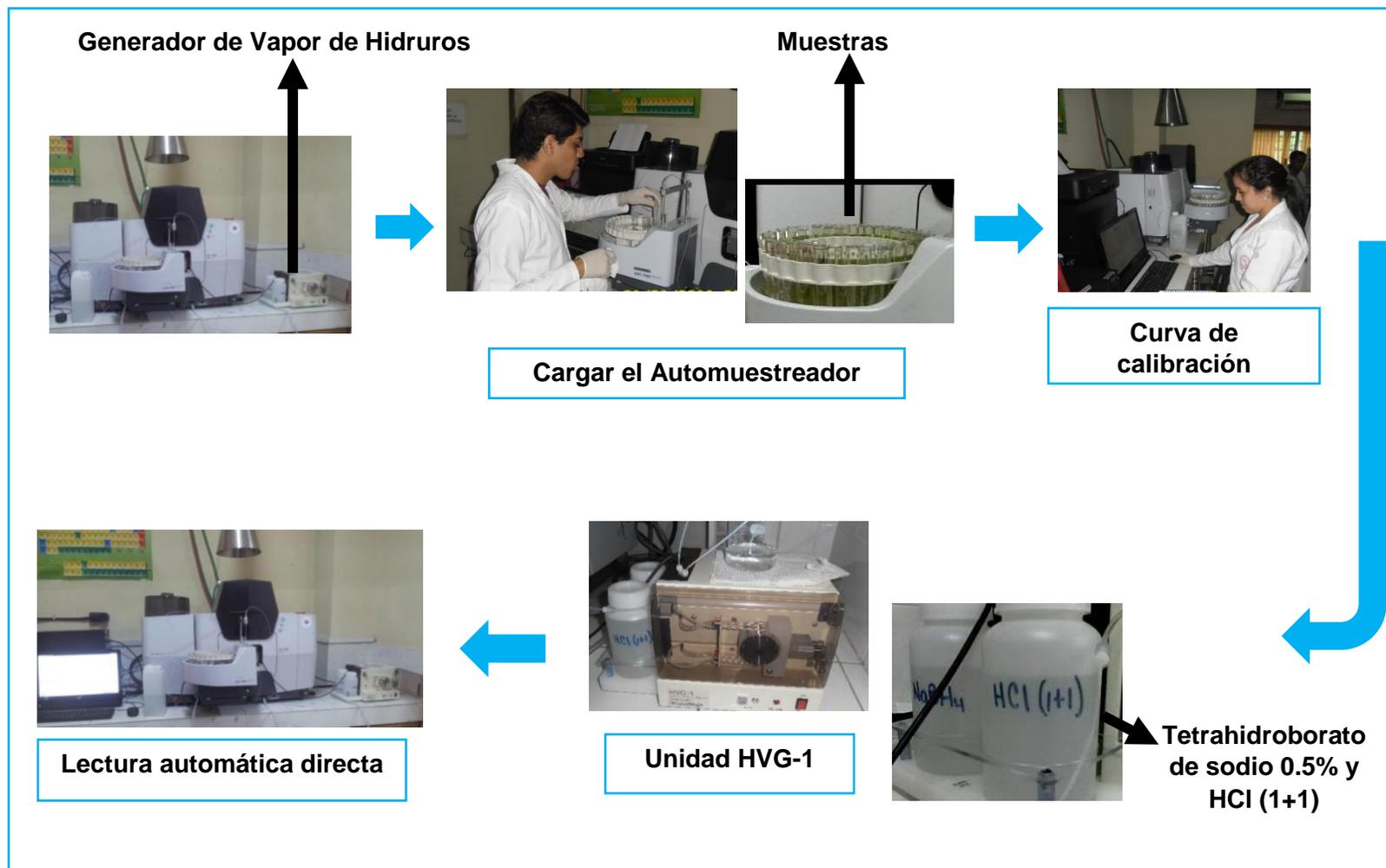


Figura N° 41. Continuación

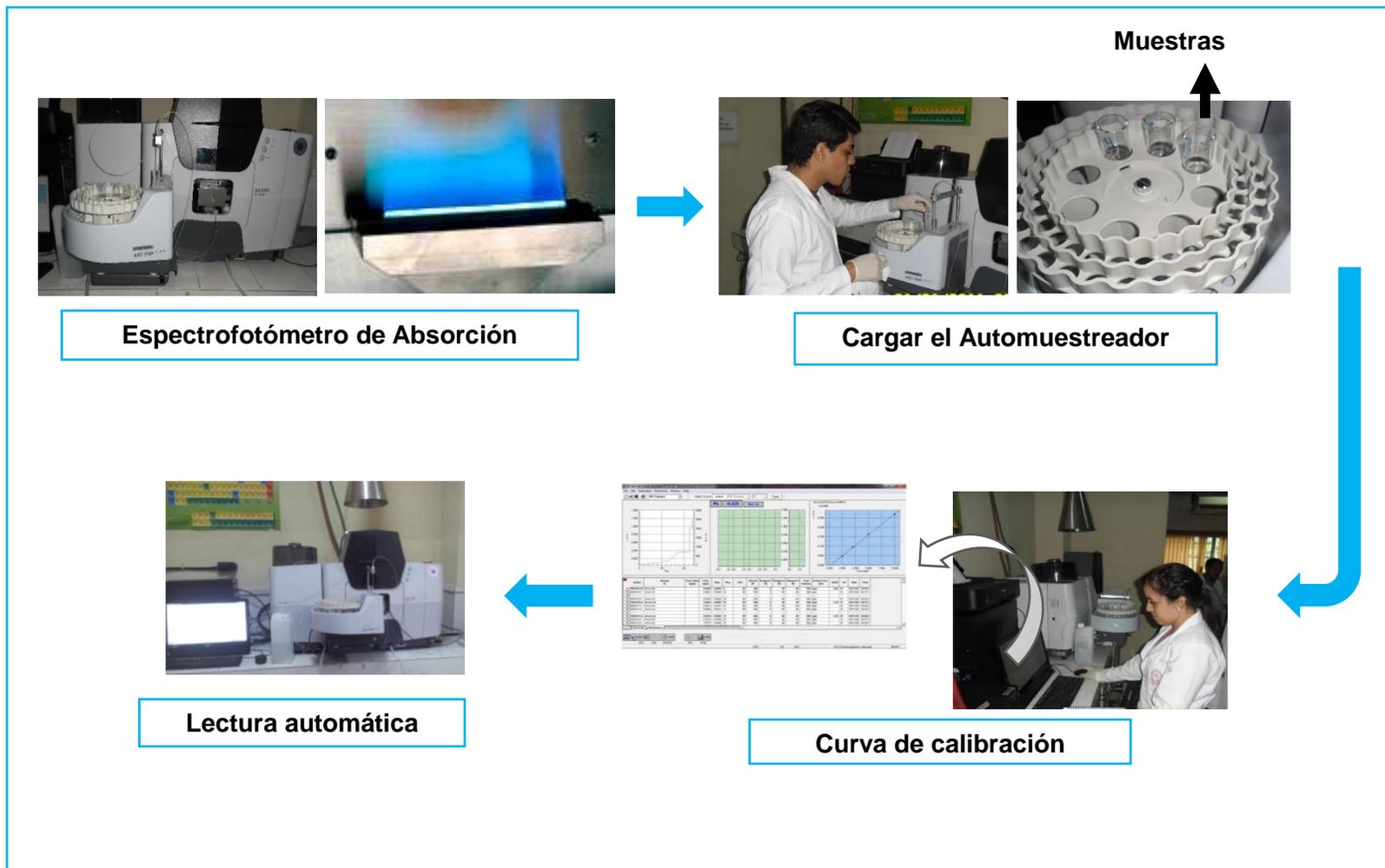


Figura N° 42. Determinación de hierro, cobre y zinc por el método de EAA con llama.

ANEXO N° 10

FICHAS INFORMATIVAS DE LOS CULTIVOS DE *C. longirostrata*
VISITADOS Y PRODUCTOS AGROQUIMICOS UTILIZADOS PARA SU
TRATAMIENTO.



Figura N° 27. Ficha informativa referente a la muestra recolectada en el Cantón Entre Ríos (P1).



Figura N° 28. Ficha informativa referente a la muestra recolectada en el cultivo de Cantón Las Tres ceibas (P2).



Figura N° 29. Ficha informativa referente a la muestra recolectada en el Cantón Tajcuilujlan (P3).



Figura N° 30. Ficha informativa referente a la muestra recolectada en el cultivo en el Cantón Tajcuilujlan (P4).



Figura N° 31. Ficha informativa referente a la muestra recolectada en el Cantón Zapotitán (P5).



Figura N° 32. Ficha informativa referente a la muestra recolectada en la Escuela Nacional de Agricultura Roberto Quiñonez (P6).

Cuadro N° 11. Nombre químico, componentes activos y uso agrícola de los agroquímicos utilizados en el cultivo de *C. longirostrata* por el Productor 1. (14)(51)

Nombre químico	Componentes activos	Uso agrícola
Imidacloprid	imidacloprid(1-(6-cloro-3-piridilmetil)-N-nitroimidazolidin-2-ylideneamina)	Insecticida sistémico para desinfección de semillas
Carbendazim	Carbendazim (Metilbenzimidazol-2-ilcarbamato) y Propamocarb clorhidrato: Propil 3-(dimetilamino) propilcarbamato-hidrocloruro	Fungicida
Urea	Nitrógeno 46 % en forma ureica	Fertilizante foliar
Sulfato de potasio	Potasio K ₂ O 50% Azufre disponible (S) 18 %	Fertilizante
Rienda	Triazofos (C ₁₂ H ₁₆ N ₃ O ₃ PS), Deltametrina (C ₂₂ H ₁₉ BrNO ₃)	Insecticida
O,S-dimethyl phosphoramidothionate	Metamidofos (O,S-Dimetil fosforoamidotioato)	Insecticida

Cuadro N° 12. Nombre químico, componentes activos y uso agrícola de los agroquímicos utilizados en el cultivo de *C. longirostrata* por el Productor 2. (14)(51)

Nombre químico	Componentes activos	Uso agrícola
Sulfato de Potasio	potasio K ₂ O 50% azufre disponible (S) 18 %	Fertilizante
Urea	nitrógeno 46 % en forma ureica	Fertilizante foliar
Rienda	Triazofos (C ₁₂ H ₁₆ N ₃ O ₃ PS), Deltametrina (C ₂₂ H ₁₉ BrNO ₃)	Insecticida

Cuadro N° 12. Continuación

Nombre químico	Componentes activos	Uso agrícola
Volaton	Foxim, n- butanol, alquilarilsulfonato y 4-metil-2-pentanona	Insecticida
N, P2O5, K2O, Fe, Mn, B, Cu, Zn, Co, Mo, S, Mg, Ca.	Multimineral quelatado 9.1 %N, 6.6%P, 5.0 %K, 1.250 ppm K, 332 ppm B, 17 ppm Co, 664 ppm Zn, 332 ppm Cu , 42 ppm Mo, 207 ppm Ca, 332 ppm Mn, 415 ppm Fe , 207 ppm Mg, 33 ppm Clorhidrato de Tiamina, 25 ppm Acido indolacético.	Fertilizante foliar

Cuadro N° 13. Nombre comercial, componentes activos y uso agrícola de los agroquímicos utilizados en el cultivo de *C. longirostrata* por el Productor 3. (14)(51)

Nombre químico	Componentes activos	Uso agrícola
Urea	nitrógeno 46 % en forma ureica	Fertilizante foliar
Sulfato de Potasio	potasio K ₂ O 50%	Fertilizante
Triple quince (15-15-15)	nitrógeno (N) nítrico 6,5% nitrógeno (N) Amoniacal 8,5%	Abono
Rienda	Triazofos (C ₁₂ H ₁₆ N ₃ O ₃ PS), Deltametrina (C ₂₂ H ₁₉ BrNO ₃)	Insecticida
Micro mix	magnesio 4 %, azufre 2 %, hierro 8 % , zinc 4 % , manganeso 1 %, molibdeno 0.06 %, boro 1 % y cobalto 0.014 %	Fertilizante

Cuadro N° 13. Continuación

Nombre químico	Componentes activos	Uso agrícola
Metalosato	calcio 1%; magnesio 1%; cobre 0.5% ; hierro 0.5% ; manganeso 0.5%; molibdeno 0.1%; zinc 0.5%	Fertilizante foliar
Triple quince (15-15-15)	nitrógeno (N) nítrico 6,5% nitrógeno (N) Amoniacal 8,5%	Abono

Cuadro N° 14. Nombre comercial, componentes activos y uso agrícola de los agroquímicos utilizados en el cultivo de *C. longirostrata* por el Productor 4. (14)(51)

Nombre químico	Componentes activos	Uso agrícola
Urea	nitrógeno 46 % en forma ureica	Fertilizante foliar
Triple quince (15-15-15)	nitrógeno (N) nítrico 6,5% nitrógeno (N) amoniacal 8,5%	Abono
NPK tradicional	nitrógeno total 7 %, nitrógeno amoniacal 7%, fosforo soluble en agua 12 % y potasio soluble en agua 7 %	Fertilizante
Sulfito de 1,2,3,4,7,7-hexacloro biciclo (2,2,1)-2-hepteno5,6-bis-oximetileno	Endosulfán: 6,7,8,9,10,10-Hexacloro-1,5,5a,6,9,9a-Hexahidro-6,9-metano-2,4,3-benzodioxatiepín-3-óxido	Insecticida
O,S-dimethyl phosphoramidothionate	Metamidofos (O,S-Dimetil fosforoamidotioato)	Insecticida

Cuadro N° 14. Continuación

Nombre químico	Componentes activos	Uso agrícola
Metiocarb (Mercaotodimetur (ISO))	Metiocarbamato: 500 g/L 4-metiltio-3,5-xilil metilcarbamato	Insecticida

Cuadro N° 15. Nombre comercial, componentes activos y uso agrícola de los agroquímicos utilizados en el cultivo de *C. longirostrata* por el Productor 5. (14)(51)

Nombre químico	Componentes activos.	Uso agrícola
Urea	nitrógeno 46 % en forma ureica	Fertilizante foliar
Sulfato de Potasio	potasio K ₂ O 50% azufre disponible (S) 18 %	Fertilizante
Imidacloprid	Imidacloprid: 1-(6-cloro-3-piridin-3-ilmetil)-N-nitroimidazolidin-2-ilidenamina.	Insecticida
Antracol	Propilenbis (ditiocarbamato) polimérico de zinc	Fungicida

Cuadro N° 16. Nombre comercial, componentes activos y uso agrícola de los agroquímicos utilizados en el cultivo de *C. longirostrata* por el Productor 6. (14)(51)

Nombre del fertilizante	Componentes activos	Uso agrícola
Urea	nitrógeno 46 % en forma ureica	Fertilizante foliar

Cuadro N° 16. Continuación

Nombre químico	Componentes activos	Uso agrícola
Compostaje	nitrógeno 1.5-2 %, fosforo 2-2.5 %, potasio 1-1.5 %, Calcio 2-8 %, magnesio 1-2.5 %, sodio 0.02 %, cobre 0.05 % , hierro 0.02 % y manganeso 0.06 %	Abono orgánico

Cuadro N° 17. Productos agroquímicos recomendados por Técnicos e Ingenieros Agrónomos en el cultivo de *C. longirostrata*.

Agroservicio	Productos	Finalidad de su aplicación en el cultivo.	Dosis y frecuencia recomendada
El Surco S.A De C.V. (Lourdes Colón)	Clorpirifos (Manejo de terreno)	Insecticida	5-15 mL/bomba cada 10 días
	Formula 15-15-15 (Manejo de terreno)	Fertilizante	25 mL/bomba cada 5 días
	Bayfolan (Manejo de cultivo)	Fertilizante	25 mL/bomba cada 3 ó 5 días
	Metalosato (Manejo de cultivo)	Fertilizante	25 mL/bomba cada 3 ó 5 días
Agroservicio El Agricultor. (Sonsonate)	Formula 15-15-15 (Manejo de terreno)	Fertilizante	25 cc/ bomba cada 7 días
	Monarca (Manejo de cultivo)	Insecticida	5-15 cc/ bomba cada 5 días
	Urea (Manejo de cultivo)	Fertilizante	30 lb/ tarea cada 5 días
	Bayfolan (Manejo de cultivo)	Fertilizante	25 cc/bomba cada 10 días
Villavar Agroservicio (San Juan Opico)	Urea (Tratamiento de terreno)	Fertilizante	50 lb/tarea cada 5 días
	Malathion	Insecticida	5-15 mL/galón de agua cada 5 días

Cuadro N° 17. Continuación

Villavar Agroservicio (San Juan Opico)	16-20-0 Tratamiento de cultivo	Fertilizante	0.5-4 mL/bomba cada 10-15 días
	Urea (Tratamiento de cultivo)	Fertilizante	50 lb/tarea cada 3- 5días
El Surco S.A De C.V (Santa Tecla)	Derosal (Tratamiento de terreno)	Fungicida	25 cc/ bomba cada 10 días
	Sulfato de Potasio (Tratamiento de terreno)	Fertilizante	4 cc/ bomba cada 5 días
	Urea (Tratamiento de cultivo)	Fertilizante	50 lb/ tarea cada 5 días
	Tamaron (Tratamiento de cultivo)	Insecticida	75 cc/ bomba cada 15 días
Agroservicio Farrar (San Salvador)	Sulfato de Potasio (Tratamiento de terreno)	Fertilizante	4 g/ bomba cada 5 días
	Lannate (Tratamiento de terreno)	Insecticida	5g/ bomba cada 10 días
	Urea (Tratamiento de cultivo)	Fertilizante	45 g / tarea cada 5 días
	16-20-0 (Tratamiento de cultivo)	Fertilizante	4 mL/ bomba cada 10-15 días
Agroservicio El Agricultor (San salvador)	Formula 15-15-15 (Tratamiento de terreno)	Fertilizante	25 cc/ bomba cada 5 días
	Monarca (Tratamiento de terreno)	Insecticida	25 cc/bomba cada 10 días
	Urea	Fertilizante	45 lb/tarea cada 3 días
	Formula 16-20-0	Fertilizante	15 cc/ bomba cada 5 días

ANEXO N° 11

LISTADO DE PLAGUICIDAS PROHIBIDOS EN EL SALVADOR Y
COMPOSICION DE AGROQUIMICOS UTILIZADOS EN EL CULTIVO
DE *C. longirostrata*. (9)(14)(51)

Cuadro N° 8. Listado de plaguicidas prohibidos en El salvador. (9)

No	PRODUCTO QUIMICO PROHIBIDOS SESION ASAMBLEA LEGISLATIVA 05-09-13 EN EL SALVADOR	USO	ESTATUS ANTES DE LA APROBACIÓN DEL DECRETO DE LA ASAMBLEA LEGISLATIVA
1	METIL PARATION	INSECTICIDA	Uso restringido por MAG desde 2004
2	PARAQUAT	HERBICIDA	Uso restringido por MAG desde 2005
3	ENDOSULFAN	INSECTICIDA	Uso restringido por MAG desde 2006
4	METAMIDOFOS	INSECTICIDA	Uso restringido por MAG desde 2007
5	METOMIL	INSECTICIDA/ RODENTICIDA	Uso restringido por MAG desde 2008
6	CARBOFURAM	INSECTICIDA	Uso restringido por MAG desde 2009
7	LATIGO CLORPIRIFOS-CIPERMETRINA	INSECTICIDA	registrado en MAG
8	ALDICARB	INSECTICIDA	REGISTRADO EN MAG
9	GLIFOSATO	HERBICIDA	REGISTRADO
10	2,4-D	HERBICIDA	REGISTRADO
11	BLINDAJE IMIDACLOPRID-THIODICARB	INSECTICIDA	Registrado en MAG
12	DDT	INSECTICIDA	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
13	LEPTOFOS	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
14	ETIL PARATION	INSECTICIDA	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000

Cuadro N° 8. Continuación

15	ENDRIN	INSECTICIDA	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
16	DIELDRIN	INSECTICIDA	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
17	ALDRIN	INSECTICIDA	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
18	HEPTACLORO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
19	CLORDINEFORM	-----	Prohibida su importación a partir del 12 de Dic. 2000.
20	TOXAFENO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
21	HEXACLOROBENCENO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
22	CLORDECOM	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
23	ARSENICALES	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
24	FLUORACETATO DE SODIO (MATARRATAS)	RODENTICIDA	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
25	DIBROMO CLORO PROPANO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
26	CLOROFLUOROCARBONOS	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
27	DODECACLORO (MIREX)	HORMIGUICIDA /ZOMPOPICIDA	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
28	2,4,5 T	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000

Cuadro N° 8. Continuación

29	DIBROMURO DE ETILENO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
30	CAPTAFOL	-----	Prohibida su importación a partir del 12 de Dic. 2000.
31	PENTACLOROFENOL	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
32	HCH	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
33	FOSFAMIDON	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
34	MONOCROTOFOS	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
35	QUINTOZENO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
36	1,2 DIBROMOCETANO/ 1,2 Dibromoethane	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
37	CANFENO CLORADO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
38	LINDANO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
39	CIANURO DE SODIO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
40	DINOSEB Y SALES DE DINOSEB	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
41	CLORDANO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
42	DAMINOZIDE	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000

Cuadro N° 8. Continuación

43	COMPUESTO DE MERCURIO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
44	CLOROBENCILATO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
45	FLUORACETAMIDA	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
46	CLORPIRIFOS	INSECTICIDA	Uso restringido por MAG desde 2009
47	TERBUFOS	INSECTICIDA	Uso restringido por MAG desde 2009
48	FORATO	-----	Uso restringido por MAG desde 2009
49	DIMETOATO	-----	Prohibido MAG a partir del 27 Jun. 2000
	BIFENIL	-----	Se permite la importación de 25 gramos en peso o volumen, como cantidad limite.

Tabla N° 16. Composición de agroquímicos utilizado en el cultivo de *C. longirostrata* (Chipilín). (14)(51)

PRODUCTO AGROQUIMICO	COMPOSICION
Imidacloprid	<p>Ingrediente activo: Imidacloprid: 1-(6-cloro-3-ilmetil)-N-nitroimidazolidin-2-ilidenamina No menos de :..... 70.0 % (Equivalente a 700 g de I.A./Kg) Ingredientes inertes: No más de:..... 30.0 % Total:100.0 %</p>
Carbendazim	<p>Ingrediente activo: Carbandazim: Metilbenzimidazol-2-ilcarbamato No menos de: 43.0 % (Equivalente a 511 g de I.A./L) Ingredientes inertes: Dispersantes, emulsificante, humectante antiespumante, adherente, anticongelante, agua y compuestos relacionados No más de: 57.0 % Total:100.0 %</p>
N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, Fe, Mn, B, Cu, Zn, Co, Mo, S, Mg, Ca.	<p>Nitrógeno total (N)11.470 % Fosforo (P₂O₅).....8.000 % Azufre (S).....0.230 % Potasio como (K₂O).....6.000 % Calcio (CaO).....0.025 % Boro (B).....0.036 % Cobre (Cu)0.040 % Manganeso (Mn)..... 0.036 % Hierro (Fe)..... 0.050 % Zinc (Zn).....0.080 %</p>

Tabla N° 16. Continuación

NOMBRE QUIMICO	COMPOSICION
NPK 15-15-15	Nitrógeno total (N)..... 15.0 % Fosforo (P ₂ O ₂)..... 15.0 % Potasio (K ₂ O)..... 15.0 % Azufre (S)..... 10.0 %
Sulfato de Potasio	Nutrientes principales Potasio (K ₂ O)..... 50 - 53 % Azufre (S)..... 17 – 18 % Nombre químico: Sulfato de potasio Formula química: K ₂ SO ₄
Rienda	Ingrediente activo: (S)-α-cyano-3-phenoxybenzyl (1R, 3R)- 3-(2,2-dibromovinil)-2,2 dimetilciclopropanocarboxilato 1.20 % 0,0-dietil 0-1-fenil-1H-1,2,4-triazol-3-ylfosforotionato..... 20.00 % Ingredientes inertes 78.80 % Solvente: solvesso 100 Total..... 100. 00 %
O,S-dimethyl phosphoramidothionate	Ingrediente activo: Metamidofos: O, S-Dimetil fosforoamidotioato. No menos de 48.3 % (Equivalente a 600 g de I.A/L) Ingredientes inertes: Solvente, emulsificante y compuestos relacionados No más de 51.7 % Total: 100.0 %

Tabla N° 16. Continuación

NOMBRE QUIMICO	COMPOSICION
Urea	Porcentaje en peso <i>Nitrógeno (N)..... 44.0 %</i>
Micromix	Azufre.....12.500 % Hierro 12.500 % Zinc7.500 % Manganeso.....1.200 % Cobre0.600 % Boro.....0.100 % Cobalto 0.014 %
Metalosato	Nitrógeno total (N).....43.70 g/L Magnesio (Mg)..... ..11.42 g/L Cobre (Cu) 3.13 g/L Hierro (Fe) 3.40 g/L Zinc (Zn).....14.79 g/L Manganeso (Mn).....28.73 g/L Boro soluble (B)..... 0.40 g/L Carbono orgánico (C)..... 29.20 g/L
Sulfito de 1,2,3,4,7,7-hexacloro biciclo (2,2,1)-2-hepteno5,6-bis-oximetileno	Ingrediente activo: Endosulfan:6,7,8,9,10,10-Hexacloro-1,5,5 ^a ,6,9,9-Hexahidro-6,9-etano-2,4,3-benzodioxatiepín-3-oxido (Equivalente a 378 g de I.A/L a 20 °C No menos de: 35.00 % Ingredientes inertes : Solvente, emulsificante, estabilizante y compuestos relacionados No más de: 65.00 % Total:100.00 %

Tabla N° 16. Continuación

PRODUCTO AGROQUIMICO	COMPOSICION
Antracol	<p>Ingrediente activo: Propined: propilenbis (ditiocarbamato) polimerico de zinc 70.0 % (Equivalente a 700 g de I.A/Kg)</p> <p>Ingredientes inertes: Humectante, estabilizante, agente dispersante, antiglutinante, acarreador..... 30.0 % Total: 100.0 %</p>
Imidacloprid	<p>Ingrediente activo: Imidacloprid: 1-(6-cloro-3-piridin-3-ilmetil)-N-nitroimidazolidin-2-lidenamina. No menos de 30.20 % (Equivalente a 350 g I.A./L)</p> <p>Ingredientes inertes: Diluyente, dispersante y espesante No más de: 69.80 % Total: 100.00 %</p>
Metiocarb (Mercaotodimetur (ISO))	<p>Ingrediente activo: Metiobarbamato: 500 g/L 4-metiltio-3,5 xilil metilcarbamato, formulación a 20 °C Ingredientes aditivos..... c.s.p. 1 L</p>

ANEXO N° 12

CLASIFICACIÓN Y CONCEPTOS DE SUELOS POR DIVISIÓN
POLITICA DE EL SALVADOR: DEPARTAMENTOS SONSONATE Y LA
LIBERTAD. (47)

Pedología de El Salvador delimitada a las áreas territoriales en la que se desarrolló la investigación.

¿Qué es Pedología? Es el estudio de los suelos en su ambiente natural, es considerada también como una rama de la geografía que estudia el suelo en lo concerniente a la pedogénesis (origen de los suelos, su formación), clasificación, morfología, taxonomía, y también su relación e interacción con el resto de los factores geográficos.

Clasificación de los suelos: Existen diversos sistemas de clasificación de los suelos. La acción conjunta de los factores que condicionan la formación y evolución del suelo conduce al desarrollo de diferentes perfiles o tipos de suelos. La clasificación de los mismos puede basarse en diferentes criterios, en los que se puede mencionar:

- Características intrínsecas del suelo, dependientes de los procesos genéticos que los desarrollan.
- Propiedades del suelo como permeabilidad, salinidad, composición y que se relacionan estrechamente con los factores de formación.
- Según su aptitud para diferentes usos, fundamentalmente agrícolas.

Los órdenes presentes en los suelos de El Salvador en los lugares de la zona Central y Occidental de dicho estudio son los siguientes:

- **Aluviales:** Son suelos de material transportados o depositados en la planicie costera y valles interiores. Son aluviones estratificados de textura variable. Son suelos resientes o de resiente deposición y carecen de modificaciones de los agentes externos (agua y clima). Se ubican en áreas ligeramente inclinadas o casi a nivel de la planicie costera y valles

interiores en donde el manto freático está cerca de la superficie y el drenaje por lo general es pobre. Son suelos de alta productividad permitiendo agricultura intensiva y mecanizada, aptos para toda clase de cultivos. Es factible el uso de riego.

- **Andisoles:** Suelos originados de cenizas volcánicas, de distintas épocas y en distintas partes del país, tienen por lo general un horizonte superficial entre 20 y 40 centímetros de espesor, de color oscuro, textura franca y estructura granular. Su capacidad de producción es alta a muy alta productividad, según la topografía son aptos para una agricultura intensiva mecanizada para toda clase de cultivos.
- **Latosoles arcillo-rojizos:** Suelos arcillosos de color rojizo en lomas y montañas. Son bien desarrollados con estructura en forma de bloques con un color generalmente rojo aunque algunas veces se encuentran amarillentos o cafésosos. Esta coloración se debe a la presencia de minerales de hierro de distintos tipos y grados de oxidación. La textura superficial es franco arcilloso y el subsuelo arcilloso. La profundidad promedio es de un metro aunque en algunos sitios se observa afloración de roca debido a los procesos de erosión. La fertilidad puede ser alta en terrenos protegidos pudiéndose utilizar maquinaria agrícola cuando la pendiente es moderada. Son suelos aptos para casi todos los cultivos.
- **Litosoles:** suelos de muy poca profundidad sobre roca pura, son suelos muy complejos. La mayoría son suelos cuyos horizontes superficiales han sido truncados a causa de una severa erosión laminar o sea que la erosión ocurre en láminas y no en forma de cárcavas, son suelos arcillosos como los Latosoles pero muy superficiales. Las texturas varían de gruesa, arenas y gravas hasta muy pedregosos sobre la roca dura. El usos

potencial es muy pobre de bajo rendimiento. Sin embargo en algunos lugares muy pedregosos por la gran cantidad de piedras reduce la erosión, por lo cual pudieran generar buenos rendimientos por mata si el cultivo se hace con chuzo.

Cuadro N° 18. División geográfica de los departamentos de La Libertad y Sonsonate basado en la Pedología que estos presentan.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	CANTÓN	PEDOLOGÍA
LA LIBERTAD	Ciudad Arce	San Andrés	Latosoles Arcillo Rojizos, Aluviales
	Ciudad Arce	Zapotitan	Latosoles Arcillo Rojizos, Aluviales, Litosoles
	Colón	Entre Ríos	Aluviales
SONSONATE	Izalco	Las Tres ceibas	Andisoles, Aluviales
	Nahuizalco	Tajcuilujlan	Andisoles
	Nahuizalco	Tajcuilujlan	Andisoles

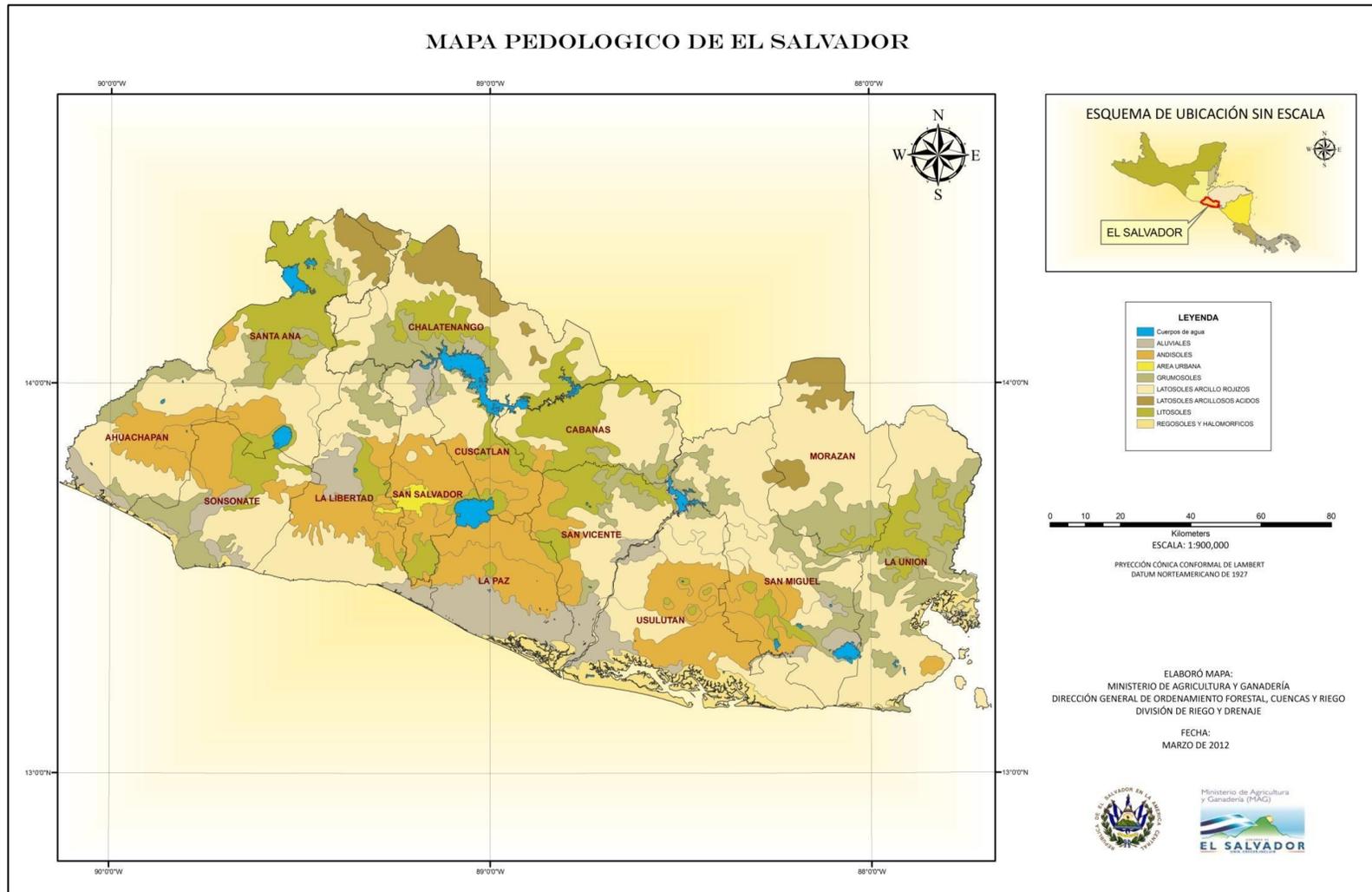


Figura N° 43. Mapa pedológico de El Salvador

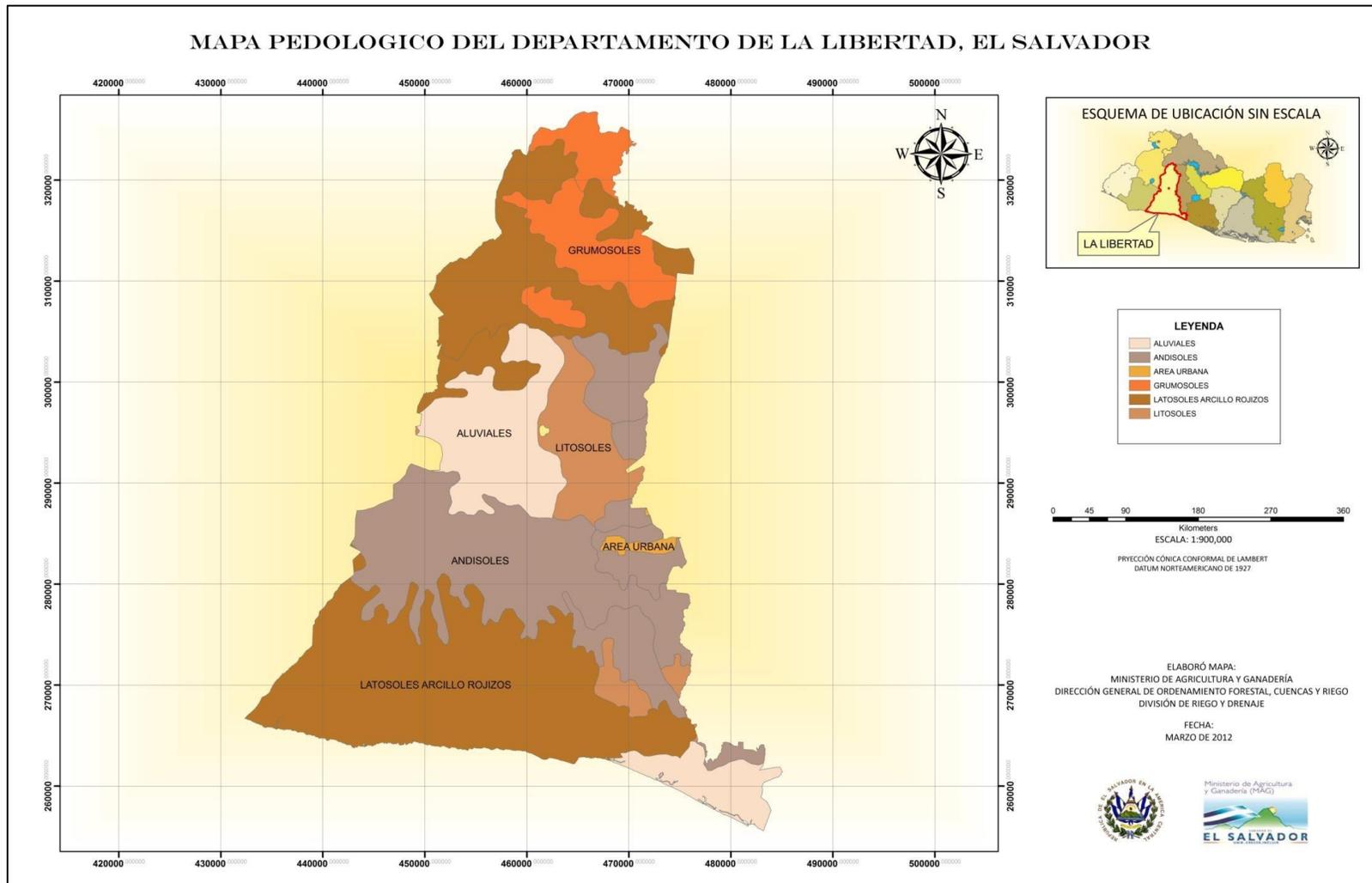


Figura N° 44. Mapa pedológico del Departamento de La Libertad.

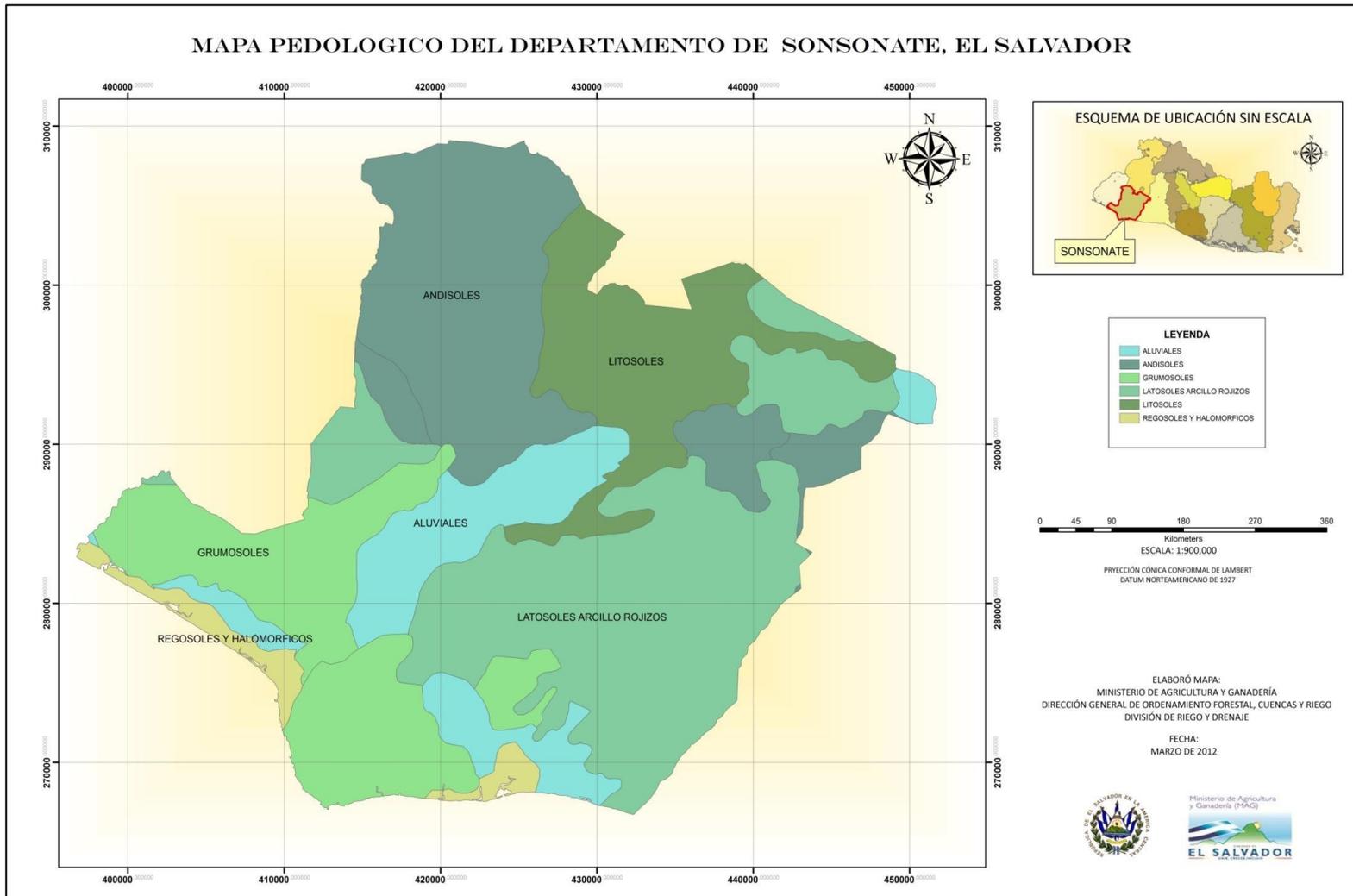


Figura N° 45 Mapa pedológico del Departamento de Sonsonate.

ANEXO N° 13

ANALISIS DE VARIANZA DE LAS CONCENTRACIONES PROMEDIO
DE PLOMO, ARSENICO, HIERRO, COBRE Y ZINC.

Las pruebas de rango Post hoc identifican subconjuntos homogéneos de medias que no se diferencian entre sí, las comparaciones múltiples por parejas contrastan la diferencia entre cada pareja de medias y generan una matriz donde los asteriscos indican las medias de grupo significativamente diferentes a un nivel de error de 0.05 y con un nivel de confianza del 95%.

Tabla N° 18. Comparaciones múltiples de las concentraciones promedio de plomo (Pb) por productor.

(I) Productor	(J) Productores	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
DMS	1.0	2.0	.9413800*	.0640280	.000	.815008	1.067752
		3.0	.9595733*	.0640280	.000	.833202	1.085945
		_ 4.0	1.1640433*	.0640280	.000	1.037672	1.290415
		5.0	-.6467433*	.0640280	.000	-.773115	-.520372
		6.0	.4380967*	.0640280	.000	.311725	.564468
	2.0	1.0	-.9413800*	.0640280	.000	-1.06775	-.815008
		3.0	.0181933	.0640280	.777	-.108178	.144565
		_ 4.0	.2226633*	.0640280	.001	.096292	.349035
		5.0	-1.588123*	.0640280	.000	-1.71450	-1.46175
		6.0	-.5032833*	.0640280	.000	-.629655	-.376912
	3.0	1.0	-.9595733*	.0640280	.000	-1.08595	-.833202
		2.0	-.0181933	.0640280	.777	-.144565	.108178
		_ 4.0	.2044700*	.0640280	.002	.078098	.330842
		5.0	-1.606317*	.0640280	.000	-1.73269	-1.47995
		6.0	-.5214767*	.0640280	.000	-.647848	-.395105
	4.0	1.0	-1.164043*	.0640280	.000	-1.29042	-1.03767
		2.0	-.2226633*	.0640280	.001	-.349035	-.096292
		_ 3.0	-.2044700*	.0640280	.002	-.330842	-.078098
		5.0	-1.810787*	.0640280	.000	-1.93716	-1.68442
		6.0	-.7259467*	.0640280	.000	-.852318	-.599575

Tabla N° 18. Continuación

Bonferroni	5.0	1.0	.6467433*	.0640280	.000	.520372	.773115
		3.0	1.5881233*	.0640280	.000	1.461752	1.714495
		_ 4.0	1.6063167*	.0640280	.000	1.479945	1.732688
		5.0	1.8107867*	.0640280	.000	1.684415	1.937158
		6.0	1.0848400*	.0640280	.000	.958468	1.211212
		6.0	-1.0848400*	.0640280	.000	-1.211212	-1.211212
	1.0	2.0	.9413800*	.0640280	.000	.750815	1.131945
		3.0	.9595733*	.0640280	.000	.769009	1.150138
		_ 4.0	1.1640433*	.0640280	.000	.973479	1.354608
		5.0	-.6467433*	.0640280	.000	-.837308	-.456179
		6.0	.4380967*	.0640280	.000	.247532	.628661
		6.0	-.4380967*	.0640280	.000	-.247532	-.628661
2.0	1.0	-.9413800*	.0640280	.000	-1.13195	-.750815	
	3.0	.0181933	.0640280	1.000	-.172371	.208758	
	_ 4.0	.2226633*	.0640280	.010	.032099	.413228	
	5.0	-1.588123*	.0640280	.000	-1.77869	-1.39769	
	6.0	-.5032833*	.0640280	.000	-.693848	-.312719	
	6.0	.5032833*	.0640280	.000	.693848	.312719	
3.0	1.0	-.9595733*	.0640280	.000	-1.15014	-.769009	
	2.0	-.0181933	.0640280	1.000	-.208758	.172371	
	_ 4.0	.2044700*	.0640280	.025	.013905	.395035	
	5.0	-1.606317*	.0640280	.000	-1.79688	-1.41575	
	6.0	-.5214767*	.0640280	.000	-.712041	-.330912	
	6.0	.5214767*	.0640280	.000	.712041	.330912	
4.0	1.0	-1.164043*	.0640280	.000	-1.35461	-.973479	
	2.0	-.2226633*	.0640280	.010	-.413228	-.032099	
	_ 3.0	-.2044700*	.0640280	.025	-.395035	-.013905	
	5.0	-1.810787*	.0640280	.000	-2.00135	-1.62022	
	6.0	-.7259467*	.0640280	.000	-.916511	-.535382	
	6.0	.7259467*	.0640280	.000	.916511	.535382	
5.0	1.0	.6467433*	.0640280	.000	.456179	.837308	
	3.0	1.5881233*	.0640280	.000	1.397559	1.778688	
	_ 4.0	1.6063167*	.0640280	.000	1.415752	1.796881	
	5.0	1.8107867*	.0640280	.000	1.620222	2.001351	
	6.0	1.0848400*	.0640280	.000	.894275	1.275405	
	6.0	-1.0848400*	.0640280	.000	-.894275	-1.275405	

Tabla N° 18. Continuación

6.0	1.0	-.4380967*	.0640280	.000	-.628661	-.247532
	2.0	.5032833*	.0640280	.000	.312719	.693848
	_ 4.0	.5214767*	.0640280	.000	.330912	.712041
	5.0	.7259467*	.0640280	.000	.535382	.916511
	6.0	-1.084840*	.0640280	.000	-1.27541	-.894275

* La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05

Tabla N° 19. Comparaciones múltiples de las concentraciones promedio de arsénico (As) por productor.

	(I) Productor	(J) Productores	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
DMS	1.0	2.0	.9413800*	.0640280	.000	.815008	1.067752
		3.0	.9595733*	.0640280	.000	.833202	1.085945
		_ 4.0	1.1640433*	.0640280	.000	1.037672	1.290415
		5.0	-.6467433*	.0640280	.000	-.773115	-.520372
		6.0	.4380967*	.0640280	.000	.311725	.564468
	2.0	1.0	-.9413800*	.0640280	.000	-1.06775	-.815008
		3.0	.0181933	.0640280	.777	-.108178	.144565
		_ 4.0	.2226633*	.0640280	.001	.096292	.349035
		5.0	-1.588123*	.0640280	.000	-1.71450	-1.46175
		6.0	-.5032833*	.0640280	.000	-.629655	-.376912
	3.0	1.0	-.9595733*	.0640280	.000	-1.08595	-.833202
		2.0	-.0181933	.0640280	.777	-.144565	.108178
		_ 4.0	.2044700*	.0640280	.002	.078098	.330842
		5.0	-1.606317*	.0640280	.000	-1.73269	-1.47995
		6.0	-.5214767*	.0640280	.000	-.647848	-.395105
	4.0	1.0	-1.164043*	.0640280	.000	-1.29042	-1.03767
		2.0	-.2226633*	.0640280	.001	-.349035	-.096292
		_ 3.0	-.2044700*	.0640280	.002	-.330842	-.078098
5.0		-1.810787*	.0640280	.000	-1.93716	-1.68442	
6.0		-.7259467*	.0640280	.000	-.852318	-.599575	

Tabla N° 19. Continuación

Bonferroni	5.0	1.0	.6467433*	.0640280	.000	.520372	.773115	
		3.0	1.5881233*	.0640280	.000	1.461752	1.714495	
		_ 4.0	1.6063167*	.0640280	.000	1.479945	1.732688	
		5.0	1.8107867*	.0640280	.000	1.684415	1.937158	
		6.0	1.0848400*	.0640280	.000	.958468	1.211212	
		6.0	-1.0848400*	.0640280	.000	-1.211212	-1.211212	
	1.0	2.0	2.0	.9413800*	.0640280	.000	.750815	1.131945
			3.0	.9595733*	.0640280	.000	.769009	1.150138
			_ 4.0	1.1640433*	.0640280	.000	.973479	1.354608
			5.0	-.6467433*	.0640280	.000	-.837308	-.456179
			6.0	.4380967*	.0640280	.000	.247532	.628661
			6.0	-.4380967*	.0640280	.000	-.247532	-.628661
2.0	3.0	1.0	-.9413800*	.0640280	.000	-1.13195	-.750815	
		3.0	.0181933	.0640280	1.000	-.172371	.208758	
		_ 4.0	.2226633*	.0640280	.010	.032099	.413228	
		5.0	-1.588123*	.0640280	.000	-1.77869	-1.39769	
		6.0	-.5032833*	.0640280	.000	-.693848	-.312719	
		6.0	.5032833*	.0640280	.000	.693848	.312719	
3.0	4.0	1.0	-.9595733*	.0640280	.000	-1.15014	-.769009	
		2.0	-.0181933	.0640280	1.000	-.208758	.172371	
		_ 4.0	.2044700*	.0640280	.025	.013905	.395035	
		5.0	-1.606317*	.0640280	.000	-1.79688	-1.41575	
		6.0	-.5214767*	.0640280	.000	-.712041	-.330912	
		6.0	.5214767*	.0640280	.000	.712041	.330912	
4.0	5.0	1.0	-1.164043*	.0640280	.000	-1.35461	-.973479	
		2.0	-.2226633*	.0640280	.010	-.413228	-.032099	
		_ 3.0	-.2044700*	.0640280	.025	-.395035	-.013905	
		5.0	-1.810787*	.0640280	.000	-2.00135	-1.62022	
		6.0	-.7259467*	.0640280	.000	-.916511	-.535382	
		6.0	.7259467*	.0640280	.000	.916511	.535382	
5.0	6.0	1.0	.6467433*	.0640280	.000	.456179	.837308	
		3.0	1.5881233*	.0640280	.000	1.397559	1.778688	
		_ 4.0	1.6063167*	.0640280	.000	1.415752	1.796881	
		5.0	1.8107867*	.0640280	.000	1.620222	2.001351	
		6.0	1.0848400*	.0640280	.000	.894275	1.275405	
		6.0	-1.0848400*	.0640280	.000	-.894275	-1.275405	

Tabla N° 19. Continuación

4.0	1.0	-1.164043*	.0640280	.000	-1.35461	-.973479
	2.0	-.2226633*	.0640280	.010	-.413228	-.032099
	_ 3.0	-.2044700*	.0640280	.025	-.395035	-.013905
	5.0	-1.810787*	.0640280	.000	-2.00135	-1.62022
	6.0	-.7259467*	.0640280	.000	-.916511	-.535382
5.0	1.0	.6467433*	.0640280	.000	.456179	.837308
	3.0	1.5881233*	.0640280	.000	1.397559	1.778688
	_ 4.0	1.6063167*	.0640280	.000	1.415752	1.796881
	5.0	1.8107867*	.0640280	.000	1.620222	2.001351
	6.0	1.0848400*	.0640280	.000	.894275	1.275405
6.0	1.0	-.4380967*	.0640280	.000	-.628661	-.247532
	2.0	.5032833*	.0640280	.000	.312719	.693848
	_ 4.0	.5214767*	.0640280	.000	.330912	.712041
	5.0	.7259467*	.0640280	.000	.535382	.916511
	6.0	-1.084840*	.0640280	.000	-1.27541	-.894275

* La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05

Tabla N° 20. Comparaciones múltiples de las concentraciones promedio de hierro (Fe) por productor.

	(I) Productor	(J) Productores	Diferencia de medias (I- J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
DMS	1.0	2.0	25.7924067*	4.3119767	.000	17.281895	34.302918
		3.0	43.2595133*	4.3119767	.000	34.749002	51.770025
		_ 4.0	29.5693367*	4.3119767	.000	21.058825	38.079848
		5.0	4.4517167	4.3119767	.303	-4.058795	12.962228
		6.0	26.3156667*	4.3119767	.000	17.805155	34.826178
	2.0	1.0	-25.792407*	4.3119767	.000	-34.30292	-17.28190
		3.0	17.467107*	4.3119767	.000	8.956595	25.977618
		_ 4.0	3.7769300	4.3119767	.382	-4.733582	12.287442
		5.0	-21.340690*	4.3119767	.000	-29.85120	-12.83018
		6.0	.5232600	4.3119767	.904	-7.987252	9.033772

Tabla N° 20. Continuación

Bonferroni	3.0	1.0	-43.259513*	4.3119767	.000	-51.77003	-34.74900	
		2.0	-17.467107*	4.3119767	.000	-25.97762	-8.956595	
		_ 4.0	-13.690177*	4.3119767	.002	-22.20069	-5.179665	
		5.0	-38.807797*	4.3119767	.000	-47.31831	-30.29729	
		6.0	-16.943847*	4.3119767	.000	-25.45436	-8.433335	
		4.0	1.0	-29.569337*	4.3119767	.000	-38.07985	-21.05883
	4.0	2.0	-3.7769300	4.3119767	.382	-12.28744	4.733582	
		_ 3.0	13.6901767*	4.3119767	.002	5.179665	22.200688	
		5.0	-25.117620*	4.3119767	.000	-33.62813	-16.60712	
		6.0	-3.2536700	4.3119767	.452	-11.76418	5.256842	
		5.0	1.0	-4.4517167	4.3119767	.303	-12.96223	4.058795
		5.0	2.0	21.3406900*	4.3119767	.000	12.830178	29.851202
	_ 3.0		38.8077967*	4.3119767	.000	30.297285	47.318308	
	4.0		25.1176200*	4.3119767	.000	16.607108	33.628132	
	6.0		21.8639500*	4.3119767	.000	13.353438	30.374462	
	6.0		1.0	-26.315667*	4.3119767	.000	-34.82618	-17.80516
	6.0		2.0	-.5232600	4.3119767	.904	-9.033772	7.987252
		_ 3.0	16.9438467*	4.3119767	.000	8.433335	25.454358	
4.0		3.2536700	4.3119767	.452	-5.256842	11.764182		
5.0		-21.863950*	4.3119767	.000	-30.37446	-13.35344		
1.0		2.0	25.7924067*	4.3119767	.000	12.958791	38.626022	
		3.0	43.2595133*	4.3119767	.000	30.425898	56.093129	
	_ 4.0	29.5693367*	4.3119767	.000	16.735721	42.402952		
	5.0	4.4517167	4.3119767	1.000	-8.381899	17.285332		
	6.0	26.3156667*	4.3119767	.000	13.482051	39.149282		
	2.0	1.0	-25.792407*	4.3119767	.000	-38.62602	-12.95879	
3.0		17.4671067*	4.3119767	.001	4.633491	30.300722		
_ 4.0		3.7769300	4.3119767	1.000	-9.056686	16.610546		
5.0		-21.340690*	4.3119767	.000	-34.17431	-8.507074		
6.0		.5232600	4.3119767	1.000	-12.31036	13.356876		
3.0		1.0	-43.259513*	4.3119767	.000	-56.09313	-30.42590	
	2.0	-17.467107*	4.3119767	.001	-30.30072	-4.633491		
	_ 4.0	-13.690177*	4.3119767	.027	-26.52379	-.856561		
	5.0	-38.807797*	4.3119767	.000	-51.64141	-25.97418		
	6.0	-16.943847*	4.3119767	.002	-29.77746	-4.110231		

Tabla N° 20. Continuación

4.0	1.0	-29.569337*	4.3119767	.000	-42.40295	-16.73572
	2.0	-3.7769300	4.3119767	1.000	-16.61055	9.056686
	_ 3.0	13.6901767*	4.3119767	.027	.856561	26.523792
	5.0	-25.117620*	4.3119767	.000	-37.95124	-12.28400
	6.0	-3.253670	4.311977	1.000	-16.08729	9.579946
	5.0	1.0	-4.4517167	4.3119767	1.000	-17.28533
2.0		21.340690*	4.3119767	.000	8.507074	34.174306
_ 3.0		38.8077967*	4.3119767	.000	25.974181	51.641412
4.0		25.1176200*	4.3119767	.000	12.284004	37.951236
6.0		21.8639500*	4.3119767	.000	9.030334	34.697566
6.0		1.0	-26.315666*	4.3119767	.000	-39.14928
	2.0	-.5232600	4.3119767	1.000	-13.35688	12.310356
	_ 3.0	16.9438467*	4.3119767	.002	4.110231	29.777462
	4.0	3.2536700	4.3119767	1.000	-9.579946	16.087286
	5.0	-21.863950*	4.3119767	.000	-34.69757	-9.030334

* La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05

Tabla N° 21. Comparaciones múltiples de las concentraciones promedio de cobre (Cu) por productor.

	(I) Productor	(J) Productores	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
DMS	1.0	2.0	-2.599673*	.1876336	.000	-2.97000	-2.22934
		3.0	.4881900*	.1876336	.010	.117859	.858521
		_ 4.0	.5305233*	.1876336	.005	.160193	.900854
		5.0	.0024900	.1876336	.989	-.367841	.372821
		6.0	2.3174833*	.1876336	.000	1.947153	2.687814
		2.0	1.0	2.5996733*	.1876336	.000	2.229343
	3.0		3.0878633*	.1876336	.000	2.717533	3.458194
	_ 4.0		3.1301967*	.1876336	.000	2.759866	3.500527
	5.0		2.6021633*	.1876336	.000	2.231833	2.972494
	6.0		4.9171567*	.1876336	.000	4.546826	5.287487

Tabla N° 21. Continuación

Bonferroni	3.0	1.0	-4881900*	.1876336	.010	-858521	-.117859
		2.0	-3.087863*	.1876336	.000	-3.45819	-2.71753
		_ 4.0	.0423333	.1876336	.822	-.327997	.412664
		5.0	-4857000*	.1876336	.010	-.856031	-.115369
		6.0	1.8292933*	.1876336	.000	1.458963	2.199624
		4.0	1.0	-5305233*	.1876336	.005	-.900854
	2.0	-3.130197*	.1876336	.000	-3.50053	-2.75987	
	_ 3.0	-.0423333	.1876336	.822	-.412664	.327997	
	5.0	-5280333*	.1876336	.005	-.898364	-.157703	
	6.0	1.7869600*	.1876336	.000	1.416629	2.157291	
	5.0	1.0	-.0024900	.1876336	.989	-.372821	.367841
	3.0	-2.602163*	.1876336	.000	-2.97249	-2.23183	
	_ 4.0	.4857000*	.1876336	.010	.115369	.856031	
	5.0	.5280333*	.1876336	.005	.157703	.898364	
	6.0	2.3149933*	.1876336	.000	1.944663	2.685324	
	6.0	1.0	-2.317483*	.1876336	.000	-2.68781	-1.94715
	2.0	-4.917157*	.1876336	.000	-5.28749	-4.54683	
	_ 4.0	-1.829293*	.1876336	.000	-2.19962	-1.45896	
5.0	-1.786960*	.1876336	.000	-2.15729	-1.41663		
6.0	-2.314993*	.1876336	.000	-2.68532	-1.94466		
1.0	2.0	-2.599673*	.1876336	.000	-3.15812	-2.04123	
3.0	.4881900*	.1876336	.010	-.070259	1.046639		
_ 4.0	.5305233*	.1876336	.010	-.027925	1.088972		
5.0	.0024900	.1876336	1.000	-.555959	.560939		
6.0	2.3174833*	.1876336	.000	1.759035	2.875932		
2.0	1.0	2.5996733*	.1876336	.000	2.041225	3.158122	
3.0	3.0878633*	.1876336	.000	2.529415	3.646312		
_ 4.0	3.1301967*	.1876336	.000	2.571748	3.688645		
5.0	2.6021633*	.1876336	.000	2.043715	3.160612		
6.0	4.9171567*	.1876336	.000	4.358708	5.475605		
3.0	1.0	-4881900*	.1876336	.010	-1.04664	.070259	
2.0	-3.087863*	.1876336	.000	-3.64631	-2.52942		
_ 4.0	.0423333	.1876336	1.000	-.516115	.600782		
5.0	-4857000*	.1876336	.000	-1.04415	.072749		
6.0	1.8292933*	.1876336	.000	1.270845	2.387742		

Tabla N° 22. Continuación

4.0	1.0	-5305233*	.1876336	.010	-1.08897	.027925
	2.0	-3.130197*	.1876336	.000	-3.68865	-2.57175
	_ 3.0	-.0423333	.1876336	1.000	-.600782	.516115
	5.0	-.5280333*	.1876336	.000	-1.08648	.030415
	6.0	1.7869600*	.1876336	.000	1.228511	2.345409
5.0	1.0	-.0024900	.1876336	1.000	-.560939	.555959
	2.0	-2.602163*	.1876336	.000	-3.16061	-2.04372
	_ 3.0	.4857000*	.1876336	.000	-.072749	1.044149
	4.0	.5280333*	.1876336	.000	-.030415	1.086482
	6.0	2.3149933*	.1876336	.000	1.756545	2.873442
6.0	1.0	-2.317483*	.1876336	.000	-2.87593	-1.75904
	2.0	-4.917157*	.1876336	.000	-5.47561	-4.35871
	_ 4.0	-1.829293*	.1876336	.000	-2.38774	-1.27085
	5.0	-1.786960*	.1876336	.000	-2.34541	-1.22851
	6.0	-2.314993*	.1876336	.000	-2.87344	-1.75655

* La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05

Tabla N° 23. Comparaciones múltiples de las concentraciones promedio de zinc (Zn) por productor.

(I) Productor	(J) Productores	Diferencia de medias (I- J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
DMS	1.0	2.0	-30.610997*	1.3275725	.000	-33.23122	-27.99078
		3.0	-9.982407*	1.3275725	.000	-12.60263	-7.362188
		_ 4.0	-7.4435300*	1.3275725	.000	-10.06375	-4.823311
		5.0	-10.652417*	1.3275725	.000	-13.27264	-8.032198
		6.0	4.9371033*	1.3275725	.000	2.316885	7.557322
	2.0	1.0	30.6109967*	1.3275725	.000	27.990778	33.231215
		3.0	20.6285900*	1.3275725	.000	18.008371	23.248809
		_ 4.0	23.1674667*	1.3275725	.000	20.547248	25.787685
		5.0	19.9585800*	1.3275725	.000	17.338361	22.578799
		6.0	35.5481000*	1.3275725	.000	32.927881	38.168319

Tabla N° 23. Continuación

Bonferroni	3.0	1.0	9.9824067*	1.3275725	.000	7.362188	12.602625	
		2.0	-20.628590*	1.3275725	.000	-23.24881	-18.00837	
		_ 4.0	2.5388767	1.3275725	.057	-.081342	5.159095	
		5.0	-.6700100	1.3275725	.614	-3.290229	1.950209	
		6.0	14.9195100*	1.3275725	.000	12.299291	17.539729	
		4.0	1.0	7.4435300*	1.3275725	.000	4.823311	10.063749
	4.0	2.0	-23.167467*	1.3275725	.000	-25.78769	-20.54725	
		_ 3.0	-2.5388767	1.3275725	.057	-5.159095	.081342	
		5.0	-3.2088867	1.3275725	.087	-5.829105	-.588668	
		6.0	12.3806333*	1.3275725	.000	9.760415	15.000852	
		5.0	1.0	10.6524167*	1.3275725	.000	8.032198	13.272635
		5.0	2.0	-19.958580*	1.3275725	.000	-22.57880	-17.33836
	_ 3.0		.6700100	1.3275725	.614	-1.950209	3.290229	
	4.0		3.2088867	1.3275725	.087	.588668	5.829105	
	6.0		15.5895200*	1.3275725	.000	12.969301	18.209739	
	6.0		1.0	-4.9371033*	1.3275725	.000	-7.557322	-2.316885
	6.0		2.0	-35.548100*	1.3275725	.000	-38.16832	-32.92788
		_ 3.0	-14.919510*	1.3275725	.000	-17.53973	-12.29929	
4.0		-12.380633*	1.3275725	.000	-15.00085	-9.760415		
5.0		-15.589520*	1.3275725	.000	-18.20974	-12.96930		
1.0		2.0	-30.610997*	1.3275725	.000	-34.56221	-26.65978	
1.0		3.0	-9.982407*	1.3275725	.000	-13.93362	-6.031190	
	_ 4.0	-7.4435300*	1.3275725	.000	-11.39475	-3.492313		
	5.0	-10.652417*	1.3275725	.000	-14.60363	-6.701200		
	6.0	4.9371033*	1.3275725	.004	.985886	8.888320		
	2.0	1.0	30.6109967*	1.3275725	.000	26.659780	34.562214	
	2.0	3.0	20.6285900*	1.3275725	.000	16.677373	24.579807	
_ 4.0		23.1674667*	1.3275725	.000	19.216250	27.118684		
5.0		19.9585800*	1.3275725	.000	16.007363	23.909797		
6.0		35.5481000*	1.3275725	.000	31.596883	39.499317		
3.0		1.0	9.9824067*	1.3275725	.000	6.031190	13.933624	
3.0		2.0	-20.628590*	1.3275725	.000	-24.57981	-16.67737	
	_ 4.0	2.5388767	1.3275725	.862	-1.412340	6.490094		
	5.0	-.6700100	1.3275725	1.000	-4.621227	3.281207		
	6.0	14.9195100*	1.3275725	.000	10.968293	18.870727		

Tabla N° 23. Continuación

4.0	1.0	7.4435300*	1.3275725	.000	3.492313	11.394747	
	2.0	-23.167467*	1.3275725	.000	-27.11868	-19.21625	
	_ 3.0	-2.5388767	1.3275725	.862	-6.490094	1.412340	
	5.0	-3.2088867	1.3275725	.250	-7.160104	.742330	
	6.0	12.3806333*	1.3275725	.000	8.429416	16.331850	
	5.0	1.0	10.6524167*	1.3275725	.000	6.701200	14.603634
5.0	2.0	-19.958580*	1.3275725	.000	-23.90980	-16.00736	
	_ 3.0	.6700100	1.3275725	1.000	-3.281207	4.621227	
	4.0	3.2088867	1.3275725	.250	-.742330	7.160104	
	6.0	15.5895200*	1.3275725	.000	11.638303	19.540737	
	6.0	1.0	-4.9371033*	1.3275725	.004	-8.888320	-.985886
	6.0	2.0	-35.548100*	1.3275725	.000	-39.49932	-31.59688
_ 3.0		-14.919510*	1.3275725	.000	-18.87073	-10.96829	
4.0		-12.380633*	1.3275725	.000	-16.33185	-8.429416	
5.0		-15.589520*	1.3275725	.000	-19.54074	-11.63830	

* La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05