

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERAS AMBIENTALES**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN *Solanum lycopersicum*, *Solanum tubersum*, *Daucus carota*, *Lactuca sativa* MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, EN CUATRO MERCADOS DE LA CIUDAD DE QUITO**

**AUTORAS:**

**ERIKA TATIANA SIMBA SIMBA**

**MIREYA ALEXANDRA ZURITA CAIZA**

**TUTOR:**

**EDWIN FABIÁN BERSOSA VACA**

**Quito, Septiembre del 2021**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotras, Erika Tatiana Simba Simba, con documento de identificación N° 172653603-8 y Mireya Alexandra Zurita Caiza con documento de identificación N° 175144329-0, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del trabajo de titulación intitulado: EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN *Solanum lycopersicum*, *Solanum tubersum*, *Daucus carota*, *Lactuca sativa* MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, EN CUATRO MERCADOS DE LA CIUDAD DE QUITO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERAS AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Erika Tatiana Simba



.....  
Erika Tatiana Simba Simba

.....  
Mireya Alexandra Zurita Caiza

172653603-8

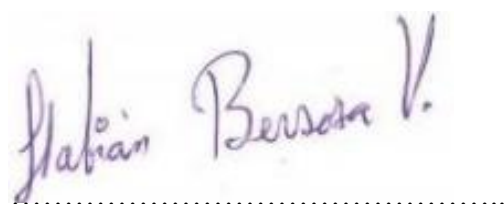
1751443290

Quito, Septiembre del 2021

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN *Solanum lycopersicum*, *Solanum tubersum*, *Daucus carota*, *Lactuca sativa* MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, EN CUATRO MERCADOS DE LA CIUDAD DE QUITO realizado por Erika Tatiana Simba Simba y Mireya Alexandra Zurita Caiza, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, Septiembre del 2021

A handwritten signature in purple ink that reads "Edwin Fabián Bersosa V.". Below the signature is a horizontal dotted line.

Edwin Fabián Bersosa Vaca

CI: 170920414-1

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo con todo mi amor a Dios y la Virgencita del Quinche por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida profesional con sabiduría y éxito, cuidándome en cada paso durante todo el proceso universitario.

A mi madrina Roció Olmedo por ser un claro ejemplo de lucha y perseverancia; brindándome su apoyo en cada etapa de mi vida, motivándome a seguir adelante con firmeza y cariño por mis sueños.

A mi familia principalmente a mis padres María Simba y Juan Simba, hermanos Mayra, Wendy, Anthony, María y Sofía, sobrina Gabriela, mis abuelitos María Simba y Segundo Simba por ser mi motivo y fortaleza para salir adelante.

A mi compañero de vida Jhonn Quezada, gracias por tu apoyo incondicional principalmente creyendo en mí y motivándome en cada semestre que curse, alegrándose de mis triunfos y crecimientos personales que se dio en todo el proceso universitario. Inmensamente agradecida con Dios por el maravilloso regalo de tenerte en mi vida.

A mis amigos Dennise Espinoza, Bryan Carrera, Michelle Herrera, David Machángara, Karen Pazmiño, Andrés Gualotuña y Vanesa Catagnia por compartir todo el proceso de la Universidad siendo más que unos amigos tanto en los mejores momentos y los peores; por haber compartido todo este ciclo de largas noches de desvelo, salidas técnicas, congresos y reuniones.

A Mireya Zurita, mi compañera de tesis y ahora una persona que considero como una amiga y espero seguir tratándola, con la que he aprendido muchas experiencias en todo el transcurso de nuestro trabajo teniendo bajas y altas, sin embargo, hemos sabido encontrar siempre una solución, admirando su paciencia.

***Erika Tatiana Simba Simba***

A Dios, por haberme dado la vida y por permitirme llegar a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis abuelitos Rebeca y Efraín, por ser las personas que me han acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida.

A mi madre Nancy, quien confió, me apoyo incondicionalmente sin importar nuestras diferencias y se sacrificó todos estos años para que pueda obtener uno de mis anhelos más deseados, gracias a ella he logrado llegar hasta aquí y convertirme en los que soy.

A mis hermanos Joel y Steven quienes siempre están dispuestos a escucharme y por estar conmigo en todo momento, los amo infinitamente.

A mis tíos Mónica e Iván, porque me han brindado su apoyo incondicional y de una u otra forma me han acompañado en mi arduo camino para convertirme en una profesional.

A mis amigos Nathaly, Thalía, Lizeth y David, que gracias a su apoyo y a su ayuda de manera desinteresada en las diferentes etapas de este proceso universitario me han ayudado a llegar hasta el final del camino, los quiero.

A Tatiana por ser mi compañera en el recorrido laborioso de este trabajo y por compartir conmigo alegrías y fracasos.

*Mireya Alexandra Zurita Caiza*

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por protegernos durante todo el desarrollo de nuestra carrera universitaria, darnos fuerzas, valor y perseverancia para culminar esta etapa de nuestras vidas.

A nuestro director de tesis Dr. Edwin Fabián Bersosa Vaca, quien con sus conocimientos, apoyo y calidad como docente mediante su amabilidad y comprensión nos guio a través de cada una de las etapas de este trabajo.

A los Ingenieros Carlos Andrés Vélez Inga, Víctor John Rueda Punina y Renato Gabriel Sánchez Proaño, por brindarnos todos los recursos y herramientas que fueron necesarias para llevar a cabo el proceso de investigación.

A nuestros familiares y amigos que fueron una base principal de apoyo y constancia durante todo el proceso de la carrera universitaria.

A la Universidad Politécnica Salesiana, en especial a la facultad de Ingeniería Ambiental, a su directora de carrera y docentes por su sabiduría, conocimiento y apoyo que nos motivaron a desarrollarnos como personas y profesionales.

Por último, a todos aquellos que nos brindaron de su ayuda y colaboraron con la realización de este proyecto, nuestros mejores deseos.

*Erika Tatiana Simba Simba*

*Mireya Alexandra Zurita Caiza*

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Delimitación .....	2
1.2.	Pregunta de investigación.....	3
1.3.	Objetivos .....	3
1.3.1	Objetivo General.....	3
1.3.1	Objetivo Específicos.....	3
1.4.	Hipótesis.....	4
1.4 .1	Hipótesis nula .....	4
1.4 .2	Hipótesis alternativa .....	4
1.4 .3	Variable de interés .....	4
1.4 .4	Variable de categorización .....	4
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	5
2.1.	Generalidades de las hortalizas .....	5
2.1.1.	Zanahoria ( <i>Daucus carota</i> ).....	5
2.1.2.	Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	5
2.1.3.	Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ).....	6
2.1.4.	Lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ) .....	6
2.2.	Generalidades de los metales pesados.....	6
2.2.1.	Cadmio (Cd).....	7
2.2.2.	Plomo (Pb) .....	7
2.2.3.	Cobre (Cu) .....	8
2.2.4.	Cobalto (Co).....	8
2.3.	Enfermedades producidas por la ingesta de alimentos contaminados. ....	9
2.3.1.	Enfermedades transmitidas por alimentos con metales pesados y su situación en Ecuador.....	9
2.4.	Técnicas de detección de metales pesados .....	12
2.4.1.	Preparación de las muestras para el análisis físico-químico .....	12
2.4.2.	Digestión.....	14
2.4.3.	Determinación de los metales objeto de estudio (EAA).....	16
2.5.	Marco legal.....	20
2.5.1	Constitución del Ecuador.....	20

2.5.2	Tratados y Convenios .....	21
2.5.3	Cumplimiento de la norma cubana de cobre, sobre contaminantes metálicos en alimentos .....	23
2.5.4	Cumplimiento de la norma de los niveles máximos permisibles de cobalto. ....	24
2.5.5	Seguridad alimentaria a nivel regional y local .....	26
2.5.6	Ley Orgánica De Consumo, Nutrición Y Salud Alimentaria .....	27
2.5.7	Normas.....	28
3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	30
3.1.	Materiales .....	30
3.2.	Metodología-Protocolo de laboratorio .....	31
3.2.1	Limpieza del material .....	31
3.2.2	Recolección de muestras .....	32
3.2.3	Preparación de las muestras.....	32
3.2.4.	Digestión de las muestras .....	33
3.2.5	Espectrofotometría de absorción atómica.....	35
3.3.	Diseño.....	37
3.3.1	Diseño experimental .....	37
3.3.2	Diseño estadístico .....	37
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
4.1.	Determinación de Cadmio.....	39
4.1.2.	Determinación de cadmio en hortalizas .....	48
4.1.3.	Análisis de cadmio entre mercados.....	52
4.1.4.	Análisis toxicológico de cadmio .....	52
4.2.	Determinación de Plomo.....	53
4.2.1.	Análisis de (ANOVA- TUKEY HSD/KRAMER) plomo en zanahoria, papa, tomate y lechuga .....	56
4.2.2.	Concentración de plomo en hortalizas .....	61
4.2.3.	Análisis de plomo entre mercados.....	65
4.2.4.	Análisis toxicológico de plomo .....	65
4.3.	Determinación de Cobre.....	66
4.3.1.	Análisis de (ANOVA- TUKEY HSD/KRAMER) cobre en zanahoria, papa, tomate y lechuga.....	69



4.3.2. Concentración de cobre en hortalizas .....	75
4.3.3. Análisis de cobre entre mercados. ....	76
4.3.4. Análisis toxicológico de cobre .....	77
4.4. Determinación de cobalto.....	77
4.4.1. Análisis de (ANOVA- TUKEY HSD/KRAMER) cobalto en la zanahoria, papa, tomate y lechuga .....	81
4.4.2. Concentración de cobalto en hortalizas .....	87
4.4.3. Análisis de cobalto entre mercados. ....	88
4.4.3. Análisis toxicológico de cobalto.....	89
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	90
5.1. Conclusiones .....	90
5.2. Recomendaciones.....	91
6. BIBLIOGRAFÍA .....	92
7. ANEXOS .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cantidad recomendada de consumo de cobre según la edad.....	11
Tabla 2: Tiempos estándares de secado .....	13
Tabla 3: Rango de las rectas de calibración.....	17
Tabla 4: Nivel máximo permisible para cadmio - Codex.....	21
Tabla 5: Nivel máximo permisible para plomo - Codex.....	22
Tabla 6: Nivel máximo permisible para cadmio – (UE).....	23
Tabla 7: Nivel máximo permisible para plomo – (UE) .....	23
Tabla 8: Niveles máximos permisibles de cobre en alimentos según la norma cubana.	24
Tabla 9: Niveles máximo permisible de cobalto – Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales .....	25
Tabla 10: Niveles máximo permisible de cobalto -Agencia de sustancias toxicas y el registro de enfermedades.....	26
Tabla 11: Normativa INEN.....	28
Tabla 12: Tiempo de digestión .....	34
Tabla 13: Soluciones madre para las rectas de calibración.....	36
Tabla 14: Datos de los estándares de cadmio para la construcción de la curva de calibración. ....	39
Tabla 15: Resultados de concentración de cadmio (mg/kg) en las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga. ....	41
Tabla 16: Análisis de ANOVA del contenido de cadmio en zanahoria de los cuatro mercados. ....	43
Tabla 17: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cadmio en zanahoria ..	43
Tabla 18: Análisis de ANOVA del contenido de cadmio en papa de los cuatro mercados. ....	44
Tabla 19: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cadmio en papa .....	44
Tabla 20: Análisis de ANOVA del contenido de cadmio en tomate de los cuatro mercados .....	45
Tabla 21: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cadmio en tomate.....	45

Tabla 22: Análisis de ANOVA del contenido de cadmio en lechuga de los cuatro mercados .....	46
Tabla 23: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cadmio en lechuga .....	46
Tabla 24: Datos de los estándares de plomo para la construcción de la curva de calibración. ....	53
Tabla 25: Resultados de concentración de plomo (mg/kg) en las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga. ....	54
Tabla 26: Análisis de ANOVA del contenido de plomo en zanahoria de los cuatro mercados. ....	56
Tabla 27: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de plomo en zanahoria....	56
Tabla 28: Análisis de ANOVA del contenido de plomo en papa de los cuatro mercados	57
Tabla 29: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de plomo en papa.....	57
Tabla 30: Análisis de ANOVA del contenido de plomo en tomate de los cuatro mercados .....	58
Tabla 31: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de plomo en tomate .....	58
Tabla 32: Análisis de ANOVA del contenido de plomo en lechuga de los cuatro mercados .....	59
Tabla 33: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de plomo en lechuga.....	60
Tabla 34: Datos de los estándares de cobre para la construcción de la curva de calibración .....	66
Tabla 35: Resultados de concentración de cobre (mg/kg) en las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga .....	67
Tabla 36: Análisis de ANOVA del contenido de cobre en zanahoria de los cuatro mercados. ....	69
Tabla 37: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobre e en Zanahoria..	69
Tabla 38: Análisis de ANOVA del contenido de cobre en papa de los cuatro mercados.	71
Tabla 39: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de plomo en papa.....	71
Tabla 40: Análisis de ANOVA del contenido de cobre en tomate de los cuatro mercados	72
Tabla 41: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobre en tomate.....	73
Tabla 42: Análisis de ANOVA del contenido del cobre en lechuga de los cuatro mercados .....	74

Tabla 43: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobre en lechuga .....	74
Tabla 44: Datos de los estándares de cobre para la construcción de la curva de calibración .....	77
Tabla 45: Resultados de concentración de cobalto (mg/kg) en las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga .....	79
Tabla 46: Análisis de ANOVA del contenido de cobalto en la zanahoria de los cuatro mercados. ....	81
Tabla 47: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobalto en la zanahoria	81
Tabla 48: Análisis de ANOVA del contenido de cobalto en papa de los cuatro mercados	83
Tabla 49: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobalto en papa .....	83
Tabla 50: Análisis de ANOVA del contenido de cobalto en tomate de los cuatro mercados .....	84
Tabla 51: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobalto en tomate .....	84
Tabla 52: Análisis de ANOVA del contenido de cobalto en lechuga de los cuatro mercados .....	86
Tabla 53: Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobalto en lechuga .....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación del Distrito Metropolitano de Quito.....	2
Figura 2: Aplicaciones analíticas del horno grafito .....	19
Figura 3: Curva de calibración- Estándar de cadmio.....	40
Figura 4: Comparación de datos obtenidos de cadmio en zanahoria de los mercados. ...	48
Figura 5: Comparación de datos obtenidos de cadmio en papa de los mercados. ....	49
Figura 6: Comparación de datos obtenidos de cadmio en tomate de los mercados.....	50
Figura 7: Comparación de datos obtenidos de cadmio en lechuga de los mercados. ....	51
Figura 8: Curva de Calibración- Estándar de plomo .....	53
Figura 9: Comparación de datos obtenidos de plomo en zanahoria de los mercados.....	61
Figura 10: Comparación de datos obtenidos de plomo en papa de los mercados.....	62
Figura 11: Comparación de datos obtenidos de plomo en tomate de los mercados. ....	63
Figura 12: Comparación de datos obtenidos de plomo en lechuga de los mercados.....	64
Figura 13: Curva de Calibración- Estándar de cobre.....	66
Figura 14: Comparación de datos obtenidos de cobre en zanahoria de los mercados. ...	70
Figura 15: Comparación de datos obtenidos de cobre en papa de los mercados. ....	72
Figura 16: Comparación de datos obtenidos de cobre en tomate de los mercados.....	73
Figura 17: Comparación de datos obtenidos de cobre en lechuga de los mercados .....	75
Figura 18: Resultados EAA de Cobre.....	75
Figura 19: Curva de Calibración- Estándar de cobalto.....	78
Figura 20: Comparación de datos obtenidos de cobalto en zanahoria de los mercados .	82
Figura 21: Comparación de datos obtenidos de cobalto en papa de los mercados. ....	84
Figura 22: Comparación de datos obtenidos de cobalto en tomate de los mercados.....	85
Figura 23: Comparación de datos obtenidos de cobalto en lechuga de los mercados. ...	87
Figura 24: Resultados EAA de cobalto.....	87

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Protocolo de laboratorio.....	99
Anexo 2: Análisis estadístico - Ejemplo plomo en lechuga .....	103
Anexo 3: Guía de manejo del equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica ..	104

## RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la presencia de los metales pesados (Cu, Co, Cd y Pb) en *Daucus carota*, *Solanum tuberosum*, *Solanum lycopersicum*, *Lactuca sativa* mediante espectrofotometría de absorción atómica, en cuatro mercados de la Ciudad de Quito, para conocer si superan los límites máximos permisibles de consumo humano, teniendo en cuenta que las hortalizas estas relacionadas con los tres componentes del medio ambiente como el agua, suelo y aires.

La metodología de investigación fue experimental (fase de campo y laboratorio) y estadístico (ANOVA al 95%); para la toma de muestras se utilizó los procedimientos establecidos en la normativa INEN; el análisis de los metales se llevó a cabo por el método de Espectrofotometría de absorción atómica por horno gráfico, efectuando un total de 16 muestras de hortalizas con 5 repeticiones por cada metal y para la evaluación se basó en las siguientes normativas Codex Alimentarius, Unión Europea, Normativa Cubana de cobre sobre contaminantes metálicos en alimentos, Academia de ciencias exactas físicas y naturales y la Agencia de sustancias toxicas y registro de enfermedades.

Las concentraciones de metales en las hortalizas de los mercados orgánicos y convencionales no varían, sin embargo, se encontró elevadas concentraciones de plomo en papa con los siguientes valores para MO1 con 0,1204 (*mg/kg*), MO2 con 0,1106 (*mg/kg*) y el MC2 con 0,1694 (*mg/kg*) el cual sobrepasa la normativa de 0,1 (*mg/kg*) establecida en el CODEX y UE. Considerando que el cobre y cobalto son metales esenciales mientras el cadmio y el plomo son metales perjudiciales para la salud.

**Palabras claves:** cadmio, plomo, cobre, cobalto, espectrofotometría, hortalizas, normativa.

## ABSTRACT

In this research, the presence of heavy metals was evaluated (Cu, Co, Cd y Pb) en *Daucus carota*, *Solanum tubersum*, *Solanum lycopersicum*, *Lactuca sativa* by atomic absorption spectrophotometry, in four markets of the City of Quito to ascertain whether they exceed the maximum permissible limits for human consumption, taking into account that vegetables are related to the three components of the environment such as water, soil and air.

The analysis of the metals was carried out by the method of spectrophotometry of atomic absorption by graphic furnace, The research methodology was experimental (field and laboratory phase) and statistical (95% ANOVA); for the collection of samples, the procedures established in the INEN regulations were used; the analysis of the metals was carried out by the method of spectrophotometry of atomic absorption by graphic furnace, making a total of 16 samples of vegetables with 5 repetitions for each metal and for the evaluation was based on the following regulations Codex Alimentarius, European Union, Cuban copper regulations on metal contaminants in food, Academy of Exact Physical and Natural Sciences and the Agency for Toxic Substances and Disease Registration.

Metal concentrations in vegetables on organic and conventional markets do not vary, however, high concentrations of lead in potato were found with the following values for MO1 with 0.1204 (mg/kg), MO2 with 0.1106 (mg/kg) and MC2 with 0.1694 (mg/kg) which exceeds the 0.1 (mg/kg) standard established in codex and UE. Whereas copper and cobalt are essential metals while cadmium and lead are harmful metals to health.

**Keywords:** cadmium, lead, copper, cobalt, spectrophotometry, vegetables, regulations.



## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

**Alpha:**  $\alpha$

**ANOVA:** Análisis de varianza para comparar múltiples medias

**Cd:** Cadmio

**Co:** Cobalto

**CODEX ALIMENTARIUS:** Código de los Alimentos.

**Cu:** Cobre

**DF:** grados de libertad

**EEA:** Espectrofotometría de Absorción Atómica.

**ETAAS:** Espectrofotometría de absorción atómica electrotrémica.

**F:** Estadístico F

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

**FD:** Facto de Dilución

**GFAAS:** Espectrofotometría de absorción atómica de horno gráfico.

**Mercado Convencional 1:** MC1

**Mercado Convencional 2:** MC2

**Mercado Orgánico 1:** MO1

**Mercado Orgánico 2:** MO2

**MS:** Cuadrado medio

**NM:** Niveles Máximos

**OMS:** Organización Mundial de la Salud.

**Pb:** Plomo

**P-Value:** Probabilidad de que  $H_0$  sea verdadera

**SD:** Desviación Estándar

**SS:** Suma de cuadrados

**UE:** Unión Europea.

## 1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país megadiverso, constituido por una diversidad de plantas nativas e introducidas como menciona Torres (2008), “existen plantas comestibles y empleadas para la elaboración de bebidas que consume el ser humano” (p. 5), siendo un elemento esencial para garantizar la seguridad alimentaria, constituye un objetivo estratégico y del estado en la constitución en el art. 281 (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008), los vegetales son esenciales para el consumo diario porque son una fuente importante de vitaminas, minerales o fibra y por lo general son comprados en diversos mercados orgánicos y convencionales.

Con el fin de abastecer de alimentos para el consumo humano y por el crecimiento poblacional, el ser humano ha acudido a técnicas como “el uso excesivo de plaguicidas, fertilizantes, fungicidas, entre otros; produciendo alteraciones en el medio ambiente y en la salud” según Acosta (2018).

De acuerdo con Quispe (2016), el Distrito Metropolitano de Quito regula la comercialización y sanidad de los centros de abasto tanto en mercados mayorista, minoristas y ferias en donde miles de usuarios se abastecen de productos de primera calidad, teniendo en cuenta que la mayoría no tiene un certificado de salud.

Para el presente estudio se determinó cuatro mercados, dos orgánicos y dos convencionales, analizando las concentraciones de metales pesados (Co, Cu, Cd y Pb) en zanahoria, papa, tomate y lechuga, comparando mediante la normativa vigente internacional y nacional sobre los límites máximos permisibles de metales en alimentos. Teniendo en cuenta que algunos metales son esenciales para la salud humana (Cu y Co) y otros son perjudiciales (Cd y Pb).

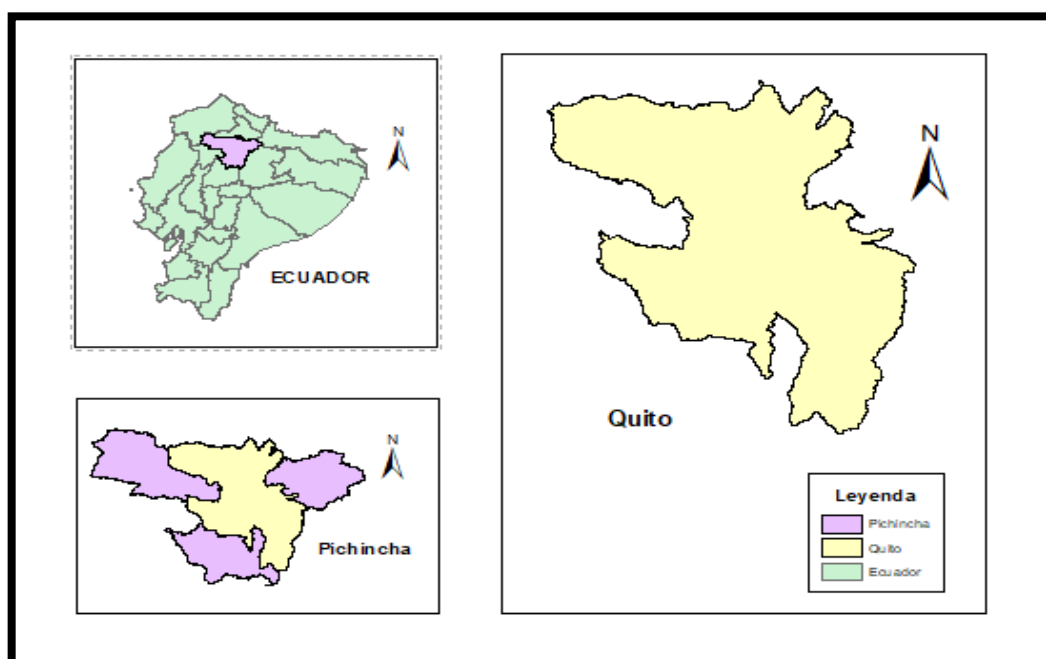
## 1.1. Delimitación

El Distrito Metropolitano de Quito está ubicado en la Provincia de Pichincha en el norte de Ecuador, es el cantón más poblado del país según el INEC (2010), cuenta con 2.239.191 habitantes.

### Figura 1

*Mapa de ubicación del Distrito Metropolitano de Quito*

#### Distrito Metropolitano de Quito



Nota: La figura representa la ubicación del Distrito Metropolitano de Quito. Elaborado por Autoras, 2021

La Secretaría de Desarrollo Productivo y Competitividad (2018), afirma que la producción de hortalizas, frutas y tubérculo de Quito abastece el 26% de la demanda alimenticia dentro del mismo, el 36% es abastecida por los distintos cantones de Pichincha (Cayambe, Mejía y Pedro Moncayo) y el 38% de otras provincias (Santo Domingo, Manabí,

Bolívar, Imbabura, Chimborazo, Cotopaxi, Tungurahua, Sucumbíos, Pastaza; entre otros) solventando la demanda de los consumidores (p. 20)

## **1.2. Pregunta de investigación**

¿Cuál es la concentración de los metales cadmio, plomo, cobre y cobalto en la zanahoria (*Daucus carota*), papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum lycopersicum*), lechuga (*Lactuca sativa*) provenientes de dos mercados orgánicos y dos mercados convencionales?

## **1.3. Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo General***

Evaluar la presencia de los metales pesados (Cu, Co, Cd y Pb) en *Daucus carota*, *Solanum tuberosum*, *Solanum lycopersicum*, *Lactuca sativa* mediante espectrofotometría de absorción atómica, en cuatro mercados de la Ciudad de Quito.

### ***1.3.1 Objetivo Específicos***

1. Identificar el tipo de hortaliza en la que existe mayor presencia de metales pesados, así como el metal pesado predominante, mediante la comparación de las cantidades encontradas en los cuatro mercados muestreados.
2. Comparar la concentración de metales pesados encontrada en mercados con venta de hortalizas cultivadas de forma orgánica, versus las hortalizas cultivadas de manera convencional.
3. Realizar un análisis de las concentraciones de metales pesados obtenidas versus la normativa para consumo humano.

## **1.4. Hipótesis**

### ***1.4.1 Hipótesis nula***

**Ho:** Las concentraciones de metales pesados cadmio, plomo, cobre y cobalto presentes en zanahoria (*Daucus carota*), papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y lechuga (*Lactuca sativa*); provenientes de mercados, dos orgánicos y dos convencionales no superan los límites máximos permisibles de consumo humano.

### ***1.4.2 Hipótesis alternativa***

**Hi:** Las concentraciones de metales pesados cadmio, plomo, cobre y cobalto presentes en zanahoria (*Daucus carota*), papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y lechuga (*Lactuca sativa*) provenientes de mercados, dos orgánicos y dos convencionales supera los límites máximos permisibles de consumo humano.

### ***1.4.3 Variable de interés***

Concentraciones de metales pesados cadmio, plomo, cobre y cobalto presentes en zanahoria (*Daucus carota*), papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y lechuga (*Lactuca sativa*).

### ***1.4.4 Variable de categorización***

Dos mercados orgánicos (lugar en donde sus productos tienen un proceso de producción cosecha y postcosecha con buenas prácticas agrícolas y sustentables) y dos mercados convencionales (lugar en donde sus productos son vendidos de forma tradicional, sin normas establecidas) del Distrito Metropolitano de Quito.

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. Generalidades de las hortalizas

Las hortalizas son cualquier cultivo herbáceo o semi herbáceo que se puede utilizar como alimento ya sea crudo o cocido; estas se clasifican según la parte comestible: hojas, tallos, frutos y semillas. Entre las hortalizas más consumidas en el Ecuador son papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum lycopersicum*), zanahoria (*Daucus carota*) y lechuga (*Lactuca sativa*) (Gordón, 2010).

#### 2.1.1. Zanahoria (*Daucus carota*)

La zanahoria es conocida por su consumo mundial, de acuerdo con López (2011), “es una fuente rica en  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno, vitamina E y C. En el Ecuador esta hortaliza se la cultiva desde hace 500 años de manera tradicional y su rendimiento es de aproximadamente 10 t/ha”. El Ministerio de Agricultura y Ganadería (2017), afirma que la zanahoria es una de las hortalizas más cultivadas en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo.

#### 2.1.2. Papa (*Solanum tuberosum*)

Pumisacho y Sherwood (2002), plantean que la papa se encuentra entre los diez principales productos más adquiridos a nivel mundial, en el Ecuador es uno de los cultivos más importantes porque es consumida específicamente por los habitantes de las zonas altas del país, el 90% de la papa a nivel nacional se consume en estado fresco, es una especie nativa dicotiledónea de crecimiento rastrero o erecto que vive de 4 a 7 meses y tiene mejor desarrollo en suelos francos, húmíferos y abastecidos de materia orgánica y nutrientes (pp. 21-23).

### **2.1.3. Tomate (*Solanum lycopersicum*)**

El tomate es una especie de origen Americano, de los países Ecuador, Perú y Chile; es de gran importancia en Ecuador ya que su producción es a nivel nacional, la Sierra es la principal región que cultiva este producto, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2017), “Carchi, Loja, Imbabura, Chimborazo, Azuay, Tungurahua, Pichincha, Guayas, Manabí y El Oro son las principales ciudades productoras, indicando que en el Ecuador en el 2012 existían 3054 hectáreas de tomate riñón”.

### **2.1.4. Lechuga (*Lactuca sativa*)**

La lechuga es de origen occidental, actualmente es una de las hortalizas más producidas a nivel mundial. En el Ecuador hay 1 145ha de lechuga con un rendimiento promedio de 7 928 por ha, las provincias con mayor producción son: Cotopaxi. Tungurahua y Carchi llegando a obtener el 70% de la producción total de lechuga criolla según notifica el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2017), siendo una de las variedades de hortalizas más consumida.

## **2.2. Generalidades de los metales pesados**

Londoño, Londoño y Muñoz (2016), afirma que el término de “metal pesado” suele referirse a metales cuyo peso específico es superior a  $5\text{g/cm}^3$ , consideradas como sustancias tóxicas, teniendo como características la persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, estos se incorporan fácilmente en agua, aires, suelo y alimentos (p. 147).

Los metales pesados son un riesgo potencial en la salud del hombre como la de los animales en vista que la pérdida de recursos naturales como flora y fauna, han aumentado la amenaza de metales pesados en la naturaleza.

Los metales que se estudiarán son los siguientes:

### **2.2.1. Cadmio (Cd)**

Es un metal pesado que tiene un número atómico de 48 y peso atómico de 112,41 g/mol, se deriva como subproducto de procedimiento de metales como el zinc y cobre. Las principales fuentes de emisión de cadmio son: fabricación de baterías de níquel-cadmio, quema de combustibles fósiles, fabricación de cemento, pinturas, fertilizantes fosfatados, tintes y plásticos (Escobar, 2016, p. 2).

Con base en Londoño, Londoño y Muñoz (2016), la mayoría de seres vivos la principal fuente de cadmio es el agua y los alimentos, el cadmio al ser inhalado pueden obstruir el aparato respiratorio, y en plantas se tiende a acumularse con el paso del tiempo, al ser consumida la papa, los vegetales y cereales con altas cantidades de cadmio llevan a “síntomas y alteraciones en el organismo que se relaciona con el tiempo de exposición y con la vía de entrada del metal” (p. 148).

El cadmio no es un metal puro, sino producto de aleaciones como la greenockita (sulfuro de cadmio); que en pocas cantidades no causa daño sino al acumularse produciendo alteraciones en animales, plantas y seres humanos mediante la cadena trófica (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016).

### **2.2.2. Plomo (Pb)**

Escobar (2016), menciona que el plomo tiene un número atómico de 82, peso atómico de 207.9 g/mol, y valencias de 2 – 4, se encuentra ampliamente distribuido por la corteza terrestre. Se emplea en baterías, municiones, tuberías, pigmentos, insecticidas y aleaciones (p. 3).



La principal vía de entrada al organismo, se da por el consumo de bebidas y alimentos contaminados (plantas, especialmente raíces) e inhalación de vapores de plomo presentes en la atmósfera, el plomo reemplaza al calcio, el nivel que se consideraba aceptable es 10 ug/dl en la sangre que es la fuente principal de este metal (Goetschel, 2018, pp. 19-20).

### **2.2.3. Cobre (Cu)**

Es un metal pesado con número atómico de 29, es uno de los mejores conductores de electricidad. El cobre es liberado por la industria minera, actividades agrícolas, de manufactura y por liberación de aguas residuales en ríos y lagos. Es uno de los nueve micronutrientes minerales considerados como esenciales, aunque en altas cantidades puede ocasionar grandes daños a la salud humana (Feoktistova y Clark, 2018, p. 580).

Se lo emplea en equipos eléctricos, clavos, maquinarias industriales, tuberías, monedas, aleaciones de bronce, cocina, maquillaje entre otros; los más dañinos son los fungicidas y plaguicidas que se inserta directamente a la cadena alimenticia y por ende a la salud, de acuerdo con Londoño, Londoño y Muñoz (2016), provoca “coagulación proteica e inflamación severa de mucosa digestiva” (pp. 149-150), que conlleva a diversas alteraciones en el cuerpo como diarrea, infertilidad, problemas cardiacos.

### **2.2.4. Cobalto (Co)**

La Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades (2004), determina que el cobalto se caracteriza por ser un elemento químico metálico con número atómico de 27 y un peso atómico de 58.93 g/mol, este se encuentra combinado con otros elementos tales como oxígeno, azufre y arsénico. No tiene afectaciones con el agua ni el aire en condiciones normales. La vitamina B12 es un compuesto importante del cobalto, por esta razón es esencial para mantener una buena salud en los seres humanos y animales.

El cobalto está presente en el ambiente, por lo que puede generar afecciones al ambiente, mediante los siguientes medios como aire, agua, suelo y alimentos que contengan cobalto.

### **2.3. Enfermedades producidas por la ingesta de alimentos contaminados.**

La importancia de una mejor nutrición humana se basa en una alimentación sana y nutritiva basado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, dando prioridad a la salud pública que asegure que los productores y proveedores de alimentos sean de calidad, siguiendo un rígido estándar en los procesos de fabricación hasta la distribución del producto.

Como expresa Morales (2017) “Las enfermedades transmitidas por los alimentos son generalmente causadas por bacterias, virus, parásitos o sustancias químicas que penetran en el organismo a través del agua o los alimentos contaminados”, llegando a provocar discapacidades persistentes o hasta la muerte (pp. 11-12).

#### ***2.3.1. Enfermedades transmitidas por alimentos con metales pesados y su situación en Ecuador***

Existen varias maneras en que los metales pesados contaminen los alimentos entre estas tenemos: cultivos en suelos contaminados, uso de fertilizantes químicos, agua de riego, entre otros; dependiendo de las practicas manejadas desde la producción hasta la distribución; tenemos productos orgánicos ( que tienen un proceso de producción cosecha y postcosecha con buenas prácticas agrícolas y sustentables) o productos convencionales ( que tienen un proceso de producción cosecha y postcosecha de forma tradicional y sin normas establecidas) (Cabascango, 2016, pp. 12-13).

La bioacumulación de los metales pesados con el tiempo puede causar enfermedades a los seres humanos por intoxicación, si su ingesta excede los límites permisibles; entre los síntomas tenemos: espasmos, vomito, náuseas, dolores abdominales y en casos más extremos producen estado de coma o muerte (Cabascango, 2016, pp. 12-13).

Los principales metales pesados encontrados en alimentos basados en su toxicidad son: plomo, mercurio, cadmio, cromo y arsénico (metaloide).

- **Cadmio**

Según plantea Goetschel (2018), el cadmio es un metal carcinogénico que no se encuentra como metal puro sino asociado a plomo o zinc, la intoxicación aguda por cadmio produce daños severos en varios órganos citando algunos: edema pulmonar, bronconeumonía, problemas respiratorios, también daño renal cuando el nivel de cadmio llega a 200 ug/g en la corteza del riñón, su consumo a largo plazo causa falla renal, hipertensión, carcinogénesis y teratogénesis.

El 70% de cadmio ingerido por los seres humanos proviene de alimentos vegetales donde se acumulan debido a su fitodisponibilidad, alta movilidad y poca adsorción por los suelos (pp. 27-28).

- **Plomo**

El plomo lo encontramos en la corteza terrestre como metal y sales, se deposita en los tejidos blandos incluido el cerebro, también en los huesos, causando anemia asociada a neurotoxicidad y deterioro cognitivo permanente; en los alimentos, las plantas son la mayor fuente de su consumo especialmente en las raíces (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016, pp. 149).

La excesiva absorción de plomo es un grave riesgo de salud pública, en los niños provoca retraso del desarrollo mental e intelectual y en los adultos causa hipertensión y enfermedades cardiovasculares (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016, p. 149).

- **Cobre**

Es un mineral que necesita el organismo, este lleva a cabo funciones como producir energía, tejidos conectivos y vasos sanguíneos (National Institutes of Health, 2019, pp. 1-3).

Las cantidades promedio diarias recomendadas son las siguientes:

**Tabla 1**

*Cantidad recomendada de consumo de cobre según la edad*

<b>Etapas de la vida</b>	<b>Cantidad recomendada</b>
Del nacimiento hasta 12 meses	200 ug
Niños de 1 a 3 años	340 ug
Niños de 4 a 8 años	440 ug
Niños de 9 a 13 años	700 ug
Adolescentes de 14 a 18 años	890 ug
Adultos mayores de 19 años de edad	900 ug

Nota: Tomado de National Institute of Health. Adaptado por Autoras, 2021

Si se ingiere demasiado cobre puede ser nocivo causando lesión hepática, dolor abdominal, calambres, náuseas, diarrea y vómito.

- **Cobalto**

La Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (2004), menciona que el cobalto lo encontramos de forma natural en el suelo, rocas, aire y agua, las plantas pueden acumular cantidades muy pequeñas de cobalto del suelo, especialmente en las partes comestibles como: la fruta, las semillas y los granos, por lo tanto, las hortalizas, frutas, pescado

y las carnes no contiene grandes cantidades de este metal. Es un elemento esencial para la salud humana, es importante que los alimentos contengan las cantidades adecuadas de este metal.

Cuando el cuerpo absorbe demasiado cobalto puede ocurrir efectos perjudiciales para la salud como: problemas respiratorios, asma, pulmonía, dificultad para respirar, salpullidos en la piel y en algunos casos efectos serios al corazón. (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 2004).

En Ecuador no existe la información suficiente para conocer los casos sobre las enfermedades transmitidas por alimentos contaminados con metales pesados, ya que es necesario una ingesta excesiva del metal y sobre todo de tiempo para que estas enfermedades se manifiesten.

#### **2.4. Técnicas de detección de metales pesados**

Tiene como fin el estudio de la presencia de diferentes metales pesados en variadas muestras, la misma que consta de una serie de pasos que va desde la preparación de materiales hasta la lectura de resultados, según Zubieta (1995).

Sin embargo, existe un sin número de procedimientos debido a la gran diversidad de muestras.

##### **2.4.1. *Preparación de las muestras para el análisis físico-químico***

Las muestras a estudiar se someten a cierto protocolo de limpieza y desinfección antes de proceder al análisis, se tiene en cuenta que se busca obtener una solución homogénea. La misma que cuenta con las siguientes fases: lavado, secado y molienda.

### 2.4.1.1. Lavado

Según menciona Zubieta (1995), la limpieza del material vegetal es una etapa puramente mecánica (esponjas secas o húmedas, agitación o por chorro de aire) o un proceso propiamente de lavado (pp. 37-38). Esta operación puede destruir la estructura de la planta o lixiviar de elementos químicos y sustancias biológicas.

### 2.4.1.2. Secado

El secado es necesario para evitar grandes cantidades de humedad y a su vez la pulverización y homogeneidad de la muestra, se tiene en consideración las condiciones del secado y el objetivo a cumplir de la muestra, teniendo de manera general las siguientes temperaturas y tiempos.

**Tabla 2**

*Tiempos estándares de secado*

<b>Tiempos estándar</b>	
<b>TEMPERATURA</b>	<b>TIEMPO</b>
35-45 °C	2 días
80-105 °C	24 horas
60-70 °C	24 y 68 horas

Nota: Tomado de (Zubieta, 1995, p. 39). Adaptado por Autoras, 2021

### 2.4.1.3. Molienda

La molienda de la muestra vegetal facilita los procesos de análisis que dará como resultado una muestra representativa. Zubieta (1995), señala que “el grado de pulverización es muy importante, y va a depender del peso de muestra necesario para el análisis y de la necesidad

de que esta cantidad sea representativa de la totalidad de la muestra”, recomendando que la pulverización pase un tamiz de 0.5mm de luz de malla (pp. 39-40).

Existe varios métodos para la molienda y pulverización como un molinillo casero, un triturador de bolas de ágata, o un mortero; el tiempo depende de la muestra seca y el objetivo es siempre dejarlo lo más fino y homogéneo posible.

#### **2.4.2. Digestión**

La técnica de vía húmeda es la forma más rápida de digestión, la misma que su propósito es la lectura de metales en distintas muestras ya sea suelo, vegetales y agua; dependiendo del tipo de muestra que se vaya a analizar se procede al uso de ácidos y las respectivas cantidades a utilizar.

Para la digestión es aconsejable trabajar con ácido nítrico y ácido clorhídrico los que nos permiten una lectura más clara de los metales evitando el uso del ácido fluorhídrico.

##### **2.4.2.1. Métodos de extracción de metales pesados**

- **Métodos clásicos**

**Vía seca:** o denominados calcinación, que procede a la combustión completa de la materia orgánica por un horno mufla, siendo ventajoso porque no utiliza una gran cantidad de reactivos y se necesita poca manipulación, oscilando la temperatura entre 450 y 500 °C (Zubieta, 1995, p. 54).

**Vía húmeda:** es utilizado con frecuencia para la digestión de material vegetal, es un “sistema abierto donde existe el riesgo de contaminación de la muestra y, además, la introducción de cantidades relativamente grandes de reactivos puede producir contaminaciones

debidas a las impurezas de los mismos, lo que conlleva a valores altos de los blancos” así afirma Zubieta (1995, pp. 54-55).

Los ácidos utilizados con frecuencia son: ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, peróxido de hidrogeno y perclórico, aplicando cualquier método de calor como placas calefactoras, microondas de digestión, baños de arena, digestores entre otros.

Los métodos de extracción de metales por vía húmeda son los siguientes:

- **Extracción por zonificación**

El método se realiza con el fin de reducir el tiempo, se da por el método de vía húmeda con agua regia, aplicando la digestión de un baño de ultrasonido (utilizada en la aplicación de limpieza en reacciones de síntesis o polimerización) (Zubieta, 1995, p. 64).

Presenta un nivel de precisión basto para el análisis de materia vegetal como el Cd, Cu, Ni, Pb, y Zn.

- **Extracción por microondas**

Es un método eficiente para la extracción de metales, apto para la digestión de muestras biológicas e incluso se puede hacer uso de hornos caseros, sin embargo, posee limitaciones laboriosas como el tiempo para las operaciones (Zubieta, 1995, p. 69).

Existen diferentes tipos de reactores cerrados de alta presión y la energía de microondas como fuente de calentamiento, que son útiles para muestras vegetales, aplicando reactivos o mezclas de reactivos como ácido nítrico, ácido sulfúrico y por último agua oxigenada que asegura la destrucción de la materia orgánica (Zubieta, 1995).



### 2.4.3. *Determinación de los metales objeto de estudio (EAA)*

La espectrofotometría de absorción atómica es una lámpara de cátodo hueco, un cilindro relleno de gas inerte en el cual se encuentra un cátodo y un ánodo, que al aplicar un cierto potencial el espectro atómico lee el metal. Dependiendo del EAA se utiliza con llama (con quemador) u horno grafito.

Razmilic (2000) determina que los gases más utilizados son:

- ❖ Aire/Propano
- ❖ Aire/ Acetileno
- ❖ Óxido Nitroso/Acetileno
- ❖ Argón

La elección del gas depende de la temperatura requerida para la disociación de los compuestos, las características químicas de los elementos a estudiar y de la metodología.

La absorción atómica es considerada excepcional debido a sus propiedades como “sensibilidad, selectividad, exactitud, precisión, sencillez de operación y versatilidad” según Zubieta (1995, p. 127), siendo la fuente primaria de radiación (lámpara).

#### **2.4.3.1 Espectrofotometría de absorción atómica de llama (Método llama para los metales *Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb Y Zn*)**

Sistema de automatización tradicional, espectrofotometría de absorción atómica en llama (AAS), considerado el más favorable debido a sus ventajas como el tiempo, de acuerdo con Zubieta (1995), “una atomización segura, fiable, reproducible y poco afectada de efectos memoria para un gran número de elementos; costo moderado; susceptible de automatización para análisis de rutina y buena sensibilidad, exactitud y precisión en el intervalo de longitud de

onda 200-800 nm” (p. 129), también posee desventajas requiriendo de un volumen de disolución muy grande.

Por el presente método se puede determinar la concentración de cobalto, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc.

### **Optimización de las condiciones instrumentales**

Existen parámetros para la optimización del equipo de absorción atómica de llama como: la proporción del aire/acetileno, flujo de aspiración.

### **Rectas de calibrado y adición**

La curva de calibración se construye con diferentes concentraciones del analito con respecto a la absorbancia, debido a que existe interferencia que puede conducir a un margen de error.

El método de adición es la más utilizada para obtener rectas de calibrado que se prepara con disoluciones diluidas de cada patrón como: (Zubieta, 1995, p. 131)

### **Tabla 3**

*Rango de las rectas de calibración*

<b>Metal</b>	<b>Disolución (ug.ml-1)</b>
Co	0-2,5
Pb	0-12,0
Cu	0-1,0

Nota: Tomado de (Zubieta, 1995). Adaptado por: Autoras, 2021

### **2.4.3.2 Espectrofotometría de absorción atómica con atomización electrotérmica (Horno de grafito)**

Se denomina Espectrofotometría de absorción atómica de horno de grafito (GFAAS) o a su vez determinada como espectrofotometría de absorción atómica electrotérmica (ETAAS), esta técnica según Torres (2015), se basa en “que los átomos absorben la luz en las frecuencias o longitudes de onda característica del elemento de interés (de ahí el nombre de la espectrometría de absorción atómica)”.

Dentro de este proceso la cantidad de luz absorbida se correlaciona linealmente con la concentración del analito, la mayoría de elementos se da mediante la aplicación de altas temperaturas, las muestras son depositadas en un tubo de grafito que son colocadas en un muestreador automático “que puede contener hasta 133 muestras, de las cuales 5 pueden contener reactivos, teniendo la disponibilidad de varios tipos de tubos de inyección, permitiendo el muestreo en diferentes condiciones” según Chapple y Athanasopoulos (1991).

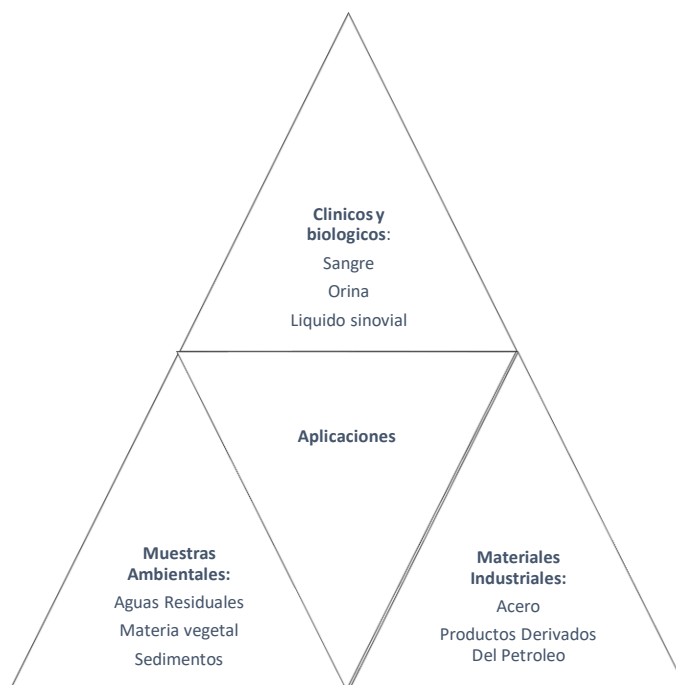
**Requisitos generales para el correcto funcionamiento del horno grafito según Torres (2015):**

- Temperatura, tiempo y el espacio cuando se produce el intervalo de átomos libres.
- Control individual de los procesos de atomización y volatilización.
- Formación de átomos cuantitativos independientes.
- Evitar las interferencias espectrales para mejorar la sensibilidad y los límites de detección.

## Aplicaciones analíticas

### Figura 2

#### *Aplicaciones analíticas del horno grafito*



Nota: Tomado de (Torres R. , 2015). Adaptado por Autoras, 2021

### **Ventajas**

- Poca interferencia
- Tiempo de análisis automático y lento (133 muestras de 1-6 elementos)
- Precisión y exactitud
- Excelente detección de pequeños tamaños de la muestra
- Precio moderado

El funcionamiento de la mayoría de GFAAS está conformado por un software compatible con la máquina, las muestras deben ser acidificadas con ácido nítrico a un pH de 2 o menor, por lo tanto, la decoloración ayuda a detectar los metales en la muestra.

Se considera esta técnica muy eficiente, su avance con la tecnología permite utilizar pequeñas cantidades de muestras como la materia vegetal, industrial, residuos de petróleo, aguas residuales, orina, sedimentos, además tiene pocas interferencias espectrales o que ayuda a una mejor precisión.

## **2.5. Marco legal**

La Ley de Gestión Ambiental se ejerce para un control efectivo de cumplimiento de las normas establecidas con respecto al medio ambiente, esto se ve declarado en la Constitución del Ecuador que regula, maneja y conserva los recursos humanos. Al mismo tiempo se establecen leyes y normas a nivel internacional sobre seguridad alimentaria por organismos internacionales como la UE, Codex Alimentarius y FOA.

### ***2.5.1 Constitución del Ecuador***

Con respecto a la Normativa nacional para contaminantes en alimentos tenemos los siguientes artículos:

**Art. 281:** “La soberanía y seguridad alimentaria constituyen un objetivo estratégico y una obligación del estado, para garantizar que las personas, comunidades y pueblos nacionales, alcance autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiados de forma permanente” (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

**Art.281.3** de la Constitución de la República, habla de fortalecer la diversificación y la introducción de tecnologías ecológicas y orgánicas en la producción agropecuaria (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

**Art. 284. 9** de la Constitución de la República declara el impulso de un consumo social y ambientalmente responsable (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

## **2.5.2 Tratados y Convenios**

### **2.5.2.1 Normativa Internacional: Codex Alimentarius**

La Comisión del Codex Alimentarius (2020), nos indica que es un órgano intergubernamental sobre las Normas Alimentarias establecidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (pp. 2-3).

La siguiente normativa se alinea a los principios de Codex Alimentarius que tiene relación con los contaminantes en alimentos, los mismos que se ven a continuación:

**Tabla 4**

*Nivel máximo permisible para cadmio - Codex*

<b>Producto Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Nivel sufijo mg/kg</b>	<b>Tipo</b>	<b>Observación</b>
VL 0053	Hortalizas de hoja (lechuga)	0,2	NM	
V A 0035	Hortalizas de bulbo y raíz (Zanahoria)	0,05	NM	
V C 0045	Hortalizas de fruto, (tomate)	0,05	NM	
VR 0589	Patatas (papas)	0,1	NM	Peladas

Nota: Tomado de (CODEX STAN , 2001, p. 35) Adecuado por Autoras, 2021

**Tabla 5**

*Nivel máximo permisible para plomo - Codex*

<b>Producto Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Nivel sufijo mg/kg</b>	<b>Tipo</b>	<b>Observaciones</b>
VL 0053	Hortalizas de hoja (lechuga)	0,3	NM	Incluidas las brassicáceas y las hortalizas de hoja, pero excluidas las espinacas
V A 0035	Hortalizas de bulbo y raíz (Zanahoria)	0,1	NM	
V C 0045	Hortalizas de fruto, cucurbitáceas (Tomate).	0,1	NM	
VR 0075	Raíces y tubérculos (papa)	0,1	NM	Incluida las papas

Nota: Tomado de (CODEX STAN , 2001, p. 36). Adaptado por Autoras, 2021

### **2.5.2.2 Normativa Internacional: Unión Europea (UE)**

La Comisión Europea establece una serie de procedimientos con respecto a los contaminantes que pueden estar presentes en diversos productos de consumo alimenticio, para lo cual se establece el nivel máximo permisible de cadmio y plomo en los alimentos según plantea la Unión Europea (2006).

**Tabla 6**

*Nivel máximo permisible para cadmio – (UE)*

<b>Cadmio</b>	<b>Nombre de la hortaliza</b>	<b>(mg/kg)</b>
Hortalizas y frutas	Tomate	0,05
Hortaliza de raíz y tubérculo	Zanahoria, Papa pelada	0,10
Hortalizas de hoja	Lechuga	0,20

Nota: Tomado de (Unión Europea, 2006). Adaptado por Autoras, 2021

**Tabla 7**

*Nivel máximo permisible para plomo – (UE)*

<b>Plomo</b>	<b>Nombre de la hortaliza</b>	<b>(mg/kg)</b>
Hortalizas y frutas	Tomate	0,30
Hortaliza de raíz y tubérculo	Zanahoria, Papa pelada	0,10
Hortalizas de hoja	Lechuga	0,30

Nota: Tomado de (Unión Europea, 2006). Adaptado por Autoras, 2021

### ***2.5.3 Cumplimiento de la norma cubana de cobre, sobre contaminantes metálicos en alimentos***

Al no tener un valor específico para cobre en ningún reglamento ya mencionado como el CODEX y la Unión Europea (UE), se procede a la siguiente normativa cubana, teniendo en cuenta que el cobre no es un contaminante, debido a que es un nutriente en niveles controlados, como se presenta a continuación:



**Tabla 8**

*Niveles máximos permisibles de cobre en alimentos según la norma cubana.*

<b>Nombre</b>	<b>Nivel sufixo (mg/kg)</b>	<b>Tipo</b>
Hortalizas de hoja (lechuga)	5	NM
Hortalizas de bulbo y raíz (Zanahoria)	5	NM
Hortalizas de fruto, cucurbitáceas (Tomate).	5	NM
Raíces y tubérculos (papa)	5	NM

Nota: Tomado de (Olivares, 2013, p. 292). Adaptado por Autoras, 2021

#### ***2.5.4 Cumplimiento de la norma de los niveles máximos permisibles de cobalto.***

Al no existir una normativa, ley o reglamento como el ya mencionado CODEX y la Unión Europea (UE), se acudió al libro de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales donde se estudia al cobalto y su interacción en el sistema biológico y para una mejor sustentación a la Agencia de sustancias tóxicas y el registro de enfermedades en donde determina las cantidades exactas que el cuerpo necesita de cobalto.

##### **2.5.4.1 Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**

La Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, estudia la química del cobalto y como actúa en los sistemas biológicos (Baran, 2018, p. 78), como se presenta a continuación:

**Tabla 9**

*Niveles máximo permisible de cobalto – Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*

<b>Nombre</b>	<b>Nivel sufijo (mg/kg)</b>
Hortalizas de hoja (lechuga)	
Hortalizas de bulbo y raíz (Zanahoria)	1.0
Hortalizas de fruto, cucurbitáceas (tomate)	
Patatas (papas)	

Nota: Tomado por (Baran, 2018, p. 84). Adaptado por Autoras, 2021

#### **2.5.4.2 Agencia de sustancias tóxicas y el registro de enfermedades.**

La Agencia de sustancias tóxicas y el registro de enfermedades mediante el código CAS#: 7440-48-4 determina los efectos a la salud a “cualquier sustancia peligrosa van a depender de la dosis, la duración, la manera de exposición, las características y hábitos personales, y si están presentes otras sustancias químicas” según plantea la Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades (2004, p. 1), estableciendo los siguientes parámetros:

**Tabla 10**

*Niveles máximo permisible de cobalto -Agencia de sustancias toxicas y el registro de enfermedades*

<b>Nombre</b>	<b>Nivel sufijo (mg/kg)</b>
Hortalizas de hoja (lechuga)	
Hortalizas de bulbo y raíz (Zanahoria)	
Hortalizas de fruto, cucurbitáceas (tomate)	0.16 a 1.0
Patatas (papas)	

Nota: Tomado de (Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades, 2004, p. 7). Adaptado por Autoras, 2021

Es importante mencionar que en las normas nacionales e internacionales consultadas no contemplan el cobre ni el cobalto como contaminantes, debido a que estos son nutrientes esenciales para los seres humanos. Por lo tanto, aun no hay un límite que permite diferenciar cuando pasan de esencial a tóxico.

### ***2.5.5 Seguridad alimentaria a nivel regional y local***

La seguridad Alimentaria recalca la importancia del consumo saludable de productos que mantengan un régimen de seguridad, enfocado en la regulación de los metales pesados presente en los alimentos para lo cual la Organización Mundial de la Salud establece los “compromisos globales para el control de diferentes metales y su transferencia en la cadena alimentaria” según Quishpe (2016). Sin embargo, la OMS se guía con las cantidades establecidas por el Codex Alimentarius.

En cuanto a la presencia de los metales en los alimentos, llegan a causar diferentes enfermedades al superar el límite establecido, en Ecuador define la soberanía y seguridad alimentaria como una obligación para garantizar el bienestar de la comunidad.

Según Gordillo (2013), “la misión es asegurar y desarrollar la investigación científica con el objetivo de mejorar la calidad nutricional de los alimentos, la productividad y la sanidad alimentaria, respetando y promoviendo las prácticas culturales”.

La legislación nacional como internacional comparten un objetivo estratégico y una obligación con la sociedad de proveer alimentos que sean sanos y saludables para el consumo, manteniendo un régimen estandarizado sobre los límites que debe existir en los diferentes productos en materia de alimentación.

#### ***2.5.6 Ley Orgánica De Consumo, Nutrición Y Salud Alimentaria***

La Comisión Técnica de Consumo, Nutrición y Salud Alimentaria (2013), menciona que la elección alimentaria “es libre, bien informada, razonada, ética y solidaria por parte de las familias consumidoras y por este medio lograr la redistribución de la riqueza y el estímulo para un modelo económico justo y solidario” estableciendo un sistema agrario basado en la agricultura familiar campesina de principios agroecológicos, garantizando alimentos sanos.

Nombrando a continuación los siguientes artículos de referencia:

**Art. 3, literal d)** de la Ley Orgánica del Régimen de Soberanía Alimentaria, dispone como obligación del Estado: “Incentivar el consumo de alimentos sanos, nutritivos de origen agroecológico y orgánico, evitando en lo posible la expansión del monocultivo y la utilización de cultivos agroalimentarios en la producción de biocombustibles, priorizando siempre el consumo alimenticio nacional”. (Comisión Técnica de Consumo, Nutrición y Salud Alimentaria , 2013, p. 11)

**Art. 24** de la Ley Orgánica del Régimen de Soberanía Alimentaria. Indica que la sanidad e inocuidad alimentaria tienen por objeto promover una adecuada nutrición y protección de la salud de las personas, y prevenir, eliminar o reducir la incidencia de enfermedades que se puedan causar o agravar por el consumo de alimentos contaminados (Comisión Técnica de Consumo, Nutrición y Salud Alimentaria , 2013, p. 11).

### 2.5.7 Normas

#### 2.5.7.1 NORMA TÉCNICA ECUATORIANA (INEN)

La norma INEN establece los procedimientos para la toma de muestras en hortalizas y frutas frescas.

**Tabla 11**

*Normativa INEN*

TAMAÑOS Y FORMAS	NOMBRE		TAMAÑO MINIMO DE CADA MUESTRA PARA ENSAYO
	VULGAR	CIENTIFICO	
Hortalizas Medianas	Tomate Riñón	<b>Familia:</b> Solanacea  <b>Género:</b> Lycopersicum  <b>Especie:</b> <i>Esculentum Mill</i>	2 kg
	Zanahoria Amarilla	<b>Familia:</b> Umbellíferae (apiaceae)  <b>Género:</b> Daucus,  <b>Especie:</b> <i>Carota L.</i>	2 kg

*Normativa INEN*

---

Hortalizas	Papa	<b>Familia:</b> Solanaceae	2 kg
Medianas		<b>Género:</b> Solanum g	
		<b>Especie:</b> <i>Tuberosum L.</i>	
Hortalizas	Lechuga	<b>Familia:</b> Compositae	10 unidades
varias		(Asteraceae)	
		<b>Género:</b> Lactuca	
		<b>Especie:</b> <i>Sativa L.</i>	

---

Nota: Tomado de (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012). Adaptado por: Autoras, 2021

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología fue de investigación experimental y estadística, identificando los metales pesados (Cu, Co, Cd, Pb) en las hortalizas mencionadas. El trabajo experimental cuenta con dos fases: campo y laboratorio.

- **Fase de campo**

En esta fase se realizó la obtención de las hortalizas de los dos sitios de los mercados convencionales y de los dos sitios de los mercados orgánicos del Distrito Metropolitano de Quito, para lo cual se compró la cantidad necesaria de cada producto a estudiar.

- **Fase de laboratorio**

El análisis de los metales pesados se realizó en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur, Facultad de Ingeniería Ambiental.

#### 3.1. Materiales

- **Materiales de campo**

- ✓ Muestra de hortalizas (Tomate, papa, zanahoria y lechuga)
- ✓ Fundas ziploc
- ✓ Marcadores
- ✓ Etiquetas

- **Materiales de laboratorio**

- ✓ Mortero (ISOLAB)
- ✓ Matraz
- ✓ Vasos de precipitación
- ✓ Pipeta

- ✓ Pinzas
- ✓ Crisoles
- ✓ Probeta
- ✓ Embudo
- ✓ Vidrio reloj
- ✓ Balón Volumétrico (25 y 50 ml)
- **Equipos de laboratorio**
  - ✓ Estufa (Binder)
  - ✓ Espectrofotómetro de absorción atómica. (Enduro T2100)
  - ✓ Balanza analítica (Mettler Toledo)
  - ✓ Microondas de digestión (Berghof)
- **Reactivos**
  - ✓ Agua destilada
  - ✓ Ácido nítrico (65%)
  - ✓ Solución patrón de plomo
  - ✓ Solución patrón de cadmio
  - ✓ Solución patrón de cobalto
  - ✓ Solución patrón de cobre

## **3.2. Metodología-Protocolo de laboratorio**

### ***3.2.1 Limpieza del material***

La limpieza de todo el material de laboratorio es de gran importancia ya que nos ayuda a reducir la posible contaminación de las muestras a analizar, especialmente en técnicas de alta sensibilidad como la espectrofotometría de absorción atómica.



Los materiales de vidrio y de plástico se lavaron con detergente y abundante agua de grifo, posteriormente se enjuagó tres veces con agua destilada para dejarlos en remojo en ácido nítrico al 10% durante 24 horas (tapado para evitar la contaminación). Pasado el tiempo se enjuagó tres veces con agua destilada, guardando para evitar la contaminación (Zubieta, 1995, p. 34).

Los recipientes del microondas de digestión se lavaron después de cada proceso de digestión con abundante agua de grifo, frotando suavemente con una esponja para eliminar los posibles restos de las muestras, luego se enjuagó tres veces con agua destilada y se colocó en un programa de limpieza en el microondas de digestión con agua destilada.

### ***3.2.2 Recolección de muestras***

Para la recolección de las muestras se tomó los siguientes criterios de aceptación:

- No desprende olores desagradables
- Hojas no marchitas (lechuga)
- Sin presencia de hongos

### ***3.2.3 Preparación de las muestras***

La preparación de las muestras tiene como finalidad obtener una muestra homogénea, por esta razón se sometió a algunas manipulaciones.

#### **3.2.3.1 Lavado**

Antes de iniciar el lavado se analizó si existe la necesidad de realizar o no el lavado, ya que las muestras son de hortalizas de consumo humano se realizó el lavado de la siguiente manera.

Se enjuagó con abundante agua de grifo, frotando suavemente con una esponja para evitar la destrucción de la estructura de la planta y se lavó tres veces con agua destilada, esta operación se la realizó en el menor tiempo posible para evitar alteraciones en las muestras (Zubieta, 1995, pp. 37-38).

### **3.2.3.2 Secado**

Es necesario secar la muestra debido a que es conveniente para el almacenamiento y la pulverización de la misma, obteniendo así una muestra homogénea. Se colocó las muestras de hortalizas en bandejas de aluminio cortadas en pedazos pequeños (*Solanum lycopersicum*, *Lactuca sativa*) y ralladas (*Solanum tuberosum*, *Daucus carota*) para un mejor proceso de molienda, luego se colocó en la estufa a 105°C durante 24 horas (Zubieta, 1995, p. 39).

### **3.2.3.3 Molienda**

Es necesario moler las muestras después de ser secadas para facilitar el análisis, logrando así una buena homogenización, la molienda de la muestra se realizó mediante un mortero obteniendo así partículas pequeñas (Zubieta, 1995, pp. 39-40).

### **3.2.4. Digestión de las muestras**

El objetivo de la digestión de las muestras es disolver la muestra, destruir la matriz orgánica y separar el analito de los componentes de la matriz, existen tres grandes métodos de digestión de las muestras, los métodos clásicos, por zonificación y por microondas. (Zubieta, 1995, p. 52).

En el presente estudio se utilizó el método de microondas.

### 3.2.4.1 Digestión por microondas

Zubieta (1995), notifica que es una técnica de extracción por vía húmeda de forma rápida y atractiva, el ácido nítrico es prácticamente es el ácido más utilizado en la digestión, ya que incrementa su poder oxidante al trabajar en recipientes cerrados calentados por microondas debido a las altas temperaturas y presiones que se alcanzan (pp. 75-76).

Para la digestión de las hortalizas, se tomó 0,3 g de la muestra seca y homogenizada, esto se transfieren a los reactores de digestión y se añadió 5 ml de ácido nítrico al 65%, mezclando la muestra con cuidado con una barra de vidrio, se esperó 20 minutos antes de cerrar el recipiente y se colocó en el microondas de digestión con el siguiente programa (Speedwave MSW-2, 2018, p. 33).

A continuación, se presenta el tiempo, la temperatura y la potencia que se colocó en el microondas para la digestión de las muestras de hortalizas.

**Tabla 12**

*Tiempo de digestión*

<b>Rampa</b>	1	2	3	4
<b>Temperatura °C</b>	145	190	100	0
<b>Potencia %</b>	75	100	40	0
<b>Tiempo (min)</b>	5	10	10	0

Nota: Tomado de (Speedwave MSW-2, 2018, p. 33).

Una vez terminado el proceso, se dejó enfriar los recipientes aproximadamente 60 minutos, pasado el tiempo se abrió los recipientes en una campana extractora con las manos,

los ojos y el cuerpo con un adecuado equipo de protección ya que se produjo una gran cantidad de gas, procedimos a filtrar la muestra para aforarla a 25 ml (Speedwave MSW-2, 2018, p. 33).

### ***3.2.5 Espectrofotometría de absorción atómica***

La espectrofotometría de absorción atómica es una de las técnicas más útiles para el análisis de compuestos inorgánicos, especialmente para los compuestos metálicos. El análisis de metales pesados mediante la espectrofotometría se realiza por dos métodos, mediante el método de llama y mediante el método de horno de grafito.

#### **3.2.5.1 Espectrofotometría de absorción atómica en llama**

Es una técnica extremadamente sensible, debido a que las líneas de absorción atómica son consideradas estrechas (de 0,002 a 0,005 nm) y la energía de transmisor eléctrica es única para cada elemento, la absorción atómica por llama está en orden de la ppm (Gallegos, Vega, & Noriega, 2012, pp. 20-23).

Una vez que se consiguió las muestras de hortalizas listas con el tratamiento previo, se procedió a elegir la longitud de onda adecuada para cada metal, posteriormente se realizó la curva de calibración con las soluciones estándar, las cuales deben ser realizadas periódicamente para cubrir los intervalos y son utilizadas para corregir las lecturas analíticas. El tipo de llama más utilizada para la determinación de plomo, cobre, cadmio y cobalto es la mezcla de aire (oxidante) y acetileno (combustible).

Las muestras de hortalizas poseen una cantidad pequeña de metales a analizar, por esta razón el método de llama no es pertinente para su evaluación y se procede a usar el horno de grafito que es 1000 veces más preciso que el método de llama y así obtener valores reales.

### 3.2.5.2 Espectrofotometría de absorción atómica mediante horno de grafito

La técnica con horno de grafito nos permite bajar los rangos de detección a ppb, con un instrumento sencillo y sin mayor esfuerzo.

Para la evaluación de los metales pesados se procedió a realizar las curvas de calibración de los metales a estudiar, el espectrofotómetro las realiza de forma automática con solo una solución estándar.

Se utilizó un estándar de 1000 ug/ml del metal a analizar, para obtener 1ppm de la misma solución, teniendo en cuenta que 1ppm equivale a 1000ppb, del mismo que se procedió a adquirir la solución madre.

**Tabla 13**

*Soluciones madre para las rectas de calibración*

<b>Metal</b>	<b>Solución madre</b>
Cobre	40 ppb
Cadmio	20 ppb
Cobalto	40 ppb
Plomo	100 ppb

Nota: Adaptado por Autoras, 2021

### 3.3. Diseño

#### 3.3.1 *Diseño experimental*

Los datos se obtuvieron a partir de un diseño de análisis de laboratorio mediante el equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica (método horno grafito), para determinar la concentración de metales pesados (cadmio, plomo, cobre y cobalto), presentes en tomate rinón (*Solanum lycopersicum*), papa (*Solanum tuberosum*), zanahoria (*Daucus carota*), lechuga (*Lactuca sativa*) provenientes de cuatro mercados: dos orgánicos y dos convencionales.

Cada análisis se realizó con una repetición de cinco veces para cada elemento, teniendo un total de treientos veinte muestras analizadas. Se utilizó la siguiente ecuación según Vásquez (2020), para obtener la concentración de cada metal:

$$\text{Concentración } \left( \frac{mg}{kg} \right) = \frac{\text{lectura del equipo } \left( \frac{mg}{kg} \right) * FD * Aforo(ml)}{\text{peso muestra}(g)}$$

**Donde:**

**FD:** Factor de dilución (1)

#### 3.3.2 *Diseño estadístico*

Los datos se analizaron mediante el Software Microsoft Excel con el complemento de Real Statistics, que proporciona información sobre ANOVA y comparaciones múltiples utilizando pruebas de TUKEY al 5%, creando intervalos de confianza entre las concentraciones (Cd, Pb, Cu y Co) de las hortalizas y entre los mercados.

Teniendo en cuenta que “cuanto mayor sea el valor de F mayor será la probabilidad de que el experimento se declare como significativo” según menciona Fallas (2012, pp. 8-12), interpretando de la siguiente manera:

***Valor  $p \leq \alpha$  : SIGNIFICATIVA***

Cuando el valor p es menor al nivel de significancia (Alpha) se rechaza la hipótesis nula.

***Valor  $p > \alpha$  : NO SIGNIFICATIVA***

Cuando el valor p es mayor al nivel de significancia (Alpha) se rechaza la hipótesis alternativa.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga fueron recolectadas de dos diferentes mercados orgánicos y dos diferentes mercados convencionales del Distrito Metropolitano de Quito, analizando la presencia de cadmio, plomo, cobre y cobalto por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Horno Grafito, efectuando un total de dieciséis muestras de hortalizas con cinco repeticiones por cada metal, obteniendo los siguientes resultados.

### 4.1. Determinación de Cadmio

Se elaboró una curva de calibración para analizar la linealidad del método, partiendo de una solución madre de 20ppb de cadmio, teniendo los siguientes estándares de dilución.

**Tabla 14**

*Datos de los estándares de cadmio para la construcción de la curva de calibración.*

Estándar	Concentración (ppb)	Absorbancia
1	1	0,083
2	5	0,351
3	7	0,464
4	10	0,547

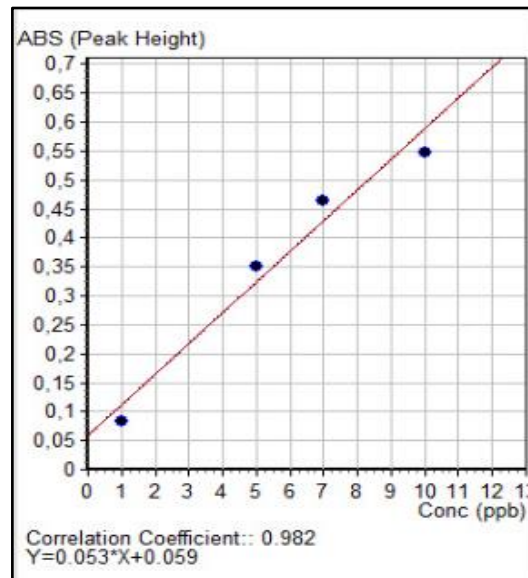
Nota: Elaborado por Autoras, 2021

Se logró la mejor curva de calibración con un *coeficiente de correlación* = 0,982, evidenciando una tendencia lineal para una mejor lectura de las concentraciones.



### Figura 3

*Curva de calibración- Estándar de cadmio.*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

En la tabla 15 se tiene los resultados de los análisis del metal de cadmio en zanahoria, papa, tomate y lechuga expresados como la *Media*  $\pm$  *Desviación estandar* en  $\left(\frac{mg}{kg}\right)$ .

**Tabla 15**

*Resultados de concentración de cadmio (mg/kg) en las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga.*

<b>Resultados Cadmio (mg/kg)</b>				
	<b>MO1</b>	<b>MO2</b>	<b>MC1</b>	<b>MC2</b>
<b>Zanahoria</b>	0,0415	0,0327	0,0355	0,0209
	0,0472	0,0357	0,0323	0,0296
	0,0440	0,0431	0,0314	0,0228
	0,0450	0,0333	0,0298	0,0181
	0,0374	0,0393	0,0305	0,0228
<b>Promedio</b>	0,0430	0,0368	0,0319	0,0228
<b>SD</b>	±0,0038	±0,0044	±0,0022	±0,0042
<b>Papa</b>	0,0108	0,0431	0,0318	0,0209
	0,0124	0,0433	0,0341	0,0288
	0,0137	0,0404	0,0277	0,0283
	0,0096	0,0417	0,0278	0,0278
	0,0064	0,0423	0,0278	0,0198
<b>Promedio</b>	0,0106	0,0422	0,0298	0,0251
<b>SD</b>	±0,0028	±0,0012	±0,0030	±0,0044

*Resultados de concentración de cadmio (mg/kg) en las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga.*

	0,0702	0,0544	0,0674	0,0351
	0,0550	0,0618	0,0637	0,0369
<b>Tomate</b>	0,0607	0,0578	0,0683	0,0368
	0,0608	0,0585	0,0684	0,0495
	0,0596	0,0596	0,0665	0,0358
<b>Promedio</b>	0,0613	0,0584	0,0669	0,0388
<b>SD</b>	±0,0055	±0,0027	±0,0019	±0,0060
	0,0452	0,056	0,0417	0,0473
	0,0365	0,0514	0,0385	0,0621
<b>Lechuga</b>	0,0503	0,0491	0,0382	0,0558
	0,0468	0,0511	0,0354	0,059
	0,0392	0,0532	0,0422	0,0585
<b>Promedio</b>	0,0436	0,0522	0,0392	0,0565
<b>SD</b>	±0,0056	±0,0026	±0,0027	±0,0056

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

Todas las muestras analizadas tienen presencia de cadmio, las concentraciones abarcan en la zanahoria desde 0,0181 *mg/kg* hasta 0,0472 *mg/kg*, papa desde 0,0064 *mg/kg* hasta 0,0433 *mg/kg*, tomate desde 0,0351 *mg/kg* hasta 0,0702 *mg/kg* y lechuga desde 0,0354 *mg/kg* hasta 0,0621 *mg/kg*, encontrándose mayor dispersión en los valores del tomate. Tabla 16

Se realizó una prueba de comparaciones múltiples ANOVA con el factor de 95% de confianza y prueba de comparación TUKEY HSD/KRAMER, para evaluar los resultados.

#### 4.1.1. Análisis de (ANOVA- TUKEY HSD/KRAMER) cadmio en zanahoria, papa, tomate y lechuga

Se desarrolló un análisis ANOVA para cada una de las hortalizas donde nos indica que existen diferencias significativas entre las concentraciones presentes en los diferentes mercados.

- **Zanahoria**

**Tabla 16**

*Análisis de ANOVA del contenido de cadmio en zanahoria de los cuatro mercados.*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>Df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
<b>Entre Grupos</b>	0,0011	3	0,00036	25,90952	0,0000022
<b>Dentro de Grupos</b>	0,0002	16	0,00001		
<b>Total</b>	0,0013	19	0,00007		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 17***Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cadmio en zanahoria*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>		<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Promedio</i>	<i>P-value</i>
MO1	MO2	0,00620	0,07885**
MO1	MC1	0,01112	0,00125*
MO1	MC2	0,02018	0,00000*
MO2	MC1	0,00492	0,20202**
MO2	MC2	0,01398	0,00012*
MC1	MC2	0,00906	0,00728*

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \*Si hay diferencia.

En los resultados de la prueba TUKEY HSD/KRAMER (tabla 17), se observa que no existe una diferencia significativa entre los MO1 vs MO2 y entre el MO2 vs MC1.

- **Papa**

**Tabla 18***Análisis de ANOVA del contenido de cadmio en papa de los cuatro mercados.*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>	<b>Alpha 0,05</b>				
<b>Fuentes</b>	<b>SS</b>	<b>Df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P value</b>
<b>Entre Grupos</b>	0,00256	3	0,00085	91,53135	2,75E-10
<b>Dentro de Grupos</b>	0,00015	16	0,00001		
<b>Total</b>	0,00270	19	0,00014		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 19***Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cadmio en papa*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>		<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Q TEST</b>			
<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Promedio</i>	<i>P-value</i>
MO1	MO2	0,03158	0,00000*
MO1	MC1	0,01926	0,00000*
MO1	MC2	0,01454	0,00001*
MO2	MC1	0,01232	0,00005*
MO2	MC2	0,01704	0,00000*
MC1	MC2	0,00472	0,10793**

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \* Si hay diferencia.

Los resultados de la prueba TUKEY HSD/KRAMER indican que no existe una diferencia significativa entre los MC1 vs MC2 (Ver tabla 19).

- **Tomate**

**Tabla 20***Análisis de ANOVA del contenido de cadmio en tomate de los cuatro mercados*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>			<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>	
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>Df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
<b>Entre Grupos</b>	0,002231	3	0,00074	38,20626	1,5974E-07
<b>Dentro de Grupos</b>	0,000311	16	0,00002		
<b>Total</b>	0,002542	19	0,00013		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 21***Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cadmio en tomate*

TUKEY HSD/KRAMER		Alpha	0,05
Q TEST			
Grupo 1	Grupo 2	Promedio	P-value
MO1	MO2	0,00284	0,74161**
MO1	MC1	0,00560	0,22633**
MO1	MC2	0,02244	0,00000*
MO2	MC1	0,00844	0,03641*
MO2	MC2	0,01960	0,00002*
MC1	MC2	0,02804	0,00000*

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \*Si hay diferencia.

Con la prueba TUKEY HSD/KRAMER (Tabla 21) se define que no existe una diferencia significativa entre los MO1 vs MO2 y MO1 vs MC1.

- **Lechuga**

**Tabla 22***Análisis de ANOVA del contenido de cadmio en lechuga de los cuatro mercados*

ANOVA: Factor Único					
Descripción				Alpha	0,05
Fuentes	SS	Df	MS	F	P value
Entre Grupos	0,00093	3	0,00031	15,96723	0,00005
Dentro de Grupos	0,00031	16	0,00002		
Total	0,00125	19	0,00007		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 23**

*Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cadmio en lechuga*

TUKEY HSD/KRAMER		Alpha	0,05
Q TEST			
<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Promedio</i>	<i>P-value</i>
MO1	MO2	0,00856	0,03375*
MO1	MC1	0,00440	0,41954**
MO1	MC2	0,01294	0,00142**
MO2	MC1	0,01296	0,00140**
MO2	MC2	0,00438	0,42336*
MC1	MC2	0,01734	0,00007**

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \*Si hay diferencia.

En la tabla 23 se aprecia la prueba TUKEY HSD/KRAMER, existiendo diferencias significativas entre los MO1 vs MO2 y MO2 vs MC2.

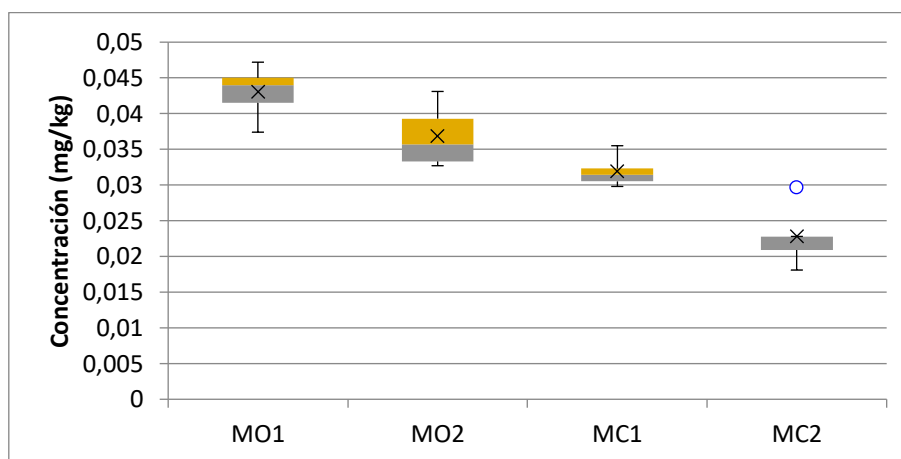


#### 4.1.2. Determinación de cadmio en hortalizas.

- Zanahoria

**Figura 4**

*Comparación de datos obtenidos de cadmio en zanahoria de los mercados.*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

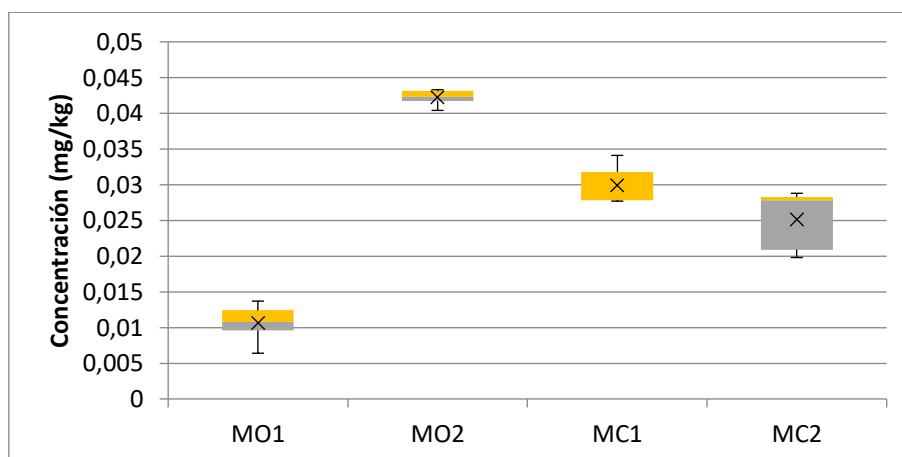
Los resultados reportados en la zanahoria (Tabla 15) son para: el MO1 con una concentración de  $0,0430 \pm 0,0038$  ( $mg/kg$ ), en el MO2 fue de  $0,0368 \pm 0,0044$  ( $mg/kg$ ), en el MC1 fue de  $0,0319 \pm 0,0022$  ( $mg/kg$ ) y para el MC2 de  $0,0228 \pm 0,0042$  ( $mg/kg$ ).

Al comparar con los niveles máximos permisibles para zanahoria según CODEX STAN (2001, p. 35) es de  $0,05$  ( $mg/kg$ ) ver (Tabla 4) y por la Unión Europea (2006) es de  $0,10$  ( $mg/kg$ ) ver (Tabla 6) se determina que NO sobrepasa el nivel máximo permisible recomendado, sin embargo, la zanahoria del MO1 posee mayor concentración de cadmio con  $0,0430$  ( $mg/kg$ ), no obstante NO sobrepasa la normativa mencionada.

- **Papa**

**Figura 5**

Comparación de datos obtenidos de cadmio en papa de los mercados.



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

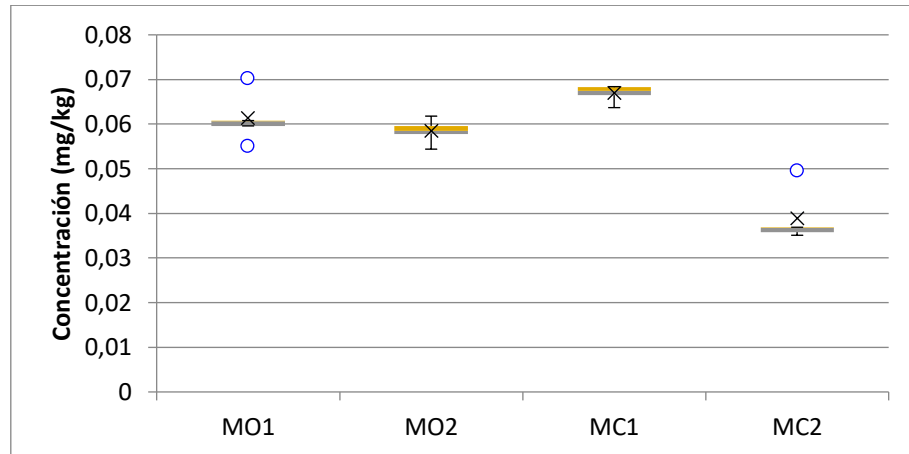
Los resultados encontrados en la papa (Tabla 15) en el MO1, dio una concentración de  $0,0106 \pm 0,0028$  (*mg/kg*), para el MO2 es de  $0,0422 + 0,0012$  (*mg/kg*), para el MC1 es de  $0,0298 \pm 0,0030$  (*mg/kg*) y para el MC2 es de  $0,0251 \pm 0,0044$  (*mg/kg*).

Al comparar con los niveles máximos permisibles para papa según CODEX STAN , (2001, p. 35), es de  $0,10$  (*mg/kg*) ver (Tabla 4) y por la Unión Europea (2006), es de  $0,10$  (*mg/kg*) ver (Tabla 7) se determina que NO sobrepasa el nivel máximo permisible recomendado, sin embargo, la papa del MO2 es la que posee mayor concentración de cadmio con  $0,0422$  (*mg/kg*), no obstante NO sobrepasa la normativa mencionada.

- **Tomate**

**Figura 6**

*Comparación de datos obtenidos de cadmio en tomate de los mercados.*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

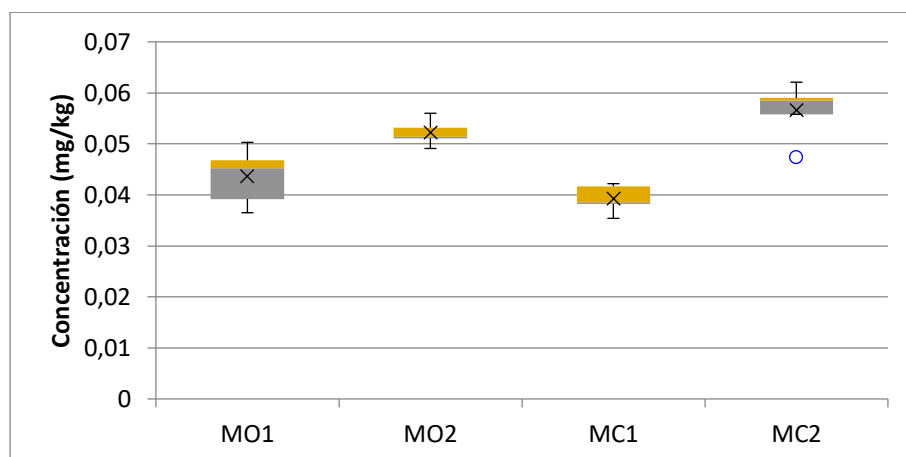
El tomate (Tabla 15) en el MO1 tuvieron una concentración de  $0,0613 \pm 0,0055$  (*mg/kg*), el MO2 dio  $0,0584 \pm 0,0027$  (*mg/kg*), el MC1 dio  $0,0669 \pm 0,0019$  (*mg/kg*) y el MC2 dio  $0,0388 \pm 0,0060$  (*mg/kg*).

Al comparar con los niveles máximos permisibles para tomate según CODEX STAN (2001, p. 35) es de  $0,05$  (*mg/kg*) ver (Tabla 4) y por la Unión Europea (2006) es de  $0,05$  (*mg/kg*) ver (Tabla 6) se determina que sobrepasa el nivel máximo permisible recomendado, a excepción del MC2 que se encuentra dentro de los límites.

- **Lechuga**

**Figura 7**

*Comparación de datos obtenidos de cadmio en lechuga de los mercados.*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

Los resultados encontrados en la lechuga (Tabla 15), el MO1 tuvo una concentración de  $0,0436 \pm 0,0056$  ( $mg/kg$ ), el MO2 tuvo  $0,0522 \pm 0,0026$  ( $mg/kg$ ), el MC1 tuvo  $0,0392 \pm 0,0027$  ( $mg/kg$ ) y el MC2 tuvo  $0,0565 \pm 0,0056$  ( $mg/kg$ ).

Al comparar con los niveles máximos permisibles para lechuga según CODEX STAN (2001, p. 35) es de  $0,20$  ( $mg/kg$ ) ver (Tabla 4) y por la Unión Europea (2006) es de  $0,20$  ( $mg/kg$ ) ver (Tabla 6) se determina que NO sobrepasa el nivel máximo permisible recomendado, sin embargo, la lechuga del MC2 es la que posee mayor concentración de cadmio con  $0,0565$  ( $mg/kg$ ), no obstante NO sobrepasa la normativa mencionada.

#### **4.1.3. Análisis de cadmio entre mercados.**

Se realizó un análisis entre los cuatro mercados (dos mercados orgánicos vs dos mercados convencionales) determinando que la zanahoria, papa y lechuga no sobrepasa la normativa en ninguno de los mercados estudiados, sin embargo Sánchez (2016, pág. 9), da a conocer que las papas, hortalizas de hoja y de raíz como la zanahoria; entre otros, contienen concentraciones altas de cadmio y el 80% de ingesta del metal se da por medio de estos alimentos. El tomate del MO1, MO2, MC1 sobrepasa la normativa establecida, que según Hernández, Rodríguez, Peña, Meriño y Cartaya (2019), existen una variedad de clases de tomates que son tolerantes al cadmio y lo bioacumulan en los tejidos aéreos principalmente en los brotes y en los frutos, dependiendo de su genotipo.

Demostrando que la concentración de cadmio no depende de los mercados (que es el tema de estudio) sino de condiciones externas como el lugar del cultivo, enmiendas en los campos y aplicación de fertilizantes fosfatados (dependiendo de la procedencia geográfica de las rocas empleadas para su fabricación).

#### **4.1.4. Análisis toxicológico de cadmio**

Se determinó de manera general que la zanahoria, papa y lechuga no sobrepasan los límites permisibles de las normativas mencionadas, sin embargo, el tomate posee una concentración levemente superior a los límites permisibles lo que su consumo a largo plazo puede producir daños severos a la salud como problemas respiratorios, edema pulmonar, daño renal cuando el nivel de cadmio supera a los 200 ug/g en el riñón, según plantea Goetschel (2018).

## 4.2. Determinación de Plomo

Se elaboró una curva de calibración para analizar la linealidad del método, partiendo de una solución madre de 100ppb de cadmio con los siguientes estándares de dilución.

**Tabla 24**

*Datos de los estándares de plomo para la construcción de la curva de calibración.*

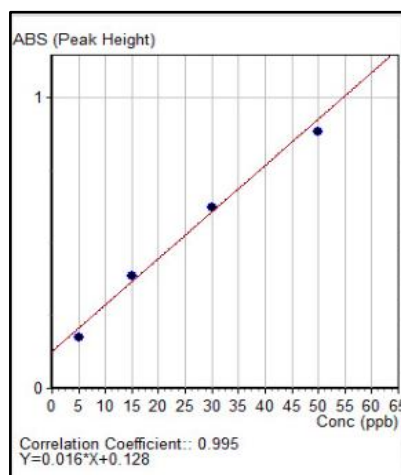
Estándar	Concentración (ppb)	Absorbancia
1	5	0,173
2	15	0,387
3	30	0,622
4	50	0,883

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

Se logró la mejor curva con un *Coefficiente de correlación* = 0,995, evidenciando una tendencia lineal para una mejor lectura de las concentraciones.

**Figura 8**

*Curva de Calibración- Estándar de plomo*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

En la tabla 25 se muestra los resultados de los análisis del metal de plomo en zanahoria, papa, tomate y lechuga expresados como la *Media*  $\pm$  *Desviación estandar*.

**Tabla 25**

*Resultados de concentración de plomo (mg/kg) en las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga.*

<b>Resultados plomo</b>				
	<b>MO1</b>	<b>MO2</b>	<b>MC1</b>	<b>MC2</b>
	0,0604	0,0412	0,0490	0,0713
	0,0604	0,0203	0,0453	0,0729
<b>Zanahoria</b>	0,0615	0,0198	0,0583	0,0750
	0,0688	0,0251	0,0578	0,0711
	0,0626	0,0247	0,0447	0,0767
<b>Promedio</b>	0,0627	0,0262	0,0510	0,0734
<b>SD</b>	$\pm 0,0035$	$\pm 0,0087$	$\pm 0,0066$	$\pm 0,0024$
	0,1303	0,1100	0,0450	0,1745
	0,1073	0,1033	0,0563	0,1676
	0,1167	0,1183	0,0505	0,1698
<b>Papa</b>	0,1282	0,1033	0,0583	0,1657
	0,1193	0,1183	0,0576	0,1693
<b>Promedio</b>	0,1204	0,1106	0,0535	0,1694
<b>SD</b>	$\pm 0,0093$	$\pm 0,0075$	$\pm 0,0057$	$\pm 0,0033$

*Resultados de concentración de plomo (mg/kg) en las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga.*

	0,0526	0,0703	0,0896	0,0433
	0,0417	0,0678	0,0922	0,0443
<b>Tomate</b>	0,0407	0,0683	0,0995	0,0370
	0,0417	0,0678	0,1188	0,0369
	0,0478	0,0684	0,0915	0,0388
<b>Promedio</b>	0,0449	0,0685	0,0983	0,0401
<b>SD</b>	±0,0051	±0,0010	±0,0121	±0,0035
	0,0474	0,0813	0,1883	0,0578
	0,0625	0,0698	0,1824	0,0599
<b>Lechuga</b>	0,0365	0,0495	0,1812	0,0573
	0,0380	0,0750	0,1800	0,0547
	0,0546	0,0638	0,1783	0,0593
<b>Promedio</b>	0,0478	0,0679	0,1820	0,0578
<b>SD</b>	±0,0110	±0,0121	±0,0038	±0,0020

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

En la tabla 25, todas las muestras analizadas tienen presencia de plomo, las concentraciones abarcan en la zanahoria desde 0,0198 *mg/kg* hasta 0,0767 *mg/kg*, papa desde 0,0450 *mg/kg* hasta 0,1745 *mg/kg*, tomate desde 0,0369 *mg/kg* hasta 0,1188 *mg/kg* y lechuga desde 0,0365 *mg/kg* hasta 0,1883 *mg/kg*, encontrándose mayor dispersión en los valores de tomate y lechuga.



Se efectuó una prueba de comparaciones múltiples ANOVA con el factor de 95% de confianza y prueba de comparación TUKEY HSD/KRAMER, para evaluar los resultados individuales.

**4.2.1. Análisis de (ANOVA- TUKEY HSD/KRAMER) plomo en zanahoria, papa, tomate y lechuga**

El análisis ANOVA de cada una de las hortalizas indica que existen diferencias significativas entre las concentraciones presentes en los diferentes mercados. Rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa.

- **Zanahoria**

**Tabla 26**

*Análisis de ANOVA del contenido de plomo en zanahoria de los cuatro mercados.*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
<b>Entre Grupos</b>	0,0062	3	0,0020	59,43837	6,79E-09
<b>Dentro de Grupos</b>	0,0006	16	0,0000		
<b>Total</b>	0,0067	19	0,0003		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 27***Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de plomo en zanahoria*

TUKEY HSD/KRAMER		Alpha	0,05
Q TEST			
Grupo 1	Grupo 2	Promedio	P-value
MO1	MO2	0,0365	1,94634E-07*
MO1	MC1	0,0117	2,82880E-02*
MO1	MC2	0,0107	4,93256E-02*
MO2	MC1	0,0248	2,89978E-05*
MO2	MC2	0,0472	5,07972E-09*
MC1	MC2	0,0224	9,51949E-05*

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*No hay diferencia. \*\* Si hay diferencia.

Mediante la prueba TUKEY HSD/KRAMER se observa que no existe una diferencia significativa entre los mercados (Ver tabla 27).

- **Papa**

**Tabla 28***Análisis de ANOVA del contenido de plomo en papa de los cuatro mercados*

ANOVA: Factor Único					
Descripción				Alpha	0,05
Fuentes	SS	df	MS	F	P value
Entre Grupos	0,0339	3	0,0113	243,1185	1,49E-13
Dentro de Grupos	0,0007	16	0,0000		
Total	0,0346	19	0,0018		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 29***Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de plomo en papa*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>		<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Q TEST</b>			
<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Promedio</i>	<i>P-value</i>
MO1	MO2	0,0097	0,1507**
MO1	MC1	0,0668	2,62E-10*
MO1	MC2	0,0490	2,48E-08*
MO2	MC1	0,0571	2,71E-09*
MO2	MC2	0,0587	1,78E-09*
MC1	MC2	0,1158	6,99E-14*

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \* Si hay diferencia.

A través de la prueba TUKEY HSD/KRAMER (tabla 29) no existe una diferencia significativa entre los MO 1 vs MO2.

- **Tomate**

**Tabla 30***Análisis de ANOVA del contenido de plomo en tomate de los cuatro mercados*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
<b>Entre Grupos</b>	0,0107	3	0,00355	76,78818	1,026E-09
<b>Dentro de Grupos</b>	0,0007	16	0,00005		
<b>Total</b>	0,0114	19	0,00060		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 31***Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de plomo en tomate*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>		<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Q TEST</b>			
<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Promedio</i>	<i>P-value</i>
MO1	MO2	0,0236	2,61E-04*
MO1	MC1	0,0534	7,01E-09*
MO1	MC2	0,0048	0,6800**
MO2	MC1	0,0298	1,85E-05*
MO2	MC2	0,0285	3,21E-05*
MC1	MC2	0,0583	1,96E-09*

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \* Si hay diferencia.

Se define los resultados de la prueba TUKEY HSD/KRAMER donde indica que no existe una diferencia significativa entre los MO1 vs MC2 (Ver tabla 31).

- **Lechuga**

**Tabla 32***Análisis de ANOVA del contenido de plomo en lechuga de los cuatro mercados*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
<b>Entre Grupos</b>	0,0589	3	0,0196	273,0377	6,01E-14
<b>Dentro de Grupos</b>	0,0011	16	0,0001		
<b>Total</b>	0,06	19	0,0032		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 33**

*Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de plomo en lechuga*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>		<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Q TEST</b>			
<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Promedio</i>	<i>P-value</i>
MO1	MO2	0,0201	0,0086*
MO1	MC1	0,1342	1,82E-13*
MO1	MC2	0,0100	0,2811**
MO2	MC1	0,1142	1,93E-12*
MO2	MC2	0,0101	0,2749**
MC1	MC2	0,1242	5,34E-13*

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \* Si hay diferencia.

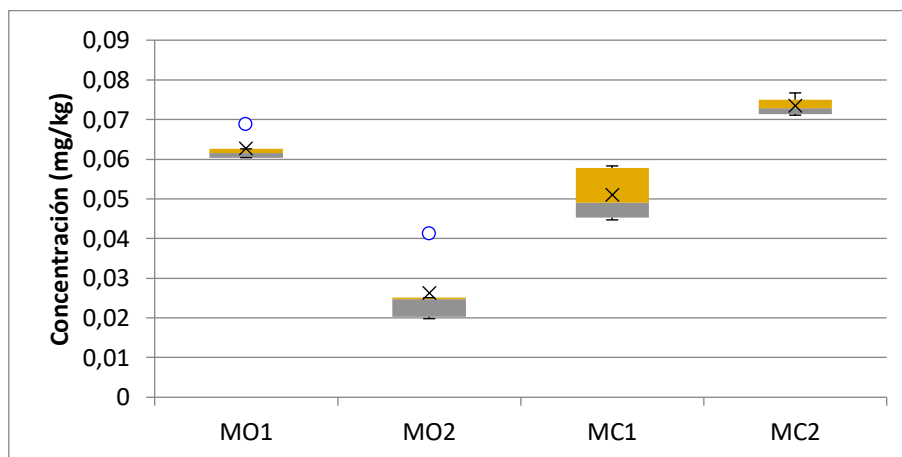
A través de la prueba TUKEY HSD/KRAMER (tabla 33) se confirma que no existe una diferencia significativa entre los MO 1 vs MC2 y MO2 vs MC2.

#### 4.2.2. Concentración de plomo en hortalizas

- Zanahoria

Figura 9

Comparación de datos obtenidos de plomo en zanahoria de los mercados.



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

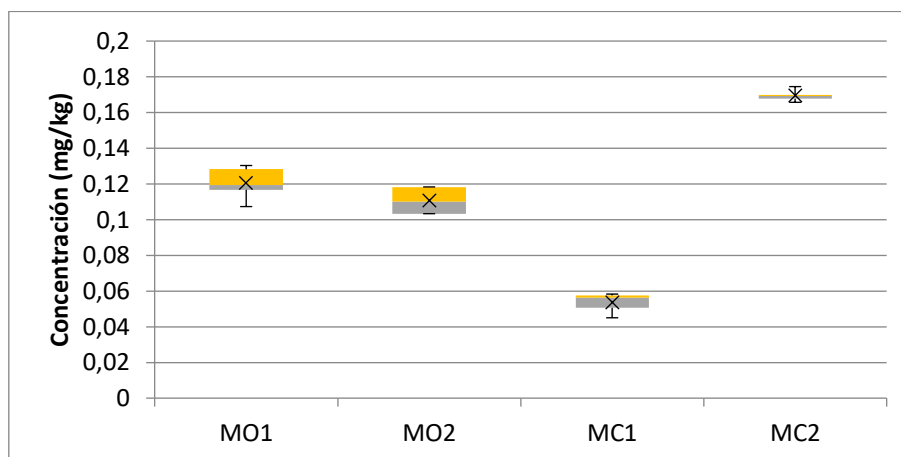
Los resultados de la zanahoria (Tabla 27) son: para el MO1 con una concentración de  $0,0627 \pm 0,0035$  ( $mg/kg$ ), para el MO2 con  $0,0262 \pm 0,0087$  ( $mg/kg$ ), para el MC1 con  $0,0510 \pm 0,0066$  ( $mg/kg$ ) y para el MC2 con  $0,0734 \pm 0,0024$  ( $mg/kg$ ).

Al comparar con los niveles máximos permisibles para zanahoria según CODEX STAN (2001, p. 35), es de  $0,1$  ( $mg/kg$ ) ver (Tabla 5) y por la Unión Europea (2006), es de  $0,1$  ( $mg/kg$ ) ver (Tabla 7) se determina que NO sobrepasa el nivel máximo permisible recomendado, sin embargo, la zanahoria del MC2 es la que posee mayor concentración de cadmio con  $0,0734$  ( $mg/kg$ ), no obstante NO sobrepasa la normativa mencionada.

- **Papa**

**Figura 10**

*Comparación de datos obtenidos de plomo en papa de los mercados*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

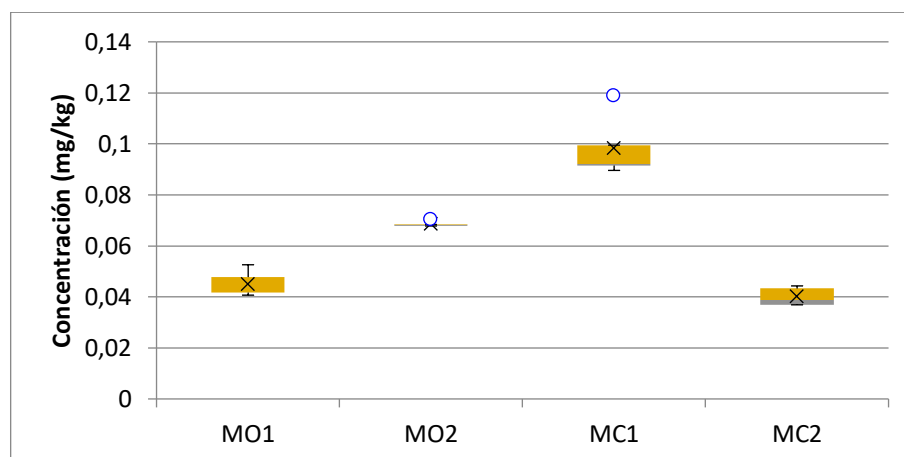
Los resultados encontrados en la papa (Tabla 27), en el MO1 se obtuvo una concentración de  $0,1204 \pm 0,0093$  ( $mg/kg$ ), en el MO2 se obtuvo  $0,1106 \pm 0,0075$  ( $mg/kg$ ), en el MC1 se obtuvo  $0,0535 \pm 0,0057$  ( $mg/kg$ ) y el MC2 se obtuvo  $0,1694 \pm 0,0033$  ( $mg/kg$ ).

Al comparar con los niveles máximos permisibles para la papa según CODEX STAN , (2001, p. 35), es de  $0,1$  ( $mg/kg$ ) ver (Tabla 5) y por la Unión Europea (2006), es de  $0,1$  ( $mg/kg$ ) ver (Tabla 7) se determina que la papa sobrepasa el nivel máximo permisible recomendado, a excepción del MC1 que se encuentra dentro de los límites.

- **Tomate**

**Figura 11**

*Comparación de datos obtenidos de plomo en tomate de los mercados.*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

Los resultados encontrados en el tomate (Tabla 27) en el MO1 fue de una concentración de  $0,0449 \pm 0,0051$  (*mg/kg*), en el MO2 fue de  $0,0685 \pm 0,0010$  (*mg/kg*), en el MC1 fue de  $0,0983 \pm 0,0121$  (*mg/kg*) y el MC2 fue de  $0,0401 \pm 0,0035$  (*mg/kg*).

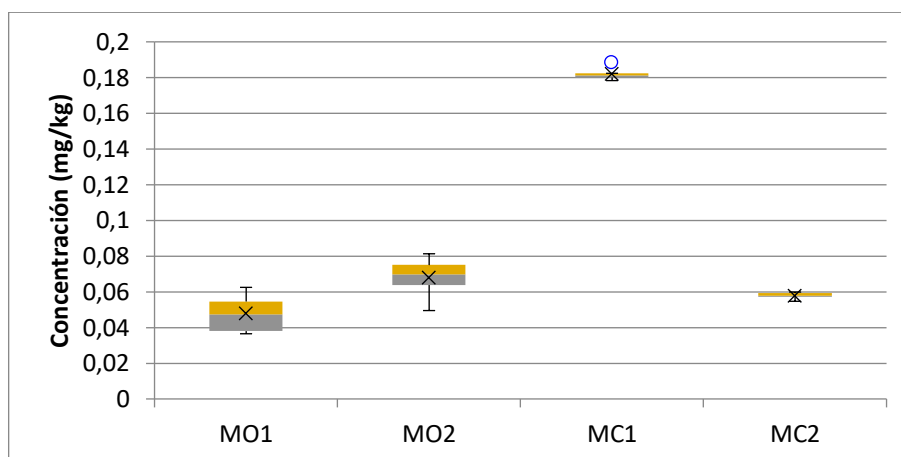
Al comparar con los niveles máximos permisibles para tomate según CODEX STAN , (2001, p. 35), es de  $0,1$  (*mg/kg*) ver (Tabla 5) y por la Unión Europea (2006), es de  $0,3$  (*mg/kg*) ver (Tabla 7) se determina que NO sobrepasa el nivel máximo permisible recomendado, sin embargo, el tomate del MC1 es el que posee mayor concentración de plomo con  $0,0983$  (*mg/kg*), no obstante NO sobrepasa la normativa mencionada.



- **Lechuga**

**Figura 12**

*Comparación de datos obtenidos de plomo en lechuga de los mercados.*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

Los resultados encontrados en la lechuga (Tabla 27) para el MO1 es de una concentración de  $0,0478 \pm 0,0110$  ( $mg/kg$ ), para el MO2 es de  $0,0679 \pm 0,0121$  ( $mg/kg$ ), para el MC1 es de  $0,1820 \pm 0,0038$  ( $mg/kg$ ) y para el MC2 es de  $0,0578 \pm 0,0020$  ( $mg/kg$ ).

Al comparar con los niveles máximos permisibles para lechuga según CODEX STAN (2001, p. 35), es de  $0,3$  ( $mg/kg$ ) ver (Tabla 5) y por la Unión Europea (2006), es de  $0,3$  ( $mg/kg$ ) ver (Tabla 7) se determina que NO sobrepasa el nivel máximo permisible recomendado, sin embargo, la lechuga del MC1 es la que posee mayor concentración de plomo con  $0,1820$  ( $mg/kg$ ), no obstante NO sobrepasa la normativa mencionada.

#### ***4.2.3. Análisis de plomo entre mercados.***

Entre los cuatro mercados (dos mercados orgánicos vs dos mercados convencionales) se estableció que la zanahoria, tomate y lechuga no sobrepasa la normativa en ninguno de los mercados estudiados; Prieto, Ramírez y Román (2009, p. 35), señala que algunas plantas acumulan plomo en las raíces haciendo mínima su presencia en otras partes u órganos de los cultivos, por ejemplo la papa que sobrepasa levemente la normativa en el MO1, MO2 y MC2 corroborando con Chacón (2019, p. 13) que afirma que las plantas absorben los metales pesados por las raíces en donde se bioacumula el metal por la presencia de calcio que evita que el plomo sea transportado a la parte aérea de la planta y depende de varios factores como la época de cultivo, composición química y solubilidad del metal en el suelo (certificando que no necesariamente influye el lugar de venta sino de los factores antes mencionados).

#### ***4.2.4. Análisis toxicológico de plomo***

Se determinó de manera general con respecto al plomo que la zanahoria, tomate y la lechuga no sobrepasan los límites permisibles de las normativas mencionadas, sin embargo, la papa posee una concentración levemente superior a los límites permisibles lo que su consumo a largo plazo puede producir daños severos a la salud, en los niños puede provocar retraso del desarrollo mental e intelectual y en los adultos hipertensión y enfermedades cardiovasculares, según menciona Londoño, Londoño y Muñoz (2016) y Goetschel (2018), el plomo se acumula en la raíces, lo que pudo ocasionar que la papa (tubérculo) presente mayor concentración de plomo, aunque se puede ser afectado por otras variables ambientales como la contaminación del suelo, contaminación del agua de riego, entre otros.

### 4.3. Determinación de Cobre

Se elaboró una curva de calibración para analizar la linealidad del método, partiendo de una solución madre de 40ppb de cobre, obteniendo los siguientes estándares de dilución.

**Tabla 34**

*Datos de los estándares de cobre para la construcción de la curva de calibración*

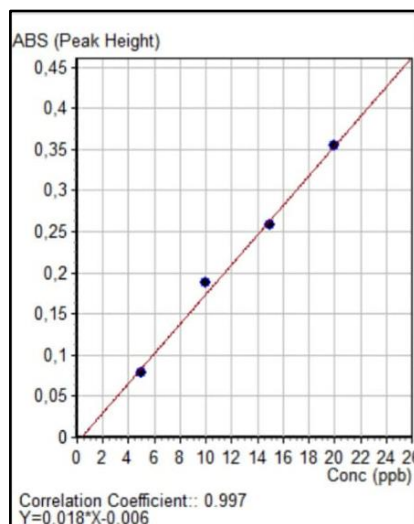
Estándar	Concentración (ppb)	Absorbancia
1	5	0,078
2	10	0,188
3	15	0,258
4	20	0,355

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

Se obtuvo la mejor curva de calibración con un *coeficiente de correlación* = 0,997, evidenciando una tendencia lineal para una mejor lectura de las concentraciones.

**Figura 13**

*Curva de Calibración- Estándar de cobre*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

Los resultados de los análisis del metal de plomo en zanahoria, papa, tomate y lechuga expresados como la *Media ± Desviación estandar* (Ver tabla 35).

**Tabla 35**

*Resultados de concentración de cobre (mg/kg) en las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga*

<b>Resultados cobre</b>				
	<b>MO1</b>	<b>MO2</b>	<b>MC1</b>	<b>MC2</b>
	0,0898	0,0403	0,0431	0,0427
	0,0949	0,0357	0,0408	0,0436
<b>Zanahoria</b>	0,0783	0,0352	0,0408	0,0413
	0,0787	0,0357	0,0491	0,0409
	0,0755	0,0352	0,0482	0,0417
<b>Promedio</b>	0,0834	0,0364	0,0444	0,0420
<b>SD</b>	±0,0084	±0,0022	±0,0040	±0,0011
	0,1092	0,1139	0,0767	0,0517
	0,1083	0,1065	0,0658	0,0508
<b>Papa</b>	0,1067	0,1227	0,0667	0,0542
	0,1150	0,1005	0,0758	0,0508
	0,1167	0,1014	0,0717	0,0542
<b>Promedio</b>	0,1112	0,1090	0,0713	0,0523
<b>SD</b>	±0,0044	±0,0093	±0,0050	±0,0017

*Resultados de concentración de cobre (mg/kg) en las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga*

	0,0912	0,0675	0,0491	0,0449
	0,0838	0,0767	0,0440	0,0403
<b>Tomate</b>	0,1047	0,0717	0,0431	0,0403
	0,0828	0,0733	0,0440	0,0389
	0,0852	0,0675	0,0412	0,0348
<b>Promedio</b>	0,0895	0,0713	0,0443	0,0398
<b>SD</b>	±0,0091	±0,0039	±0,0029	±0,0036
	0,4467	0,2398	0,1518	0,2158
	0,4417	0,2380	0,1505	0,2019
<b>Lechuga</b>	0,4308	0,2357	0,1509	0,2263
	0,4208	0,2366	0,1505	0,2112
	0,4383	0,2375	0,1426	0,2103
<b>Promedio</b>	0,4357	0,2375	0,1493	0,2131
<b>SD</b>	±0,0101	±0,0015	±0,0038	±0,0089

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

Con los resultados obtenidos, todas las muestras analizadas tienen presencia de cobre, las concentraciones abarcan en la zanahoria desde 0,0352 *mg/kg* hasta 0,0949 *mg/kg*, papa desde 0,0508 *mg/kg* hasta 0,1227 *mg/kg*, tomate desde 0,0348 *mg/kg* hasta 0,1047 *mg/kg* y lechuga desde 0,1426 *mg/kg* hasta 0,44677 *mg/kg*, encontrándose mayor dispersión en los valores de lechuga

Se realizó una prueba de comparaciones múltiples ANOVA con el factor de 95% de confianza y prueba de comparación TUKEY HSD/KRAMER, para evaluar los resultados.

#### **4.3.1. Análisis de (ANOVA- TUKEY HSD/KRAMER) cobre en zanahoria, papa, tomate y lechuga**

El análisis ANOVA de cada una de las hortalizas señala que existen diferencias significativas entre las concentraciones presentes en los diferentes mercados. Rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa.

- **Zanahoria**

**Tabla 36**

*Análisis de ANOVA del contenido de cobre en zanahoria de los cuatro mercados.*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
<b>Entre Grupos</b>	0,006937	3	0,002312	99,5251	1,46E-10
<b>Dentro de Grupos</b>	0,000372	16	2,32E-05		
<b>Total</b>	0,007309	19	0,000385		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 37**

*Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobre e en Zanahoria*

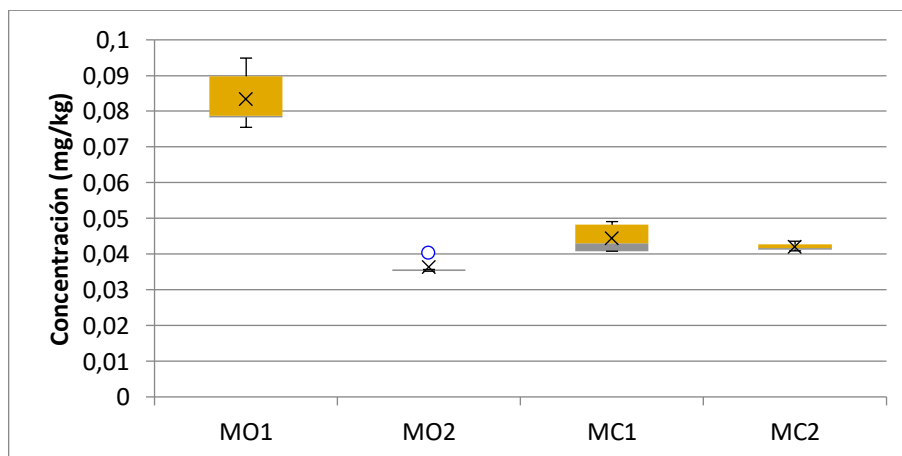
TUKEY HSD/KRAMER		Alpha	0,05
Q TEST			
Grupo 1	Grupo 2	Promedio	P-value
MO1	MO2	0,0470	0,00000*
MO1	MC1	0,0390	0,00000*
MO1	MC 2	0,0414	0,00000*
MO2	MC1	0,0080	0,07909**
MO2	MC2	0,0056	0,29021**
MC1	MC2	0,0024	0,86496**

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \*Si hay diferencia.

Por medio de la prueba TUKEY HSD/KRAMER se define que no existe una diferencia significativa entre los MO2 vs MC1, MO2 vs MC2 y MC1 vs MC2 (Ver tabla 37).

**Figura 14**

*Comparación de datos obtenidos de cobre en zanahoria de los mercados.*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

- **Papa**

**Tabla 38**

*Análisis de ANOVA del contenido de cobre en papa de los cuatro mercados.*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
<b>Entre Grupos</b>	0,012555	3	0,004185	124,377	2,68E-11
<b>Dentro de Grupos</b>	0,000538	16	3,36E-05		
<b>Total</b>	0,013093	19	0,000689		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 39**

*Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de plomo en papa*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Q TEST</b>					
<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Promedio</i>	<i>P-value</i>		
MO1	MO2	0,0022	0,93235801**		
MO1	MC1	0,0398	0,00000005*		
MO1	MC2	0,0588	0,00000000*		
MO2	MC1	0,0377	0,00000011*		
MO2	MC2	0,0567	0,00000000*		
MC1	MC2	0,0190	0,00047876*		

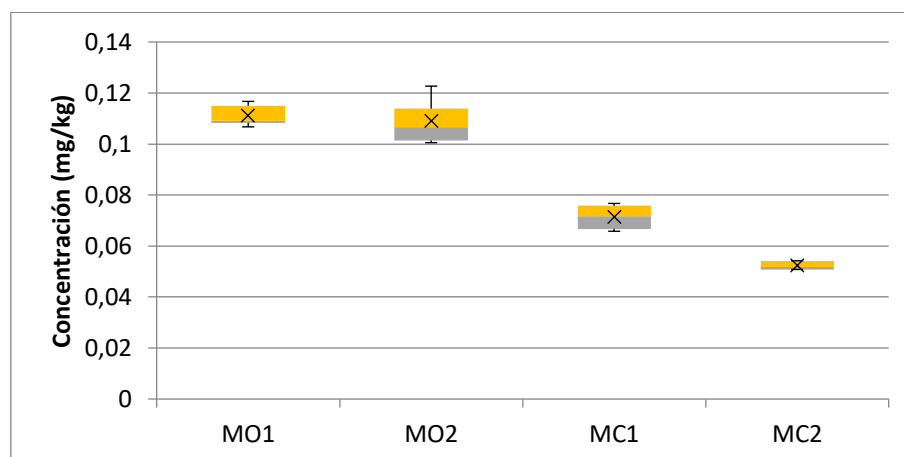
Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \* Si hay diferencia.

Se recurrió a la prueba TUKEY HSD/KRAMER (tabla 39) observando que no existe una diferencia significativa entre los MO1 vs MO2.



**Figura 15**

*Comparación de datos obtenidos de cobre en papa de los mercados.*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

- **Tomate**

**Tabla 40**

*Análisis de ANOVA del contenido de cobre en tomate de los cuatro mercados*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
<b>Entre Grupos</b>	0,00824	3	0,00275	91,8582	2,68E-10
<b>Dentro de Grupos</b>	0,00048	16	0,00003		
<b>Total</b>	0,00872	19	0,00046		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 41**

*Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobre en tomate*

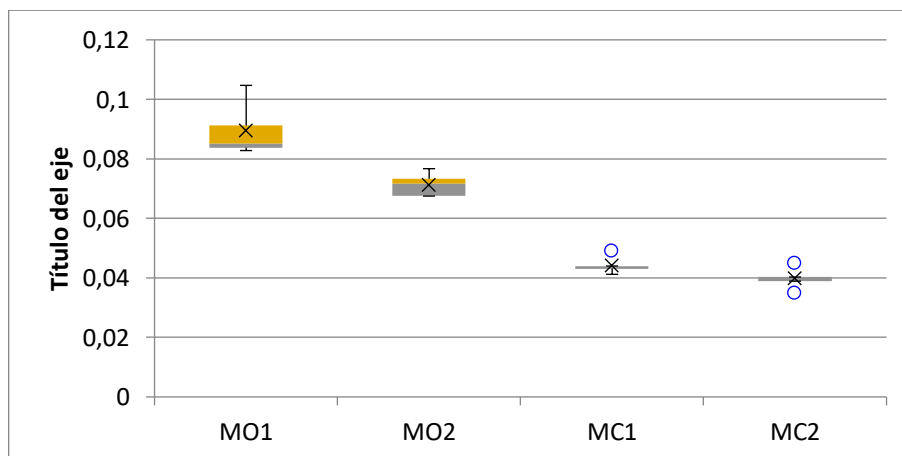
TUKEY HSD/KRAMER		Alpha	0,05
Q TEST			
Grupo 1	Grupo 2	Promedio	P-value
MO1	MO2	0,01820	0,00041*
MO1	MC1	0,04526	0,00000*
MO1	MC2	0,04970	0,00000*
MO2	MC 1	0,02706	0,00000*
MO2	MC2	0,03150	0,00000*
MC1	MC2	0,00444	0,58573**

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \* Si hay diferencia.

Los resultados de la prueba TUKEY HSD/KRAMER (Tabla 41) indican que no existe una diferencia significativa entre los MC 1 vs MC2.

**Figura 16**

*Comparación de datos obtenidos de cobre en tomate de los mercados.*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

- **Lechuga**

**Tabla 42**

*Análisis de ANOVA del contenido del cobre en lechuga de los cuatro mercados*

<b>ANOVA: Factor Único</b>						
<b>Descripción</b>					<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	
<b>Entre grupos</b>	0,22910	3	0,07637	1538,19	6,77E-20	
<b>Dentro de Grupos</b>	0,00079	16	0,00005			
<b>Total</b>	0,22989	19	0,01210			

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 43**

*Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobre en lechuga*

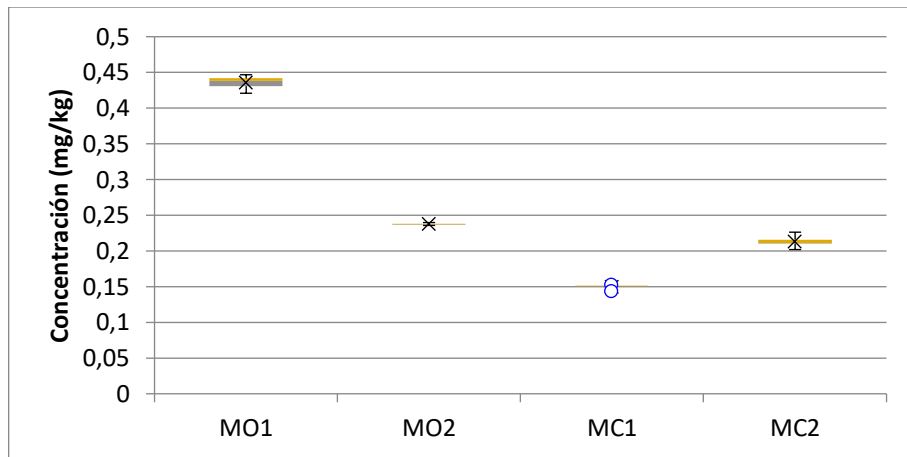
<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>		<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Q TEST</b>			
<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Promedio</i>	<i>P-value</i>
MO1	MO2	0,1981	4,219E-15*
MO1	MC1	0,2864	4,108E-15*
MO1	MC2	0,2226	4,219E-15*
MO2	MC1	0,0883	6,106E-12*
MO2	MC2	0,0244	2,664E-04*
MC1	MC2	0,0638	8,529E-10*

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \* Si hay diferencia.

En la tabla 43 se muestra los resultados de la prueba TUKEY HSD/KRAMER en la cual se observa que existe una diferencia significativa entre los mercados.

**Figura 17**

*Comparación de datos obtenidos de cobre en lechuga de los mercados*

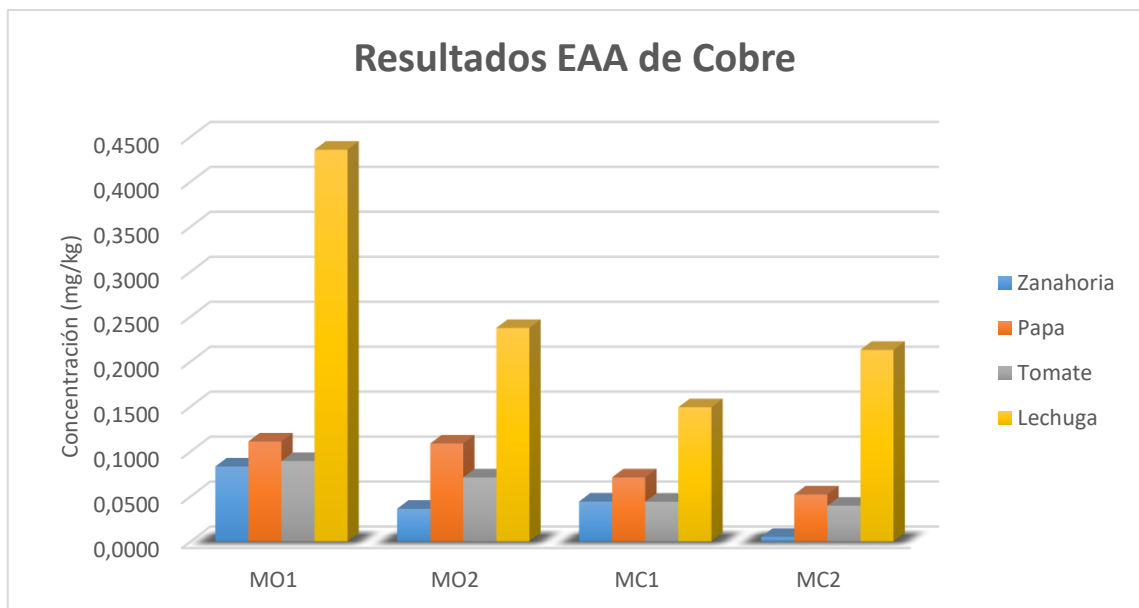


Nota: Elaborado por Autoras, 2021

#### **4.3.2. Concentración de cobre en hortalizas**

**Figura 18**

*Resultados EAA de Cobre*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

Los resultados encontrados en las hortalizas (Tabla 35) fueron: para el MO1 con las siguientes concentraciones, zanahoria  $0,0834 \pm 0,0084$  (*mg/kg*), papa  $0,1112 \pm 0,0044$  (*mg/kg*), tomate  $0,0895 \pm 0,0091$  (*mg/kg*) y lechuga  $0,4357 \pm 0,0101$  (*mg/kg*); para el MO2 con las siguientes concentraciones, zanahoria  $0,0364 \pm 0,0022$  (*mg/kg*), papa  $0,1090 \pm 0,0093$  (*mg/kg*), tomate  $0,0713 \pm 0,0039$  (*mg/kg*) y lechuga  $0,2375 \pm 0,0015$  (*mg/kg*); para el MC1 con las siguientes concentraciones, zanahoria  $0,0444 \pm 0,0040$  (*mg/kg*), papa  $0,0713 \pm 0,0040$  (*mg/kg*), tomate  $0,0443 \pm 0,0029$  (*mg/kg*) y lechuga  $0,1493 \pm 0,0038$  (*mg/kg*) y para el MC2 con las siguientes concentraciones, zanahoria  $0,0420 \pm 0,0011$  (*mg/kg*), papa  $0,0523 \pm 0,0017$  (*mg/kg*), tomate  $0,0398 \pm 0,0036$  (*mg/kg*) y lechuga  $0,2131 \pm 0,0089$  (*mg/kg*).

Al comparar con los niveles máximos permisibles según (Olivares, 2013) es de 5 (*mg/kg*) de cobre en alimentos ver (Tabla 8), se determina que NO sobrepasa el nivel máximo permisible recomendado, sin embargo, la lechuga del MO1 y del MO2 es la que posee mayor concentración de cobre con  $0,4357$  (*mg/kg*) y  $0,2375$  (*mg/kg*) respectivamente NO sobrepasa la normativa mencionada.

#### **4.3.3. Análisis de cobre entre mercados.**

Los cuatro mercados estudiados se señalan que la zanahoria, papa, tomate y lechuga no sobrepasan los límites permisibles de la normativa vigente siendo común que exista más deficiencia de cobre que toxicidad, Sancho (2016), menciona que el cobre es transportado desde la raíz acumulándose en las hojas, por esta razón la lechuga posee mayor concentración de cobre

El cobre a nivel general no siempre se encuentra disponible para ser absorbido por las plantas ya que existen otros factores como el pH que si es menor a 7 disminuye la cantidad de cobre y aumenta con valores menores a 6, la textura del suelo por ejemplo en suelos arcillosos

hay mayor disponibilidad de cobre al contrario de los suelos arenosos que tienen bajo contenido de cobre, lo suelos con alto contenido de nitrógeno y fosforo obstaculizan la absorción de cobre (Sobitec, 2017).

#### **4.3.4. Análisis toxicológico de cobre**

La lechuga posee una concentración levemente superior con referencia a las demás hortalizas, esto es debido a que “la absorción de cobre comienza en la raíz y se bioacumula en la hoja” según menciona Villegas, Dominguez, Martinez y Aguilar (2015, p. 286), al contrario del cadmio y plomo; el cobre es un metal esencial para la salud y su deficiencia según afirma National Institutes of Health (2019), puede ocasionar “cansancio extremo, parches claros en la piel, altas concentraciones de colesterol en la sangre, huesos débiles y quebradizos, entre otros; su excesivo consumo puede ser nocivo causando lesión hepática, dolor abdominal, calambres, náuseas”.

#### **4.4. Determinación de cobalto**

La curva de calibración para analizar la linealidad del método se partió de una solución madre de 40ppb de cobalto con los siguientes estándares de dilución.

**Tabla 44**

*Datos de los estándares de cobre para la construcción de la curva de calibración*

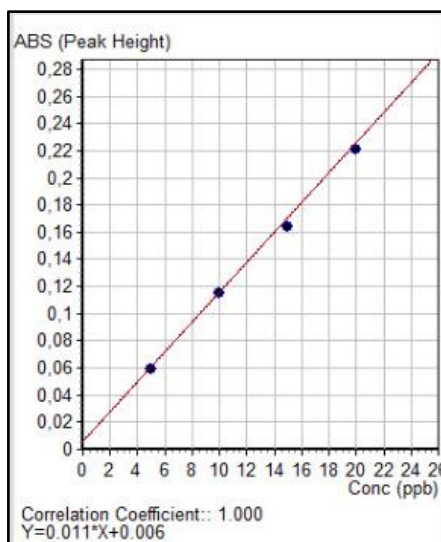
<b>Estándar</b>	<b>Concentración (ppb)</b>	<b>Absorbancia</b>
1	5	0,059
2	10	0,115
3	15	0,164
4	20	0,221

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

Se logró la mejor curva de calibración con el *Coefficiente de correlación* = 1, evidenciando una tendencia lineal para una mejor lectura de las concentraciones.

### Figura 19

*Curva de Calibración- Estándar de cobalto*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

Con el análisis del metal cobalto en zanahoria, papa, tomate y lechuga se define los siguientes resultados expresados como la *Media*  $\pm$  *Desviación estandar* (Ver tabla 45).

**Tabla 45**

*Resultados de concentración de cobalto (mg/kg) en las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga.*

<b>Resultados Cobalto</b>				
	<b>MO1</b>	<b>MO2</b>	<b>MC1</b>	<b>MC2</b>
	0,0659	0,0644	0,0629	0,0592
	0,0738	0,0659	0,0591	0,0629
<b>Zanahoria</b>	0,0606	0,0561	0,0621	0,0629
	0,0652	0,0613	0,0583	0,0677
	0,0667	0,0591	0,0637	0,0652
<b>Promedio</b>	0,0664	0,0614	0,0612	0,0636
<b>SD</b>	±0,0047	±0,0040	±0,0024	±0,0032
	0,0439	0,0379	0,0333	0,0341
	0,0478	0,0348	0,0371	0,0341
<b>Papa</b>	0,0493	0,0454	0,0379	0,0478
	0,0485	0,0463	0,0356	0,0341
	0,0463	0,0348	0,0424	0,0463
<b>Promedio</b>	0,0472	0,0398	0,0373	0,0393
<b>SD</b>	±0,0021	±0,0056	±0,0034	±0,0071



Resultados de concentración de cobalto (mg/kg) en las muestras de zanahoria, papa, tomate y lechuga

	0,1144	0,0947	0,1068	0,0742
	0,1129	0,1015	0,0924	0,0667
<b>Tomate</b>	0,1023	0,0894	0,1091	0,0689
	0,1046	0,1023	0,1152	0,0629
	0,1053	0,1030	0,1008	0,0889
<b>Promedio</b>	0,1079	0,0982	0,1049	0,0723
<b>SD</b>	±0,0054	±0,0059	±0,0087	±0,0101
	0,1303	0,1296	0,0841	0,0765
	0,1363	0,1363	0,0833	0,0924
<b>Lechuga</b>	0,1296	0,1288	0,0894	0,0909
	0,1265	0,1326	0,0765	0,0841
	0,1356	0,1280	0,0765	0,0811
<b>Promedio</b>	0,1317	0,1311	0,0820	0,0850
<b>SD</b>	±0,0042	±0,0034	±0,0055	±0,0067

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

De acuerdo con los resultados obtenidos, todas las muestras analizadas tienen presencia de cobalto, las concentraciones abarcan en la zanahoria desde 0,0561 *mg/kg* hasta 0,0738 *mg/kg*, papa desde 0,0333 *mg/kg* hasta 0,0493 *mg/kg*, tomate desde 0,0629 *mg/kg* hasta 0,1152 *mg/kg* y lechuga desde 0,0765 *mg/kg* hasta 0,1363 *mg/kg*, encontrándose mayor dispersión en los valores de tomate.

Se realizó una prueba de comparaciones múltiples ANOVA con el factor de 95% de confianza y prueba de comparación TUKEY HSD/KRAMER, para evaluar los resultados.

#### ***4.4.1. Análisis de (ANOVA- TUKEY HSD/KRAMER) cobalto en la zanahoria, papa, tomate y lechuga***

El análisis ANOVA nos confirma que, si hay diferencias significativas entre las concentraciones presentes en los diferentes mercados, a excepción de la zanahoria que no hay diferencias significativas. Rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa.

- **Zanahoria**

**Tabla 46**

*Análisis de ANOVA del contenido de cobalto en la zanahoria de los cuatro mercados.*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
<b>Entre Grupos</b>	9E-05	3	2,99E-05	2,22197	0,12513
<b>Dentro de Grupos</b>	2E-04	16	1,35E-05		
<b>Total</b>	3E-04	19	1,61E-05		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 47**

*Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobalto en la zanahoria*

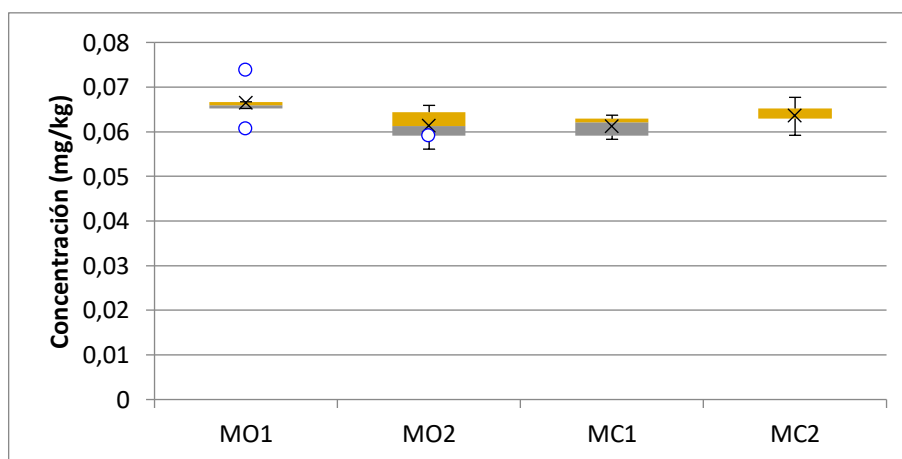
TUKEY HSD/KRAMER		Alpha	0,05
Q TEST			
Grupo 1	Grupo 2	Promedio	P-value
MO1	MO2	0,0051	0,1683**
MO1	MC1	0,0052	0,1520**
MO1	MC2	0,0029	0,6160**
MO2	MC1	0,0001	0,9999**
MO2	MC2	0,0022	0,7751**
MC1	MC2	0,0024	0,7419**

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \*Si hay diferencia.

Mediante los resultados de la prueba TUKEY HSD/KRAMER (tabla 47) se determina que no existe una diferencia significativa entre los mercados.

**Figura 20**

*Comparación de datos obtenidos de cobalto en zanahoria de los mercados*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

- Papa

**Tabla 48**

*Análisis de ANOVA del contenido de cobalto en papa de los cuatro mercados*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
<b>Entre Grupos</b>	3E-04	3	9,36E-05	3,81210	0,03094
<b>Dentro de Grupos</b>	4E-04	16	2,46E-05		
<b>Total</b>	7E-04	19	3,55E-05		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 49**

*Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobalto en papa*

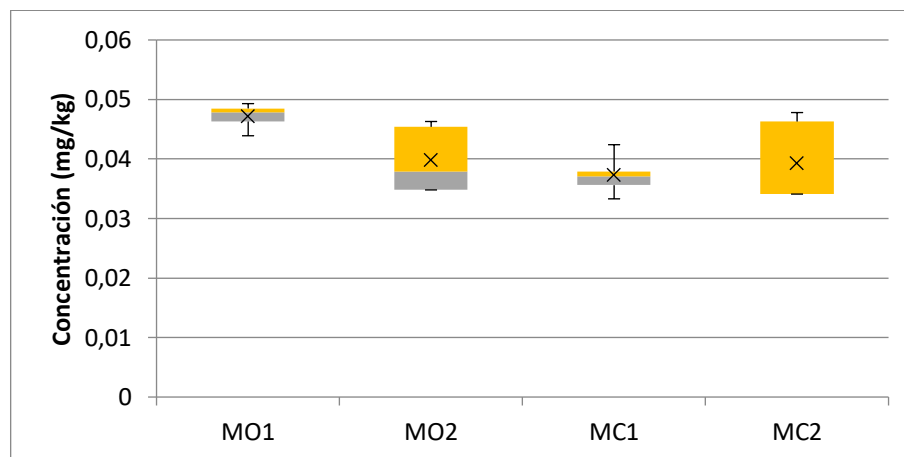
<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Q TEST</b>					
<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Promedio</i>	<i>P-value</i>		
MO1	MO2	0,0073	0,1313**		
MO1	MC1	0,0099	0,0280*		
MO1	MC2	0,0079	0,0956**		
MO2	MC1	0,0026	0,8427**		
MO2	MC2	0,0006	0,9979**		
MC1	MC2	0,0020	0,9160**		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \* Si hay diferencia.

Con la prueba TUKEY HSD/KRAMER se afirma que existe una diferencia significativa entre los MO1 vs MC1 (Ver tabla 49).

**Figura 21**

*Comparación de datos obtenidos de cobalto en papa de los mercados.*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

- **Tomate**

**Tabla 50**

*Análisis de ANOVA del contenido de cobalto en tomate de los cuatro mercados*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
<b>Entre Grupos</b>	0,004	3	0,00131	21,64878	7,06E-06
<b>Dentro de Grupos</b>	0,001	16	0,00006		
<b>Total</b>	0,005	19	0,00026		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 51**

*Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobalto en tomate*

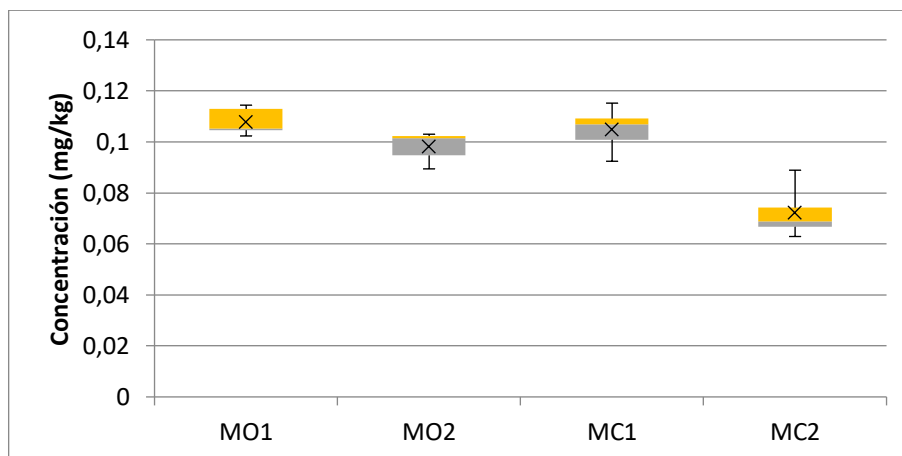
TUKEY HSD/KRAMER		Alpha	0,05
Q TEST			
Grupo 1	Grupo 2	Promedio	P-value
MO1	MO2	0,00972	0,23744**
MO1	MC1	0,00304	0,92479**
MO1	MC2	0,03558	0,00001*
MO2	MC1	0,00668	0,54158**
MO2	MC2	0,02586	0,00041*
MC1	MC2	0,03254	0,00003*

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \* Si hay diferencia.

Se define la prueba TUKEY HSD/KRAMER (Tabla 51) analizando que no existe una diferencia significativa entre los MO1 vs MO2, MO1 vs MC1 y el MO2 vs MC1.

**Figura 22**

*Comparación de datos obtenidos de cobalto en tomate de los mercados.*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021

- **Lechuga**

**Tabla 52**

*Análisis de ANOVA del contenido de cobalto en lechuga de los cuatro mercados*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
<b>Entre Grupos</b>	0,011	3	0,00383	147,4766	7,24E-12
<b>Dentro de Grupos</b>	0,000	16	0,00003		
<b>Total</b>	0,012	19	0,00063		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021

**Tabla 53**

*Prueba TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de cobalto en lechuga*

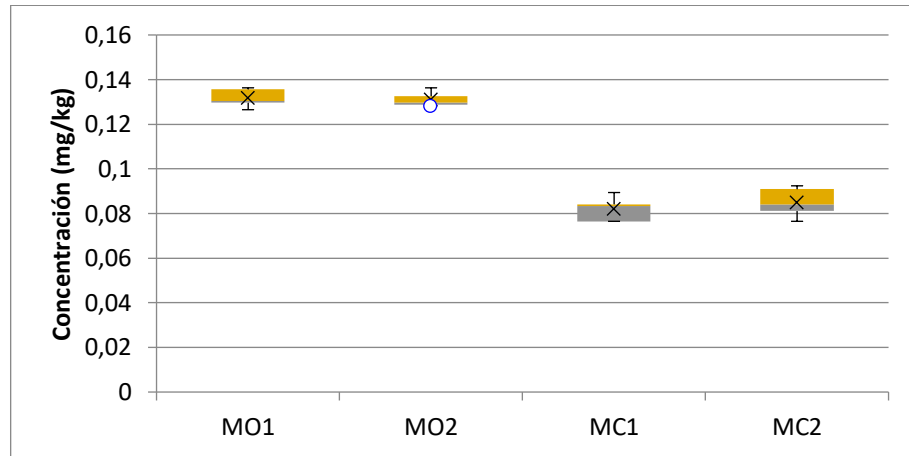
<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Q TEST</b>					
<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Promedio</i>	<i>p-value</i>		
MO1	MO2	0,00060	0,99761**		
MO1	MC1	0,04970	0,00000*		
MO1	MC2	0,04666	0,00000*		
MO2	MC1	0,04910	0,00000*		
MO2	MC2	0,04606	0,00000*		
MC1	MC2	0,00304	0,78236**		

Nota: Elaborado por Autoras, 2021. \*\*No hay diferencia. \* Si hay diferencia

En la tabla 53 se muestra los resultados de la prueba TUKEY HSD/KRAMER observando que no existe una diferencia significativa entre los MO 1 vs MO2 y MC1 vs MC2.

**Figura 23**

*Comparación de datos obtenidos de cobalto en lechuga de los mercados.*

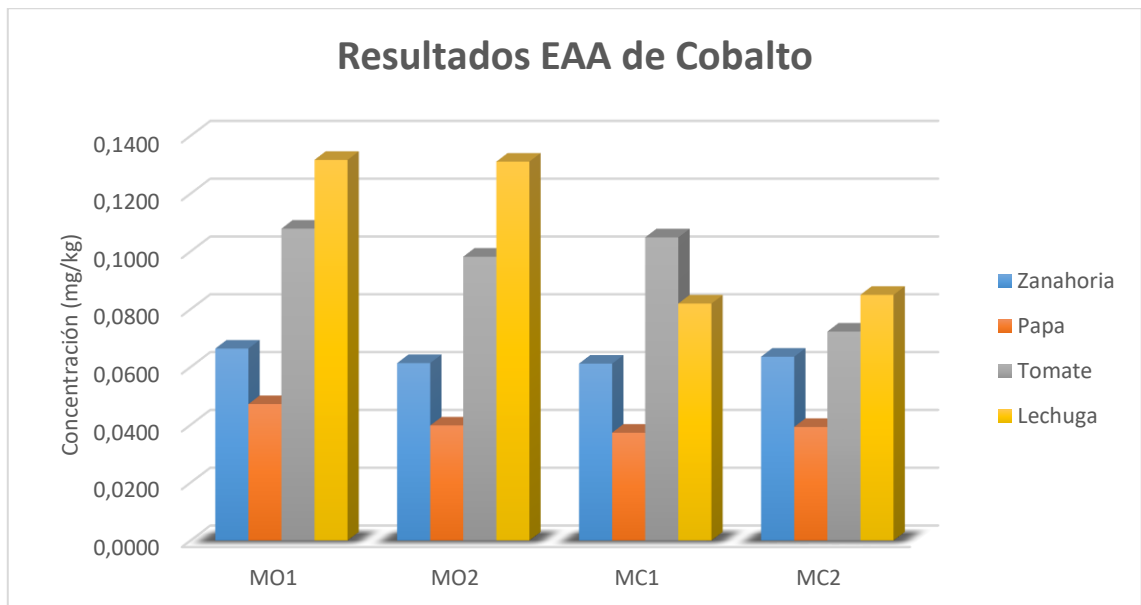


Nota: Elaborado por Autoras, 2021

#### 4.4.2. Concentración de cobalto en hortalizas

**Figura 24**

*Resultados EAA de cobalto*



Nota: Elaborado por Autoras, 2021



Los resultados encontrados en las hortalizas (Tabla 45) en el MO1 se obtuvo las siguientes concentraciones, zanahoria  $0,0664 \pm 0,0047$  (*mg/kg*), papa  $0,0472 \pm 0,0021$  (*mg/kg*), tomate  $0,1079 \pm 0,0054$  (*mg/kg*) y lechuga  $0,1317 \pm 0,0042$  (*mg/kg*); MO2 con las siguientes concentraciones, zanahoria  $0,0614 \pm 0,0040$  (*mg/kg*), papa  $0,0398 \pm 0,0056$  (*mg/kg*), tomate  $0,0982 \pm 0,0059$  (*mg/kg*) y lechuga  $0,1311 \pm 0,0034$  (*mg/kg*); para el MC1 son las siguientes concentraciones, zanahoria  $0,0612 \pm 0,0024$  (*mg/kg*), papa  $0,0373 \pm 0,0034$  (*mg/kg*), tomate  $0,1049 \pm 0,0087$  (*mg/kg*) y lechuga  $0,0820 \pm 0,0055$  (*mg/kg*) y para el MC2 fueron las siguientes concentraciones, zanahoria  $0,0636 \pm 0,0032$  (*mg/kg*), papa  $0,0398 \pm 0,0071$  (*mg/kg*), tomate  $0,0723 \pm 0,0101$  (*mg/kg*) y lechuga  $0,0850 \pm 0,0067$  (*mg/kg*).

Al comparar con los niveles máximos permisibles según Baran (2018) es de 1 (*mg/kg*) de cobalto en alimentos ver (Tabla 9) y por la Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (2004), que va en un rango de 0,16 – 1 (*mg/kg*) ver (Tabla 10) se determina que NO sobrepasa el nivel máximo permisible recomendado, sin embargo, la lechuga del MO1 y del MO2 es la que posee mayor concentración de cobalto con 0,1317 (*mg/kg*) y 0,1311 (*mg/kg*) respectivamente, no obstante NO sobrepasa la normativa mencionada.

#### **4.4.3. Análisis de cobalto entre mercados.**

En el presente estudio de los cuatro mercados convencionales (dos orgánicos y dos convencionales) las hortalizas zanahoria, papa, tomate y lechuga no sobrepasan los límites permisibles de la normativa vigente en ninguno de los mercados, estableciendo que los mercados orgánicos son los que mayor concentración de cobalto tienen en sus hortalizas y a nivel general con respecto al metal, la lechuga según INTAGRI (2017), el cobalto es absorbido por las raíces y se acumula en las puntas de las hojas y márgenes, teniendo una mejor movilidad

cuando esta acompañado en sustancias orgánicas, el pH es un factor importante para la absorción de cobalto en las plantas, mientras menor sea el pH mayor disponibilidad de cobalto, este se limita por la presencia de humus y altas concentraciones de magnesio (Sancha, 2005).

#### ***4.4.3. Análisis toxicológico de cobalto***

Se determinó de manera general con respecto al cobalto que la zanahoria, papa, tomate y la lechuga no sobrepasan los límites permisibles de las normativas mencionadas, sin embargo, la lechuga posee una concentración levemente superior con referencia a las demás hortalizas, esto debido a que las “plantas acumulan cantidades muy pequeñas de cobalto especialmente en las partes comestibles” según menciona la Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (2004, p. 4). El cobalto es un elemento esencial para la salud humana y animal importante para la función biológica y está en la presencia de la coenzima B12, por esta razón los alimentos deben tener cantidades adecuadas de este metal, “un adulto humano normal posee entorno a 1 (*mg/kg*) de cobalto y aproximadamente una décima parte del mismo está en forma de coenzima B12” según plantea Baran (2018, p. 83), aunque en grandes cantidades puede ser perjudicial para la salud humana causando efectos serios al corazón, asma, salpullido, problemas respiratorios, entre otros.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Se evaluó y cuantifico las concentraciones de metales pesados (Cd, Pb, Cu y Co) y zanahoria, papa, tomate y lechuga de cuatro mercados del Distrito Metropolitano de Quito (dos mercados organicos y dos mercados convencionales), determinando de manera puntual que la lechuga es la hortaliza posee la mayor cantidad de metales pesados (cobre y cobalto) y el cobre es el metal predominante.

Se concluye que para cobre y cobalto los mercados se mantienen bajo la norma; a excepción de las concentraciones de **cadmio en tomate** que el mercado con mayor concentración fue el **MC1 con el 33,8%** sobre la norma y **plomo en papa** que el mercado con mayor concentración fue el **MC2 con 69,4%** sobre la norma. Demostrando que las concentraciones de los metales no dependen de los mercados sino de las condiciones externas; como fue un estudio exploratorio y aleatorio no se puede especificar de donde provienen estos metales.

Las concentraciones determinadas en las hortalizas no sobrepasan la normativa establecida a excepción del en el **MC1 con 0,0669 (mg/kg)** el cual sobrepasa la normativa de **0,05 (mg/kg)** establecida en el CODEX y UE y de las concentraciones de **plomo en papa** en el **MC2 con 0,1694 (mg/kg)** el cual sobrepasa la normativa de **0,1 (mg/kg)** establecida en el CODEX y UE. A pesar de ello no ocasiona daños a la salud humana, debido a que se necesitan grandes cantidades del metal por un largo período de tiempo, teniendo en cuenta que el cobre y el cobalto son elementos esenciales para el ser humano y animales.

## 5.2. Recomendaciones

Se recomienda para el equipo de espectrofotometría de absorción atómica el coeficiente de correlación debe ser mayor a 0.9 para una mejor exactitud y precisión en los resultados.

Evitar la manipulación o deterioro de las muestras vegetales, ya que se puede alterar la composición de la hortaliza; y por ende a la concentración cuando se realice el análisis del metal.

Realizar los análisis de cadmio, plomo, cobre y cobalto; mediante la espectrofotometría de absorción atómica por horno grafito para zanahoria (*Daucus carota*), papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y lechuga (*Lactuca sativa*) ya que este método es mil veces más preciso que el método de llama, debido a que estas hortalizas contienen pequeñas concentraciones de los metales.

Llevar a cabo un estudio más profundo y focalizado, donde se maneje otras variables como la presencia de metales pesados en suelo, agua de riego y aire, especialmente para el estudio de plomo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, G. (2018). *Determinación de metales pesados plomo (Pb) y cadmio (Cd) en hortalizas de consumo directo producidas orgánicamente*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14566/1/T-UCE-0004-A61-2018.pdf>
- Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades. (Abril de 2004). *Resumen de salud pública Cobalto*. Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs33.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs33.pdf)
- Baran, E. (2018). *COBALTO: UN ELEMENTO CRÍTICO Y ESTRATÉGICO*. Obtenido de [https://www.ancefn.org.ar/user/FILES/ANALES/TOMO\\_70/Anales%2070.pdf](https://www.ancefn.org.ar/user/FILES/ANALES/TOMO_70/Anales%2070.pdf)
- Cabascango, S. (Marzo de 2016). *Determinación microbiológica y de metales pesados en berro (Nasturtium officinale R. Br.) expendido en los diferentes mercados del Distrito Metropolitano de Quito*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12149/1/UPS-QT09800.pdf>
- Chacon, S. (2019). *EFEECTO DE CUATRO CONCENTRACIONES DE PLOMO SOBRE EL CRECIMIENTO E ÍNDICE DE TOLERANCIA DE PLÁNTULAS IN VITRO DE PAPA*. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3569/EFEECTO%20DE%20CUATRO%20CONCENTRACIONES%20DE%20PLOMO%20SOBRE%20EL%20CRECIMIENTO%20E%20%20%20C3%8DNDICE%20DE%20TOLERANCIA%20DE%20PL%20%20%20C3%81NTULA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chapple, G., & Athanasopoulos, N. (1991). *SYSTEM 2000/3000 GRAPHITE FURNACE* . Australia: Designed and published by GBC Scientific Equipment Pty Ltd.

CODEX Alimentarius. (2020). *Principios Generales de higiene de los alimentos*. Obtenido de

[http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXC%2B1-1969%252FCXC\\_001s.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXC%2B1-1969%252FCXC_001s.pdf)

CODEX STAN . (2001). *NORMA GENERAL DEL CODEX PARA LOS CONTAMINANTES Y*

*LAS TOXINAS PRESENTES EN LOS ALIMENTOS Y PIENSOS* . Obtenido de Código

de prácticas sobre medidas aplicables en el origen para reducir la contaminación de los

alimentos con sustancias (CAC/RCP 49-2001) :

[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/livestockgov/documents/CXS\\_193s.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf)

Comisión Técnica de Consumo, Nutrición y Salud Alimentaria . (2013). *LEY ORGÁNICA DE*

*CONSUMO, NUTRICIÓN Y SALUD ALIMENTARIA* . Obtenido de

[http://www.soberaniaalimentaria.gob.ec/wp-content/uploads/2013/04/Propuesta-Ley-](http://www.soberaniaalimentaria.gob.ec/wp-content/uploads/2013/04/Propuesta-Ley-Consumo-Final.pdf)

[Consumo-Final.pdf](http://www.soberaniaalimentaria.gob.ec/wp-content/uploads/2013/04/Propuesta-Ley-Consumo-Final.pdf)

Constitución de la Republica del Ecuador. (20 de Octubre de 2008). *CONSTITUCION DE LA*

*REPUBLICA DEL ECUADOR*. Obtenido de

[https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)

Escobar, S. (Septiembre de 2016). *DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE PLOMO Y*

*CADMIO EN FRUTILLA (Fragaria ananassa) Y TOMATE (Solanum lycopersicum)*

*EN EL QUINCHE*. Obtenido de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10068/1/T-UCE-0004-81.pdf>

Fallas, J. (2012). *ANÁLISIS DE VARIANZA- Comparando tres o más medias*. Obtenido de

<https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE->

[ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis\\_de\\_varianza\\_2012.pdf](https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis_de_varianza_2012.pdf)

Feoktistova, L., & Clark, Y. (11 de Junio de 2018). *El metabolismo del cobre. Sus consecuencias para la salud humana*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/ms/v16n4/ms13416.pdf>

Gallegos, W., Vega, M., & Noriega, P. (29 de Marzo de 2012). *Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8824/1/Espectroscopia%20de%20absorcion%20atomica%20con%20llama%20y%20su%20aplicacion%20para%20la%20determinacion%20de%20plomo%20y%20control%20de%20productos%20cosmeticos.pdf>

Goetschel, L. (2018). *Los metales pesados: Un desafío para la inocuidad alimentaria en el Ecuador*. Obtenido de <https://www.udla.edu.ec/wp-content/uploads/2019/02/Los-Metales-Pesados-un-Desaf%23U00edo-para-la-Inocuidad-Alimentaria-en-el-Ecuador-Lorena-Goetschel.pdf>

Gordillo, G. (2013). *Seguridad y Soberanía Alimentaria*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/ax736s.pdf>

Gordón, J. (Abril de 2010). *Propuesta de mejoramiento de manejo postcosecha en hortalizas producidas en un sistema campesino asociativo*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2063/1/CD-2867.pdf>

Hernández, Y., Rodríguez, P., Peña, M., Meriño, Y., & Cartaya, O. (2019). *Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v40n3/1819-4087-ctr-40-03-e10.pdf>

INEC. (2010). *Población y demografía*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (28 de Septiembre de 2012). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1750.pdf>

INTAGRI. (2017). *El Papel del Cobalto en las Leguminosas*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-papel-del-cobalto-en-las-leguminosas>

Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (Diciembre de 2016). *Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

Lopez, A. (Noviembre de 2011). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de la zanahoria (Daucus carota L ), híbrido Cupar, en el Chaupi, provincia de Pichincha*. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1369/1/102391.pdf>

Martínez, M. (s.f.). *Análisis instrumental: Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/138418/Mart%C3%ADnez%20-%20An%C3%A1lisis%20Instrumental.%20Espectrometr%C3%ADa%20de%20Absorci%C3%B3n%20At%C3%B3mica%20%28EAA%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). *Sistema de Información Pública Agropecuaria*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/sipa/>



- Ministerio de Salud Pública. (13 de Junio de 2019). *Subsistema de vigilancia SIVE-ALERTA enfermedades transmitidas por agua y alimentos Ecuadore, SE 1-23, 2019*. Obtenido de [https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2018/11/gaceta\\_ETAS\\_SE\\_23.pdf](https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2018/11/gaceta_ETAS_SE_23.pdf)
- Morales, M. C. (Marzo de 2017). *Cuantificación de metales pesados y calidad microbiológica de frutas y vegetales que se expenden en el mercado mayorista de la ciudad de Ambato*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25296/1/BQ%20111.pdf>
- National Institutes of Health. (17 de Diciembre de 2019). *Datos sobre el cobre*. Obtenido de <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Copper-DatosEnEspanol.pdf>
- Olivares, S. (2013). *NIVELES DE CADMIO, PLOMO, COBRE Y ZINC EN HORTALIZAS CULTIVADAS EN UNA ZONA ALTAMENTE URBANIZADA DE LA CIUDAD DE LA HABANA, CUBA*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n4/v29n4a6.pdf>
- Prieto, J., Ramírez, C. G., & Román, A. (2009). *CONTAMINACIÓN Y FITOTOXICIDAD EN PLANTAS POR METALES PESADOS PROVENIENTES DE SUELOS Y AGUA* . Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Obtenido de <https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>
- Quishpe, K. (Mayo de 2016). *Determinacion Microbiologica y de metales pesados en jugos de alfalfa en el Distrito Metropolitano de Quito*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12560/1/UPS-QT10235>

- Razmilic, B. (2000). *ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/ab482s/AB482S04.htm>
- Sancha, A. (Marzo de 2005). *CRITERIOS DE CALIDAD DE SUELOS Y DE AGUAS O EFLUENTES TRATADOS PARA USO EN RIEGO* . Obtenido de [http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos\\_aguas\\_agricolas/pdf\\_aguas/informe\\_final.pdf](http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/informe_final.pdf)
- Sánchez, G. (Junio de 2016). *ECOTOXICOLOGÍA DEL CADMIO*. Obtenido de <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf>
- Sancho, D. (2016). *El tráfico de cobre en el cloroplasto de plantas superiores. Los transportadores de membrana*. Obtenido de [https://digital.csic.es/bitstream/10261/128803/1/SanchoD\\_Tesis-EEAD\\_2016.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/128803/1/SanchoD_Tesis-EEAD_2016.pdf)
- Secretaría de Desarrollo Productivo y Competitividad. (2018). *Estrategía Agroalimentaria de Quito*. Obtenido de <http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/sistemaagro/documentos/Estrategia.pdf>
- Sobitec. (1 de Junio de 2017). *COBRE EN LAS PLANTAS*. Obtenido de <http://www.sobitecperu.com/cobre-en-las-plantas/>
- Speedwave MSW-2. (2018). *Application Report Microwave Pressure Digestion*. Eningen Germany.
- Torres, L. (2008). *Enciclopedia de plantas útiles en el Ecuador*. Obtenido de [https://www.academia.edu/30089423/Enciclopedia\\_de\\_Plantas\\_U\\_tiles\\_del\\_Ecuador](https://www.academia.edu/30089423/Enciclopedia_de_Plantas_U_tiles_del_Ecuador)

Torres, R. (26 de Marzo de 2015). *Horno de-grafito-espectroscopia-de-absorcion-atmica*.

Obtenido de [https://es.slideshare.net/ruthtorres16100/horno-degrafitoespectroscopiadeabsorcionatmica#:~:text=Espectrometr%C3%ADa%20de%20absorci%C3%B3n%20at%C3%B3mica%20de,absorci%C3%B3n%20at%C3%B3mica%20electrot%C3%A9rmica%20\(ETAAS\).&text=En%20GFAAS%2C%20las%20muestr](https://es.slideshare.net/ruthtorres16100/horno-degrafitoespectroscopiadeabsorcionatmica#:~:text=Espectrometr%C3%ADa%20de%20absorci%C3%B3n%20at%C3%B3mica%20de,absorci%C3%B3n%20at%C3%B3mica%20electrot%C3%A9rmica%20(ETAAS).&text=En%20GFAAS%2C%20las%20muestr)

Unión Europea. (19 de Diciembre de 2006). *REGLAMENTO (CE) No 1881/2006 DE LA*

*COMISIÓN*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A02006R1881-20140901>

Vásquez, M. (2020). *Determinación de la concentración de metales pesados cadmio y arsénico*

*en hortalizas lechuga (Lactuca sativa) y tomate (Lycopersicon esculentum Mill) de la zona agrícola del sector Machachi*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/21959/1/T-UCE-0008-CQU-243.pdf>

Villegas, O., Dominguez, M., Martinez, P., & Aguilar, M. (26 de Marzo de 2015). *Cobre y*

*Níquel, microelementos esenciales en la nutrición vegetal*. Obtenido de Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias: [https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias\\_Naturales\\_y\\_Agropecuarias/vol2num2/Ciencias%20Naturales%20y%20Agropecuarias%20Vol%202%20Num%202%20Final\\_22.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias/vol2num2/Ciencias%20Naturales%20y%20Agropecuarias%20Vol%202%20Num%202%20Final_22.pdf)

Zubieta, A. (Marzo de 1995). *Estudio de métodos analíticos para la determinación de metales*

*en suelos y vegetación*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/61896669.pdf>

## 7. ANEXOS

### *Anexo 1: Protocolo de laboratorio*



Lavado y limpieza de las muestras.



Corte en fragmentos pequeños de las muestras papa y zanahoria para un mejor secado (convencional y orgánico).



Muestras etiquetadas para el secado en el horno.



Secado de las muestras en el horno a 105 °C durante 24 horas



Molienda de las muestras



Lavado y esterilización de los recipientes para las muestras.



Pesaje de la muestra a analizar



Colocación de la muestra en los recipientes de digestión antes de ingresar al microondas



Colocación del ácido nítrico en las muestras.



Digestión en el microondas



Registro Fotográfico de las muestras aforado a 25ml



Soluciones madres para las curvas de calibración (plomo, cadmio, cobalto, cobre).



Preparación de las soluciones estándar para la curva de calibración.



Lectura de las muestras en el Auto Sampler

Anexo 2: Análisis estadístico - Ejemplo plomo en lechuga

Real Statistics - Data Analysis Tools

Comandos de menú

L159

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
153																							
154																							
155		MO1	MO2	MC1	MC2																		
156		0,0474	0,0813	0,1883	0,0578																		
157		0,0625	0,0698	0,1824	0,0599																		
158	Lechuga	0,0365	0,0495	0,1812	0,0573																		
159		0,0380	0,0750	0,1800	0,0547																		
160		0,0546	0,0638	0,1783	0,0593																		
161																							
162																							
163	ANOVA: Single Factor																						
164																							
165	DESCRIPTION				Alpha	0,05																	
166	Group	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err	Lower	Upper														
167	MO1	5	0,2390	0,0478	0,0001	0,0005	0,0038	0,0398	0,0558														
168	MO2	5	0,3394	0,0679	0,0001	0,0006	0,0038	0,0598	0,0759														
169	MC1	5	0,9102	0,1820	0,0000	0,0001	0,0038	0,1740	0,1901														
170	MC2	5	0,2890	0,0578	0,0000	0,0000	0,0038	0,0498	0,0658														
171																							
172	ANOVA																						
173	Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq														
174	Between Gr	0,059	3	0,0196	273,0377	6,01E-14	0,9808409	7,389692	0,97608														
175	Within Gro	0,001	16	0,0001																			
176	Total	0,06	19	0,0032																			
177																							
178																							
179																							
180																							

TUKEY HSD/KRAMER alpha 0,05

group	mean	n	ss	df	q-crit
MO1	0,0478	5	0,00049		
MO2	0,0679	5	0,00059		
MC1	0,1820	5	5,8E-05		
MC2	0,0578	5	1,7E-05		
		20	0,00115	16	4,046

Q TEST

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d
MO1	MO2	0,0201	0,0038	5,2965	0,0047	0,0354	0,0086	0,0153392	2,3686518
MO1	MC1	0,1342	0,0038	35,4082	0,1189	0,1496	1,82E-13	0,0153392	15,83505
MO1	MC2	0,0100	0,0038	2,6377	-0,0053	0,0253	0,2811	0,0153392	1,1796075
MO2	MC1	0,1142	0,0038	30,1118	0,0988	0,1295	1,93E-12	0,0153392	13,466399
MO2	MC2	0,0101	0,0038	2,6588	-0,0053	0,0254	0,2749	0,0153392	1,1890443
MC1	MC2	0,1242	0,0038	32,7706	0,1089	0,1396	5,34E-13	0,0153392	14,655443

Activar Windows  
Ve a Configuración para activar Windows.

Curvas de Calibración | Datos Generales | Cadmio | **Plomo** | Cobre | Cobalto | Hoja5

Listo Accesibilidad: es necesario investigar

Escribe aquí para buscar

20:54  
30/6/2021



*Anexo 3: Guía de manejo del equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica*

**Universidad Politécnica Salesiana**

**Manual de manejo del Espectrofotómetro de Absorción Atómica**

**ENDURO T2100**



**Elaborado por:**

Simba Simba Erika Tatiana

Zurita Caiza Mireya Alexandra

**Revisado por:**

Dr. Edwin Fabián Bersosa Vaca

Ing. Víctor John Rueda Punina

Ing. Carlos Andrés Vélez Inga

**Aprobado por:**

Renato Gabriel Sánchez Proaño

## INTRODUCCIÓN

El Manual da a conocer el manejo y funcionamiento del Espectrofotómetro de Absorción Atómica con el objetivo de conocer una de las técnicas más útiles para el análisis de compuestos inorgánicos, especialmente para los compuestos metálicos.

La absorción atómica es un proceso que se basa en la interacción entre la materia y la energía el cual depende de la cantidad física medida tras dicha interacción.

Existen dos procesos de absorción atómica de llama y de horno grafito y sus componentes básicos son:

- **Fuente de energía radiante:** que emita una longitud de onda del elemento de interés.
- **Sistema de atomización (celda para muestra):** que suministre la energía calórica necesaria para la disociación del analito y la formación de átomos libres.
- **Monocromador (celda para muestra):** para aislar las relaciones a la longitud de onda media.
- **Detector (equipo de la medida de la energía):** acoplado con un sistema de registro de los datos obtenidos.

El proceso de absorción atómica de llama se realiza mediante una llama, que utiliza como combustible la mezcla de gases (óxido nitroso/ acetileno o aire acetileno) dependiendo de los metales a analizar y en función de la temperatura necesaria. Con esta técnica se obtiene átomos libres que pueden ser excitados por la fuente de radiación, en el cual el analito pasa por una serie de etapas que son: Nebulización, Desolvatación, Licuefacción, Vaporización y Atomización (Martínez, s.f.).

El proceso de absorción atómica en horno de grafito, la atomización se produce en un tubo de grafito y en el calentamiento se produce una corriente eléctrica. La muestra dispersada

en el tubo de grafito, es sometida a un incremento de temperatura hasta conseguir la atomización. Este ciclo de temperatura se realiza en 5 etapas: Secado, Pirolisis, Atomización, Limpieza y Enfriamiento (Martínez, s.f.).

## **JUTIFICACIÓN**

El equipo de espectrofotometría atómica es un equipo que permite el análisis de metales en soluciones inorgánicas.

El presente manual de espectrofotometría de absorción atómica se dio con el fin de proporcionar un guía sobre el uso y funcionamiento general de equipo, para un mejor manejo. Debido a que tiene dos métodos, el mismo que depende de la metodología a utilizar.

- El método de llama mide cantidades grandes de metales en una muestra (ppm).
- El método de horno grafito, mide cantidades mínimas con mejor exactitud y precisión en una muestra (ppb), siendo mil veces más preciso que el método de llama.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Describir el funcionamiento del equipo de espectrofotometría de absorción atómica por el método de llama y de horno grafito. Enseñar

### **Objetivos específicos**

- Elaborar una guía didáctica y práctica sobre el uso y funcionamiento de espectrofotómetro de absorción atómica por el método de la llama y el horno grafito.

## ENCENDIDO GENERAL DEL EQUIPO

**Paso 1:** Encender el equipo con “Power”.



**Paso 2:** Encender el compresor de la siguiente manera:

- 1.- Halar el botón rojo
- 2.- Mover la llave roja en forma horizontal como se muestra en la imagen.

**Nota:** Solo se enciende para el **método de llama**.

**Paso 3:** Encender el horno, el que se encuentra en la parte trasera del equipo.

**Nota:** Solo se enciende para el método de **horno grafito**.





**Paso 4:** Encender el enfriador.

**Nota:** Solo se enciende para el **método de horno grafito**.

**Paso 5:** Encender el Auto Sampler

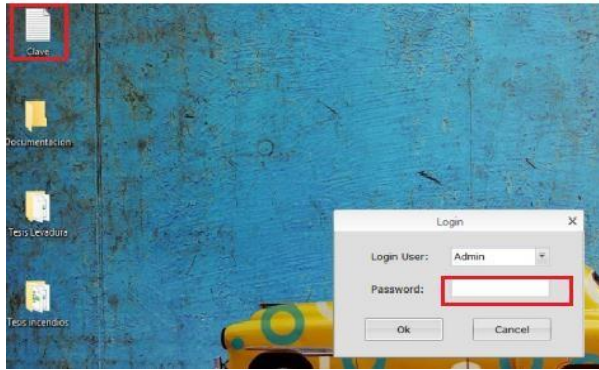
**Nota:** Solo se enciende para el **método de horno grafito**.



**Paso 6:** Se procede a abrir la llave del gas a utilizar, dependiendo de la metodología (Óxido Nitroso, Acetileno, Argón).

**Paso 7:** Una vez encendido equipo, se procede a abrir el programa que se encuentra instalado en la laptop (AAZPro Analysis System).





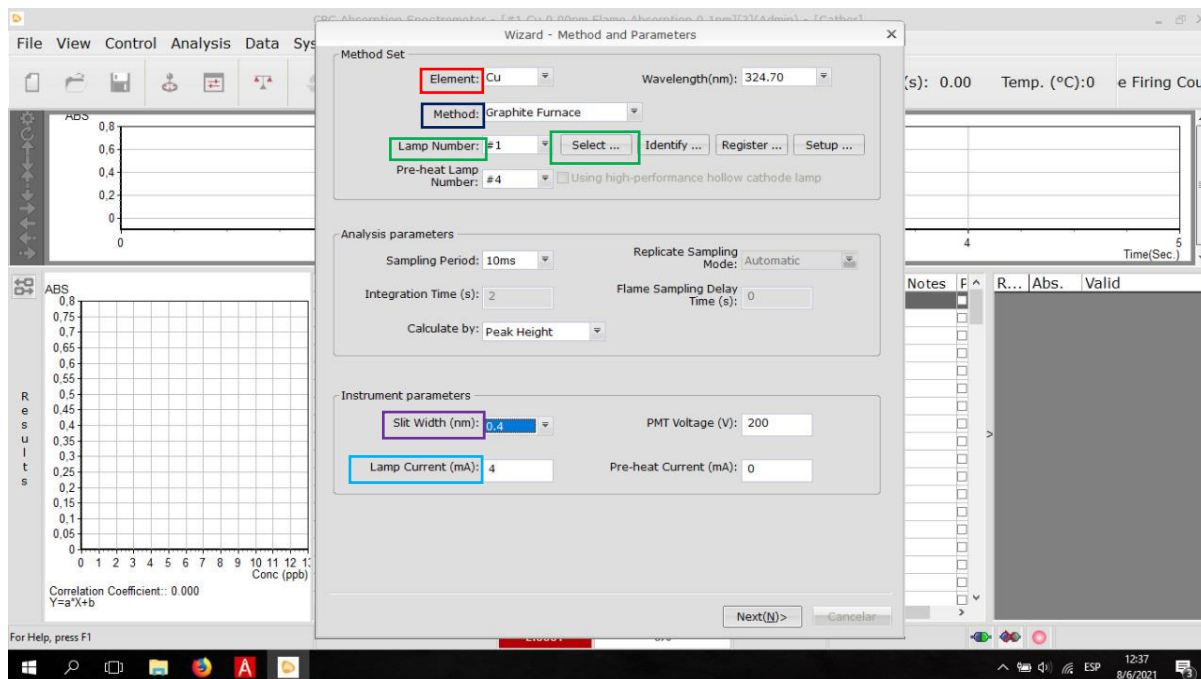
**Paso 8:** Se introduce la contraseña la cual se encuentra en el escritorio de la laptop.

**Paso 9:** Una vez que se ingrese al programa, aparecerá un cuadro en el que se compruebe que todo el equipo este encendido y en correcto funcionamiento. Y se comprueba con la activación de los vistos de color verde.



## Configuración del software - Método de Horno Grafito

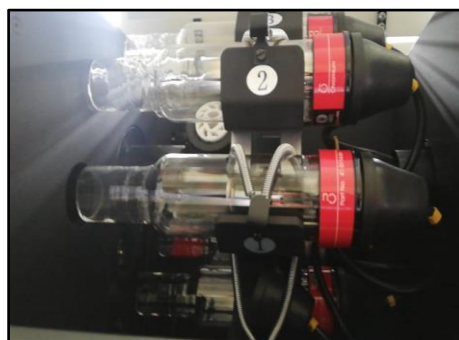
Paso 1: Configuración del método en la siguiente pantalla (**WIZARD-METHOD AND PARAMETERS**)



**Element:** Se selecciona el metal que vamos a analizar.

**Method:** Se selecciona el método de absorción de llama (Graphite Furnace).

**Lamp Number:** Colocamos el número de lámpara del metal que se va a analizar según su ubicación procediendo a dar clic en “SELECT” para que se ubique la lámpara. Como se muestra en la siguiente imagen.



**Slit Width (nm):** El ancho de la Hendidura se lo modifica según el metal que se vaya a analizar, en el caso del cobre es 0,4nm.

**Lamp Current (mA):** La corriente de la lampara va a depender de cada metal y se lo encuentra en el instructivo ubicado dentro de la caja de la lámpara. Colocando el valor dependiendo de la marca del equipo en este caso (GBC).



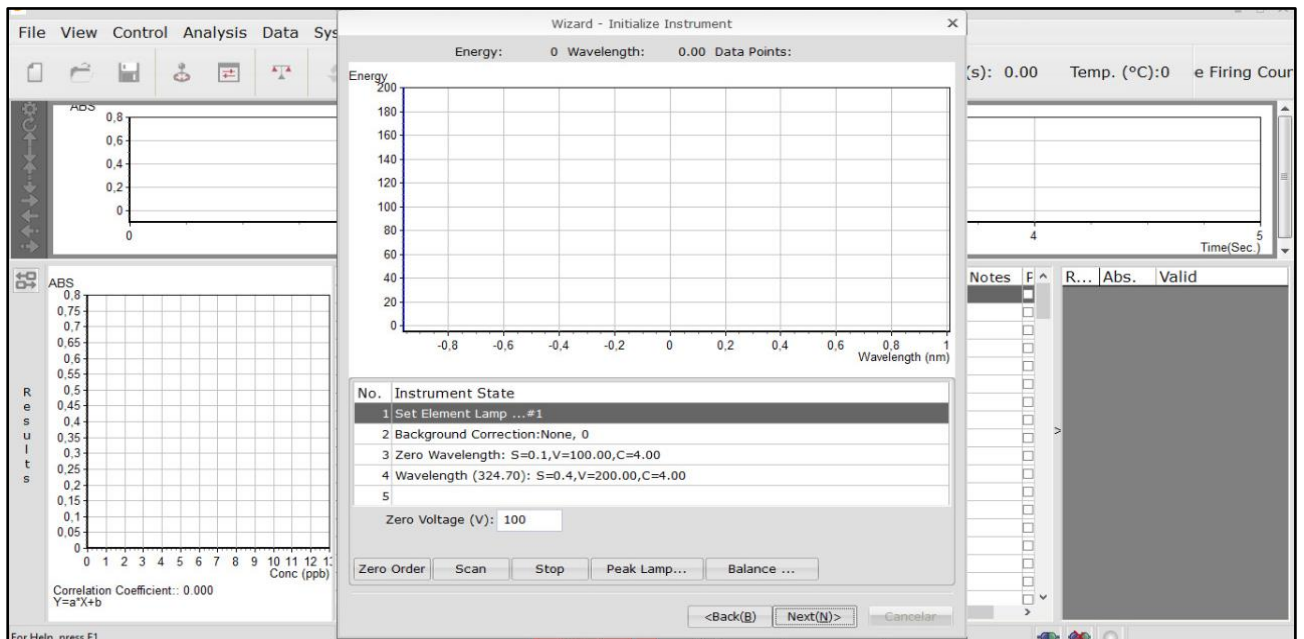
**1.5" DIAMETER HOLLOW CATHODE LAMP OPERATING DATA FOR COMMON ELEMENT LAMPS**

Each Hollow Cathode Lamp is tested to ensure that it will perform to specifications in your instrument. As each instrument uses different operating conditions, it is necessary to provide precise instructions of lamp run currents. By using this chart, the lamp will provide optimum performance and achieve the longest possible lamp life. \*\* Please carefully select the correct current setting from the data below for your instrument. Should you have any questions when using this lamp, please contact GBC or your GBC distributor.

GBC P/N	Element	GBC	GBC	Shimadzu	Shimadzu	Varian	Varian	Varian	Hitachi	Unicam	Thermo
SB-900		903.905,	640.645,		All Others	AA4/5/6	SpectrAA 5/10	302/40Z			
901,902		909.932	646.680			1000/1100	20/30/40/100	300Z/400Z			
904.906		933.933B				1200/1275	200/300/400	640Z/800Z			
908, Avanta	Prospector					1475	600/640/800				
P801	Aluminium (Al)	10mA	10mA	10mA	20mA	10mA	10mA	8mA	10mA	10mA	10mA
P802	Antimony (Sb)	10mA	10mA	10mA	20mA	10mA	8mA	7mA	10mA	14mA	10mA
P803	Arsenic (As)	8mA	7mA	8mA	16mA	8mA	7mA	6mA	8mA	11mA	8mA
P804	Barium (Ba)	15mA	15mA	15mA	20mA	15mA	10mA	10mA	15mA	12mA	15mA
P805	Beryllium (Be)	10mA	10mA	10mA	20mA	10mA	8mA	6mA	10mA	14mA	10mA
P806	Bismuth (Bi)	10mA	8mA	10mA	20mA	10mA	8mA	7mA	10mA	12mA	10mA
P807	Boron (B)	20mA	18mA	20mA	40mA	20mA	18mA	12mA	20mA	20mA	20mA
P808	Cadmium (Cd)	4mA	3mA	4mA	8mA	4mA	4mA	3mA	4mA	10mA	3mA
P809	Calcium (Ca)	5mA	4mA	5mA	10mA	5mA	4mA	4mA	5mA	6mA	5mA
P810	Cesium (Cs)	20mA	18mA	20mA	40mA	20mA	20mA	18mA	20mA	20mA	20mA
P812	Chromium (Cr)	6mA	6mA	6mA	12mA	6mA	6mA	6mA	6mA	10mA	6mA
P813	Cobalt (Co)	10mA	10mA	10mA	20mA	10mA	10mA	10mA	10mA	8mA	10mA
P814	Copper (Cu)	4mA	4mA	4mA	8mA	4mA	4mA	3mA	4mA	6mA	4mA
P819	Gallium (Ga)	5mA	5mA	5mA	10mA	5mA	4mA	3mA	5mA	7mA	5mA
P820	Germanium (Ge)	5mA	5mA	5mA	10mA	5mA	4mA	3mA	5mA	10mA	5mA

Terminado los pasos anteriores damos clic en **NEXT(N)**

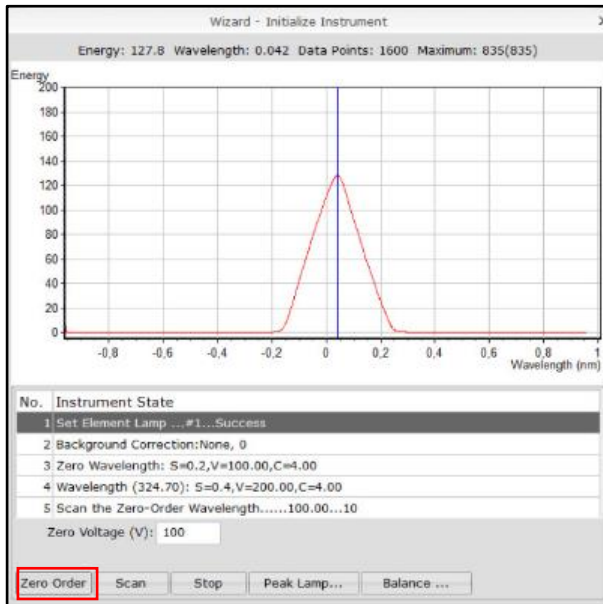
**Paso 2:** Configuración del método en la siguiente pantalla (**WIZARD-INITIALIZE INSTRUMENT**)



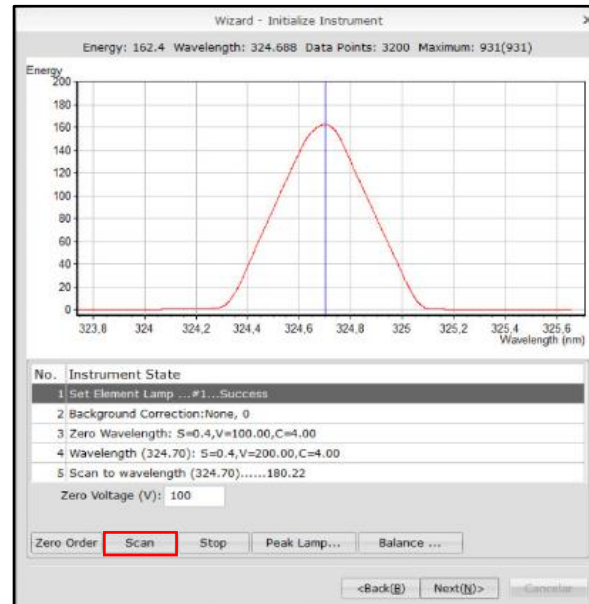


Se procede a activar las siguientes pestañas:

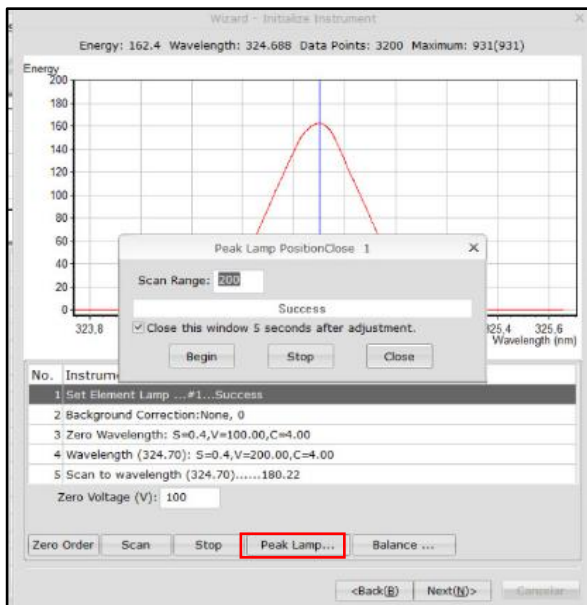
### 1.- ZERO ORDER



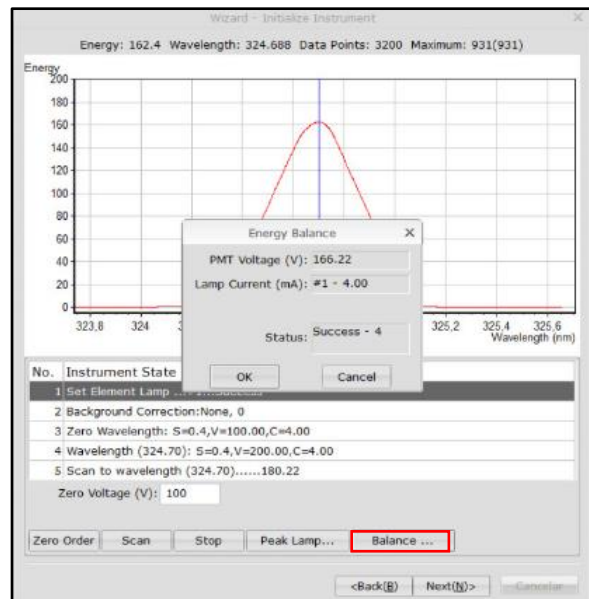
### 2.-SCAN



### 3.- PEAK LAMP

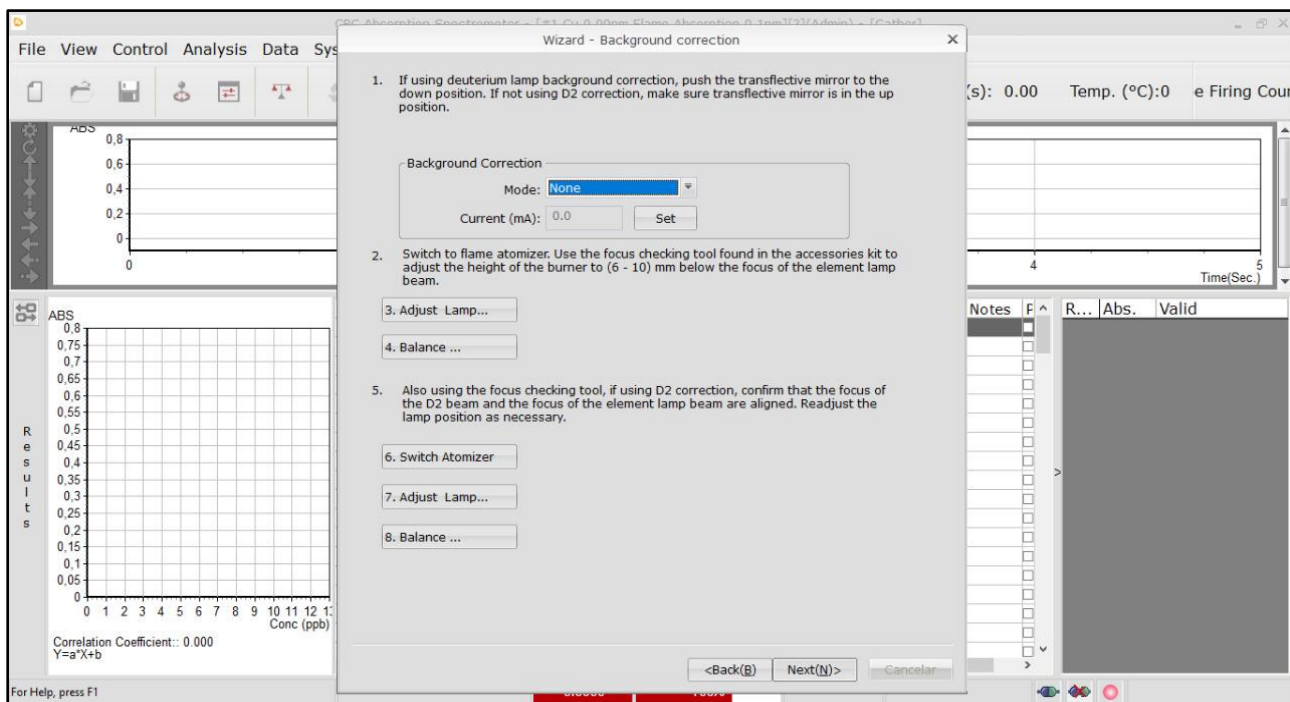


### 4.- BALANCE

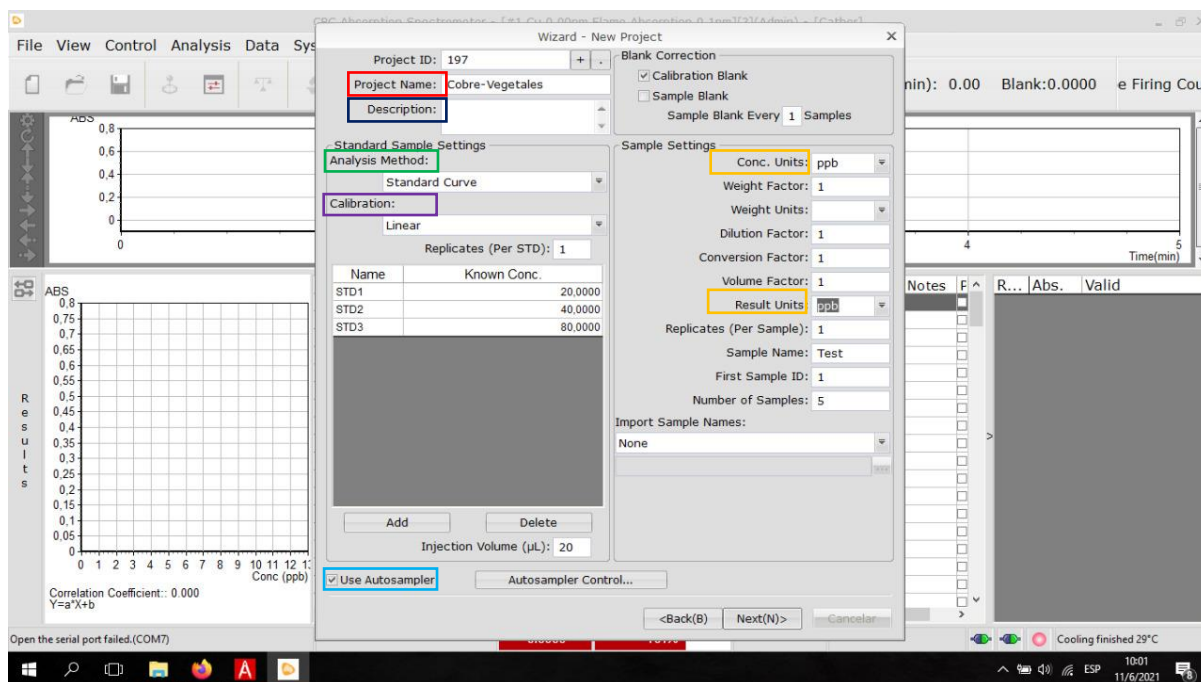


Terminado los pasos anteriores damos clic en **NEXT(N)**

**Paso 3: (WIZARD-BACKGROUND CORRECTION).** Dar clic en **NEXT (N)** sin modificar la siguiente pantalla.



**Paso 4: Configuración del método en la siguiente pantalla (WIZARD-NEW PROJECT)**



**Project Name:** Nombre del Proyecto

**Description:** Descripción del proyecto

**Analysis Method:** Se seleccionará Standard Curve

**Calibration:** Se selecciona linear.

**Use Autosampler:** Se activa

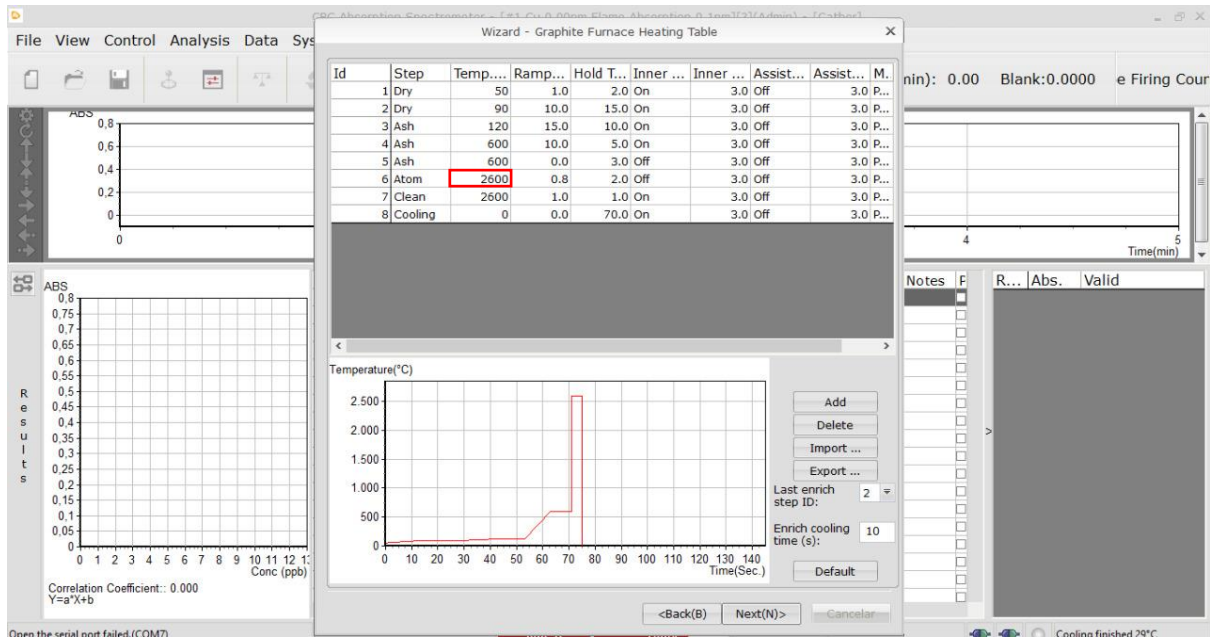
**Conc. Units – Result Units:** La unidad para el método de llama será en ppb.

Terminado los pasos anteriores damos clic en NEXT(N)

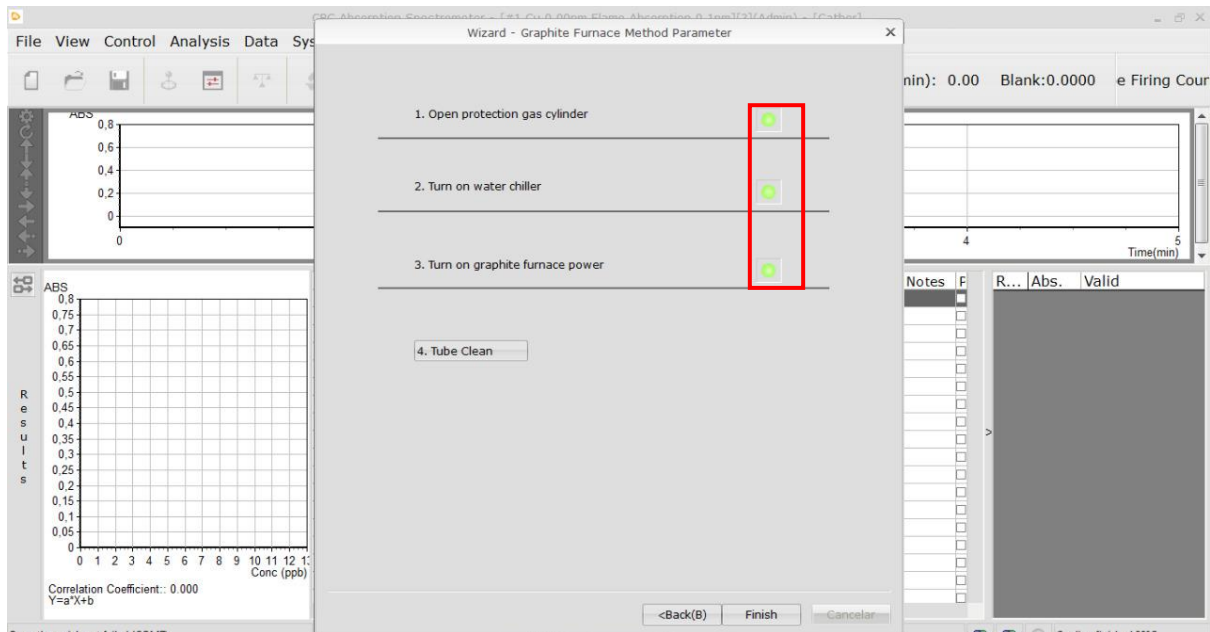
**Paso 5: (WIZARD-SET UATOSAMPLER TABLE).** Dar clic en **NEXT (N)** sin modificar la siguiente pantalla.

Name	Samp...	Type	Co...	Re...	Dilu...	Posit...	Injection...	Notes
Calib...	-	Calib...	0	1	-	132	20	
STD1	-	STD	2	1	-	1	20	
STD2	-	STD	4	1	-	2	20	
STD3	-	STD	8	1	-	3	20	
Test1	1 Sam...	-	-	1	1	4	20	
Test2	2 Sam...	-	-	1	1	5	20	
Test3	3 Sam...	-	-	1	1	6	20	
Test4	4 Sam...	-	-	1	1	7	20	
Test5	5 Sam...	-	-	1	1	8	20	

**Paso 6: (WIZARD-GRAPHITE FURNACE HEATING TABLE).** Se modifica la temperatura de atomización, dependiendo de cada metal a analizar. Dar clic en **NEXT (N)**

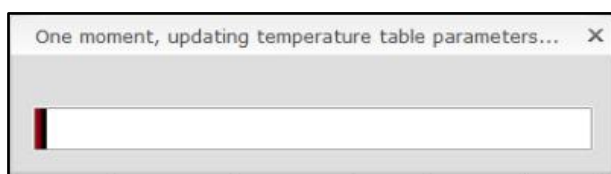


**Paso 7: Configuración del método en la siguiente pantalla (WIZARD-GRAPHITE FURNACE METHOD PARAMETER).** Se procede a activar los botones como se muestra en la imagen.

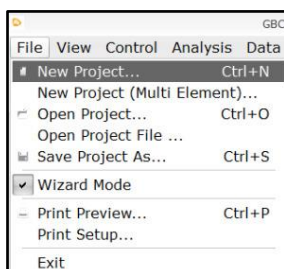


Terminado los pasos anteriores damos clic en **FINISH.**

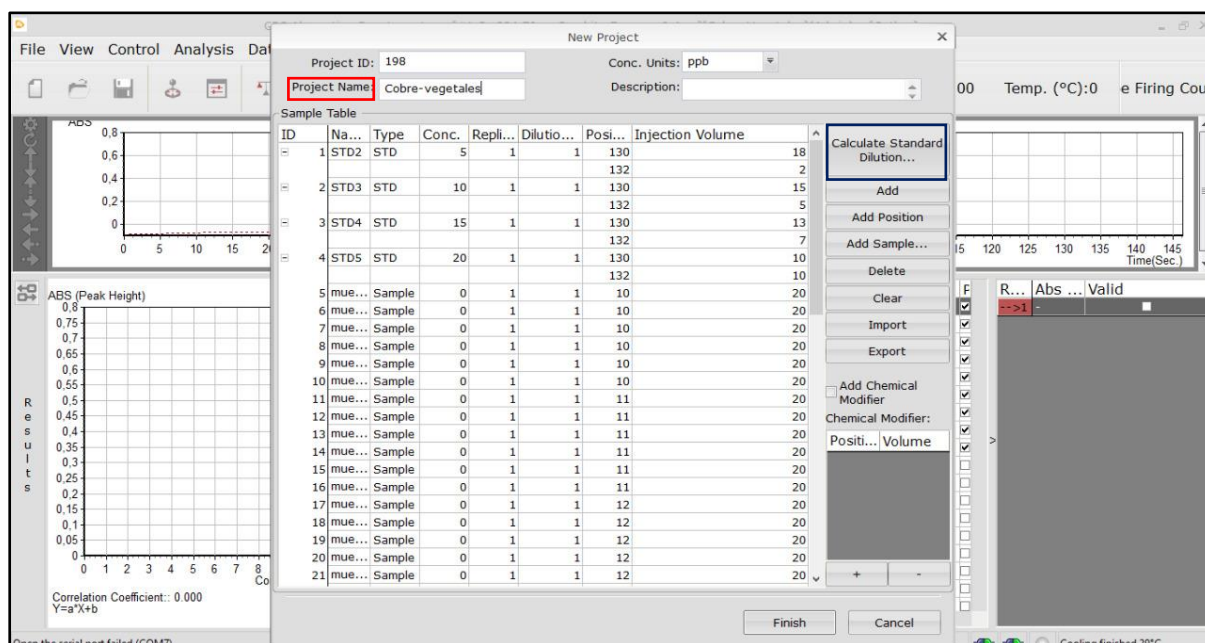
**Paso 8:** Se espera un momento para que se cargue la siguiente imagen.



**Paso 9:** Una vez finalizada la configuración, se procede a abrir un nuevo proyecto, dando clic en “FILE” y “NEW PROJECT”.

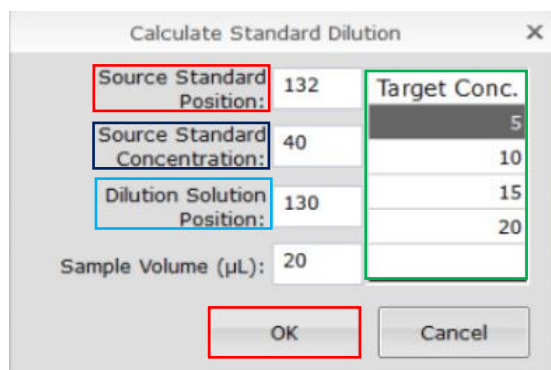


Dando como resultado la siguiente pantalla. Donde se procede a modificar lo siguiente:



**Project Name:** Nombre del proyecto

**Calculate Standart Dilution:** Donde modificaremos los valores para la curva de calibración



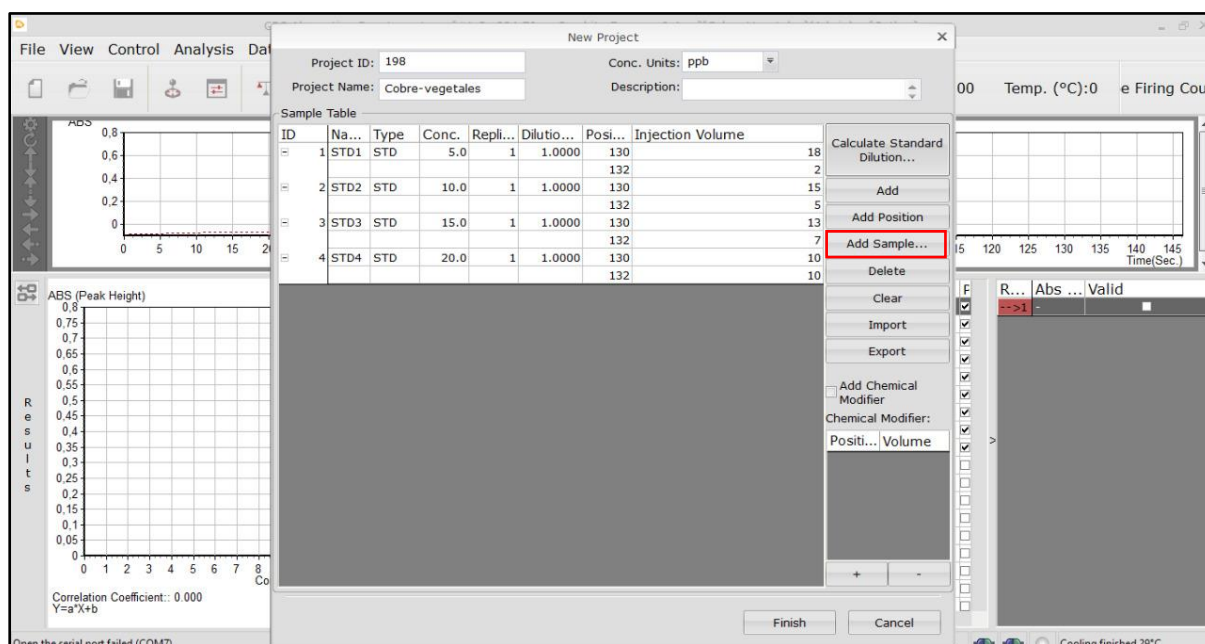
**Source Standar Position:** Es la posición del frasco en donde ir colocado la solución madre.

**Source Standard Concentration:** Es el valor de la solución madre que se utilizará para la curva de calibración, este valor dependerá de cada metal.

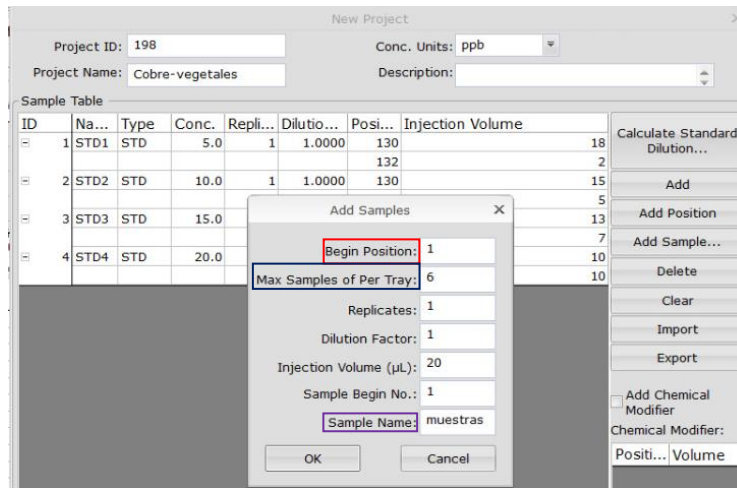
**Dilution Solution Position:** Numero de posición del frasco en el plato de muestra en donde se coloca la muestra en blanco.

**Target Conc:** Son los valores de la disolución de la concentración madre, dependiendo del metal.

Damos clic en “OK”, dando como resultado la siguiente pantalla.



Para agregar las muestras se da clic en “ADD SAMPLE” dando como resultado:

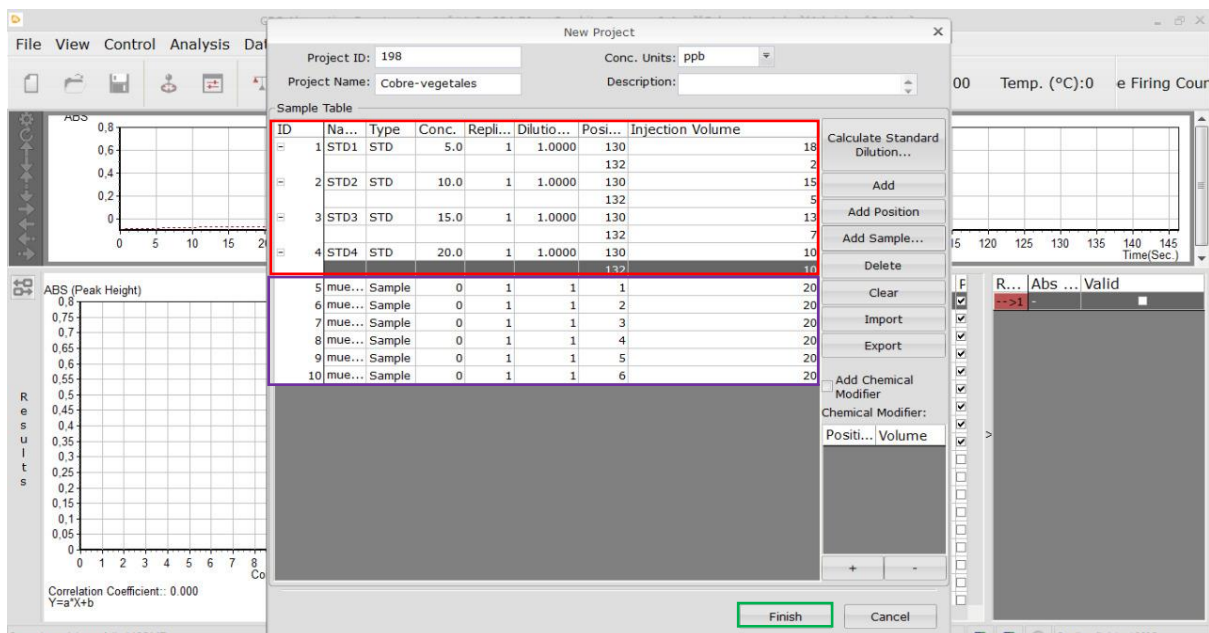


**Begin Position:** Es la posición en donde va a estar ubicado los viales con las muestras en el plato de muestra.

**Max Samples of Per Tray:** Es el número de muestras a ser analizada.

**Samples Name:** Nombre de las muestras.

Una vez configurada la pantalla nos da como resultado lo siguiente:

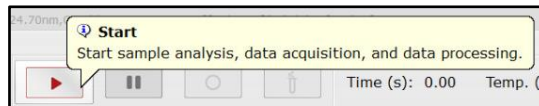


**Rojo:** Son los estándares para la curva de calibración.

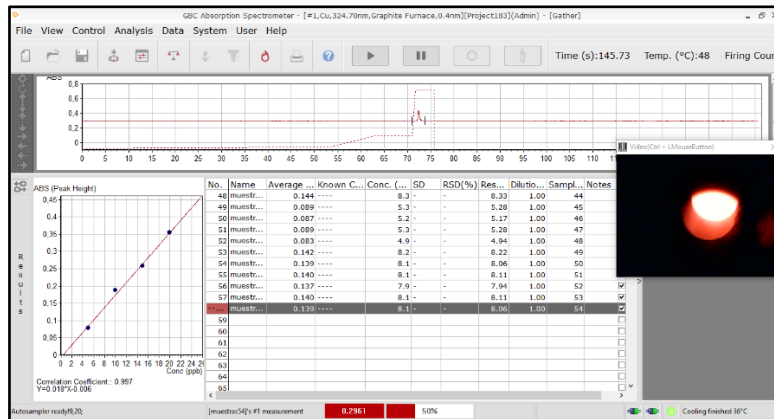
**Morado:** Son las muestras a analizar.

Se concluye dando clic en FINISH.

**Paso 10:** Para empezar los análisis se da clic en “START”.

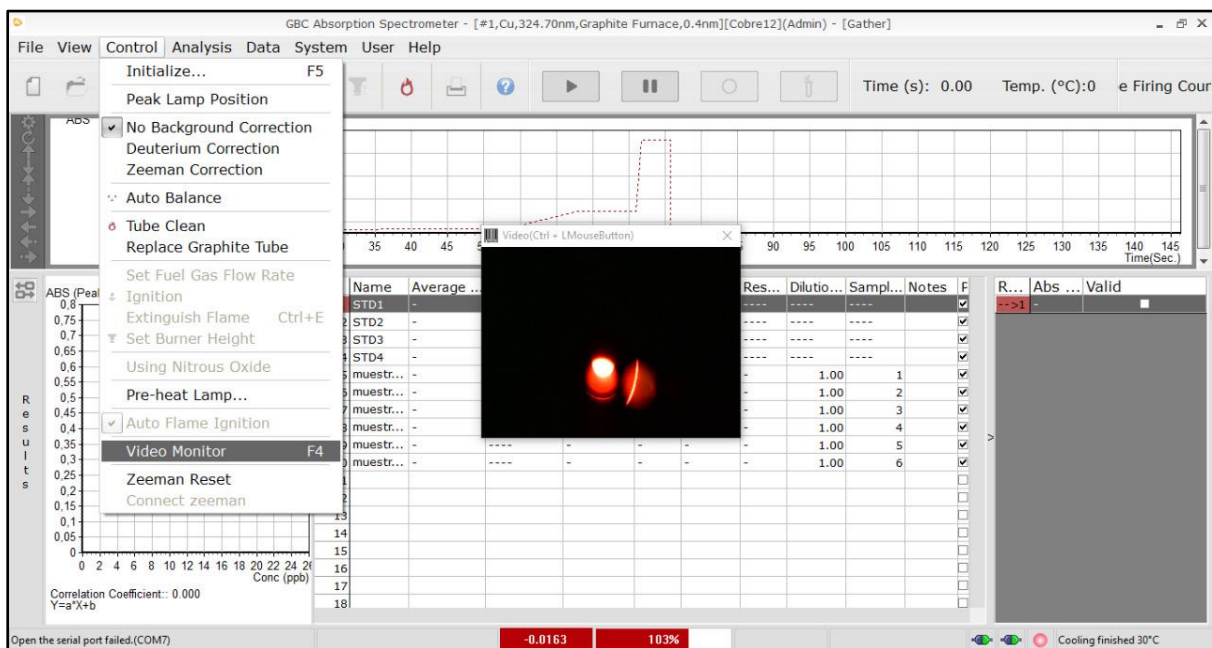


**Paso 11:** A diferencia del método de llama, el método de horno grafito realiza los análisis automáticamente.



**Nota:** La curva de calibración debe tener un coeficiente de correlación mayor a 0,9 para tener resultados con una mejor precisión y exactitud.

**Paso 12:** Si se desea monitorear el proceso de análisis, se puede activar la cámara dando clic en “CONTROL” seguido de “VIDEO MONITOR”.



**Nota:** Si se desea hacer un acercamiento se da clic en la tecla “CTRL” y se agranda con el Mouse.