

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

Determinación de metales pesados (plomo, cadmio y níquel) en el cilantro (*Coriandrum sativum L*) en Aloag, cantón Mejía, provincia de Pichincha por espectrofotometría de absorción atómica de llama

Disertación previa al título de Licenciado en Ciencias Químicas especialidad Química Analítica

SANDRA GABRIELA CAHUASQUI TOSCANO

Quito, 2011

DEDICATORIA

A Dios que me ha permitido tener tanta alegría en mi vida, por darme la fuerza para superar los momentos difíciles.

A mis padres por ser la base de mi vida, por su esfuerzo, por su trabajo y por su apoyo incondicional.

A mis hermanas por la dicha de tener a las mejores amigas junto a mí.

A mi esposo por brindarme su amor, por compartir conmigo su vida y por ser un amigo leal.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a M.Sc Wendy Heredia Rojas, directora de esta disertación y directora del Centro de Servicios Ambientales y Químicos CESAQ-PUCE, por su valiosa cooperación, por su paciencia y por el tiempo dedicado en la realización de este trabajo de tesis.

A Mtr. Alexandra Hidalgo por toda la ayuda brindada y por ser una gran profesora.

Al Centro de Servicios Ambientales y Químicos CESAQ-PUCE, a sus directoras de área por el financiamiento total para la realización de este trabajo, y a todo su personal por su amistad.

A todos los profesores de la escuela de Química mi sincero respeto y admiración por su labor, mi agradecimiento especial al Matemático Carlos Echeverría por su ayuda en este trabajo, al Doctor Ramiro Gallegos por su colaboración e importante opinión, al Ingeniero Marcelo Parreño por ser un profesor inigualable.

TABLA DE CONTENIDOS

1. Resumen	1
2. Abstract	3
3. Introducción	5
3.1. Metales Pesados	6
3.1.1. Incorporación de metales pesados a la cadena alimenticia	7
3.1.1.1. Incorporación por medio de la deposición atmosférica.	8
3.1.1.2. Incorporación por medio de suelo	8

3.2.El cilantro	14
3.2.1. Condiciones climáticas para el cultivo de cilantro	16
3.2.2. Proceso para cultivo de cilantro	17
3.2.3. Importancia del cilantro	18
3.2.4. Análisis de metales pesados	19
3.3.Técnica analítica	21
3.3.1. Digestión	21
3.3.2. Espectrofotometría de absorción atómica de llama	22
3.3.2.1.Atomización con llama	22
3.3.2.2.Fuentes de radiación	23
3.3.2.3.Monocromador	23
3.3.2.4.Detectores	24
3.3.2.5.Análisis cuantitativo	25

3.3.3. Interferencias Analíticas	26
3.3.4. Tratamiento estadístico	27
3.3.5. Prueba de Grubbs	28
4. Materiales y Métodos	30
4.1.Muestreo	30
4.1.1. Descripción del área de estudio	30
4.1.2. Ubicación de la zona de cultivo	31
4.1.3. Selección de muestras	32
4.2.Procedimiento analítico	35
4.2.1. Cálculo y expresión de los resultados	38
4.2.2. Contenido máximo de plomo, cadmio y níquel en alimentos	39
5. Resultados y Discusión	43
5.1.Contenido de metales pesados	43
5.1.1. Plomo en las hojas de cilantro	45

5.1.2. Cadmio en las hojas de cilantro	48
5.1.3. Níquel en las hojas de cilantro	50
5.1.4. Contenido de metales en tallos y raíces	52
5.2. Humedad	53
5.3. Curvas de calibración	53
5.4. Fortificaciones	56
5.4.1. Plomo	56
5.4.2. Cadmio	58
5.4.3. Níquel	59
6. Conclusiones y recomendaciones	61
7. Bibliografía	63
8. Anexos	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1. Propiedades físicas y químicas de metales pesados Cd, Pb y Ni	7
Tabla 3.2. Tipos de combustible y comburente de las llamas de absorción atómica	23
Tabla 3.3. Medidas de tendencia central.	28

Tabla 4.1. Variables estadísticas aplicadas a la ecuación de tamaño de muestra	33
Tabla 4.2. Condiciones programadas para el equipo microondas	35
Tabla 4.3. Condiciones óptimas para el análisis de metales por absorción atómica de llama	38
Tabla 4.4. Concentración de estándares para curvas de calibración	38
Tabla 4.5. Límites máximos permitidos de Plomo (Pb) en alimentos	40
Tabla 4.6. Contenido máximo permitido de Cadmio (Cd) en alimentos	41
Tabla 5.1. Características de los suelo empleados en el cultivo de cilantro.	44
Tabla 5.2. Resultados de variables estadísticas para plomo.	46
Tabla 5.3. Resultados de la prueba de Grubbs para el plomo	47
Tabla 5.4. Valores corregidos de variables estadísticas	47
Tabla 5.5. Variables estadísticas para el cadmio	49
Tabla 5.6. Variables estadísticas para el níquel	51
Tabla 5.7. Contenido de metales pesados en raíces y tallos	52
Tabla 5.8. Estándares de control	56

Tabla 5.9. Porcentajes de recuperación de plomo	57
Tabla 5.10. Porcentajes de recuperación de cadmio	58
Tabla 5.1. Porcentajes de recuperación de níquel	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Biodisponibilidad de metales de suelo a plantas	11
Figura 3.2. Bioacumulación de los metales pesados en plantas verdes	12
Figura 3.3. Partes de la planta de cilantro	15
Figura 3.4. Proceso para el cultivo de cilantro	17
Figura 3.5. Contenido de metales pesados en el cilantro (<i>Coriandrum sativum L</i>) expresados en peso seco.	20
Figura 4.1. Mapa del cantón Mejía	30
Figura 4.2. Representación gráfica del área de influencia sobre la plantación de cilantro	32

Figura 4.3. Representación del cultivo a escala 1:1000	34
Figura 4.4. Diagrama de flujo del procedimiento analítico.	37
Figura 5.1. Contenido de plomo, cadmio y níquel en raíces, tallos y hojas	43
Figura 5.2. Contenido de plomo, cadmio y níquel en el suelo del cultivo de cilantro	45
Figura 5.3. Concentración de plomo en mg/Kg de peso seco de hojas de cilantro	46
Figura 5.4. Comparación de las muestras con el límite máximo permitido.	48
Figura 5.5. Concentración de cadmio en peso seco de hojas de cilantro	49
Figura 5.6. Comparación de los resultados en peso fresco con el límite máximo permitido.	50
Figura 5.7. Concentración de níquel en peso seco en las hojas de cilantro	51
Figura 5.8. Resultados de níquel en peso fresco	52
Figura 5.9. Porcentaje de humedad de muestras	53
Figura 5.10. Curva de calibración de plomo (a)	54

Figura 5.11. Curva de calibración de plomo (b)	54
Figura 5.12. Curva de calibración de cadmio (a)	55
Figura 5.13. Curva de calibración de cadmio (b)	55
Figura 5.14. Curva de calibración de níquel (a)	55
Figura 5.15. Curva de calibración de níquel (b)	56
Figura 5.16. Fortificaciones de plomo a tres niveles de concentración	57
Figura 5.17. Fortificaciones de cadmio a tres niveles de concentración.	59
Figura 5.18. Fortificaciones de níquel a tres niveles de concentración	60

LISTA DE ANEXOS

Anexo N° 1: Reglamento (CE) No 629/2008 de la comisión, publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea	59
Anexo N° 2: Carta de Aloag escale 1:25.000	60
Anexo N° 3: Norma INEN 17025. Muestreo de hortalizas y frutas frescas	61
Anexo N°4: Método Oficial 999.10 de la AOAC (Official Methods of Analysis)	62

Anexo N° 5: Tabla de valores T de Grubbs	63
Anexo N° 6: Fotografías del cultivo	64

RESUMEN

En el presente trabajo se determinó la concentración de metales pesados plomo, cadmio y níquel en 35 muestras de hojas de cilantro (*Coriandrum sativum L*) y en 5 muestras de raíces, tallos y suelo del cultivo, en la parroquia rural Alóag.

Las muestras fueron obtenidas aplicando la norma INEN 1750, se procedió a lavar las plantas y a separar en hojas, tallos, raíces y se determinó el porcentaje de humedad. Se sometieron las muestras a una digestión por microondas empleando ácido nítrico, el análisis de metales pesados fue realizado con la técnica analítica de espectrofotometría de absorción atómica de llama, según el método oficial 999.10 de la AOAC.

Los resultados obtenidos señalan que el cadmio tiene una mayor concentración en las hojas de cilantro con 1.06 mg/Kg en peso seco, el níquel 0.86 mg/Kg, y el plomo con una presencia menor de 0.18 mg/Kg en peso seco. En los suelos se encontró una concentración de 2.53 mg/Kg de plomo, 0.80 mg/Kg de cadmio y 1.12 mg/Kg de níquel. En las raíces se obtuvo 0.03 mg/Kg de plomo, 0.14 mg/Kg de cadmio y 0.13 mg/Kg de níquel. Los tallos presentan 0.02 mg/Kg de plomo, 0.16 mg/Kg de cadmio y 0.20 mg/Kg de níquel.

La concentración de plomo, cadmio y níquel es mayor en el follaje que en raíces y tallos es por ello probable que las vías de incorporación de los metales pesados a la planta sean a través del suelo o por medio de deposición atmosférica.

Los resultados indican que el contenido de cadmio en las muestras es superior al límite máximo permitido (LMP) en alimentos establecidos en el diario oficial de la Unión Europea indican que es de 0.20 mg/Kg en peso fresco, mientras en el plomo la concentración en las muestras es inferior al límite de 0.30 mg/Kg; en el caso de níquel no se puede establecer una comparación pues no hay límites oficiales para este metal que comprueben su toxicidad.

1. ABSTRACT

In this study we determined the concentration of heavy metals lead, cadmium and nickel in 35 samples of coriander leaves (*Coriandrum sativum* L) and 5 samples of roots, stems and soil cultivation in the rural parish Alóag.

Samples were obtained by use of INEN 1750, proceeded to wash the plants and separated into leaves, stems, roots and determined the percentage of moisture. Samples were subjected to microwave digestion using nitric acid, heavy metal analysis was performed with the analytical technique of atomic absorption spectrometry, flame as the official method of AOAC 999.10.

The results indicate that cadmium has a higher concentration in the leaves of cilantro with 1.06 mg / kg dry weight, nickel 0.86 mg / kg, and lead to a lower presence of 0.18 mg / kg dry weight. In soils was found a concentration of 2.53 mg / kg of lead, 0.80 mg / kg of cadmium and 1.12 mg / kg of nickel. At the root was obtained 0.03 mg / kg of lead, 0.14 mg / kg of cadmium and 0.13 mg / kg of nickel. The stems have 0.02 mg / kg of lead, 0.16 mg / kg of cadmium and 0.20 mg / kg of nickel.

The concentration of lead, cadmium and nickel is greater in foliage than in roots and stems is therefore likely that the process of incorporation of heavy metals into the plant are through the floor or through atmospheric deposition.

The results said that the cadmium content in the samples exceeds the maximum limit (PML) in food established in the official journal of the European Union indicate that is 0.20 mg / kg fresh weight, while in the lead concentration in the samples is below the limit of 0.30 mg / kg nickel if you cannot make a comparison as there are no official limits for this metal to verify its toxicity.

2. INTRODUCCION

El trabajo de disertación tiene como objetivo específico, determinar el contenido de los metales pesados plomo, cadmio y níquel en el cilantro (*Coriandrum sativum L*) sembrado en un sector de terreno en la parroquia rural de Alóag, ubicado en el cantón Mejía, provincia de Pichincha; empleando la técnica analítica de Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama.

El cantón Mejía es conocido como una zona agrícola y ganadera por naturaleza, la cual ha impulsado el crecimiento del sector, sin embargo este desarrollo constante ha generado un incremento industrial, que pone en riesgo los cultivos alimenticios de la zona; y que involucra recursos como suelo, plantas y animales, por lo tanto es necesario determinar y cuantificar a los metales pesados plomo, cadmio y níquel, en vista que su presencia en altas concentraciones representa un peligro eminente debido a que el cilantro tiene características bioacumuladoras de estos contaminantes.

La presencia de empresas metalúrgicas, centros de acopio de chatarra, florícolas que utilizan plaguicidas, fertilizantes, y aquellas dedicadas a la fabricación de plásticos, pueden generar residuos de sus procesos que se liberan al ambiente y se depositan sobre los suelos y plantas ayudados por el arrastre de lluvias y vientos del sector, que contribuyen a la biodisponibilidad de estos metales y a su incorporación hacia la planta, por ello este trabajo busca evaluar la posible influencia del área industrial cercana sobre los cultivos de cilantro.

3.1. METALES PESADOS

Los metales pesados están definidos como elementos químicos cuya densidad es igual o superior a 5 g cm^{-3} cuando están en su forma elemental y presentan un número atómico superior a 20 excluyendo los metales alcalinos y alcalinotérreos.¹

Se clasifican según su toxicidad, en oligoelementos o micronutrientes los cuales son beneficiosos tanto para plantas como para animales, pero cuando la concentración de estos elementos aumenta pueden llegar a ser tóxicos, en este grupo se incluye el níquel como un elemento esencial para el desarrollo de organismos vivos.

En esta clasificación también se presentan los metales pesados sin función biológica definida los cuales tienen la capacidad de acumularse y ser altamente tóxicos en pequeñas concentraciones, forman parte de estos; el plomo, cadmio y níquel que en concentraciones elevadas provocan efectos negativos en las plantas.²

En la tabla 3.1 se destacan las propiedades físicas y químicas de plomo, cadmio y níquel, los cuales presentan una densidad superior a 5 g cm^{-3} , número atómica mayor a 20 y poseen dos electrones en los orbitales de valencia de la última capa electrónica. Los metales pesados plomo,

¹ Carrasco, A, (1996), *Química de metales pesados en Suelos Chilenos*, Universidad de Chile, Santiago de Chile

² García, I, Dorrnsoro, C, Contaminación por metales pesados, <http://146.83.190.52/dpr/Apuntes/MEC%20CONT%20SUELOS/doc1.1SuelosMetalesPesados.pdf>, Junio 2010

cadmio y níquel se presentan por tanto como elementos sin función biológica definida, excluyendo al níquel el cual está presente en ambas clasificaciones.

Tabla 3.1. Propiedades físicas y químicas de metales pesados Cd, Pb y Ni.³

Elemento	Número atómico	Peso molecular (g/mol)	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Densidad g/cm ³	Estructura capa de valencia
Cadmio	48	112,41	321	765	8,65	4d ¹⁰ 5s ²
Plomo	82	207,20	1455	1740	11,40	6s ² 6p ²
Níquel	28	58,69	327,4	2730	8,90	3d ⁸ 4s ²

Los contaminantes pesados llegan a ser de las personas cuando siguen un proceso organismo humano y se esenciales de los cuales

denominados metales peligrosos para la salud son ingeridos pues metabólico dentro del albergan en órganos difícilmente son

excretados. Cabe destacar que para llegar a la cadena alimenticia deben incorporarse primero a una planta, este camino inicia en la emisión del contaminante y finaliza en el ingreso dentro organismo humano.

3.1.1. INCORPORACIÓN DE METALES PESADOS A LA CADENA ALIMENTICIA

³ Propiedades físicas de los metales, Agency for toxic substances and disease registry, <http://www.atsdr.cdc.gov/>, Marzo 2010

Los metales pesados se pueden incorporar a la planta por medio del recurso suelo mediante la interacción con las raíces y por absorción foliar, durante la deposición de partículas sobre las hojas.

3.1.1.1. INCORPORACION POR MEDIO DE DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA

Los depósitos de origen atmosférico son el conjunto de todos aquellos fenómenos que contribuyen a la disminución de contaminantes en el aire.

Este tipo de depósitos se clasifican en seco, el cual corresponde a la absorción de gases o de aerosoles por la cubierta del suelo o planta en condiciones secas, y en depósito húmedo el cual corresponde a un aporte de contaminantes arrastrados por lluvias, nieve, niebla y rocío, los cuales se depositan por gravedad sobre la superficie de las hojas en las plantas.

Se manifiesta una deposición atmosférica sobre plantas cuando existe una alta contaminación en las partes aéreas de las mismas y presencia de los metales en el suelo, lo que es indicativo que la vía de acceso de estos contaminantes metálicos a las plantas sea por dispersión atmosférica de partículas generadas por las actividades industriales cercanas.⁴

3.1.1.2. INCORPORACION POR MEDIO DE SUELO

La dinámica de los metales pesados en el suelo puede seguir cuatro vías que se mencionan a continuación:

- Movilización a las aguas superficiales o subterráneas
- Transferencia a la atmósfera por volatilización
- Absorción por las plantas e incorporación a las cadenas tróficas
- Retención de metales pesados en el suelo de distintas maneras: disueltos o fijados, retenidos por absorción, complejación y precipitación.

De estos procedimientos la absorción por la planta se lleva a cabo por el transporte de los iones inorgánicos disponibles por el agua (savia bruta) que se transporta desde la raíz hasta las hojas mediante una serie de células tubulares que pertenecen a un tejido leñoso denominado xilema. La fuerza que mueve esta solución no radica en las células del tejido xilemático, sino en la fuerza propia del proceso de osmosis y en otra fuerza

⁴ Chicharro, A, Impacto ambiental por metales pesados en suelos y plantas del entorno de un depósito de chatarra procedente de automóviles de desguace, <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es>, Diciembre 2010

conocida como fuerza de succión. La osmosis se produce porque existe una gran diferencia de concentración entre la parte superior de la planta (hojas e inflorescencias) donde es mayor y la parte inferior, es decir existe un potencial hídrico favorable al impulso ascendente.

La fuerza de succión se produce cuando en las hojas se pierde agua por transpiración, pues las moléculas perdidas producen una succión de nuevas moléculas cercanas para reemplazar a las anteriores, de tal manera que se produce una fuerza que atrae agua desde las raíces hacia las hojas.⁵

Los metales pesados disponibles para la absorción de las plantas se movilizarán desde suelo a raíz dependiendo del pH del suelo, debido a que este factor influye en disponibilidad y movilidad de los metales para ser captados.

A pH ácido ocurre una mayor movilidad de los metales en el suelo por lo que existe una mayor facilidad para su incorporación a las plantas a través de la raíz, mientras que a pH alcalino los metales son poco móviles en los suelos y tienden a acumularse en la parte superficial, en el horizonte biológicamente más activo, lo que hace que los metales estén fácilmente accesibles para los vegetales.

⁵ Navarro, J, Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas, <http://www.revistaecosistemas.net>. Diciembre 2010.

En suelos ácidos, se produce una competencia de los iones hidrógeno con los cationes metálicos por los sitios de intercambio, ocurre entonces una desorción de los metales pesados aumentando su concentración en la solución suelo y por tanto su biodisponibilidad.

A pH alcalino los metales son removidos de la solución suelo y absorbidos por los coloides disminuyendo su biodisponibilidad debido a que precipitan como hidróxidos insolubles, carbonatos y complejos orgánicos.⁶

Al existir disponibilidad de metales pesados, las plantas tienen la capacidad de absorberlos desde el suelo, pero lo hacen en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal y principalmente de las características y contenido de metales del suelo. La figura 3.1 presenta la biodisponibilidad de algunos metales presentes en el suelo a plantas, en donde hay una mayor disponibilidad de Mn en el suelo, seguido por el Zn, Cd, Cu y finalmente el plomo el cual estará menos disponible, para pasar la barrera suelo-raíz- planta.

⁶ SN, (2007), Bioacumulación de metales pesados, <http://www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/Manuales/Contmetalespesados.asp>, Dic. 2009

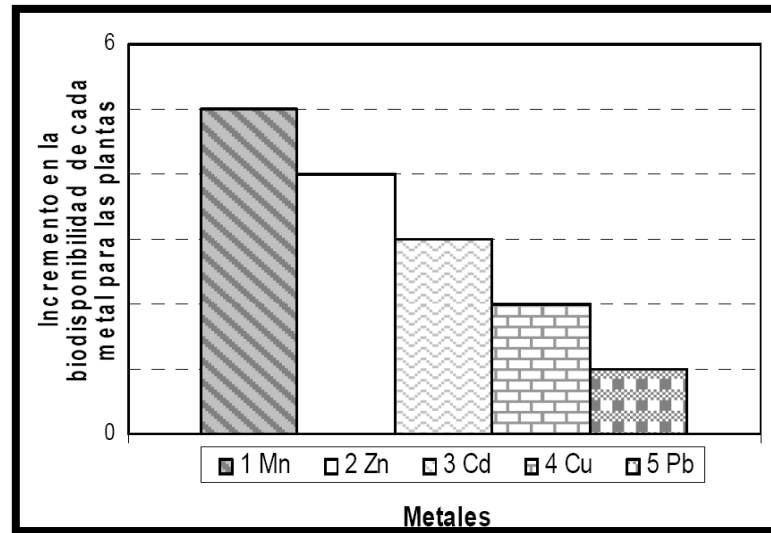


Figura 3.1. Biodisponibilidad de metales de suelo a plantas.⁷

Frente a la disponibilidad de metales, las plantas pueden actuar de manera diferente, pues tienen la capacidad de resistirse al ingreso mediante una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea o bioacumulando el metal en hojas y semillas en forma no tóxica para la planta.

⁷Prieto, Judith, Contaminación y fitotoxicología en plantas por metales pesados provenientes de suelo y agua, www.Redalyc.org, Diciembre 2010

El término bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente.⁷

La figura 3.2 es una representación de diferentes grados de bioacumulación en plantas verdes y hongos, en la cual se plantea una clasificación para la bioacumulación desde ligera hasta muy intensa.

Algunos autores señalan que la biodisponibilidad de metales presentes en el suelo para ser captados por las plantas, tienen mayores niveles de absorción, por ello se menciona el índice de bioacumulación que fue calculado como la relación de elementos trazas contenidos en plantas y hongos, respecto a la concentración de los mismos en suelos.

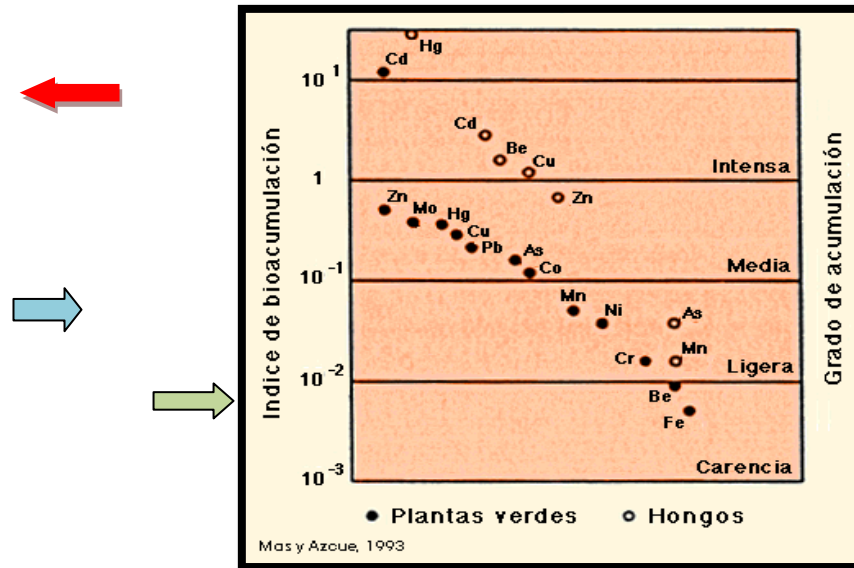


Figura 3.2. Bioacumulación de los metales pesados en plantas verdes.⁷

Por lo tanto el índice de bioacumulación dependerá a su vez de la biodisponibilidad y de la concentración de los metales en el suelo, así como del tipo de planta verde y de su capacidad para bioacumular.

De los metales en estudio el cadmio presenta un grado de acumulación intensa, el plomo media y el níquel ligera, cabe destacar que este metal es el menos absorbido en suelos, pero puede ser fácilmente absorbido por las plantas y ser ligeramente tóxico para las mismas, por su parte el plomo y cadmio serán altamente tóxicos aún en pequeñas cantidades.

Una planta puede bioacumular uno o más metales pesados, sin conocer los efectos reales de dicha mezcla ya que pueden resultar tóxicamente sinérgicos o antagónicos. Si se produce un efecto antagónico supone una reducción de la toxicidad al mezclarse, pero cuando se produce un efecto sinérgico la planta sufre un incremento en los niveles de toxicidad, lo que ocasiona que busque protegerse formando complejos metálicos estables menos tóxicos con quelantes como las fitoquelatinas.

La quelación es un proceso que se desarrolla dentro de la célula vegetal, en donde se llevan a cabo una serie de mecanismo complejos, el metal se rodea de ligandos (ácidos orgánicos y aminoácidos) para formar un quelato, el cual queda inmerso dentro de la célula, pero que no lo deja fuera del metabolismo, no se ha eliminado y por ello sigue siendo potencialmente toxico.

Las plantas muestran cierta afinidad por aminoácidos y ácidos orgánicos como ligandos y más específicamente por dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metalotioneinas, estas últimas cumplen funciones más específicas en células animales. Las fitoquelatinas por su parte actúan con mayor eficiencia en las especies vegetales pues se comportan como agentes quelantes y actúan en la depuración de metales pesados, en el

mantenimiento del balance de los metales esenciales en las células y en el transporte de formas reducidas del azufre. El metal con el cual las fitoquelatinas tienen mayor afinidad es el cadmio pues forman un complejo molecular con sulfuro (Cd- FQ-S) que es la forma más estable para almacenar el metal dentro de la planta y reducir sus efectos negativos, con lo cual la planta consigue protegerse.⁸

3.2. EL CILANTRO

La planta de cilantro es originaria de la región mediterránea occidental, en el Ecuador se conoce como única especie al *Coriandrum sativum* L⁹, planta que es catalogada como introducida y cultivada en el país, está considerada dentro de las 159 especies que se usan como condimentos en la alimentación de las familias ecuatorianas.¹⁰

El cilantro es una hierba terrestre que pertenece a la familia botánica Apiaceae/Umbelliferae, es conocida como culantro, coriandro o cariandro, pertenece al género *Coriandrum*, palabra que se deriva del griego *koris* que significa chinche, debido al desagradable olor del cilantro cuando

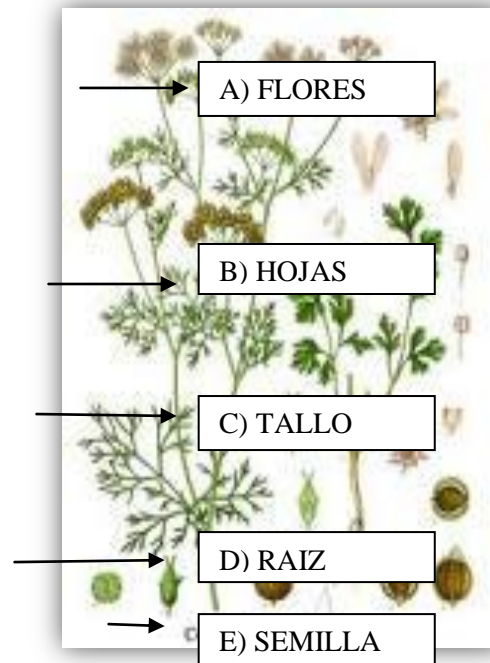
⁸ Pernia, Beatriz, Biomarcadores de contaminación por cadmio en las plantas, <http://scielo.org.ve>. Diciembre 2010.

⁹ Jorgensen, P., Leòn, S.,(eds).1999. *Catálogo de las plantas vasculares del Ecuador*, Missouri Botanical Garden Press. USA.pag 218.

¹⁰ De la torre, L.,H. Navarrete, P. Muriel M.,M.J. Macias & H. Balslev (eds.).2008. *Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador. Herbario QCA de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador & Herbario AAU del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Aarhus. Quito&Aarhus*

sus frutos aún están verdes, la especie es *sativum* cuyo término proviene de la contracción de la palabra *seminativum*, es decir “que puede ser sembrado”. Finalmente la abreviatura *L* que significa “Linneo” que fue la persona quien proporcionó la descripción y clasificación científica.¹¹

La planta de cilantro consta de raíz, tallo, hojas, flores y frutos respresentadas en la figura 3.3, a continuación se mencionan las partes del cilantro con sus características y funciones principales.



¹¹ Axel, Diederichsen, *Coriandrum Sativum L*, www.bioversityinternational.org/fileadmin/bioversity/publications/.../375.pdf. Octubre 2010

Figura 3.3. Partes de la planta de cilantro

- A) Las flores tienen una coloración que varía entre blanco, morado o rosado, se demoran en florecer de 2-3 semanas desde la formación de las hojas. Cuando la planta va envejeciendo, las flores maduran dando paso a la formación de semillas.
- B) Las hojas son de color verde, tienen una superficie plana en forma de abanico, se vuelven plumosas en la parte superior de la planta, la cantidad que se forma de hojas es el follaje que constituye la parte comestible de la planta.¹²
- C) El tallo es de forma redonda, es erecto, hueco y tiene una estructura finamente alargada, provee estabilidad a la planta y puede llegar a medir de 30 a 60 cm de altura, su función principal es el transporte de nutrientes desde la raíz.¹³
- D) La raíz es delgada, espigada y cumple la función de extracción de agua y nutrientes a partir del suelo.
- E) Las semillas son pequeñas, miden de 3 a 5 mm de diámetro, son de forma globosa, cuando han madurado su color es café, y es cuando se desprenden de la planta.

¹² Fundación de Desarrollo Agropecuario, (1999). *Cultivo de Cilantro, Cilantro Ancho y Perejil*. República Dominicana.

¹³ White, A, (1985), *Hierbas del Ecuador*, 3ª edición, Libri Mundi, Quito.

El cilantro termina su crecimiento al completarse la maduración de las semillas, esto sucede entre 45 y 120 días dependiendo del cultivo y de las condiciones climáticas en las cuales se desarrolla, a continuación se mencionan condiciones climáticas ideales para el crecimiento de la planta.¹²

3.2.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA EL CULTIVO DE CILANTRO

La planta de cilantro puede desarrollarse de manera normal y obtener un producto de calidad a una altitud entre 2000 y 3500 metros sobre el nivel del mar (msnm), en la cual puede llegar a medir de 30 a 70 cm de altura y puede desarrollarse a diferentes condiciones climáticas, pero su mayor rendimiento se da en un clima frío o templado con una temperatura ambiental que oscile entre 20 y 30 °C.¹²

El suelo en el cual se desarrolla debe tener características como permeabilidad, y profundidad, ser ligeramente ácido e irrigado mediante lluvia, canales de transporte de agua, mangueras de irrigación o aspersores. Se muestra como una planta poco exigente en lo que a tipos de suelos se refiere, sin embargo ha mostrado cierta predilección por suelos calizos.¹⁴

Una vez obtenido un suelo apto, se puede proceder a la siembra, que es un periodo trascendental para obtener un producto de alta calidad, se menciona el proceso en la figura 3.4.

¹⁴ Infoagro, *El cultivo de cilantro*, <http://www.infoagro.com/aromaticas/cilantro.html>, Octubre 2010

3.2.2. PROCESO PARA CULTIVO DE CILANTRO

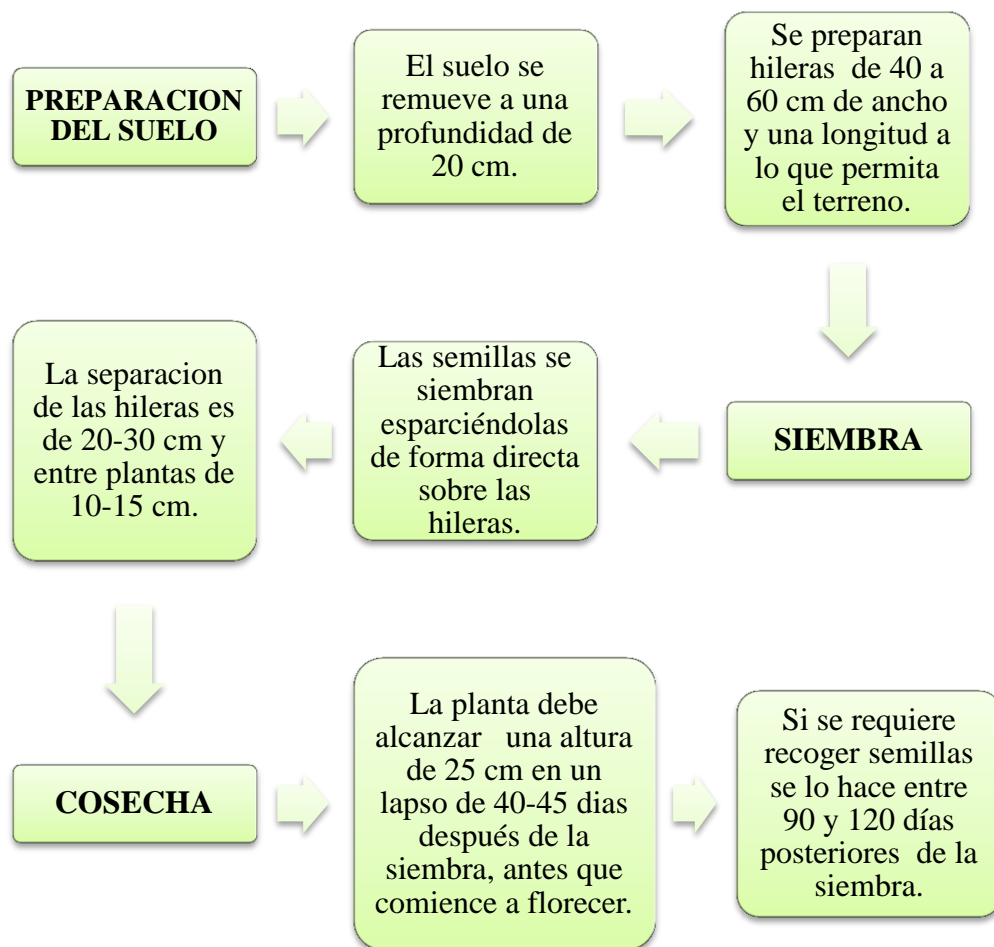


Figura 3.4. Proceso para el cultivo de cilantro¹²

El proceso para cultivar cilantro empieza en la preparación del suelo, el cual se remueve formando hileras con suficiente distancia entre ellas para permitir un correcto crecimiento de las plantas, pues en la siembra las semillas son esparcidas de forma directa sobre las mismas. El tiempo de desarrollo es de 40 días en los cuales la planta ha alcanzado una altura mínima de 25 cm, y está apta para el consumo humano, a partir de los 90 días la planta genera semillas las cuales son utilizadas para futuras siembras.

Este tipo de cultivo tiene la característica de ser abierto en el cual las condiciones climáticas son inherentes sobre un cultivo, pues no se tiene control de factores como temperatura, humedad, vientos e intensidad solar, siendo vulnerables a éstas y a fuentes de contaminación ambiental.

El cilantro tiene la capacidad de crecer junto a otras especies de plantas, sin que este perjudique su desarrollo, constituyendo de esta manera los cultivos asociados, los cuales en el Ecuador representan un 40%, siendo el restante 60% cultivos solos, dedicados a una única especie de planta.¹⁵

3.2.3. IMPORTANCIA DEL CILANTRO

¹⁵ Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, MAG (2005), *Producción de cilantro en el Ecuador del Sistema de Información Geográfica SIGAGRO*, Quito, Ecuador.

El cilantro tiene importancia porque ha demostrado propiedades medicinales como eupépticas, carminativas, antiespasmódicas, fungicida, antiinflamatorias, antihelmínticas y analgésicas. Además de ser una fuente significativa de vitamina K.

También la importancia radica en sus propiedades quelantes que le dan la capacidad de extraer y arrastrar metales pesados cuando estos son consumidos y están albergados en órganos específicos del cuerpo como hígado, riñones y páncreas, su posterior eliminación se lleva a cabo por medio de la orina, sangre y heces .¹⁶

3.2.4. ANÁLISIS DE METALES PESADOS

El cilantro es una especie de planta que tiene capacidad bioacumuladora de metales pesados tales como el arsénico, plomo, cadmio, potasio, mercurio y níquel, los cuales se incorporan a través del suelo o se depositan sobre su órgano de captación que son las hojas durante la deposición atmosférica.¹⁷

¹⁶ Agapito, I. (1999), *Fitomedicina (1100 Plantas medicinales)*, tomo I, Quito

¹⁷ Prieto G, (2005), Acumulación de tejido vegetales de arsénico proveniente de aguas y suelos de Mizapán, México.
[http://cdcht.ucla.edu.ve/bioagro/Rev17\(3\)/1.%20Acumulaci%F3n%20en%20tejidos%20vegetales.pdf](http://cdcht.ucla.edu.ve/bioagro/Rev17(3)/1.%20Acumulaci%F3n%20en%20tejidos%20vegetales.pdf), Enero 2010

Para comprobar esta función del cilantro en la especie *Coriandrum sativum L* investigadores del Instituto de Ciencia y Tecnología para Avances Científicos e Investigaciones “ISTAR” por sus siglas en inglés, realizaron el estudio en hortalizas y hierbas entre ellas el cilantro cultivado en la ciudad de Gujarat en la India.

Las partes de cilantro analizadas fueron raíces solas y hojas con tallos, las cuales se procedieron a digerir en un equipo microondas, y analizarlas posteriormente mediante la técnica analítica de plasma inductivo acoplado. En dichas muestras los metales analizados fueron cadmio, cobalto, cobre, hierro, níquel, plomo y zinc.

Los resultados obtenidos por el estudio se presentan en la figura 3.5, en donde la planta de cilantro presenta una mayor bioacumulación de metales en tallos y hojas que en raíces, el metal pesado que mayor concentración presenta es el níquel, seguido por el plomo y finalmente el cadmio.

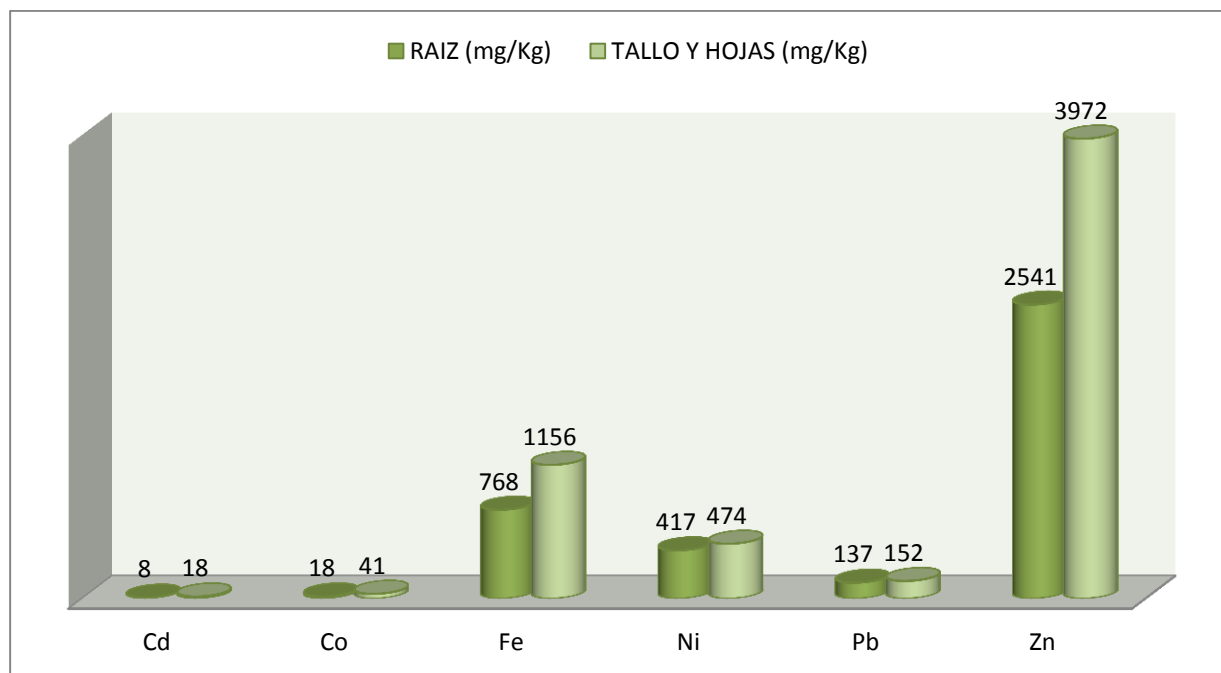


Figura 3.5. Contenido de metales pesados en el cilantro (*Coriandrum sativum L*) expresados en peso seco.¹⁸

Este estudio proporcionó información que la bioacumulación de estos metales depende de la distribución en las partes de la planta, de la disponibilidad y de la concentración, así como de la especie de hortaliza y de su población.

Se reveló que el nivel de cadmio, cobre y níquel de cilantro sembrado en zonas industriales fue mayor que en las zonas residenciales debido principalmente a la contaminación.

Los resultados arrojaron una relación directa entre los niveles de zinc y plomo en los suelos cosechados con los encontrados en los vegetales y hierbas, no se encontró esta relación en los demás metales, por ello se consideraron otras fuentes de contaminación como la deposición superficial.¹⁸

3.3. TECNICA ANALITICA

3.3.1. DIGESTION

La digestión es la etapa previa al análisis, por ello para la aplicación de la espectrofotometría de absorción atómica de llama, se requiere que el analito esté en solución, generalmente se lleva a cabo con el empleo de ácidos minerales concentrados en la denominada digestión ácida que actúa en diferentes matrices como suelo, agua, alimentos, petróleo, polímeros, etc. La digestión ácida puede a su vez actuar en función de los ácidos utilizados o las etapas de calentamiento y presión en la digestión por microondas.

¹⁸ Kumar, (2007). N, Characterization of Heavy Metals in vegetables using inductive coupled plasma analyzer (ICPA), www.bioline.org.br/ja, Diciembre 2009

La digestión por microondas tiene como objetivo principal la descomposición total de la muestra para obtener una solución que contenga todos los elementos de interés. Las sustancias inorgánicas deben transformarse por completo en componentes solubles y las orgánicas mineralizarse por completo. Este sistema de digestión ofrece ventajas como la disolución de muestras sólidas en un tiempo muy corto, esto es posible gracias al calentamiento directo de las soluciones por las microondas, al enfriamiento rápido después de la digestión, y a que los ácidos alcanzan temperaturas muy por encima de su punto de ebullición normal.¹⁹ Un ejemplo es el ácido nítrico HNO_3 el cual tiene un punto de ebullición de 86°C .²⁰

La digestión por microondas además reduce la generación de vapores tóxicos, provee digestiones completas, rápidas y reproducibles, optimiza recursos y reduce el riesgo de contaminación cruzada.

3.3.2. ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA DE LLAMA

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica analítica utilizada para la medición de un analito que se encuentra presente en forma de vapor atómico y que absorbe luz a una determinada longitud de onda. La cantidad de absorción aumenta con la concentración de los átomos

¹⁹ García, Endrina, Análisis comparativo de dos técnicas de digestión para la determinación de metales pesados en lodos residuales, Multiciencias, Venezuela, <http://redalyc.uaemex.mx>, Octubre 2010.

²⁰ Hoja de seguridad del ácido nítrico, www.casep.com.mx/pdf/Quimicos/Acidonitrico.pdf, Abril 2001

en el medio absorbente. Cada átomo absorbe a una determinada longitud de onda ya que cada uno tiene una diferente energía entre sus niveles normales y excitados, por ello este método es altamente específico.

3.3.2.1.ATOMIZACION CON LLAMA

Esta técnica utiliza un atomizador, en donde la disolución de la muestra es nebulizada mediante un flujo de gas oxidante, mezclado con el gas combustible, y se transporta a una llama donde se produce la atomización. En la llama ocurre primero la desolvatación en el que se evapora el disolvente hasta producir un aerosol molecular finamente dividido, luego la disociación de estas moléculas produce átomos. El proceso de la atomización constituye la parte más importante de la absorción atómica, pues limita la precisión del método.²¹

La llama se forma por la unión de un gas combustible y un oxidante, los cuales pueden ser aire –acetileno o óxido nítrico-acetileno, tal como se aprecia en la tabla 3.2 en la que constan la temperatura que alcanza la llama.

En el caso de emplear aire como oxidante la temperatura obtenida será menor que con el empleo de otros gases, por lo cual solo las muestras que se descomponen fácilmente se atomizan.

²¹ Skoog, L, (2001). *Principios de análisis instrumental*, Mc Graw Hill, Quinta edición, España

Tabla 3.2. Tipos de combustible y comburente de las llamas de absorción atómica²⁰

Combustible	Oxidante	Temperatura (°C)
Acetileno	Aire	2100-2400
Acetileno	Oxido nitroso	2600-2800

Los equipos de absorción atómica constan de fuente de radiación, selector de longitud de onda, un detector, un procesador de señal y de lectura.

3.3.2.2. FUENTES DE RADIACIÓN

La lámpara de cátodo hueco consiste en un ánodo de wolframio y un cátodo cilíndrico cerrados herméticamente en un tubo de vidrio lleno con neón o argón a una presión de 1 a 5 torr. El cátodo está construido con el metal cuyo espectro se desea obtener.

Para que los átomos del metal se exciten se aplica un voltaje por medio del ánodo y el cátodo, en este proceso el gas inerte se ioniza, lo que produce que una parte de los átomos se exciten, los cuales al volver a su estado fundamental emiten una radiación característica a una determinada longitud de onda.²¹

3.3.2.3. MONOCROMADOR

La función básica de un monocromador es dispersar la radiación en las distintas longitudes de onda de la luz policromática, pues varían de forma continua y en un amplio intervalo, aísla una pequeña banda de la luz monocromática. Está compuesto básicamente por elementos ópticos, entre los que se destacan:

- rendija de entrada: en la cual la imagen óptica es rectangular
- lente colimadora o espejo, el cual produce y dirige un haz paralelo de radiación
- una red o un prisma que dispersan la radiación en longitudes de onda individuales
- elemento focalizador que reconstituye la imagen de la rendija de entrada
- rendija de salida, la cual aísla la banda espectral deseada.

3.3.2.4.DETECTORES

Un detector se destaca por tener una elevada sensibilidad, respuesta constante en un intervalo amplio de longitudes de onda, además un tiempo de respuesta corto. El fototubo multiplicador es un tipo de detector que está constituido por un foto cátodo con una superficie recubierta de óxido de magnesio u óxido de cesio, posee una cadena interna de dinodos multiplicadores de electrones.

El mecanismo de funcionamiento de los fototubos multiplicadores se basa en la diferencia de potencial entre los dinodos, los cuales se encuentran a 90 V entre ellos, cuando se aplica un potencial de 90V el cátodo expulsa electrones, los cuales se dirigen hacia el primer dinodo, al chocar contra el dinodo cada fotoelectrón emite varios electrones adicionales, los cuales se dirigen hacia el siguiente dinodo al tener un potencial más alto que el dinodo anterior, este proceso se repite 9 veces, los electrones son recogidos al final en el ánodo, por lo que la corriente se amplifica electrónicamente y es cuantificada.²¹

3.3.2.5. ANÁLISIS CUANTITATIVO

La espectrofotometría de absorción atómica se rige a través de la ley de Beer en donde la absorbancia de una solución es directamente proporcional al camino óptico a través del medio y la concentración de la especie absorbente, tal como se indica en la siguiente ecuación:

$$A = \epsilon bc$$

En donde:

A= absorbancia

ϵ = constante de absortividad molar

b= camino óptico (cm)

c = concentración del absorbente (mol/ L)

La aplicación práctica de la ley de Beer enfatiza que conociendo la absorbancia de una sustancia podemos saber su concentración, y esto se lo realiza a través de una curva de calibración la cual es la representación gráfica de la absorbancia frente a la concentración, se prepara con soluciones estándares de concentración conocida que contienen el analito y se determina la absorbancia, con ello se construye la curva de calibración que es una recta y la cual se emplea para conocer las concentraciones de las muestras problema.

Un factor importante en la curva de calibración es que la gráfica tiende a una línea recta, donde a medida que aumenta la concentración, la señal de respuesta es mayor (pendiente positiva), con lo cual en la curva de calibración hay una relación lineal entre la absorbancia y la concentración.

3.3.3. INTERFERENCIAS ANALITICAS

En la espectrofotometría de absorción atómica se pueden presentar interferencias que provocan errores de cuantificación, y los cuales son necesarios corregir para que no afecten gravemente los resultados. Las interferencias pueden ser de tipo espectral, químico, por ionización y de matriz.

Las interferencias espectrales se deben a que las líneas de absorción y emisión son muy estrechas, debido a que el analito absorbe a una longitud de onda con una diferencia de 1 nm, estas interferencias son minimizadas mediante la modulación de la amplitud de la fuente de radiación.

Las interferencias químicas las producen compuestos que son difíciles de disociar, es decir no se los puede atomizar fácilmente, el uso de diferentes temperaturas en la llama ayuda a obtener átomos libres o los agentes liberadores como el EDTA son una solución a esta interferencia.

Las interferencias por ionización se presentan en flamas muy calientes en las cuales los átomos con bajos potenciales de ionización son efectivamente ionizados, lo que provoca una reducción en la población de los átomos libres en estado basal y excitado disminuyendo la sensibilidad en la determinación.

La corrección se realiza mediante la adición de un elemento fácilmente ionizable con el fin de inhibir la ionización en las soluciones de la muestra como en las de calibración. El control de las condiciones del análisis como la temperatura de la llama y flujos de gases contribuyen a optimizar el análisis y a eliminar estas interferencias.

Las interferencias de matriz tendrán relación a una matriz líquida la cual presente diferencia en viscosidad y tensión superficial y que afecta en la nebulización y en la cuantificación del analito. Si hay una variación en la velocidad de nebulización entre estándar y muestra la cantidad de

átomos en la llama varía y el equipo da lecturas erróneas, esto se soluciona constatando la composición igual entre las muestras y estándares para que se nebulicen de la misma forma.

3.3.4. TRATAMIENTO ESTADISTICO

Para aplicar un tratamiento estadístico a un grupo de datos, los resultados deben tener características que comprueben que el ensayo fue realizado en condiciones reproducibles, repetibles, precisas y confiables que permitan identificar un error en la conclusión o establecer un nivel de confianza en los resultados, para lo cual se utilizan los parámetros de tendencia central como la media, de dispersión como la desviación estándar.

La media se define como el promedio aritmético de una distribución en la cual se suman los valores obtenidos y se dividen para el tamaño de la muestra.

La desviación estándar permite medir la precisión, y está definida como la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las diferencias entre los valores medidos individualmente y los valores de las mediciones, cuando mayor es la dispersión de los datos alrededor de la media, mayor es la desviación estándar. En la tabla 3.7, se presenta las variables junto a su símbolo y fórmula.

Tabla 3.3. Medidas de tendencia central.²²

Variable	Símbolo	Fórmula Matemática
Media	\bar{x}	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} = \frac{a_1 + \dots + a_n}{n}$
Desviación Estándar	s	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (x_i - x)^2}{n - 1}}$

3.3.5. PRUEBA DE GRUBBS

La prueba de Grubbs se aplica a un grupo de datos en el cual uno de ellos se muestra como un valor anómalo pues el valor registrado para ese individuo es anormalmente pequeño o grande. Por ello es necesario investigar si el dato pertenece o no al grupo dato, y como consecuencia de ello eliminarlo, si se confirma que ha sido un error de medida o de transcripción manual del dato.

²² Hernández, Roberto, *Metodología de la Investigación*, 2ª edición, Mc Graw Hill

En todo caso, no se eliminará un dato sospechosamente atípico hasta no tener la certeza absoluta de que su origen se debe a un error humano o de instrumentación. La presencia de un valor anómalo puede alterar sensiblemente las conclusiones de un análisis estadístico.

En ello la prueba de Grubbs utiliza una estadística de prueba, T , que es la diferencia absoluta entre el valor atípico, X_o , y el promedio de la muestra \bar{X} dividida por la desviación estándar de la muestra S .²³

$$G = \frac{\bar{X} - X_{min}}{s} \quad G = \frac{X_{max} - \bar{X}}{s} \quad (3.1)$$

La G obtenida se compara frente a G tabulada o crítica, cuyo valor depende del tamaño de la muestra, n , y de un nivel de confianza elegido, que es el riesgo de rechazar una observación válida. La tabla por lo general utiliza niveles de baja confianza tal como 1% o 5%. Q crítica se puede obtener aproximadamente tomando como referencia la Distribución t_{n-2} de Student con $(n - 2)$ grados de libertad y nivel de significancia $\alpha^* = \alpha/(2n)$ si es a dos colas, $\alpha^* = \alpha/n$ si la prueba se realiza a una cola.²⁴

Para afirmar que se trata de un valor atípico el valor calculado deberá superar al valor crítico, estos valores ya se encuentran en tablas como lo indica el anexo N° 5.

²³ Santander, Luis, Consistencia de datos, www.midelab.com.mx, Diciembre 2010.

²⁴ Julio, Hidrobo, Bioestadística, <http://www.scribd.com/doc/17118562/Inferencia-estadistica>, noviembre 2010

Si $D_{\text{calculado}} > D_{\text{tabulado}}$ se rechaza el dato.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1.MUESTREO

4.1.1. DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO

El cantón Mejía se encuentra ubicado en la provincia de Pichincha, a una distancia de 33 km de la ciudad de Quito, este cantón tiene una superficie de 1459 km² y se localiza a una altitud de 600 a 4750 msnm, posee una temperatura media anual de 11.9° C, su cabecera cantonal es

Machachi, y consta de siete parroquias como lo indica en la figura 4.1, las cuales son Aloag, Aloasi, Tambillo, Uyumbicho, El Chaupi, Cutuglagua, y Astorga.²⁵

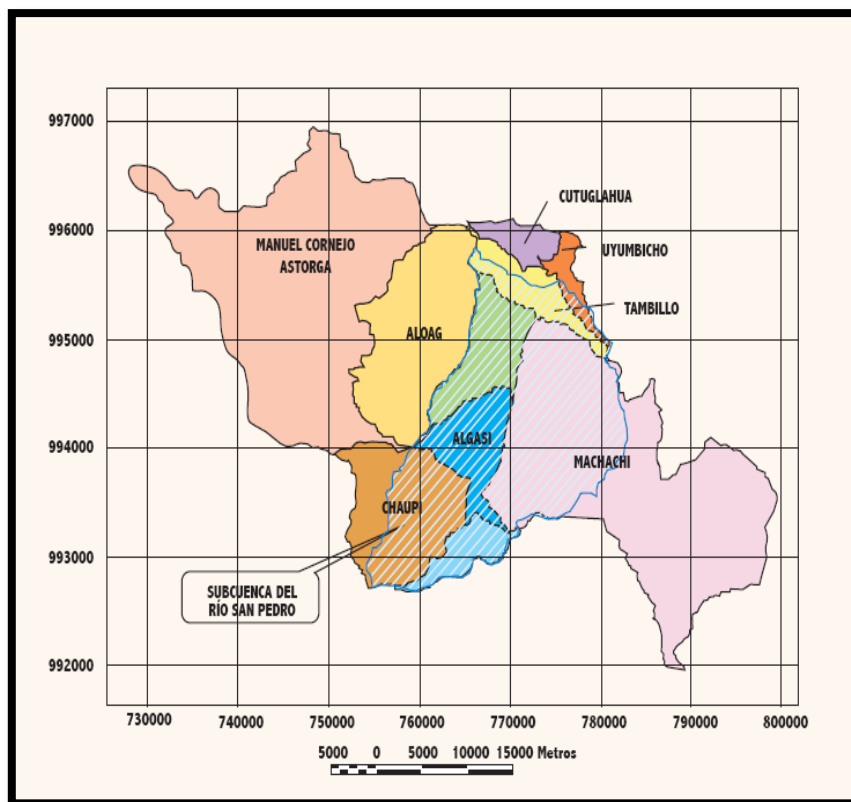


Figura 4.1. Mapa del cantón Mejía²⁶

²⁵ División Política cantón Mejía, (2008), <http://www.municipiodemejia.gov.ec/> Octubre 2009

El cantón Mejía presenta las siguientes condiciones climáticas, temperaturas entre 11.7 y 21.2° C, precipitaciones anuales de lluvia de 950 mm de agua, lo que le confiere un clima apropiado para el desarrollo de especies de plantas alimenticias tales como el cilantro.²⁷

4.1.2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE CULTIVO

El terreno seleccionado donde se cultivó el cilantro está ubicado en el barrio Puichig, tal como se observa en la carta correspondiente a la parroquia rural de Aloag en escala 1:25.000, que se puede apreciar en el anexo N° 2.

El área de influencia se sitúa en un perímetro de 2 kilómetros alrededor del barrio Puichig, en donde se ubica un amplio parque industrial que comprende fábricas de procesamiento de lácteos, elaboración de plásticos, cultivo y almacenamiento de flores, centros de acopio de chatarra y planta de tratamiento de desechos metalúrgicos, la figura 4.2 es una representación gráfica del parque industrial colindante al cultivo.

²⁶ Consorcio para el Desarrollo Sostenible del Cantón Mejía CODECAME, 2006, *Fondo para la protección del Agua*, Quito-Ecuador

²⁷ Instituto Nacional de Metrología INAMHI(2008). *Anuarios Meteorológicos*, Quito, Ecuador

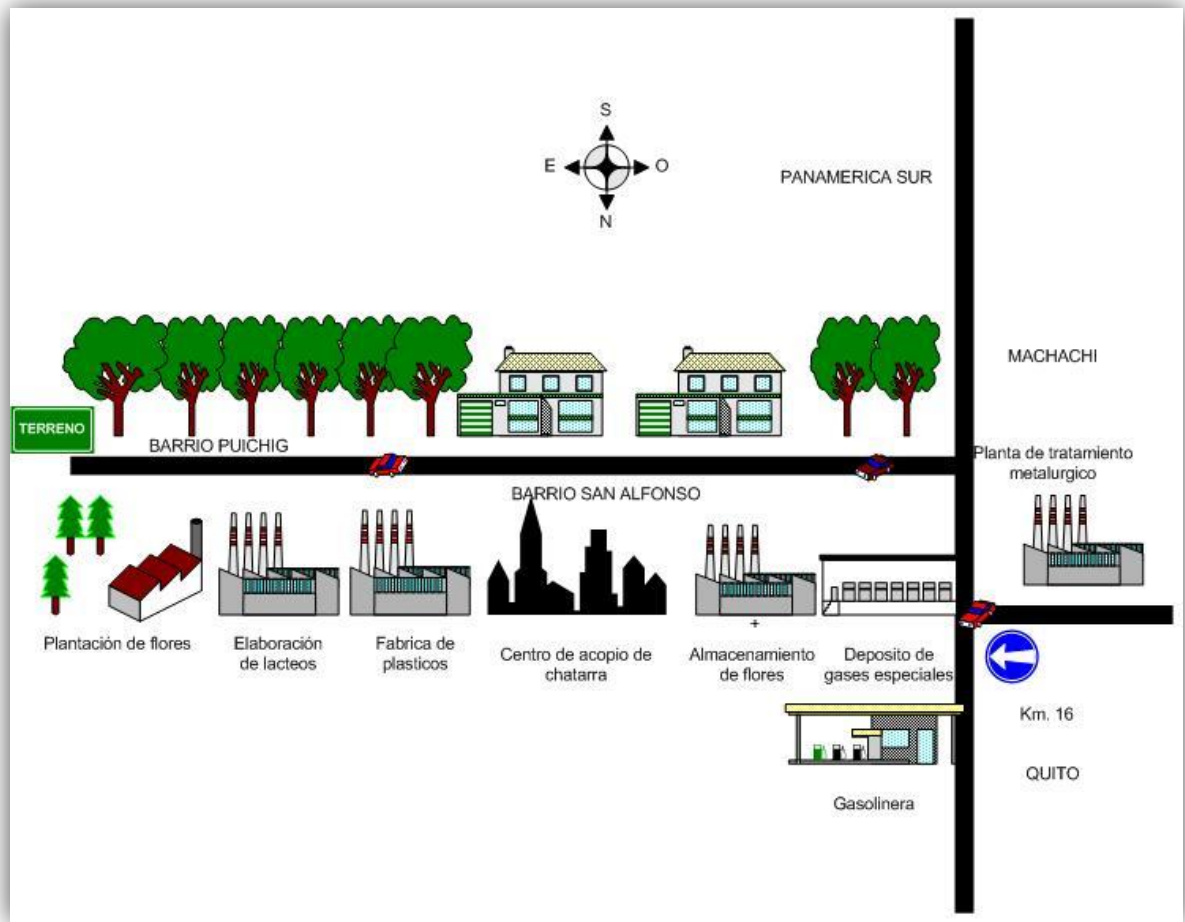


Figura 4.2. Representación gráfica del área de influencia sobre la plantación de cilantro.

4.1.3. SELECCIÓN DE MUESTRAS

La selección de muestras se realizó basada en la norma INEN 1750 “Muestreo para hortalizas y frutas frescas”, edición 1994-09, detallado en el anexo N° 3.

Para seleccionar las muestras se conformó un lote con 55 plantas de cilantro que cumplían con condiciones de madurez, como tiempo de cultivo mínimo de 40 días, y de las cuales se tomó aleatoriamente 35 plantas de cilantro, según el tamaño de muestra calculado.

El número de plantas se obtuvo mediante la ecuación 4.1.

$$n = \frac{pqN}{\frac{B^2 (N-1)}{z\alpha^2} + pq} \quad (4.1)$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

$z \alpha^2$ = nivel de confianza

p = variabilidad positiva

q= variabilidad negativa

B= precisión o error.

N= tamaño de la población

La tabla 4.1 presenta las variables estadísticas y los valores que fueron elegidos para ser aplicados según en la ecuación 4.1.

Tabla 4.1. Variables estadísticas aplicadas a la ecuación de tamaño de muestra.

Variable estadística	Símbolo	Valor
Porcentaje de confianza	$z \alpha^2$	95%
Porcentaje de error	B	10%
Variabilidad positiva	P	0.5
Variabilidad negativa	Q	0.5
Tamaño de población	N	55
Tamaño de muestra	n	35

La figura 4.3 es una representación del cultivo a escala 1:100, en la cual se pueden apreciar las separaciones entre hileras en el cultivo.

4.2. PROCEDIMIENTO ANALITICO

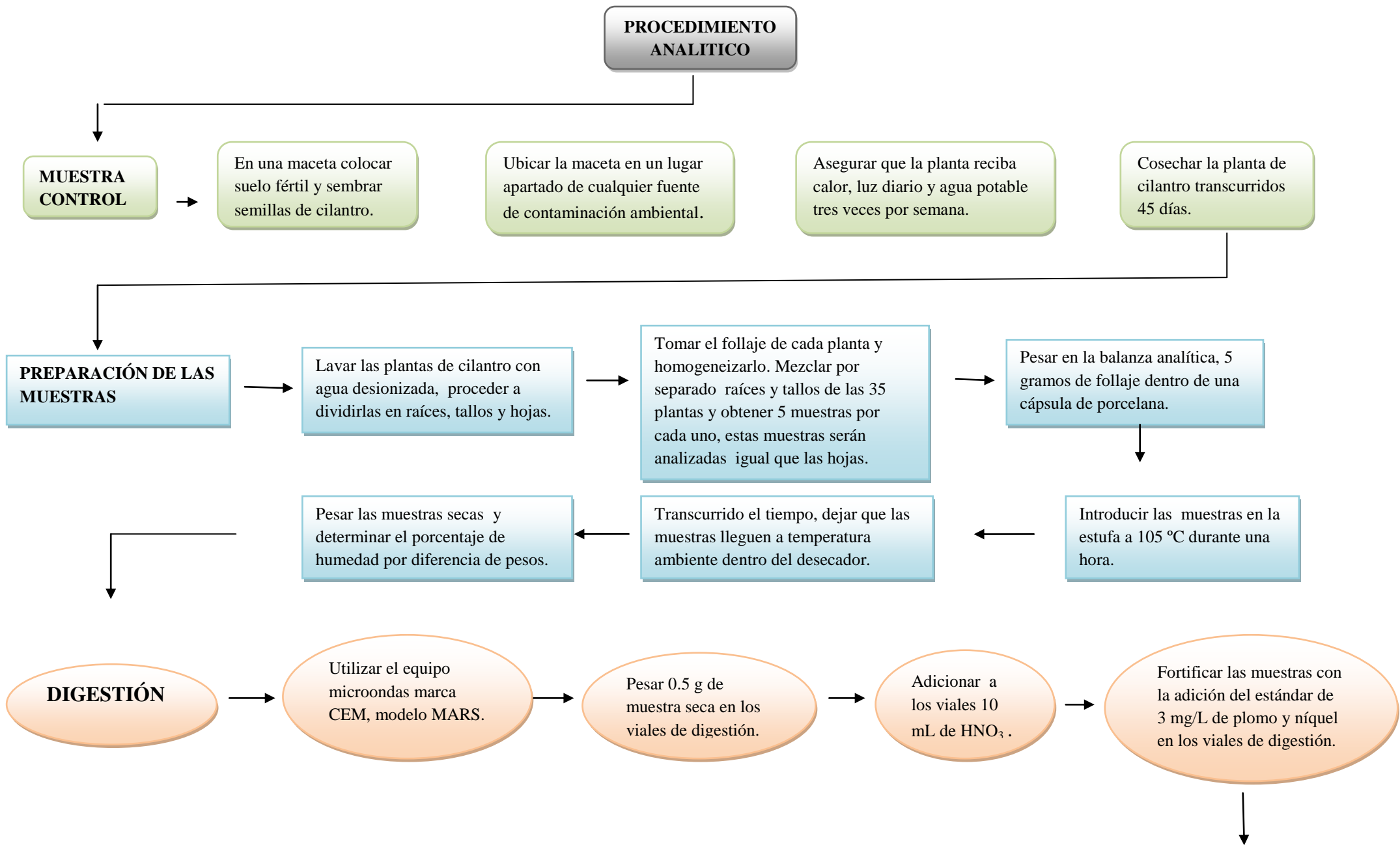
El procedimiento analítico está basado en el método oficial 999.10 de la AOAC (Association of Official Analytical Chemists), denominado “Determinación de metales en alimentos por Espectrofotometría de Absorción Atómica con digestión por microondas”, el procedimiento completo se encuentra en el anexo N° 4.

Se plantó una muestra control tal como se detalla en la figura 4.4, la cual fue utilizada para realizar fortificaciones por triplicado, en tres niveles de concentración 1, 3 y 5 mg/L, para los tres metales, estableciendo como rango aceptable de recuperación del 95 al 105%.

El desarrollo del procedimiento se encuentra en la figura 4.4, en donde se explica paso a paso la realización del ensayo.

Tabla 4.2. Condiciones programadas para el equipo microondas

Parámetros controlados	
Potencia máxima (W)	1200
% Potencia	100%
Rampa (min.)	15:00
Temperatura (°C)	200
Tiempo de mantenimiento (min.)	15:00
Tiempo total de digestión (min.)	30:00



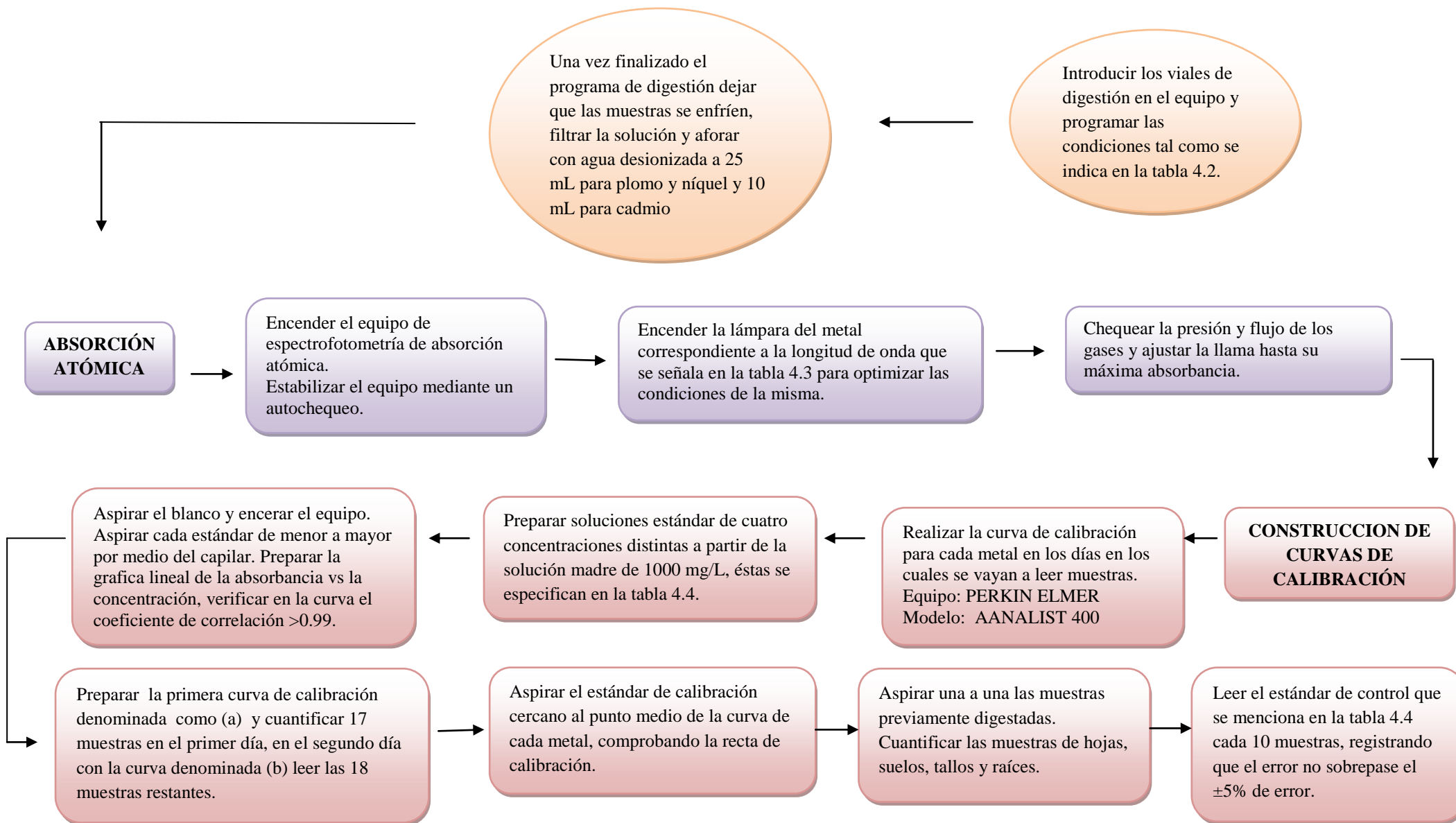


Figura 4.4. Diagrama de flujo del procedimiento analítico.

Tabla 4.3. Condiciones óptimas para el análisis de metales por absorción atómica de llama.

Elemento	Gases utilizados	Slit (nm)	λ (nm)
Pb	Aire-acetileno	2.7/1.05	217.00
Cd	Aire-acetileno	2.7/1.35	228.80
Ni	Aire-acetileno	1.8/1.35	341.48

Tabla 4.4. Concentración de estándares para curvas de calibración.

Estándares	Plomo	St. Control	Cadmio	St. Control	Níquel	St. Control
	(mg/L)	Pb (mg/L)	(mg/L)	Cd (mg/L)	(mg/L)	Ni (mg/L)
Estándar 1	0.25	1.5	0.01	0.75	0.25	1.5
Estándar 2	1		0.1		1	
Estándar 3	3		0.3		3	
Estándar 4	5		1		5	

4.2.1. CÁLCULOS Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados en mg/Kg en peso seco fueron calculados con la siguiente ecuación:

$$c = \frac{(a-b)df \times v.af}{m} \quad (4.2)$$

Donde:

c = concentración de la muestra en mg/kg

a= concentración de la solución en mg/L

df = factor de dilución

b = concentración de la solución blanco en mg/L

v. af= volumen de aforo

m= peso de las muestras en g.

Una vez obtenidos los resultados en peso seco se los puede expresar en peso fresco haciendo uso del porcentaje de humedad, se aplica por tanto la ecuación 4.3.

$$C_{FW} = C \times \frac{100 - H_2O \%}{100} \quad (4.3)$$

En donde:

C_{FW} = concentración en la muestra corregida para el peso fresco

C = concentración de la muestra en peso seco

$H_2O \%$ = contenido de agua de la muestra

El resultado de peso fresco se utilizará para poder comparar el contenido de metales pesados en el cilantro con los límites máximos permitidos para plomo y cadmio establecidos en normas internacionales como el Diario Oficial de la Unión Europea DOUE, estos se detallan que se detallan en el punto 4.2.2.

4.2.2. CONTENIDO MÁXIMO DE Pb, Cd Y Ni EN ALIMENTOS.

La tabla 4.5 contiene el límite máximo permitido de plomo en los productos alimenticios, los cuales constan en el diario oficial de la Unión Europea DOUE Reglamento (CE) N° 1881/2006. El cilantro fue incluido en el grupo de las hortalizas de hoja, hierbas aromáticas y setas cultivadas. Para el metal cadmio se aplica la misma

clasificación como se menciona en la tabla 4.6. Esta legislación completa se encuentra en el anexo N° 1.

Tabla 4.5. Límites máximos permitidos de Plomo (Pb) en alimentos.²⁸

PLOMO (Pb)	
PRODUCTO	LMP (mg/Kg) peso fresco
3.1.1. Leche de vaca (leche cruda, leche para la fabricación de productos lácteos y leche tratada térmicamente)	0,02
3.1.2. Preparados para lactantes y preparados de continuación, (Los contenidos máximos se aplican al producto tal como se presenta listo para su consumo o reconstituido de acuerdo con las instrucciones del fabricante)	0,02
3.1.3. Carne de animales bovinos, ovejas, cerdos y aves de corral, excluidos los despojos	0,1
3.1.3.1. Despojos comestibles de vacas, ovejas, cerdos y aves de corral	0,5
3.1.4. Carne de pescado	0,20
3.1.4.1. Carne de los siguientes pescados (1) (2): mojarra (<i>Diplodus vulgaris</i>) anguila (<i>Anguilla anguilla</i>) lisa (<i>Mugil labrosus labrosus</i>) ronco (<i>Pomadasys benneti</i>) jurel (<i>Trachurus species</i>) sardina (<i>Sardina pilchardus</i>) sardina (<i>Sardinops species</i>) baila (<i>Dicentrarchus punctatus</i>) acedía o lenguadillo (<i>Dicologlossa cuneata</i>)	0,40
3.1.5. Crustáceos, excluida la carne oscura del cangrejo, así como la cabeza y el tórax de la langosta y de crustáceos similares de gran tamaño (<i>Nephropidae</i> y <i>Palinuridae</i>)	0,50
3.1.6. Moluscos bivalvos	1,5
3.1.7. Cefalópodos (sin vísceras)	10
3.1.8. Cereales (incluido el alforfón), verduras y legumbres secas	0,2
3.1.9. Las hortalizas, excluidas las del género <i>Brassica</i>, las hortalizas de hoja, las hierbas frescas y todas las setas. En el caso de las patatas, el contenido máximo se aplica a las patatas peladas	0,10
3.1.9.1. Hortalizas del género <i>Brassica</i>, hortalizas de hoja y todas las setas cultivadas	0,30
3.1.10. Frutas, excluidas las bayas y frutas pequeñas.	0,10
3.1.10.1. Bayas y frutas pequeñas	0,20
3.1.11. Grasas y aceites, incluida la grasa láctea	0,10
3.1.12. Zumos de frutas, zumos concentrados de frutas (para su consumo directo) y néctares de frutas	0,05

²⁸ Diario oficial de Unión Europea, DOUE, (2009). *Limites máximo de contaminantes en especies alimenticias*, España

Tabla 4.6. Contenido máximo permitido de Cadmio (Cd) en alimentos ²⁸

CADMIO (Cd)	
PRODUCTO	Contenido máximo (mg/Kg) peso fresco
3.2.2. Carne de caballo	0,2
3.2.3. Hígado de vaca, oveja, cerdo y aves de corral	0,5
3.2.4. Riñones de vaca, oveja, cerdo y aves de corral	1
«3.2.5. Carne de pescado ⁽¹⁾ ⁽²⁾ , excepto en el caso de las especies enumeradas en los puntos 3.2.5.1 y 3.2.5.2	0,05
3.2.5.1. Carne de los siguientes pescados ⁽¹⁾ ⁽²⁾ : anchoa (<i>Engraulis species</i>) bonito (<i>Sarda sarda</i>) mojarra (<i>Diplodus vulgaris</i>) anguila (<i>Anguilla anguilla</i>) lisa (<i>Mugil labrosus labrosus</i>) jurel (<i>Trachurus species</i>) luvaro (<i>Luvarus imperialis</i>) sardina (<i>Sardina pilchardus</i>) sardina (<i>Sardinops species</i>) atún (<i>Thunnus species</i> , <i>Euthynnus species</i> , <i>Katsuwonus pelamis</i>) acedía o lenguadillo (<i>Dicologlossa cuneata</i>)	0,10
3.2.5.2. Carne de pez espada (<i>Xiphias gladius</i>)	0,30
3.2.6. Crustáceos, excluida la carne oscura del cangrejo, así como la carne de la cabeza y el tórax del bogavante y otros grandes crustáceos similares (<i>Nephropidae</i> y <i>Palinuridae</i>)	0,5
3.2.7. Moluscos bivalvos	1
3.2.8. Cefalópodos (sin vísceras)	1
3.2.9. Cereales, excluido el salvado y el germen (de cualquier cereal), el grano de trigo y el arroz	0,1
3.2.9.1. Salvado y germen (de cualquier cereal), grano de trigo y arroz	0,2
3.2.10. Habas de soja	0,2
3.2.11. Las hortalizas y frutas excluidas las hortalizas de hoja, las hierbas aromáticas frescas, todas las setas, los tallos jóvenes, las hortalizas de raíz y las patatas	0,05
3.2.11.1. Las hortalizas de hoja, las hierbas aromáticas frescas, los apionabos y todas las setas cultivadas	0,2
3.2.11.2. Tallos jóvenes, hortalizas de raíz y patatas, excluidos los apionabos. En el caso de las patatas, el contenido máximo se aplica a las patatas peladas	0,1

Es importante señalar que en las normas nacionales e internacionales consultadas no contemplan el níquel como contaminante pues este es también un nutriente esencial para plantas. Por lo tanto no hay aún un límite que permita diferenciar entre el níquel cuando pasa de esencial a tóxico en la especie del cilantro.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. CONTENIDO DE METALES PESADOS

La figura 5.1 presenta una comparación entre los resultados encontrados en raíces, tallos y hojas, en los cuales se observa que a partir del suelo pueden los metales pesados pasar hacia la planta, pues en los tallos hay una concentración más alta que en las raíces. Las hojas por su parte presentan un contenido de metales superior debido a que son un órgano de captación y porque el proceso metabólico de la planta los transporta desde la raíz hasta las hojas.

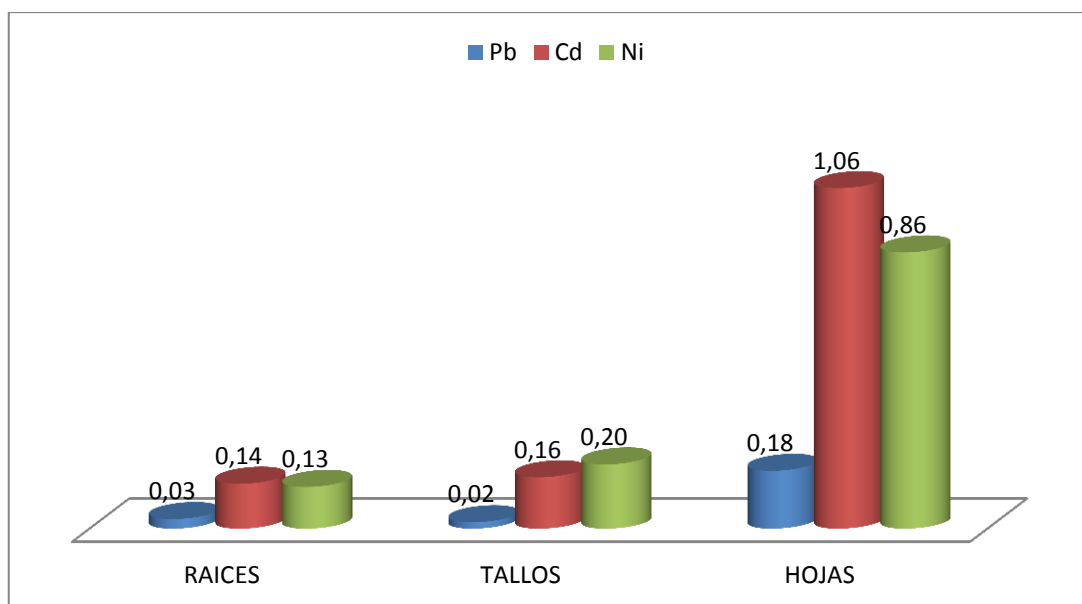


Figura 5.1. Comparación en el contenido de plomo, cadmio y níquel en raíces, tallos y hojas

Al considerar que a través del suelo los metales pesados se incorporan a la planta, es importante conocer su pH, el cual determina la movilidad y disponibilidad en este medio.

El plomo pasará a la planta en menor cantidad debido principalmente a que su movilidad y disponibilidad es restringida a un pH que alcalino, tal como se observa en la tabla 5.1, es por ello que el plomo es el metal que se presenta en menor concentración en el cilantro pero en mayor concentración en el suelo tal como se observa en la figura 5.2, por lo tanto de los tres en estudio es el que menor grado de bioacumulación tendrá en la planta.

Tabla 5.1. Características de los suelo empleados en el cultivo de cilantro.

Uso de suelo	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Cultivo de cilantro (blanco)	9.6	35.2
Cultivo de cilantro (muestras)	9.1	38.7

El metal níquel presentará una mayor disponibilidad desde el suelo para ser captado por la planta e incorporado a la cadena alimenticia, sin embargo es difícil evaluar cuanto del metal existente en el suelo pasa a la planta debido a que ésta contiene níquel dentro de su estructura fundamental.

El cadmio está presente en el suelo en menor concentración comparada con plomo y níquel, sin embargo en raíces, tallos y hojas es el que mayor contenido presenta debido a que este metal a pH alcalino tendrá una movilidad superior a los otros dos metales, por lo que tendrá un mayor disponibilidad para su incorporación y un grado mayor de bioacumulación.

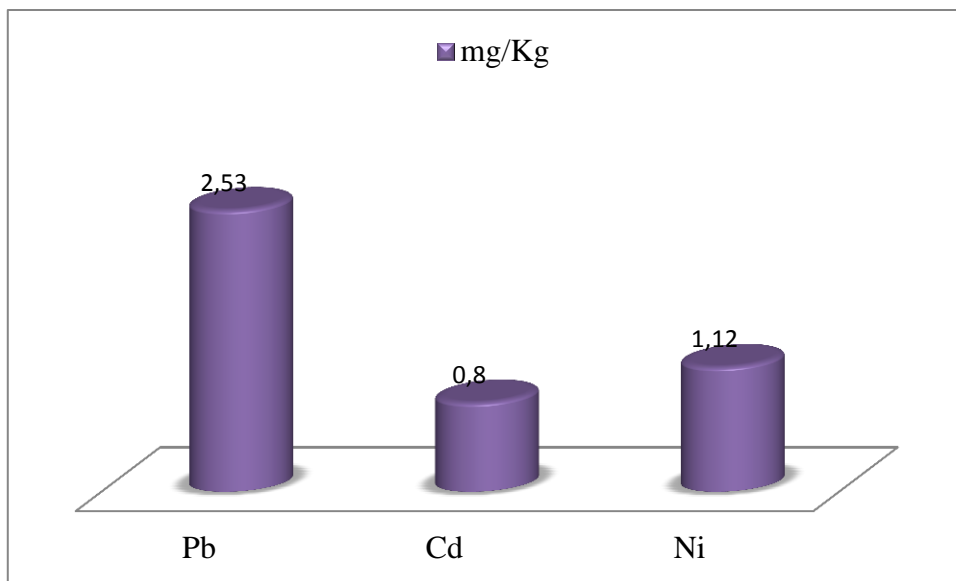


Figura 5.2. Contenido de plomo, cadmio y níquel en el suelo del cultivo de cilantro.

5.1.1. PLOMO EN LAS HOJAS DE CILANTRO

Los análisis de plomo en las 35 muestras presentan un contenido promedio de 0.20 mg/Kg en peso seco como se puede apreciar en la tabla 5.2, en la que se presentan los valor de media y desviación estándar, en tanto que los resultados de plomo en mg/Kg en peso seco se observa en la figura 5.3, en la cual una muestra presenta un contenido de plomo superior al resto, a este valor se lo consideró atípico por cuanto presentaba inconsistencia frente al grupo de datos y afectaría a toda la población, por ello fue sometido a la prueba de Grubbs para datos inconsistentes.

Tabla 5.2. Resultados de variables estadísticas para plomo.

Variable	Valor
Número de muestras (n)	35
Media (\bar{x}) mg/Kg	0.20
Desviación Estándar (s)	0.12

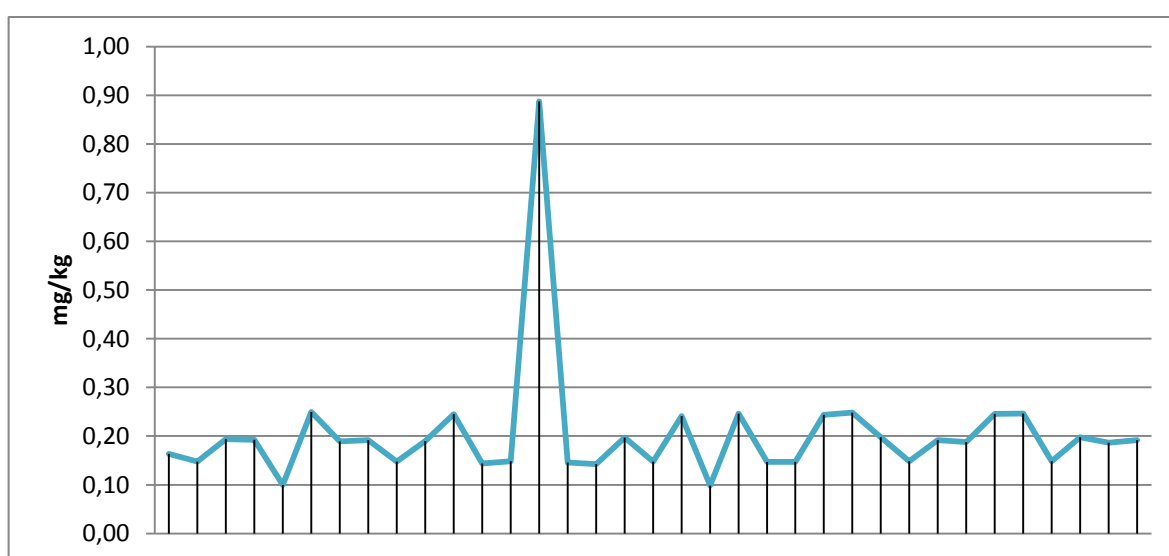


Figura 5.3. Concentración de plomo en mg/Kg de peso seco de hojas de cilantro.

Al aplicar la prueba de Grubbs a las muestras que presentan la mayor y la menor concentración de plomo, se obtiene la confirmación del dato N° 14 como incongruente, el error registrado puede provenir de contaminación por parte del metal durante la lectura, contaminación en el material de vidrio, error en la apreciación de la lectura dada por el equipo, con lo cual este dato debe ser eliminado para no afectar la precisión del método, ya que la desviación estándar es alta.

En la tabla 5.3 se encuentran los datos de la prueba de Grubbs, el valor registrado como máxima concentración es un dato incongruente ya que el T calculado es mayor al T tabulado.

Tabla 5.3. Resultados de la prueba de Grubbs para el plomo.

Muestra	Resultado (mg/Kg)	T calculado	T tabulado
Max.	0.89	5.51	2.978
Min.	0.10	0.83	

La muestra N°14 fue eliminada con lo cual se tiene un valor corregido de media y desviación estándar que se encuentra en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Valores corregidos de variables estadísticas

Variable	Valor corregido
Número de muestras (n)	34
Media (x) mg/Kg	0.18
Desviación Estándar (s)	0.04

El cilantro se lo consume fresco y es de esta forma como especifica el Diario Oficial de la Unión Europea DOUE el contenido de plomo en hortalizas de hojas y hierbas, la figura 5.4 contiene los resultados en peso fresco, en la cual se aprecia que las muestras están bajo el límite máximo permitido en color rojo que es de 0.30 mg/Kg de peso

fresco, por lo tanto el contenido de plomo no afecta a la salud de las personas ni representa un peligro latente a quienes consumen esta hortaliza.

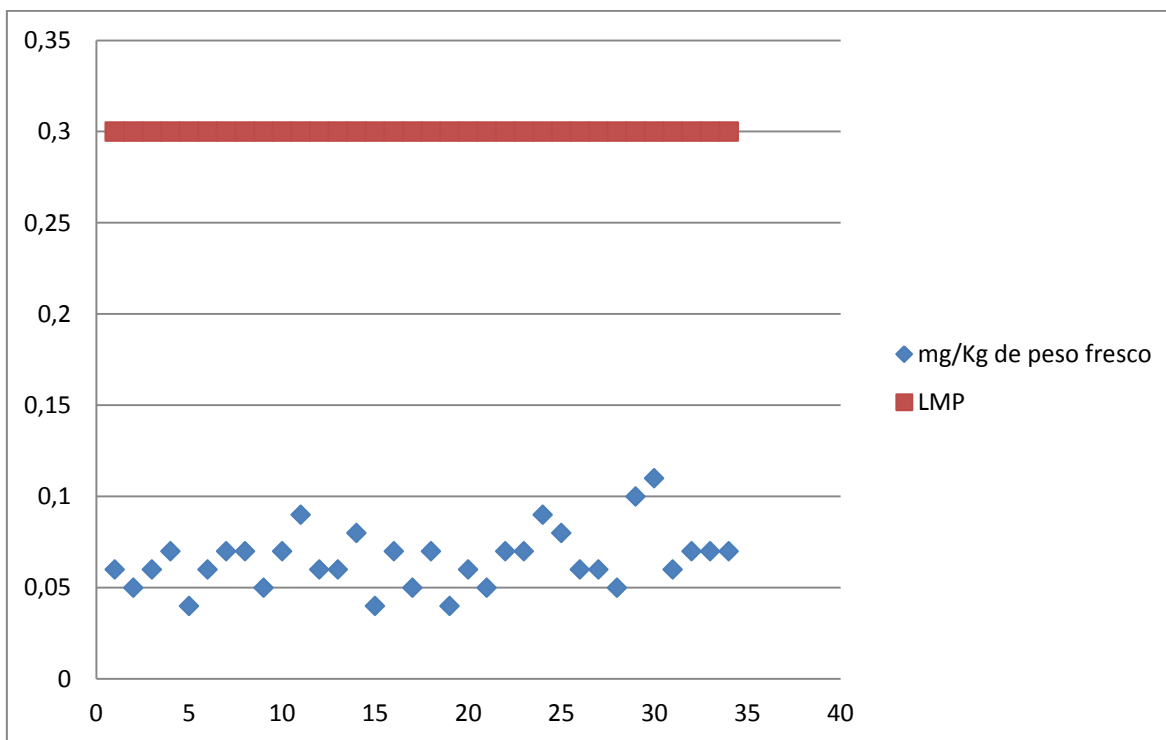


Figura 5.4. Comparación de las muestras con el límite máximo permitido.

5.1.2. CADMIO EN LAS HOJAS DE CILANTRO

Los resultados obtenidos se presentan en la figura 5.5, en la cual el contenido de cadmio en las muestra de cilantro es superior a 0.60 mg/Kg e inferior a 1.40 mg/Kg de peso seco, por lo tanto el contenido promedio de las 35 muestras es de 1.06 mg/Kg, se pueden apreciar los resultados de media y desviación estándar en la tabla 5.5.

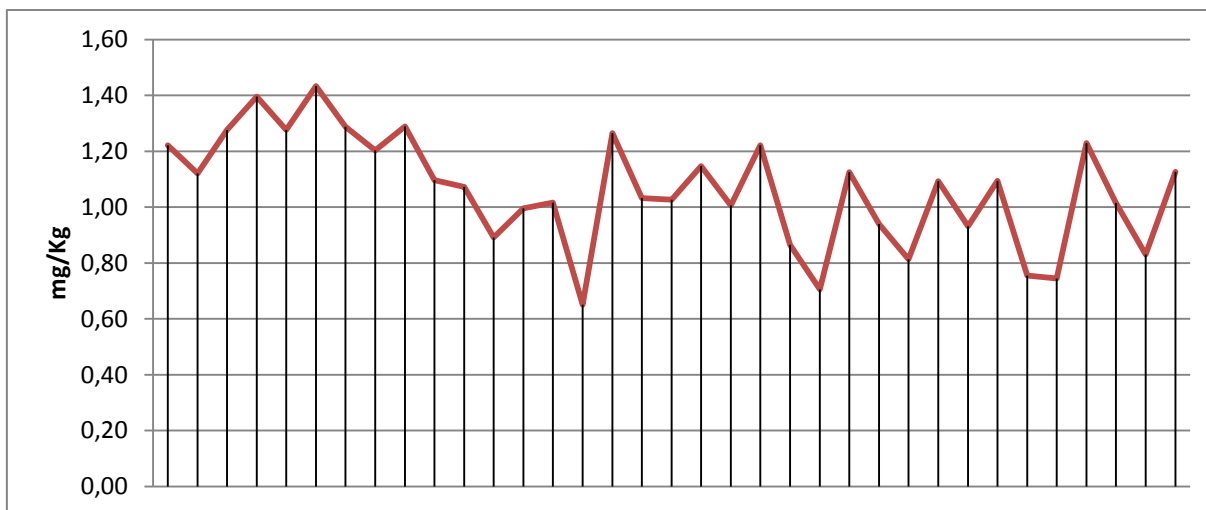


Figura 5.5. Concentración de cadmio en peso seco de hojas de cilantro

Tabla 5.5. Variables estadísticas para el cadmio.

Variable	Valor
Número de muestras (n)	35
Media (x) mg/Kg	1.06
Desviación Estándar (s)	0.19

En peso fresco el 100% de los resultados superan el límite máximo permitido de la norma internacional que es 0.20 mg/Kg de peso fresco, tal como se puede apreciar en la figura 5.6.

Este elevado nivel de cadmio en las hojas de cilantro contrasta con el número de fuentes de incorporación cercanas al cultivo que contribuyen al incremento de este metal al considerar que el cadmio se lo encuentra asociado con el zinc, contribuyendo de esta forma a incrementar el número de posibles fuentes contaminantes.

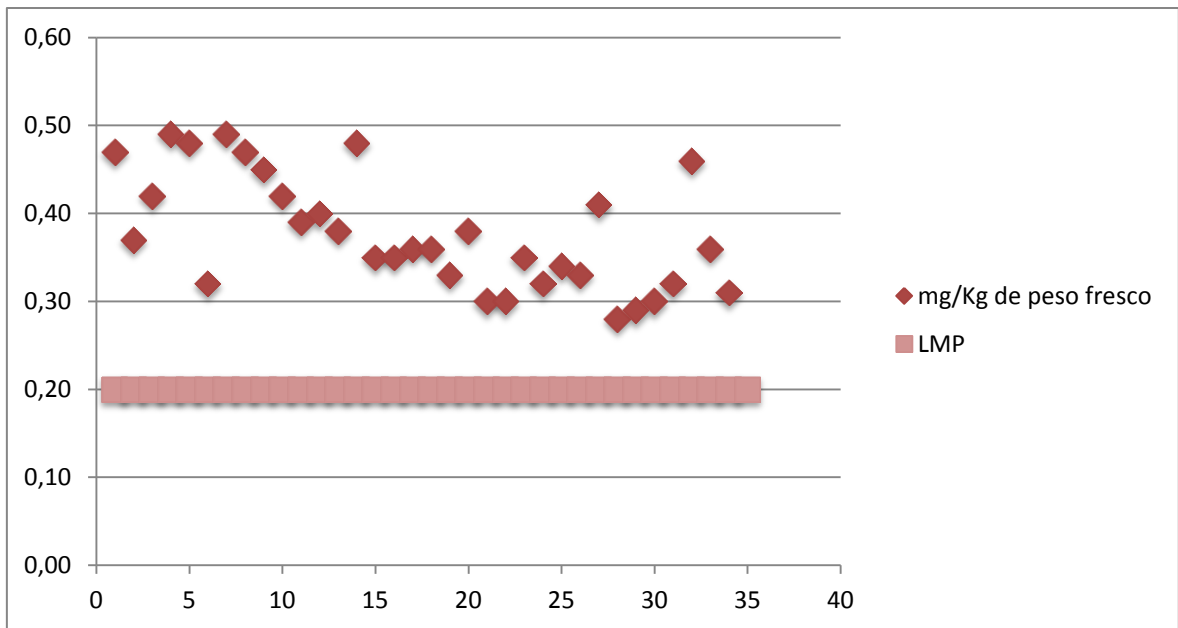


Figura 5.6. Comparación de los resultados en peso fresco con el límite máximo permitido.

5.1.3. NIQUEL EN LAS HOJAS DE CILANTRO

El níquel está formando parte de la estructura de la planta de cilantro, como nutriente esencial, sin embargo al analizar los datos se tiene como resultado que el contenido promedio de las 35 muestras es de 0.86 mg/Kg en peso seco, como se menciona en la tabla 5.6. Cabe destacar que no se puede precisar la manera en que la planta de cilantro asimila este metal pues hay una variación en sensibilidad y tolerancia cuando hay un exceso de níquel, por lo que no se tiene un rango establecido en el cual el níquel pasa de nutriente esencial a toxico.

La figura 5.7 presenta los resultados de las plantas de cilantro que se encuentran entre 0.64 y 1.05 mg/Kg de peso seco.

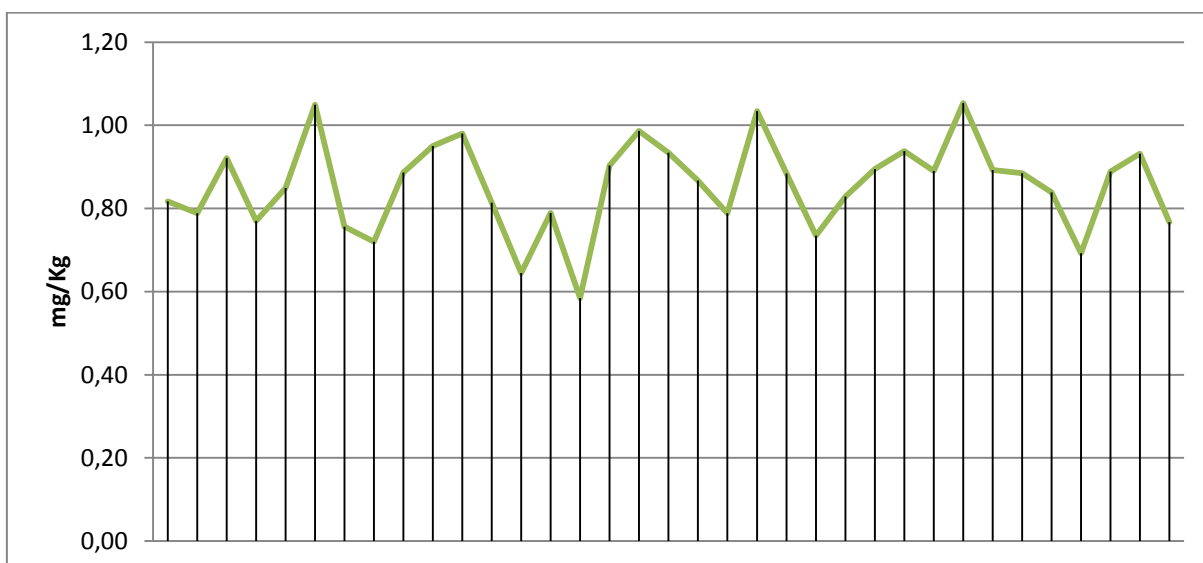


Figura 5.7. Concentración de níquel en peso seco en las hojas de cilantro

Tabla 5.6. Variables estadísticas para el níquel

Variable	Valor
Número de muestras (n)	35
Media (x) mg/Kg	0.86
Desviación Estándar (s)	0.11

Debido a que no existe un patrón de comparación en normas internacionales que permitan establecer la contaminación por níquel tal y como se ingiere, no se menciona el límite máximo permitido en la figura 5.8 en la cual se presentan los resultados en mg/Kg en peso fresco de la hortaliza.

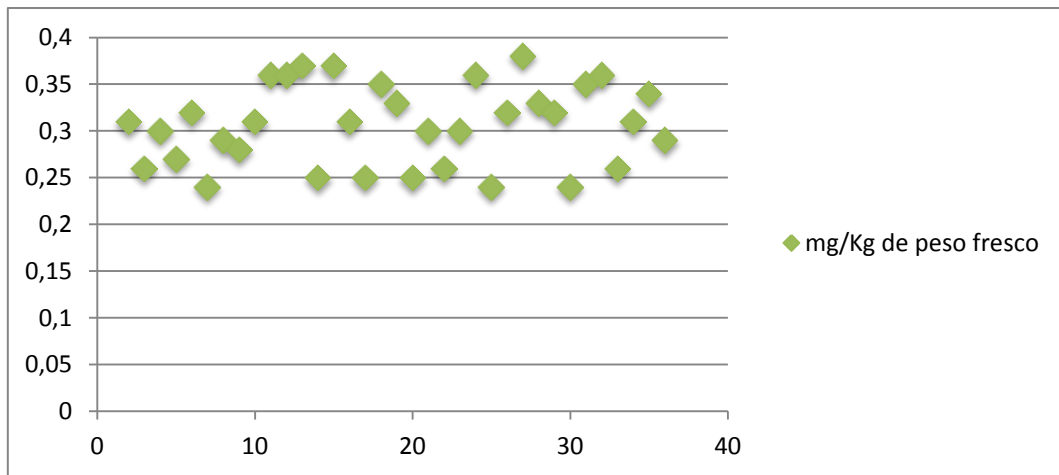


Figura 5.8. Resultados de níquel en peso fresco.

5.1.4. CONTENIDO DE METALES EN TALLOS Y RAICES

La tabla 5.7 presenta los resultados de la concentración los metales pesados en el cilantro, en el cual podemos constatar que el cadmio presenta una mayor concentración que níquel y plomo, también se puede mencionar que los tallos tienen un mayor contenido comparado con las raíces con lo cual los contaminantes puede ascender a través de la planta.

Tabla 5.7. Contenido de metales pesados en raíces y tallos.

N° muestra	RAICES			TALLOS		
	Pb(mg/Kg)	Cd(mg/Kg)	Ni(mg/Kg)	Pb(mg/Kg)	Cd(mg/Kg)	Ni(mg/Kg)
1	0.02	0.16	0.07	0.01	0.15	0.14
2	0.03	0.13	0.16	0.01	0.14	0.23
3	0.03	0.14	0.12	0.02	0.19	0.26
4	0.04	0.13	0.16	0.03	0.17	0.22
5	0.02	0.14	0.10	0.05	0.17	0.13

MEDIA	0.03	0.14	0.12	0.02	0.16	0.20
--------------	------	------	------	------	------	------

5.2. HUMEDAD

Los valores obtenidos por el porcentaje de humedad representa el contenido de agua en las hojas de cilantro, tal como se observa en la figura 5.9.

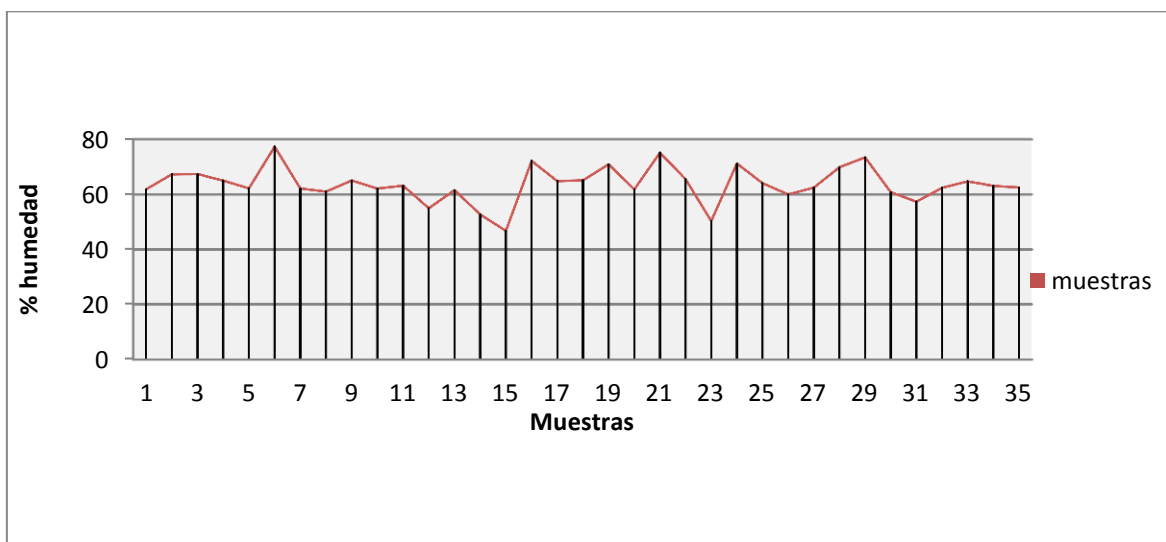


Figura 5.9. Porcentaje de humedad en muestras.

De acuerdo a los datos obtenidos, la concentración de plomo, cadmio y níquel en las muestras, incrementa cuando hay una mayor humedad, el factor que influye es el contenido de agua que ayuda a la penetración y a la fijación de las partículas de metales pesados sobre la superficie de la hoja. El agua ayuda también a la solubilización de los metales tanto en el suelo como en las hojas de la planta.

5.3. CURVAS DE CALIBRACION

Se presenta las curvas de calibración realizadas para la lectura muestras y estándares utilizados en la determinación de metales pesados, todas las curvas cumplen con los requerimientos establecidos, es decir, coeficiente de correlación superior al 0.99, y

linealidad pues a medida que aumenta la concentración aumenta la absorbancia, por lo que la pendiente de la curva es positiva.

De la figura 5.10 a la 5.15 se presentan las curvas de calibración obtenidas para cada metal la muestras representadas con la letra a correspondientes a las 17 primeras muestras leídas en el equipo, mientras que aquellas representadas con la letra b corresponden a las 18 siguientes muestras, los cuales fueron cuantificadas en días distintos.

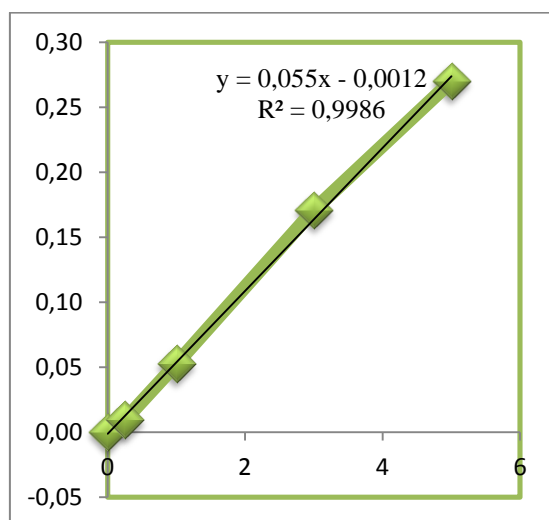


Figura 5.10. Curva de calibración de plomo (a)

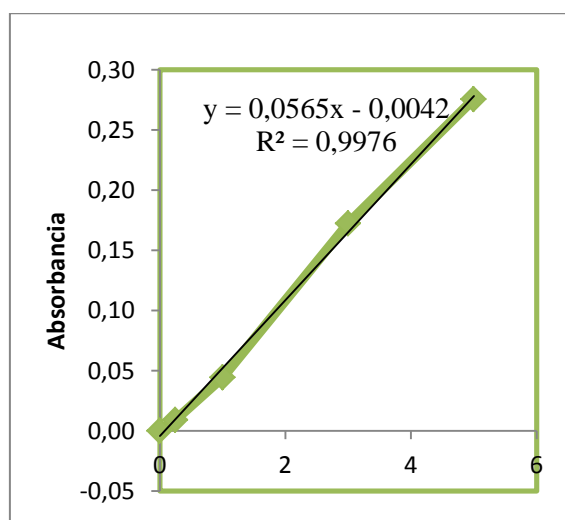


Figura 5.11. Curva de calibración de plomo (b)

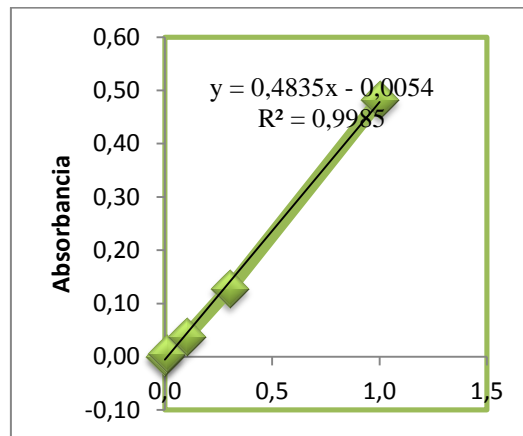


Figura 5.12. Curva de calibración de cadmio (a)

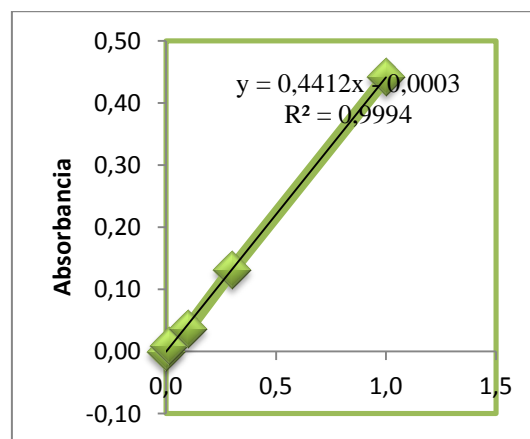
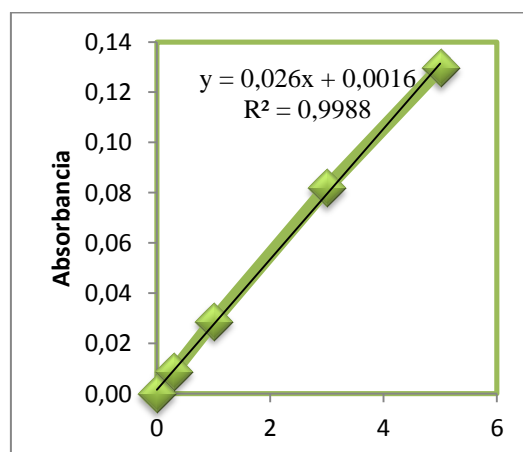


Figura 5.13. Curva de calibración de cadmio (b)



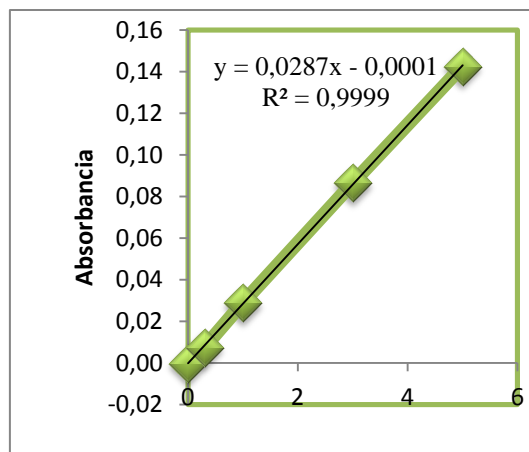


Figura 5.15. Curva de calibración de níquel (b)

La tabla 5.8 presenta las lecturas de los estándares los cuales se encuentran dentro del 5% establecido como rango de error, lo que le confiere al método exactitud.

Tabla 5.8. Estándares de control.

Metal	St. (mg/L)	Lectura 1 (mg/L)	Error (%)	Lectura 2 (mg/L)	Error (%)	Lectura 3 (mg/L)	Error (%)
Plomo	1.50	1.47	1.90	1.46	2.60	1.46	3.00
Cadmio	0.75	0.78	4.10	0.76	1.20	0.76	1.70
Níquel	1.50	1.46	2.50	1.45	3.30	1.45	3.70

5.4. FORTIFICACIONES

5.4.1. PLOMO

Se realizaron fortificaciones de los tres metales a tres diferentes niveles de concentración 1,3 y 5 mg/kg, se obtuvieron para el plomo los resultados que se presentan en la tabla 5.9, los porcentajes de recuperación son mejores para la

fortificación de 3 mg/kg, obteniendo recuperaciones de hasta el 99.4%, las fortificaciones realizadas con 1 y 5 mg/L están dentro del rango aceptado como validas, es decir entre el 95 y 105%, se observa la variación de las recuperaciones en la figura 5.16.

Tabla 5.9. Porcentajes de recuperación de plomo.

1 mg/Kg		3 mg/Kg		5 mg/Kg	
Concentración (mg/Kg)	Recuperación (%)	Concentración (mg/Kg)	Recuperación (%)	Concentración (mg/Kg)	Recuperación (%)
0.99	98.5	2.92	97.5	4.90	97.9
0.98	98.3	2.98	99.4	4.89	97.7
0.98	97.9	2.91	97.1	4.87	97.4

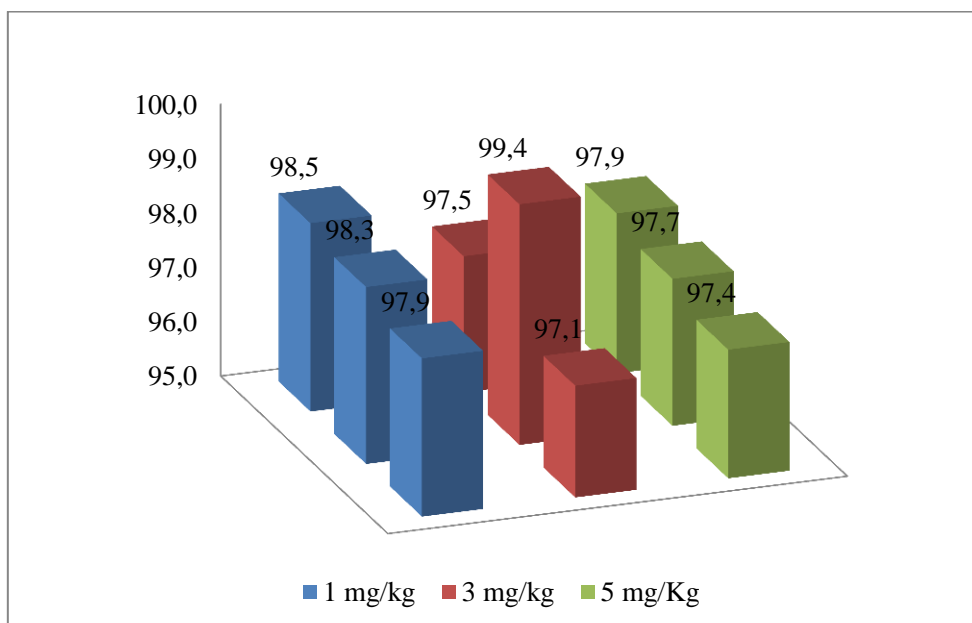


Figura 5.16. Fortificaciones de plomo a tres niveles de concentración.

5.4.2. CADMIO

Las fortificaciones realizadas se encuentran disponibles en la tabla 5.10 en la cual los tres niveles están dentro de los rangos establecidos del 95 al 105%, las recuperaciones llegan al 99,1% para la fortificación de 3 mg/L, sin embargo las demás niveles de fortificación se consideran aceptables, lo cual provee la oportunidad de emplear estas fortificaciones para robustecer el método. En la figura 5.17 se puede apreciar la variación en las recuperaciones obtenidas, las cuales están dentro de los rangos especificados.

Tabla 5.10. Porcentajes de recuperación de cadmio.

1 mg/Kg		3 mg/Kg		5 mg/Kg	
Concentración (mg/Kg)	Recuperación (%)	Concentración (mg/Kg)	Recuperación (%)	Concentración (mg/Kg)	Recuperación (%)
0.97	97.5	2.97	99.1	4.95	98.9
0.98	98.3	2.93	97.8	4.89	97.7
0.96	96.4	2.96	98.7	4.87	97.4

Es importante señalar que la muestra control no contiene trazas de cadmio, pues la presencia de estas, elevaría las recuperaciones en los tres niveles, obteniendo resultados superiores al 100%, por lo tanto la muestra está libre de este metal, al igual que de plomo, descartando que el mismo forme parte de las estructuras internas del cilantro como oligoelemento.

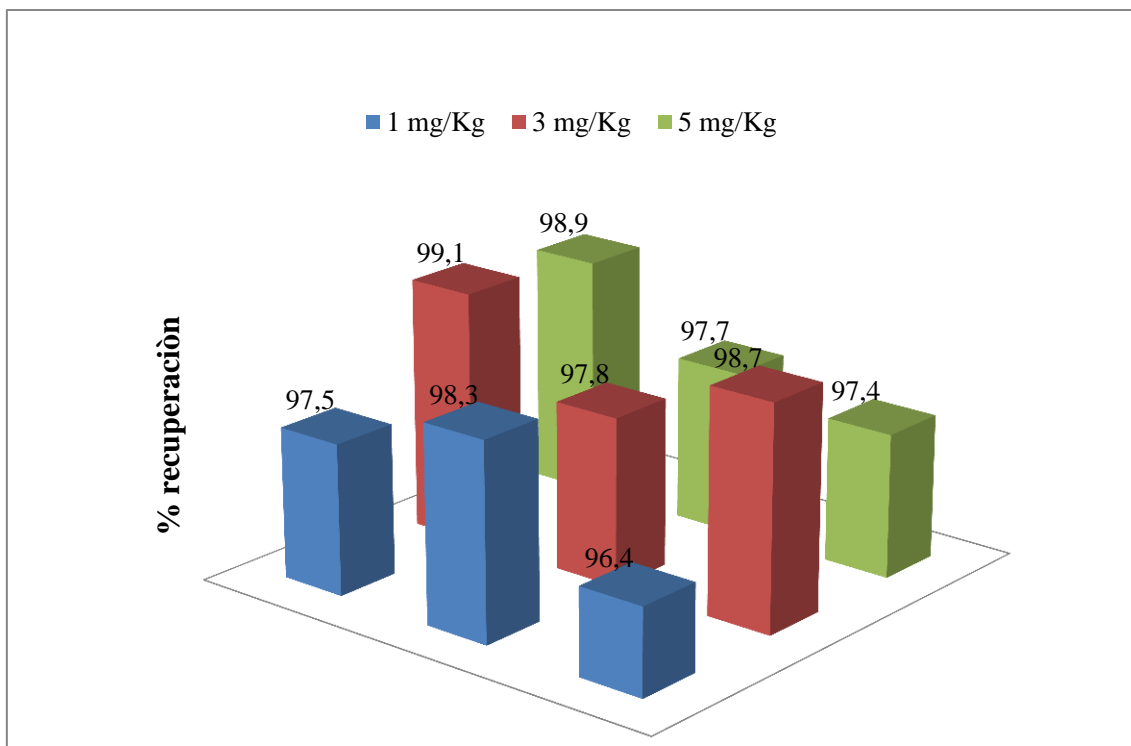


Figura 5.17. Fortificaciones de cadmio a tres niveles de concentración.

5.4.3. NIQUEL

Los tres niveles de fortificaciones realizadas para el níquel se encuentran dentro de los rangos establecidos como aceptables, sin embargo las recuperaciones para los estándares de 3 y 5 mg/L son superiores al 100%, por tanto el níquel está formando parte de la estructura interna de la planta de cilantro, la tabla 5.11 presenta los resultados obtenidos en la cual se constata la presencia de níquel adicional en las muestras control. En la figura 5.18 se puede observar el porcentaje de recuperación superior obtenido en las fortificaciones.

Tabla 5.11. Porcentajes de recuperación de níquel

1 mg/Kg		3 mg/Kg		5 mg/Kg	
Concentración (mg/Kg)	Recuperación (%)	Concentración (mg/Kg)	Recuperación (%)	Concentración (mg/Kg)	Recuperación (%)
0.98	98.5	3.02	101.0	4.95	98.9
0.96	95.8	3.13	104.0	5.03	100.6
0.95	95.0	2.96	99	5.16	103.3

Los porcentajes de recuperación fueron realizados en peso seco.¹⁷

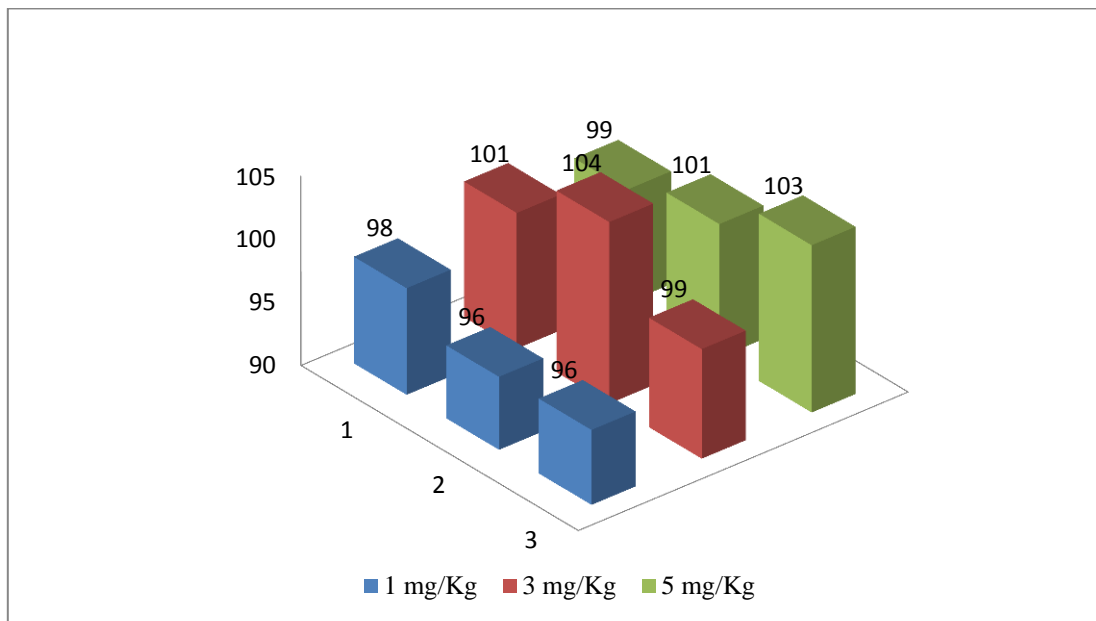


Figura 5.18. Fortificaciones de níquel a tres niveles de concentración.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Se determinaron los metales pesados plomo, cadmio y níquel en el cilantro (*Coriandrum Sativum L*) sembrados en la parroquia rural de Alóag, obteniendo como resultado la presencia de los tres metales en las hojas de plantas de cilantro en concentraciones de 0.18 mg/Kg de plomo, cadmio en concentraciones de 1.06 mg/Kg y níquel con un contenido de 0.86 mg/Kg en peso seco.
- ✓ El cilantro es una hortalizas que se consume fresca por lo tanto al realizar la comparación con la norma en peso fresco tenemos que la concentración de plomo encontrado en el follaje de cilantro es inferior a 0.3 mg/Kg de peso fresco, mientras que el cadmio presenta una concentración superior al límite máximo permitido por la norma que es de 0.2 mg/Kg, siendo este metal el más peligroso si se consume esta hortaliza.
- ✓ El cilantro es una especie de planta que puede tolerar diferentes metales y grados de concentración de los mismos albergando una mayor cantidad en sus hojas comparada con sus otras partes como tallo y raíces.
- ✓ La mayor concentración de plomo, cadmio y níquel en las hojas de cilantro puede deberse a dos posibles vías de contaminación, la primera es la absorción de los metales pesados desde el suelo por medio de las raíces, tras locación dentro de la planta y posterior acumulación en las hojas, la cual se ve afectada por el pH básico del suelo que se presenta como una barrera para la absorción de los metales pesados dejando una reducida biodisponibilidad para la incorporación y como segunda opción por fijación de las partículas de metales sobre las hojas por medio de la deposición ya seca o posiblemente húmeda debido a las lluvias del sector.

- ✓ El cadmio es el metal que presenta mayor disponibilidad para ser captado por la planta y por ello aumenta su grado de bioacumulación, el metal que le sigue en concentración es el níquel y finalmente plomo, la presencia de estos metales aumenta de acuerdo al lugar donde se desarrolla y a la cercanía del área de influencia puesto que representa un factor de riesgo el amplio parque industrial de Alóag caracterizado principalmente por desechos de chatarra, fábricas de procesamiento de plásticos, cultivos de flores y la presencia de empresas metalúrgicas.
- ✓ Es preciso realizar un seguimiento del contenido de los metales en estudio a otras especies de plantas como la col o lechuga que están directamente en contacto con el suelo que presentan superficies de hojas amplias y que en la actualidad se cosecha una mayor cantidad de estas hortalizas.
- ✓ El método utilizado es preciso, confiable y reproducible.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Carrasco, A, (1996), *Química de metales pesados en Suelos Chilenos*, Universidad de Chile, Santiago de Chile
2. García, I, Dorronsoro, C, Contaminación por metales pesados, <http://146.83.190.52/dpr/Apuntes/MEC%20CONT%20SUELOS/doc1.1SuelosMetalesPesados.pdf>. Junio 2010
3. Propiedades físicas de los metales, Agency for toxic substances and disease registry (2009). <http://www.atsdr.cdc.gov/>, Marzo 2010
4. Chicharro, A, Impacto ambiental por metales pesados en suelos y plantas del entorno de un depósito de chatarra procedente de automóviles de desguace, <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es>, Diciembre 2010
5. Navarro, J, Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas, <http://www.revistaecosistemas.net>. Diciembre 2010
6. SN, (2007), Bioacumulación de metales pesados, <http://www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/Manuales/Contmetalespesados.asp>, Dic. 2009
7. Prieto, Judith, Contaminación y fitotoxicología en plantas por metales pesados provenientes de suelo y agua, www.Redalyc.org, Diciembre 2010
8. Pernia, Beatriz, Biomarcadores de contaminación por cadmio en las plantas, <http://scielo.org.ve>. Diciembre 2010
9. Jorgensen, P., Leòn, S.,(eds).1999. *Catálogo de las plantas vasculares del Ecuador*, Missouri Botanical Garden Press. USA.pag 218
10. De la torre, L.,H. Navarrete, P. Muriel M.,M.J. Macias & H. Balslev (eds.).2008. *Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador. Herbario QCA de la Escuela de*

*Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador & Herbario
AAU del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Aarhus.
Quito&Aarhus*

11. Axel, Diederichsen, *Coriandrum Sativum* L,
www.biodiversityinternational.org/fileadmin/biodiversity/publications/.../375.pdf.
[Octubre 2010](#)
12. Fundación de Desarrollo Agropecuario, (1999). *Cultivo de Cilantro, Cilantro Ancho y Perejil*. República Dominicana
13. White, A, (1985), *Hierbas del Ecuador*, 3ª edición, Libri Mundi, Quito
14. Infoagro, *El cultivo de cilantro*, <http://www.infoagro.com/aromaticas/cilantro.html>,
Octubre 2010
15. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, MAG (2005), *Producción de cilantro en el Ecuador del Sistema de Información Geográfica SIGAGRO*, Quito, Ecuador
16. Agapito, I. (1999), *Fitomedicina (1100 Plantas medicinales)*, tomo I, Quito
17. Prieto G, (2005), Acumulación de tejido vegetales de arsénico proveniente de aguas y suelos de Mizapán, México.
[http://cdcht.ucla.edu.ve/bioagro/Rev17\(3\)/1.%20Acumulaci%F3n%20en%20tejidos%20vegetales.pdf](http://cdcht.ucla.edu.ve/bioagro/Rev17(3)/1.%20Acumulaci%F3n%20en%20tejidos%20vegetales.pdf), Enero 2010
18. Kumar, (2007). N, Characterization of Heavy Metals in vegetables using inductive coupled plasma analyzer (ICPA), www.bioline.org.br/ja, Diciembre 2009
19. García, Endrina, Análisis comparativo de dos técnicas de digestión para la determinación de metales pesados en lodos residuales, Multiciencias, Venezuela,
<http://redalyc.uaemex.mx>, Octubre 2010
20. S,N. Hoja de seguridad del ácido nítrico,
www.casep.com.mx/pdf/Quimicos/Acidonitrico.pdf, Abril 2001

21. Skoog, L, (2001). *Principios de análisis instrumental*, Mc Graw Hill, Quinta edición, España
22. Hernández, Roberto, *Metodología de la Investigación*, 2ª edición, Mc Graw Hill
23. Santander, Luis, Consistencia de datos, www.midelab.com.mx, Diciembre 2010
24. Julio, Hidrobo, Bioestadística, <http://www.scribd.com/doc/17118562/Inferencia-estadistica>, noviembre 2010
25. División Política cantón Mejía, (2008), <http://www.municipiodemejia.gov.ec/> Octubre 2009
26. Consorcio para el Desarrollo Sostenible del Cantón Mejía CODECAME, 2006, *Fondo para la protección del Agua*, Quito-Ecuador
27. Instituto Nacional de Metrología INAMHI(2008). *Anuarios Meteorológicos*, Quito, Ecuador
28. Diario oficial de Unión Europea, DOUE, (2009). *Limites máximo de contaminantes en especies alimenticias*, España

Anexo N°6: FOTOGRAFIAS DEL CULTIVO



FOTOGRAFIA N°1: cultivo expuesto



Fotografía N°2: Área de influencia cercana al cultivo.