

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



DETERMINACIÓN DE CADMIO EN LECHUGA Y RÁBANO POR MÉTODO DE  
ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA POR HORNO DE GRAFITO

TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DIPLOMADO DE ESPECIALIZACIÓN

PRESENTADO POR

MARGARITA YAMILETH GARCÍA MEJÍA

GRICELDA ABIGAIL GARCÍA RIVERA

PARA OPTAR AL GRADO DE

LICENCIADA EN QUÍMICA Y FARMACIA

SEPTIEMBRE 2024

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MAESTRO JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LICENCIADO PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

DECANA

MAESTRA NANCY ZULEYMA GONZÁLEZ SOSA

SECRETARIA

LICENCIADA EUGENIA SORTO LEMUS

DIRECCIÓN GENERAL DE PROCESOS DE GRADO

DIRECTORA GENERAL (AD-HONOREM)

MAESTRA KATIA LISSETTE MARTÍNEZ DE PALACIOS

TRIBUNAL EVALUADOR

ASESORA

LICENCIADA KATIA EUNICE LEYTON BARRIENTOS

ASESOR

LICENCIADO RAMÓN ALBERTO MURCIA SAAVEDRA

TUTORA

MAESTRA MARÍA DEL CARMEN POLÍO MARTÍNEZ

## AGRADECIMIENTOS

A nuestra docente asesora:

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a MSc. María Del Carmen Polío Martínez por brindarnos todos los lineamientos necesarios para la realización de nuestro trabajo de graduación, por su apoyo al momento de brindar sus conocimientos y experiencias que fueron de mucha ayuda para el desarrollo del presente trabajo.

A los docentes del tribunal evaluador:

Licda. Katia Eunice Leyton Barrientos y Lic. Ramón Alberto Murcia Saavedra quienes han dirigido el presente trabajo de investigación, por sus consejos, sugerencias, apoyo y enseñanzas determinantes para alcanzar los objetivos propuestos.

A los docentes y miembros de laboratorio de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, que con mucha paciencia y dedicación nos guiaron por el camino correcto durante nuestra formación, compartiendo sus conocimientos.

Margarita García, Gricelda García

## **DEDICATORIAS**

En primer lugar, a Dios porque es el testigo más fiel que existe de todo lo difícil que ha sido este camino, a mi mamá Dominga Mejía porque es quien más orgullosa se siente de todo lo que he logrado, sé que nada la hará más feliz que recibir este título.

A mis hermanos y a mis sobrinos, que este logro les sirva de inspiración y motivación para salir adelante y nunca rendirse a pesar de lo complicado que se vuelva el camino.

A Douglas Amaya porque compartió conmigo todas las palabras de ánimo que necesitaba para seguir adelante y a todas esas personas que siempre me motivaron cuando pensé en rendirme y que me ayudaron en los momentos más difíciles.

Margarita Yamileth García Mejía

Agradezco a Dios, quien me ha dado la fuerza para superar cada obstáculo y alcanzar esta gran meta. Su presencia ha sido mi mayor apoyo.

A todos aquellos que han sido una parte integral de mi camino académico y personal.

A mi madre Cecilia Karina Rivera y a mi padre Jesús Salvador García dedico y agradezco por el amor brindado, por su sacrificio, por enseñarme a nunca rendirme ante los obstáculos de la vida, a ser perseverante y por apoyarme en todos mis proyectos de vida.

A mi hermana Karina García Rivera quien con mucho esfuerzo dedicó tiempo para ayudarme a estudiar, este logro también es tuyo.

A mis amigos por su amistad y su compañía quienes trajeron mucha alegría y fueron fuente de motivación en momentos de frustración, Allan Montes, Enrique Ochoa, Julio Cesar y Fátima Mejía.

Expreso mi más sincero agradecimiento a todos los docentes que contribuyeron a mi formación académica. Su dedicación y profesionalismo han sido fundamentales en mi desarrollo.

Gricelda Abigail García Rivera

## ÍNDICE GENERAL

	Pág. N°
ABREVIATURAS	
RESUMEN	
<b>CAPÍTULO I</b>	
1.0 INTRODUCCIÓN	16
<b>CAPÍTULO II</b>	
2.0 OBJETIVOS	18
<b>CAPÍTULO III</b>	
3.0 MARCO TEÓRICO	20
3.1 Lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.)	20
3.1.1 Descripción de la lechuga	20
3.1.2 Descripción botánica	20
3.1.3 Clasificación taxonómica	21
3.1.4 Requerimientos del cultivo	21
3.1.4.1 Suelo	21
3.1.4.2 Clima	21
3.1.4.3 Exigencias nutricionales	22
3.1.5 Propiedades nutricionales	22
3.2 Rábano ( <i>Raphanus sativus</i> L.)	23
3.2.1 Descripción del rábano	23
3.2.2 Descripción botánica	24
3.2.3 Clasificación taxonómica	25
3.2.4 Requerimientos del cultivo	25
3.2.4.1 Suelo	25

3.2.4.2	Temperatura	26
3.2.4.3	Requerimientos nutricionales	26
3.2.5	Propiedades nutricionales	26
3.3	Agricultura en El Salvador	27
3.3.1	Generalidades de la agricultura	27
3.3.2	Zonas de cultivos en El Salvador	28
3.3.3	Principales cultivos de hortalizas en El Salvador	29
3.4	Metales pesados	30
3.4.1	Clasificación de los metales pesados	30
3.4.2	Metales pesados en el suelo	31
3.4.2.1	Entradas de metales pesados al suelo	32
3.4.2.2	Entrada de metales pesados al suelo por enmiendas agrícolas	32
3.4.3	Metales pesados en alimentos	33
3.5	Cadmio	34
3.5.1	Propiedades fisicoquímicas	34
3.5.2	Fuentes y vías de exposición	34
3.5.2.1	Fuentes naturales	34
3.5.2.2	Fuentes antropogénicas	35
3.5.3	Toxicocinética	35
3.5.3.1	Absorción	35
3.5.3.2	Distribución	36
3.5.3.3	Metabolismo y excreción	36
3.5.4	Toxicodinámica	37
3.5.5	Mecanismo de acción	38
3.5.6	Manifestaciones clínicas	39

3.5.6.1 Intoxicación aguda	39
3.6 Fundamento del método (horno de grafito)	40
3.7 Codex Alimentarius	40
3.7.1 Norma general del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos	42
3.7.1.1 Ámbito de aplicación	42
3.7.1.2 Definición de los términos	42
<b>CAPITULO IV</b>	
4.0 PRODUCTO FINAL	45
4.1 Introducción	45
4.2 Objetivos	46
4.3 Tipo de estudio	46
4.4 Método de análisis	46
4.4.1 Fundamento	46
4.5 Información de la muestra	49
4.6 Reactivos, materiales y equipos	49
4.6.1 Reactivos	49
4.6.2 Materiales	49
4.6.3 Equipo	50
4.7 Procedimiento	50
4.7.1 Preparación de curva de calibración	50
4.7.2 Preparación de muestras	51
4.8 Cálculos	52
4.9 Normativas nacionales e internacionales para interpretar datos	54
4.9.1 Normas Alimentarias y Codex Alimentarius	54

4.10 Referencias bibliográficas	55
---------------------------------	----

**CAPITULO V**

5.0 CONCLUSIONES	57
------------------	----

**CAPITULO VI**

6.0 RECOMENDACIONES	59
---------------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N°</b>		<b>Pág. N°</b>
1	Lechuga arrepollada ( <i>Lactuca sativa</i> )	19
2	Rábano ( <i>Raphanus sativus L</i> )	22
3	Lámpara de cátodo hueco	47
4	Lámpara de descarga sin electrodos	48
5	Ejemplo de gráfica de curva de calibración de cadmio	53

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N°</b>		<b>Pág. N°</b>
1	Clasificación taxonómica de la lechuga	21
2	Composición química de la lechuga	23
3	Clasificación taxonómica del rábano	25
4	Composición química del rábano por ración de 80 gramos.	27
5	Límite máximo de cadmio permitido según Codex Alimentarius	42
6	Preparación de curva de calibración para cadmio en lechuga	45
7	Preparación de curva de calibración para cadmio en rábano	46
8	Ejemplo de datos de curva de calibración de cadmio	52

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo N°</b>	
1	Esquemas de preparación de soluciones patrón del estándar de cadmio
2	Esquema de preparación de curva de calibración de cadmio en lechuga
3	Esquema de preparación de curva de calibración de cadmio en rábano
4	Esquema de preparación de muestras

## ABREVIATURAS

IICA: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

AU: Agricultura urbana

SH: Sulfhidrilos

OMS: Organización Mundial de la Salud

ADN: Ácido desoxirribonucleico

IARC: Agencia internacional de investigaciones sobre el cáncer

CCA: Comisión del Codex Alimentarius

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

ONU: Organización de las Naciones Unidas

IMDTP: Ingesta máxima diaria tolerable provisional

ISTP: Ingesta semanal tolerable provisional

MTP: Ingesta mensual tolerable provisional

EAA: Espectrofotometría de absorción atómica

LCH: Lámparas de cátodo hueco

EDL: Lámparas de descarga sin electrodos

## RESUMEN

La contaminación por metales tóxicos en los alimentos cada vez despierta más interés porque en muchos estudios se ha comprobado la gravedad del daño que pueden provocar al organismo humano. En esta compilación bibliográfica nos enfocamos en la contaminación de metales tóxicos como el cadmio en lechuga y rábano, que son legumbres muy consumidas por toda la población.

El análisis de metales pesados es importante por la peligrosidad que representan, ya que no se degradan química ni biológicamente, y tienden a bioacumularse provocando toxicidad física y química. Entre las principales fuentes de metales tóxicos para los alimentos está el suelo que se ve afectado por lodos residuales, fertilizantes químicos y plaguicidas empleados en la producción agrícola.

En este estudio se abordó la determinación de cadmio en lechuga y rábano utilizando el método de espectrometría de absorción atómica por horno de grafito describiendo el pretratamiento de las muestras para solubilizar el cadmio presente en la lechuga y el rábano, planteando los cálculos necesarios para conocer la cantidad de dicho metal por kg de alimento.

Asimismo, se resaltó la importancia de realizar análisis periódicos de metales pesados en alimentos como medida preventiva, debido al riesgo a la salud que el consumo de dichos metales representa.

En definitiva, el estudio de la concentración de cadmio en alimentos vegetales mediante la espectrometría de absorción atómica por horno de grafito es un paso crucial en la gestión de la seguridad alimentaria, y contribuirá a promover la calidad de los alimentos que consumimos, así como a prevenir posibles riesgos para la salud asociados con la contaminación por metales pesados en la cadena alimentaria.

## **CAPÍTULO I**

## 1.0 INTRODUCCIÓN

La presencia de metales pesados como el cadmio en alimentos vegetales representa una preocupación creciente en la salud pública, ya que la exposición a estas sustancias puede tener efectos adversos en la salud humana a largo plazo. El cadmio es un metal tóxico que se encuentra en el ambiente debido a actividades industriales, vertidos de desechos y procesos naturales, y puede ser absorbido por plantas a través de las raíces, acumulándose en los tejidos vegetales.

Entre los alimentos vegetales en los que se ha detectado la presencia de cadmio se encuentran la lechuga y el rábano, dos productos ampliamente consumidos en la dieta humana. Dado que la ingesta de cadmio a través de alimentos contaminados puede representar un riesgo para la salud, es fundamental realizar análisis periódicos de la concentración de este metal en estos alimentos para garantizar su seguridad alimentaria.

En este contexto, el uso de técnicas analíticas sensibles y precisas es fundamental para la determinación de la concentración de cadmio en muestras de lechuga y rábano. La espectrometría de absorción atómica por horno de grafito es una técnica ampliamente utilizada en la determinación de metales pesados en alimentos, debido a su alta sensibilidad y precisión en la detección de trazas de metales en matrices complejas como los alimentos vegetales.

A través de este estudio, se pretende presentar una práctica analítica para evaluar la cantidad de cadmio presente en muestras de lechuga y rábano utilizando la espectrometría de absorción atómica por horno de grafito, con el objetivo de identificar posibles niveles elevados de cadmio que puedan representar un riesgo para la salud de los consumidores. Los resultados obtenidos permitirían evaluar el grado de contaminación por cadmio en estos alimentos y tomar medidas preventivas y correctivas si es necesario para garantizar su seguridad y calidad.

En este contexto, el estudio de la concentración de cadmio en alimentos vegetales como la lechuga y el rábano cobra relevancia no solo por su impacto en la salud pública, sino también por la importancia de garantizar la seguridad alimentaria y el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos. La exposición crónica al cadmio a través de la dieta puede estar asociada con problemas de salud como daños renales, hepáticos, y respiratorios, así como efectos negativos en el desarrollo infantil y en el sistema nervioso.

## **CAPÍTULO II**

## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

2.1.1 Determinación cadmio en lechuga y rábano por medio del método de espectrometría de absorción atómica por horno de grafito.

### **2.2 Objetivos específicos**

2.2.1 Señalar el fundamento del método de espectrometría de absorción atómica.

2.2.2 Describir el proceso adecuado para la toma de muestras representativas y de su tratamiento para el análisis.

2.2.3 Identificar el material y equipo para realizar la determinación.

2.2.4 Describir el proceso detallado a seguir para llevar a cabo la determinación.

2.2.5 Dar a conocer los límites máximos permitidos de cadmio que establece la normativa Codex Alimentarius para lechuga y rábano.

## **CAPÍTULO III**

### 3.0 MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

##### 3.1.1 Descripción de la lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa*), en sus diferentes formas y colores, es una de las hortalizas más comunes y consumidas en todo el mundo, aunque su principal producción se concentra en zonas más templadas y subtropicales. Actualmente se cultiva al aire libre e invernaderos, en suelo o en forma hidropónica; esta última evita las limitaciones de las condiciones climáticas, luminosas y de suelo. <sup>1</sup>

##### 3.1.2 Descripción botánica

La lechuga es una planta anual autógama, que posee una raíz pivotante, relativamente gruesa en la corona que se adelgaza gradualmente en profundidad, la cual puede alcanzar más de 60 cm de profundidad. La mayor densidad de raíces laterales está cerca de la superficie; por lo tanto, la absorción de nutrientes y agua ocurre mayormente en los niveles superiores del suelo. <sup>1</sup>

Las hojas sésiles están distribuidas en forma de espiral, en una roseta densa alrededor de un tallo corto (Ver figura N°1). El desarrollo de la roseta puede continuar durante el periodo vegetativo de la planta como es en el caso de las lechugas de hoja, o formar una cabeza redondeada como en las escarolas y butterhead, o una cabeza elongada como en el caso de Costinas o Romanas. Hay una considerable diversidad de colores, formas, tipos de superficies, márgenes y textura entre los diversos tipos y formas de lechuga. Además, la presencia de antocianinas puede estar en toda la hoja o en sectores dando tonalidades diferentes. <sup>1</sup>



**Figura N°1.** Lechuga arpeollada (*Lactuca sativa*) <sup>1</sup>

### 3.1.3 Clasificación taxonómica <sup>1</sup>

**Tabla N°1.** Clasificación taxonómica de la lechuga<sup>1</sup>

Clasificación taxonómica	
Nombre Común	Lechuga
Nombre Científico	<i>Lactuca sativa</i>
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asterácea
Subfamilia	Cichorioideae
Tribu	Lactuceae
Género	Lactuca
Especie	<i>Lactuca Sativa L.</i>

### 3.1.4 Requerimientos del cultivo

#### 3.1.4.1 Suelo

La lechuga prefiere el suelo franco arenoso con alto contenido de materia orgánica. La lechuga es sensible a la acidez del suelo, se debe agregar cal si es necesario para ajustar el pH a 6.5-7.0. La lechuga también es sensible al exceso de sales, especialmente durante la germinación. Si el cultivo previo se fertiliza con fuerza, puede aconsejarse lavar la tierra con mucha irrigación. Requiere buen drenaje para evitar algunas enfermedades de hongos tales como la pudrición del tallo causada por los hongos *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, y *Sclerotinia*.<sup>2</sup>

#### 3.1.4.2 Clima

Es una hortaliza que prefiere los climas templados. La temperatura óptima está entre los 15 y los 18°C. Se adapta mejor si las noches son frescas, con una alternancia de temperaturas día/noche. Por encima de los 25° C la germinación es pobre y la planta tiende a espigar. En días de mucho calor el cogollo se puede ir a espiga, lo cual origina hojas amargas y cogollos poco compactos. Por

tanto, en verano hay peligro de espigado. Puede soportar hasta  $-6^{\circ}\text{C}$ , pero hay daños en las hojas con  $-2^{\circ}\text{C}$  que ocasionan coloración rojiza dependiendo de la variedad.<sup>2</sup>

Es recomendable protegerlas del sol fuerte durante el verano y de la lluvia una vez que estén desarrolladas, ya que se pudren fácilmente las hojas mojadas. Para evitarlo, puede disponerse un techo de plástico sobre un armazón que permita una buena ventilación. Por esta razón, se debe regar al pie, procurando no mojar las hojas.<sup>2</sup>

La lechuga puede iniciar la germinación hasta un mínimo de  $5^{\circ}\text{C}$ , el óptimo se presenta entre los  $16$  y  $20^{\circ}\text{C}$  siendo esta última la mejor. Las plántulas son tolerantes a bajas temperaturas entre  $5$  y  $7^{\circ}\text{C}$ , pero las plantas maduras son sensibles a temperaturas que bajen de cero, dañando las hojas externas principalmente. Las condiciones cálidas y secas ocasionan la formación de semillas, que ocurre cuando las temperaturas rebasan los  $20^{\circ}\text{C}$  y se mantienen noche y día.<sup>2</sup>

#### 3.1.4.3 Exigencias nutricionales

Durante la etapa de germinación y emergencia, el cultivo de lechuga ejerce una mayor demanda de Fósforo (P) a causa del rápido desarrollo radicular que la planta tiene para garantizar su desarrollo. Durante la etapa de crecimiento y desarrollo de la planta se observa un incremento mayor de elementos como N, P, K, Cu, Zn, B, Mn, Fe y S; preparando a la planta no solo para el desarrollo de la parte vegetativa (hojas, tallo y perno) sino también para la etapa de floración y producción de semilla.<sup>3</sup>

#### 3.1.5 Propiedades nutricionales

La lechuga presenta elevado contenido de agua del 90 al 95%, es rica en antioxidantes, como también en vitaminas A, C, E, B1, B2, B3, B9 y K; entre los principales minerales se tiene al fósforo, hierro, calcio, potasio y aminoácidos. Las hojas exteriores más verdes, son las que tienen mayor contenido de vitamina C y hierro (Ver tabla 2). Sin embargo, el aporte de nitrógeno en forma de proteína que se encuentra en las hojas de esta hortaliza es muy importante, desde el punto de vista alimentario.<sup>4</sup>

A la vez es una fuente importante de folato (vitamina B9), esencial para aquellas mujeres embarazadas, debido a la prevención de los defectos congénitos en recién nacidos. Contiene

betacarotenos y antioxidantes que ayudan en la prevención de enfermedades degenerativas, entre las que se incluye el cáncer y la arterioesclerosis. <sup>4</sup>

Es ideal para el uso en dietas de adelgazamiento, otro aspecto importante en la lechuga es que produce un efecto sedante en el organismo, por lo que se la suele recomendar para calmar estados nerviosos y para inducir el sueño. Asimismo, se la considera facilitadora de la digestión y un gran depurativo gracias a su alto contenido de agua y potasio, regulando la concentración de insulina por lo que se recomienda el consumo a personas con diabetes. <sup>4</sup>

**Tabla N°2.** Composición química de la lechuga por ración de 100 gramos. <sup>5</sup>

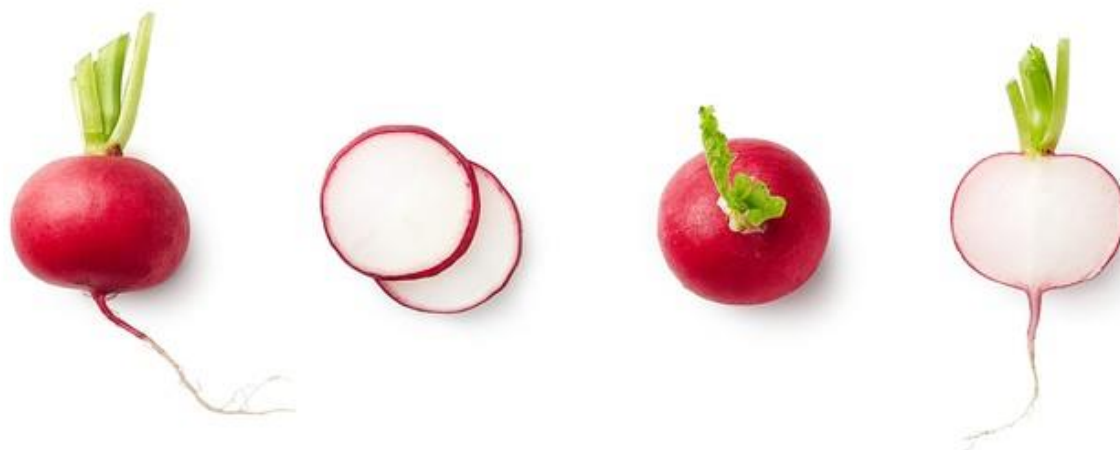
Componente	Cantidad	Componente	Cantidad
Energía	13 kcal	Sodio	6,7 mg
Agua	160 g	Potasio	178 mg
Proteína	1,1 g	Fosforo	22,2 mg
Hidratos de Carbono	1,0 g	Vitamina A (Eq. Retinol)	21,5 ug
Fibra	1,1 g	B-caroteno	172 ug
Grasas	0,2 g	Vitamina B1	0,04 mg
Calcio	29,6 mg	Vitamina B2	0,04 ug
Hierro	0,4 mg	Vitamina C	8,9 mg
Iodo	3,7 ug	Vitamina E	0,4 mg
Magnesio	8,9 mg	Niacina	0,4 ug
Zinc	0.2 mg	Folatos	25,2 ug

### 3.2 Rábano (*Raphanus sativus* L.)

#### 3.2.1 Descripción del rábano

Es una planta perteneciente a la familia de las *Cruciferae*, cuya raíz es comestible, empleándose en numerosas ensaladas en fresco y otras recetas elaboradas. Posee básicamente dos formas características dependiendo de su variedad: redondo, con 2-3 cm. de diámetro; o alargado, de 10-15 cm. de longitud. <sup>6</sup>

El peso es muy variable ya que, si bien es usual encontrar piezas en torno a los 70 gramos, pueden darse ejemplares que lleguen hasta 1 kg o más. Las tonalidades de la piel y carne del rábano siempre llenan de colorido las ensaladas pues ante el verde de otras verduras y hortalizas como la lechuga o el pepino, destaca con una piel negra, morada o roja (aunque también se pueden dar blancos), así como una carne blanca, en algunas variedades asiáticas incluso rosada. Ver figura 2. Su sabor sorprende en estas preparaciones, ya que les suele dar cierto toque algo picante. <sup>6</sup>



**Figura N°2.** Rábano (*Raphanus sativus* L) <sup>6</sup>

### 3.2.2 Descripción botánica <sup>7</sup>

Es una especie de escaso desarrollo radicular, pues las raíces pueden encontrarse a una profundidad que oscila entre los 5 y 25 cm. Aunque en algunas ocasiones la raíz principal puede llegar a tener una profundidad de un metro y las laterales hasta de 90 cm. Durante el desarrollo vegetativo del cultivo se forman raíces tuberosas a partir de la parte superior de la raíz y del hipocótilo. Estas pueden ser de forma redonda, fusiformes, alargadas, ovaladas y cónicas, de color blanco, rojo, amarillo, negro, etc.

El tallo en fase vegetativa suele ser corto, con hojas que forman una roseta o corona, y luego se alarga llegando a medir entre 80 y 120 cm de altura, ya sea cilíndrico o anguloso, verde y pubescente.

Las hojas son imparipinnadas, de peciolo largo y de forma ovalada, de borde dentado y el ápice más grande. Algunos autores sugieren que existe cierta proporcionalidad directa entre el tamaño de las hojas cotiledones y el de la raíz carnosa.

El fruto es una silicua indehisciente, contrario a las otras crucíferas, en algunas especies puede alcanzar una longitud entre los 40 y 100 cm constituyéndose en la parte comestible de la planta.

### 3.2.3 Clasificación taxonómica

**Tabla N°3.** Clasificación taxonómica del rábano <sup>6</sup>

Clasificación taxonómica	
Nombre Común	Rábano
Nombre Científico	Raphanus Sativus
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Brassicales
Familia	Brassicaceae
Género	Rhaphanus
Especie	<i>R. Sativus</i>

### 3.2.4 Requerimientos del cultivo

#### 3.2.4.1 Suelo

El suelo para la siembra de rábano o rabanito debe ser suelto, de preferencia arenoso, pero que contenga un alto contenido de materia orgánica y deberá ser capaz de retener abundante humedad necesaria para el rápido desarrollo del cultivo, el pH del suelo deberá encontrarse entre 5.5 y 6.8. Los suelos parejos que permiten la siembra a profundidades uniformes permiten un buen desarrollo del cultivo resultando en una mayor proporción de rábanos y rabanitos con raíz bien formada.<sup>7</sup>

### 3.2.4.2 Temperatura

Las temperaturas favorables para el desarrollo del rábano y el rabanito deben encontrarse entre los 15 y 18 °C, con mínimas de 4 °C y máximas de 21 °C. Si el cultivo es expuesto a temperaturas por debajo de los 7 °C, durante un periodo prolongado, puede estimularse la emisión prematura del tallo floral.<sup>7</sup>

### 3.2.4.3 Requerimientos nutricionales <sup>8</sup>

Los requerimientos del cultivo deben hacerse en base a los resultados del análisis químico de suelo. El ciclo del cultivo es corto de 25 a 35 días, es por esto por lo que necesitan de elementos nutritivos fácilmente asimilables desde la siembra. Por lo que resulta práctico aplicar los fertilizantes en las últimas labores de preparación de las camas de siembra. El rábano es muy sensible a la deficiencia de N, P, K y de boro.

### 3.2.5 Propiedades nutricionales <sup>6</sup>

El rábano es un alimento formado por una gran proporción de agua como elemento principal, así como hidratos de carbono y fibra, por lo que aporta niveles muy bajos de calorías y es recomendado por nutricionistas en dietas reguladoras de peso (Ver tabla 4).

Contiene una importante cantidad de vitaminas, destacando las del grupo C y los folatos. La primera dispone de acción antioxidante, interviniendo en la prevención de enfermedades como las cardiovasculares o degenerativas y favoreciendo la formación de colágeno, dientes, huesos o glóbulos rojos. Otro de los beneficios para la salud de esta vitamina se relaciona con la mejor absorción del hierro de los alimentos y la mayor resistencia a las infecciones.

Los folatos, aportan su colaboración con el organismo humano en la producción de glóbulos rojos y blancos, así como en la síntesis de material genético o la creación de anticuerpos del sistema inmunológico. Debido a estas características se recomienda su consumo en mujeres embarazadas y niños ya que beneficia la correcta formación del tubo neural del feto durante las primeras semanas de gestación.

Los minerales relacionados con la composición de los rábanos son el potasio y el yodo, aunque también se dan cantidades significativas de calcio, fósforo o magnesio. Los aportes de estas sustancias mejoran la transmisión y generación de los impulsos nerviosos que participan en la actividad muscular e intervienen en el equilibrio del agua dentro y fuera de la célula. Además, son indispensables para el funcionamiento de la glándula tiroides, regulando el metabolismo e interviniendo en procesos relacionados con el crecimiento.

El buen control de los procesos intestinales es otra de las ventajas de los minerales, ya que generan un efecto laxante (sobre todo el magnesio). El azufre también se encuentra como parte importante en los rábanos, contribuyendo con acción antioxidante. El potasio colabora con acción diurética y por lo tanto depurativa, mejorando la hipertensión, gota, cálculos renales o retención de líquidos.

**Tabla N°4.** Composición química del rábano por ración de 80 gramos. <sup>9</sup>

Componente	Cantidad	Componente	Cantidad
Energía	14 kcal	Sodio	47,2 mg
Agua	76,2 g	Potasio	192 mg
Proteína	0,8 g	Fosforo	24,8 mg
Hidratos de Carbono	2,2 g	Vitamina A (Eq. Retinol)	Trazas
Fibra	0,8 g	B-caroteno	172 ug
Grasas	0,1 g	Vitamina B1	0,03 mg
Calcio	27,2 mg	Vitamina B2	0,02 ug
Hierro	1,0 mg	Vitamina C	16 mg
Iodo	12,8 ug	Vitamina E	0,0 mg
Magnesio	8,8 mg	Niacina	0,3 ug
Zinc	0.1 mg	Folatos	19,2 ug

### 3.3 Agricultura en El Salvador

#### 3.3.1 Generalidades de la agricultura <sup>10</sup>

En el pasado el hombre primeramente se dedicaba a la caza y la pesca, poco a poco fue introduciendo nuevas formas de subsistencia hasta llegar a convertirse en agricultor; adaptando a

su tierra un gran número de plantas alimenticias, entre las que figuraban el maíz, varios tipos de frijoles, calabazas y chiles. Además de estos alimentos otra serie de plantas cultivadas en América Central (Aguacate, jocote, guayaba, zapote, papaya, tuna, tomate, cacao, maguey, tabaco, algodón, henequén, añil, copal, ayote), ponen de manifiesto el conocimiento del indígena de su copioso ambiente y de cómo su existencia dependía de sus frutos.

Para el indígena, el uso de la tierra y la recolección de sus frutos eran partes inseparables de su existencia cotidiana. La tierra en que vivía era parte trascendental de su ser; era un misterio de donde procedía, del cual dependía, al cual dependía, y al cual habría de volver.

Era una civilización que practicaba la agricultura como actividad central, dentro de la cual conocían muy bien el cultivo del maíz, frijol, maíz, yuca, patatas, garbanzo, achiote, chile, pipián, ayote, cebollas, en especial cacao, algodón, tabaco, añil y bálsamo.

Cada familia se dedicaba a producir algunas variedades, de las cuales utilizaban una parte para su propio consumo y otra era destinada para ser comercializada o intercambiada por otros productos en los pueblos a través de los llamados “Tiangués”, en los que se empleaban como moneda para realizar sus transacciones granos de cacao y plumas de aves muy raras y vistosas; así fue como se dieron las primeras manifestaciones del comercio en El Salvador, que como puede verse era netamente interno y no había muestras que existiera comercio exterior en esa época.

### 3.3.2 Zonas de cultivos en El Salvador <sup>10</sup>

Las zonas productoras de hortalizas se encuentran dispersas a lo largo del territorio nacional y puede observarse una estrecha vinculación de éstas, con las principales vías de acceso del país. Particularmente, existe una fuerte concentración de zonas productoras en la zona occidental, específicamente en los departamentos de Santa Ana y Sonsonate, región en la cual se reporta una fuerte producción de sandía, pepino, chile dulce y tomate; y en menor cuantía, ejote, cebolla y rábano.

Estas zonas han sido identificadas por algunas empresas proveedoras de agro servicios; sin embargo, no existen reportes sobre la magnitud de la superficie cultivada ni de los volúmenes de producción obtenidos. Un estudio reciente del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), establece que la mayor producción de hortalizas se concentra en tomate,

cebolla y repollo, de las cuales se estima un cultivo de 2,935 manzanas aproximadamente, distribuidas en 1,800 mz de tomate, 265 mz de cebolla y 870 mz de repollo.

La necesidad de una encuesta amplia que permita identificar con mayor precisión las zonas productoras de hortalizas, adquiere cada vez más importancia, especialmente por el surgimiento de nuevas zonas productoras en donde se ha dejado de lado la producción de algunas hortalizas tradicionales (repollo, tomate) y se ha comenzado a experimentar con otros productos no tradicionales (loroco, nabo, hierba mora china, chile tabasco), incentivados en buena medida por la mayor demanda de algunos supermercados locales y los requerimientos de agroindustrias focalizadas en importantes zonas de producción.

### 3.3.3 Principales cultivos de hortalizas en El Salvador <sup>10</sup>

Las principales hortalizas tradicionales que más se cultivan en El Salvador según el Ministerio de Agricultura y Ganadería en información del año 2001 son las siguientes: Tomate, Chile, Elote, Zanahoria, Papa, Repollo, Cebolla, Pepino, Pipián, Ayote, Camote, Alcapate, Hierba mora, Izote, Albahaca, Apio, Arvejas, Ajo, Berro, Berenjena, Coliflor, Espinaca, Espárrago, Güisquil, Lechuga, Remolacha y Yuca.

En América Latina y el Caribe, el 75 % de la población vive en ciudades y se considera que esta cifra aumentará hasta el 83 % en el año 2030. Conforme crecen las ciudades, aumenta la necesidad de garantizar la seguridad alimentaria de la población urbana con alimentos de calidad apropiada. Este es el objetivo estratégico fundamental de los proyectos de agricultura urbana (FAO 1996, 1999, 2002).

La agricultura urbana (AU) tiene numerosas ventajas cuando se practica de modo apropiado y en condiciones seguras. Sin embargo, esta solución lleva en sí riesgos para la salud humana y el ambiente que no se observan comúnmente cuando se utilizan suelos agrícolas tradicionales. Uno de los riesgos para la salud atribuido a la AU es el paso de sustancias tóxicas, como por ejemplo metales pesados, a los alimentos cultivados en zonas urbanas, por la absorción de estos de suelos, aire o agua contaminados.

### 3.4 Metales pesados

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros. <sup>11</sup>

Los metales pesados suelen encontrarse como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos. <sup>11</sup>

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. La 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. <sup>11</sup>

#### 3.4.1 Clasificación de los metales pesados

Los metales pesados se clasifican en dos grupos:

Oligoelementos o micronutrientes: son requeridos en pequeñas cantidades o en cantidades traza por las plantas y los animales; son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: arsénico (As), boro (B), cobalto (Co), 32 cromo (Cr), cobre (Cu), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), níquel (Ni), selenio (Se) y Zinc (Zn). <sup>12</sup>

Metales pesados sin función biológica conocida: cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos lleva juntamente alteraciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son principalmente: cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), níquel (Ni), bismuto (Bi). <sup>12</sup>

Es importante retomar que el exceso de cualquiera de los metales pesados puede provocar disfunciones biológicas en el ser humano y que la intoxicación puede llevarse a cabo por

acumulación de cualquier metal pesado en un determinado espacio de tiempo, no necesariamente llegar a cantidades tóxicas en una sola dosis.<sup>12</sup>

### 3.4.2 Metales pesados en el suelo

Respecto a los tipos de metales pesados presentes en los suelos de cultivo, se incluyen el Zn, Fe, Ni, Cu, Cr, Hg, Pb, Mn, Co, As, Mo, V y Cd.<sup>13</sup>

Los metales pesados están en el suelo como componentes naturales de este o por actividades antropogénicas, como la industria minera, que está catalogada como una de las actividades industriales más generadora de metales pesados. Así mismo, Las actividades geológicas naturales, como desgastes de cerros y volcanes, constituyen una fuente de aportaciones importante de metales pesados al suelo. Los metales pesados, pueden estar presentes como iones libres o disponibles, compuestos de sales metálicas solubles o bien, compuestos insolubles o parcialmente solubilizables como óxidos, carbonatos e hidróxidos.<sup>11</sup>

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanza niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente, así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos”.<sup>12</sup>

En el suelo, los metales pesados como iones libres pueden tener acción directa sobre los seres vivos lo que ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos –SH (sulfhidrilos) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos. La contaminación en suelos por metales pesados ocurre cuando estos son irrigados con guas procedentes de desechos de minas, aguas residuales contaminadas de parques industriales y municipales.<sup>11</sup>

La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo hacia las aguas subterráneas y difiere de, si su origen es natural o antrópico y dentro de este último al tipo de fuente antrópica.<sup>11</sup>

### 3.4.2.1 Entradas de metales pesados al suelo

La entrada de metales pesados al suelo se realiza principalmente por dos vías: <sup>14</sup>

- Aérea: aerosoles, polvo.
- Terrestre: Fertilizantes, plaguicidas, residuos sólidos etc.

Mientras las vías de salida son pérdidas a través de:

- Extracción de los vegetales.
- Lavado.
- Erosión.

### 3.4.2.2 Entrada de metales pesados al suelo por enmiendas agrícolas <sup>14</sup>

Las principales enmiendas agrícolas como fertilizantes orgánicos inorgánicos plaguicidas y aguas de riego incorporan metales pesados con frecuencia en cantidades tóxicas para los suelos agrícolas. Aun cuando la adición original no sea a concentración alta para ser inicialmente tóxico se puede llegar a toxicidad tras repetidas aplicaciones.

Fertilizantes: Los fertilizantes comerciales suelen contener impurezas derivadas de las materias primas empleadas en los procesos de fabricación.

Son los fertilizantes fosfóricos, los que mayor riesgo presentan en la incorporación al suelo de contaminantes trazas naturales debido a que se obtienen a partir de yacimientos naturales de rocas fosfóricas apatitos, que poseen una serie de elementos que pueden ser perjudiciales para la nutrición vegetal, animal y humana.

Estos contenidos varían considerablemente, dependiendo del origen y tipo de roca fosfórica, y del tratamiento dado a la misma para la obtención del fertilizante. Esto hace que elementos potencialmente tóxicos se pueden introducir en la cadena trófica, por la adición de fertilizantes fosfóricos al suelo. De los distintos metales pesados que presentan los fertilizantes fosfóricos el cadmio es el que mayor problemática presenta, y su contenido varía con, el origen de la roca fosfato y la concentración de fósforo del fertilizante.

### 3.4.3 Metales pesados en alimentos

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen en primera instancia del movimiento (movilidad de las especies) de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta.<sup>11</sup>

En plantas, el concepto de bioacumulación se refiere a la agregación de contaminantes; algunos de ellos son más susceptibles a ser fito disponibles que otros. Metales como el cadmio (Cd) y el zinc (Zn), se pueden absorber en mayor grado en plantas como rábanos y zanahorias, en las hojas de los rábanos se llegan a acumular mayores contenidos del metal, provocando en las hojas un marchitamiento y disminución en la longitud de sus raíces y de la biomasa para zanahorias se reporta en igual grado acortamiento en raíces.<sup>11</sup>

La presencia de metales pesados es importante a ser considerada en los alimentos, tanto de origen vegetal como animal. Los metales pueden acumularse en los cultivos, ya sea a través de su absorción por el agua de riego contaminada, por la tierra a través de las raíces o por la deposición en el follaje de partículas aerotransportadas.<sup>11</sup>

Según Organización Mundial de la Salud (OMS), las hortalizas ocupan un lugar importante dentro de la alimentación diaria, por el contenido de vitaminas y minerales (potasio, calcio, magnesio, cloro, hierro, cobre, manganeso y yodo).<sup>15</sup>

La presencia de metales pesados en alimentos de origen vegetal como las hortalizas, se debe por lo general al uso excesivo de agroquímicos y en algunas ocasiones por el uso de aguas residuales para su riego.<sup>15</sup>

El inadecuado uso de plaguicidas perturba los componentes del ambiente y puede ocasionar residuos de plaguicidas en las hortalizas. En este sentido la contaminación por mercurio (Hg), arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) está muy relacionado con los escenarios de cultivo; debido a esto, el consumo de verduras con metales pesados trae afectaciones sobre diferentes partes

del organismo. El consumo prolongado de verduras con concentraciones de metales pesados puede afectar la salud humana y puede ocasionar efectos adversos. <sup>15</sup>

### 3.5 Cadmio

El Cadmio es un elemento no esencial, poco abundante en la corteza terrestre y a bajas concentraciones puede ser tóxico para todos los organismos vivos, se obtiene como subproducto del procesamiento de metales pesados como el Zinc (Zn) y el Cobre (Cu). Se acumulan en el ambiente como resultado de las actividades industriales que involucran la fabricación de baterías níquel-cadmio, la quema de combustibles fósiles, la generación de polvos por el proceso de fabricación de cementos y fertilizantes fosfatados. <sup>16</sup>

#### 3.5.1 Propiedades fisicoquímicas <sup>16</sup>

El Cadmio, de símbolo Cd, elemento metálico blanco plateado y maleable. Su número atómico es 48; es uno de los elementos de transición del grupo 12 (o II b) del sistema periódico.

El elemento ocupa el lugar 65 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre en una concentración promedio de 0.1 mg/kg, su masa atómica es 112,40. Tiene un punto de fusión de 321°C, un punto de ebullición de 765°C y una densidad de 8,642 g/cm<sup>3</sup>.

Su presión de vapor es relativamente alta, por lo que pasa fácilmente al estado de vapor y se oxida rápidamente produciendo óxido de cadmio que permanece en el aire.

Su solubilidad es muy dependiente del pH, a valores de pH mayores a 7.5 el cadmio contenido en el suelo es muy poco móvil, por lo tanto, la solubilidad del CdCO<sub>3</sub> y posiblemente la del Cd<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> son las que controlan la movilidad del cadmio en el suelo; a pH 4,5 y 5,5 es más móvil.

#### 3.5.2 Fuentes y vías de exposición

El cadmio (Cd) en el medio ambiente puede provenir de fuentes naturales y antropogénicas.

##### 3.5.2.1 Fuentes naturales <sup>16</sup>

La actividad volcánica, puede aportar gran cantidad de cadmio a la atmósfera que se diseminan por la acción del viento, siendo una de las principales causas de contaminación.

Desgaste geológico. Debido a la descomposición del suelo, se encuentran en rocas combinado con otros elementos (tales como zinc, azufre).

### 3.5.2.2 Fuentes antropogénicas<sup>16</sup>

Las emisiones atmosféricas que se originan a partir de las minas metalúrgicas, ya que el cadmio se extrae como subproducto del Pb, Zn, Cu y otros metales, las incineradoras municipales, y emisiones industriales procedentes de la producción de pigmentos para cristales, anticorrosivos, baterías de Ni/Cd, e insecticidas.

Depósitos directos: El uso de fertilizantes fosfatados es la principal fuente de contaminación de Cd en suelos agrícolas. Otra fuente de Cd la constituyen los fangos procedentes de aguas residuales que se utilizan en agricultura.

Contaminación accidental: Ocurre eventualmente debido a la contaminación de tierras por procesos industriales, residuos de la minería y corrosión de estructuras galvanizadas. Un ejemplo son los vertidos de Aznalcóllar que tuvieron lugar en 1998, en la provincia de Sevilla, como consecuencia de la rotura de una balsa que contenía concentraciones elevadas de metales pesados procedentes de una mina de esta localidad.

### 3.5.3 Toxicocinética

El contenido corporal de cadmio se incrementa con la edad hasta los 50 años. En los adultos, la carga corporal de cadmio puede llegar a 40 miligramos, dependiendo de la situación geográfica y sobre todo del hábito de fumar, pues en un fumador la carga alcanza el doble.<sup>16</sup>

#### 3.5.3.1 Absorción<sup>16</sup>

La vía principal de absorción del cadmio es la respiratoria, una vez en la sangre, entre el 90% y 95% se encuentre dentro de los eritrocitos y se fija a la hemoglobina y a la metalotioneína, una proteína de bajo peso molecular rica en grupos sulfhidrilos (SH) siendo este el “medio de transporte” del cadmio en el plasma sanguíneo. Las partículas de cadmio depositadas en la nasofaringe, tráquea y bronquios son transportadas por mecanismo mucociliar a la faringe, desde donde son parcialmente ingeridas.

La absorción por el tracto gastrointestinal es de aproximadamente 50%. La dieta deficiente en Ca, Fe o proteína incrementa la velocidad de su absorción, en la sangre encontramos aproximadamente 0,06% del contenido corporal de Cd y más del 50% está en los hematíes unido inestablemente a la metalotioneína. La absorción percutánea se da por contacto con los compuestos orgánicos del cadmio.

### 3.5.3.2 Distribución

En condiciones “normales” de distribución, el cadmio absorbido se excreta principalmente por orina y en menor cantidad con la bilis, aunque pequeñas porciones puedan eliminarse con sudor, pelo y aún secreción gastrointestinal, pero el Cd que sale con heces en su mayor parte es el que no se absorbió. <sup>16</sup>

### 3.5.3.3 Metabolismo y excreción<sup>16</sup>

El complejo metalotioneína-cadmio se filtra a través de los glomérulos a la orina primaria. Al igual que en el caso de otras proteínas y aminoácidos de bajo peso molecular, las células de los túbulos proximales reabsorben el complejo metalotioneína-cadmio de la orina primaria; en estas células, las enzimas digestivas degradan las proteínas en péptidos de menor tamaño y aminoácidos.

Los iones de cadmio libres que se liberan tras la degradación de la metalotioneína inician una nueva síntesis de metalotioneína, que se une al cadmio y protege a la célula de los efectos sumamente tóxicos de los iones libres de cadmio. Se piensa que cuando se supera la capacidad de producción de metalotioneína en las células de los túbulos, se produce la insuficiencia renal.

Los riñones y el hígado presentan las concentraciones de cadmio más elevadas, puesto que contienen cerca del 50% de la carga corporal de cadmio. La concentración de cadmio en la corteza renal, antes de que se produzcan lesiones renales inducidas por este metal, es aproximadamente 15 veces superior a la concentración hepática.

El cadmio atraviesa la barrera placentaria fácilmente, induciendo allí la síntesis de metalotioneína, con la que forma el complejo cadmio-metalotioneína, que se acumula progresivamente en la placenta durante el embarazo, actuando como mecanismo protector frente al transporte de cadmio

al feto. Al término del embarazo, la concentración de cadmio en la placenta es aproximadamente 10 veces más que en la sangre materna.

El aclaramiento sanguíneo del Cd es rápido, se acumula principalmente en el riñón y en adultos no expuestos llega a valores entre 7,4 y 8,8 mg, lo que representa entre 30% y 50% de su contenido corporal. La concentración en la corteza renal es 1,5 veces mayor que la del riñón total y se fija en las células del túbulo proximal. El hígado de adultos no expuestos tiene en promedio 2,7 mg de cadmio.

La acumulación de Cd en riñón e hígado depende de la intensidad, del tiempo de exposición y del estado óptimo de la función de excreción renal. En ambos casos se ha encontrado incremento con la edad. Después de sobreexposición alcanza concentraciones elevadas en el hígado; pero con el tiempo el metal se localiza en el riñón. Se ha descrito también que las concentraciones renales de zinc se incrementan al aumentar las de cadmio y que la capacidad de almacenamiento de la corteza es limitada a 300 µg/g.

La eliminación del cadmio es muy lenta y por ello se acumula en el organismo, aumentando su concentración con la edad y el tiempo de exposición. Tomando como base la concentración en un mismo órgano a diferentes edades, se ha calculado que la semivida biológica del cadmio en el hombre oscila entre 7 y 30 años.

El cadmio tiene una semivida de eliminación muy larga, unos 15 años. La mayor parte se deposita en el hígado y en los riñones, y se elimina esencialmente por la vía renal, intestinal y por las faneras.

#### 3.5.4 Toxicodinámica <sup>16</sup>

Los metales por su gran afinidad a grupos amino y sulfhídricos reaccionan con estos formando complejos que van a afectar el control de las reacciones metabólicas, por inhibición de las actividades enzimáticas.

El cadmio inhibe a los grupos SH que intervienen en la mayoría de los procesos enzimáticos de nuestro organismo. Es sesenta veces más tóxica la forma inhalada que la ingerida. Los órganos diana son el riñón y pulmón.

El riñón es más sensible al cadmio, su deterioro se pone de manifiesto por el incremento de proteínas de peso molecular bajo, lo que causa “proteinuria de peso molecular bajo”. Hay alteración de la filtración glomerular, por cambios en la restricción electrostática para la filtración de las proteínas poli aniónicas, disminuyendo su reabsorción y conduce a incrementar la excreción urinaria de proteínas de peso molecular alto, originando “proteinuria de peso molecular alto”.

El daño severo al riñón puede elevar la excreción urinaria de proteínas totales hasta diez veces y las de bajo peso molecular hasta en cien veces. Produce descalcificación debido a que actúa a nivel de la sangre produciendo una eliminación de calcio muy alta que junto a la reabsorción renal disminuida dan lugar a la descalcificación.

Se ha descrito alteraciones en la actividad enzimática de la carboxipeptidasa en competencia con el zinc o interferencias en la absorción del hierro de los alimentos que se manifiestan por una disminución en los niveles de hemoglobina que tienen carácter reversible.

### 3.5.5 Mecanismo de acción <sup>16</sup>

Las principales interacciones del Cd son:

Unión fuerte del Cd a los grupos sulfidrilos (SH) libres de la metalotioneina, proteína de bajo peso molecular, cuya función es la protección del sistema enzimático celular; inhibiendo a las enzimas que poseen estos grupos, cuando esta microproteína se sintetiza en las células, las protege de la toxicidad del cadmio, pues inactiva el metal, la escasa capacidad del riñón para sintetizarla, lo hace insuficiente para fijar el cadmio y da lugar a aparición de las manifestaciones tóxicas.

Desplazamiento del Zn de los enlaces -S-, y la consiguiente alteración enzimática y de sus procesos bioquímicos, que se refleja en su deficiencia relativa.

Afinidad por radicales de los grupos -OH, carboxilo, fosfatil, cisteinil e histidil, y el desplazamiento de Cu, Fe y Ca de sus sitios de unión a enzimas por acción competitiva alterando diversas rutas bioquímicas.

### 3.5.6 Manifestaciones clínicas <sup>16</sup>

#### 3.5.6.1 Intoxicación aguda <sup>16</sup>

La ingesta oral ocasiona náuseas, vómitos, diarreas, y dolores abdominales y cefalea. En muchos casos hay diarrea intensa con colapso.

La absorción por vía respiratoria puede producir desde un cuadro de hipertermia, ("fiebre de los metales") hasta una neumonitis química y un edema agudo de pulmón, que incluso puede ser mortal.

#### 3.5.6.2 Intoxicación crónica <sup>16</sup>

Se describe el desarrollo de la intoxicación en tres fases:

En la primera fase, el cadmio que ingresa al organismo se acumula en la corteza renal y se liga a la metalotioneína. Si la ligazón cadmio-metalotioneína no se satura, la eliminación de cadmio urinario está en relación directa a la cantidad acumulada en la corteza renal.

En exposiciones prolongadas, una segunda fase resulta en saturación de los sitios de unión cadmio-metalotioneína y, por tanto, el incremento del cadmio urinario en esta fase reflejará carga corporal.

Una tercera fase se caracteriza por disfunción renal, en la que excreción de cadmio está directamente relacionada al daño renal.

Otros efectos sobre la salud pueden ser: fractura de huesos, fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad, daño al sistema nervioso central, daño al sistema inmune, desordenes psicológicos, posible daño al ADN (Ácido desoxirribonucleico) o desarrollo de cáncer. La agencia internacional de investigaciones sobre el cáncer (IARC) clasifico a los compuestos de Cd como carcinógenos humanos.

También es considerado un disruptor endocrino debido a su capacidad de unirse a los receptores celulares estrogénicos y mimetizar las acciones de los estrógenos y además existe evidencia de que la exposición a Cd puede conducir al desarrollo de cáncer de próstata y mama.

Puede ocasionar pigmentación amarilla del esmalte en forma de anillos semiconcéntricos, alteraciones respiratorias en forma de rinitis, anosmia, bronquitis y enfisema.

La nefropatía cádmica se caracteriza por una tubulopatía proximal con una proteinuria anómala. La aparición de la proteinuria cádmica está generalmente asociada a cadmiurias que sobrepasan los 10  $\mu\text{g/g}$  de creatinina. También se pueden asociar alteraciones glomerulares. Se considera al cadmio como un cancerígeno de pulmón y de próstata. La presencia de cadmio en los huesos constituye un factor de riesgo en el desarrollo de la osteoporosis, bajos niveles de exposición se asocian a una menor densidad mineral ósea.

### **3.6 Fundamento del método (horno de grafito)**

La espectroscopia de absorción atómica se basa en el mismo principio de atomización directa a la llama, con la diferencia de que en este caso se emplea un atomizador calentado eléctricamente o un horno de grafito en lugar de una cabeza de quemador estándar. Se introduce un volumen adecuado de muestra en el tubo de muestras de grafito (o cubilete).<sup>17</sup>

Normalmente, la determinación se realiza por calentamiento de la muestra en tres o más etapas. Primero, una corriente de baja intensidad calienta el tubo para secar la muestra. En la segunda etapa, o carbonización, se destruye la materia orgánica y se volatilizan otros componentes de la matriz a una temperatura intermedia. Por último, una corriente de elevada intensidad calienta el tubo hasta la incandescencia y atomiza el elemento cuya concentración se determina en una atmósfera inerte.<sup>17</sup>

El vapor atómico elemental resultante absorbe la radiación monocromática de la fuente. Un detector fotoeléctrico mide la intensidad de la radiación transmitida, que es inversamente proporcional a la cantidad de átomos elementales en el trayecto óptico en un intervalo limitado.<sup>17</sup>

### **3.7 Codex Alimentarius**

El Codex Alimentarius es un conjunto de Normas alimentarias adoptadas internacionalmente y presentadas de manera uniforme. Los objetivos de la publicación de estas normas consisten en proteger la salud del consumidor y facilitar el comercio internacional de alimentos. La publicación

del Codex Alimentarius apunta a orientar y alentar la producción, elaboración y consumo de alimentos seguros.<sup>18</sup>

La comisión del Codex Alimentarius (CCA) fue creada en 1963, durante la Conferencia Mundial de la Salud, organizada por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) y por la OMS (Organización Mundial de la Salud). Desde entonces, su objetivo ha sido desarrollar un programa conjunto FAO/OMS relacionado con las normas alimentarias.<sup>18</sup>

Los integrantes de la Comisión del Codex Alimentarius son los Estados miembros de la ONU (Organización de las Naciones Unidas), además de asociaciones internacionales, representantes de consumidores y otras instituciones que manifestaron interés en participar del grupo.<sup>18</sup>

En la actualidad, la Comisión tiene más de 153 Estados miembros, que representan aproximadamente el 97% de la población mundial. Entre estos, 36 son países latinoamericanos. A pesar de ser el Codex una organización de países, las organizaciones de industrias y consumidores son alentadas a participar para permitir la estandarización entre sectores.<sup>18</sup>

El Codex Alimentarius contiene normas sobre todos los alimentos principales, ya sean elaborados, semielaborados o crudos, destinados a su distribución al consumidor. Deberán incluirse también todas las materias que se utilizan en la elaboración ulterior de los alimentos en la medida necesaria para lograr los fines definidos del Codex Alimentarius.<sup>19</sup>

El Codex Alimentarius contiene disposiciones sobre higiene de los alimentos, aditivos alimentarios, residuos de plaguicidas y de medicamentos veterinarios, contaminantes, etiquetado y presentación, métodos de análisis y muestreo, e inspección y certificación de importaciones y exportaciones.<sup>19</sup>

### 3.7.1 Norma general del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos

#### 3.7.1.1 Ámbito de aplicación <sup>20</sup>

La presente Norma contiene los principios recomendados por el Codex Alimentarius en relación con los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos; se indican también los niveles máximos y planes de muestreo relacionados de los contaminantes y las sustancias tóxicas naturales que se encuentran en los alimentos y piensos que, por recomendación de la Comisión del Codex, deben aplicarse a los productos que circulan en el comercio internacional.

Esta norma comprende niveles máximos de contaminantes y sustancias tóxicas naturales que hay en los piensos cuando el contaminante en los piensos puede transferirse al alimento de origen animal y que pueden ser pertinentes para la salud pública.

#### 3.7.1.2 Definición de los términos <sup>20</sup>

Contaminante: En el Codex Alimentarius un contaminante se define como sigue:

Cualquier sustancia no añadida intencionalmente al alimento, que está presente en dicho alimento como resultado de la producción (incluidas las operaciones realizadas en agricultura, zootecnia y medicina veterinaria), fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento de dicho alimento o como resultado de contaminación ambiental.

IMDTP (Ingesta máxima diaria tolerable provisional): Resultado toxicológico utilizado para los contaminantes que no tienen propiedades acumulativas. Su valor representa la exposición humana permisible a consecuencia de la presencia natural de la sustancia en el alimento y en el agua para beber. En el caso de los oligoelementos que son nutrientes esenciales y también elementos inevitables del alimento, se expresa un margen cuyo valor más bajo se refiere al límite esencial y el más alto representa la IMDTP.

ISTP (Ingesta semanal tolerable provisional): Resultado toxicológico utilizado para los contaminantes de los alimentos, como los metales pesados, que tienen propiedades acumulativas. Su valor representa la exposición humana semanal permisible a esos contaminantes, asociados de manera inevitable con el consumo de alimentos por lo demás sanos y nutritivos.

IMTP (Ingesta mensual tolerable provisional): Resultado toxicológico utilizado para los contaminantes que tienen propiedades acumulativas cuya vida media en el cuerpo humano es muy prolongada. Su valor representa la exposición humana mensual permisible a un contaminante asociado de manera inevitable con el consumo de alimentos por lo demás sanos y nutritivos.

### 3.8 Límites de cadmio

**Tabla N°5.** Límite máximo de cadmio permitido según Codex Alimentarius.

Alimento	Metal tóxico	Límites máximos (mg/Kg)
Hortalizas de hojas	Cadmio	0,2
Hortalizas de tallo y raíz		0,1

Fuente: Elaboración propia basada en <sup>20</sup>

## **CAPITULO IV**

## 4.0 PRODUCTO FINAL

Determinación de cadmio en legumbres: lechuga (*Lactuca sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*) por método de Espectrometría de absorción atómica por horno de grafito.

### 4.1 Introducción

El término hortalizas es usado para referirse a un grupo bastante numeroso de plantas cultivadas de características muy variables entre ellas. La diversidad existente en el grupo hace difícil una definición clara, exacta, e integradora del término. Las hortalizas son plantas herbáceas, de ciclo anual o bienal, excepcionalmente perenne, de prácticas agronómicas intensivas, cuyos productos son usados en la alimentación humana al estado natural o procesados y presentan un alto contenido de agua (mayor a 70%), un bajo contenido energético y una corta vida útil en postcosecha (variable desde unos pocos días a un año como máximo).

Las hortalizas en general constituyen cultivos altamente rentables, no requieren de gran extensión de terreno ni tampoco de fuertes inversiones; poseen un período vegetativo relativamente corto y gran aceptación en el mercado. Adicionalmente, mejoran el uso del suelo debido a que está siempre en constante actividad, siendo así su explotación muy atractiva.

El Cd tiene una alta movilidad planta suelo y se acumula fácilmente en los tejidos vegetales. La alta acumulación de Cd en diferentes tejidos de los cultivos, especialmente en los tejidos comestibles, reduce el crecimiento y la calidad de los cultivos y representa un peligro para los organismos que se alimentan de dichos cultivos. Los seres humanos son las primeras víctimas de la toxicidad del Cd porque se encuentran en la cima de la cadena alimentaria.

Los metales pesados, como el cadmio, tienen una toxicidad elevada y gran capacidad de acumulación, produciendo enfermedades renales entre otras y es por todos los efectos dañinos para la salud de los seres vivos la importancia de dicho elemento, su cuantificación mediante el análisis químico por espectrometría de absorción atómica con horno de grafito, debe garantizar la confiabilidad de los resultados producidos; sobre todo cuando se espera que la concentración de dichos metales pesados en alimentos esté a nivel de trazas.

## 4.2 Objetivos

- 4.2.1 Determinar Cadmio en lechuga y rábano por espectrometría de absorción atómica.
- 4.2.2 Calcular la concentración de Cadmio en ppm utilizando el método de cuantificación por curva de calibración.
- 4.2.3 Dictaminar si el resultado obtenido cumple la especificación del Codex alimentarius para este tipo de vegetales.

## 4.3 Tipo de estudio

Transversal: Se realizará la toma de muestra en un periodo de tiempo determinado.

Experimental: Se realizarán los análisis para determinación de cadmio tanto en lechuga como en rábano en los laboratorios de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.

Prospectivo: Los resultados obtenidos en esta investigación en cuanto a la determinación de cadmio en muestras vegetales de lechuga y rábano servirán como precedente para próximos estudios.

## 4.4 Método de análisis

Espectrometría de absorción atómica (EAA)

La absorción atómica, como técnica analítica, ha experimentado un desarrollo continuo en las últimas décadas, adaptándose para abordar las crecientes demandas y desafíos en el ámbito del análisis de alimentos. Esta evolución constante asegura que la absorción atómica siga siendo una herramienta relevante y efectiva, proporcionando resultados precisos y confiables. <sup>1</sup>

El empleo de la espectrofotometría de absorción atómica es el método analítico de elección para el análisis de trazas de metales pesados y metaloides en diversas matrices (fluidos biológicos, alimentos, filtros de captación ambiental entre otros). Esta técnica, por tanto, permitirá valorar el grado de contaminación medioambiental y la exposición a determinados tóxicos industriales. <sup>2</sup>

### 4.4.1 Fundamento <sup>2</sup>

Al suministrar una determinada cantidad de energía a un átomo cualquiera en estado fundamental ( $E_0$ ), ésta es absorbida por el átomo de tal forma que se incrementará el radio de giro de sus electrones de la capa externa llevando al átomo a un nuevo estado energético ( $E_1$ ) que llamamos excitado. Cuando éste vuelve a su estado fundamental, cede una cantidad de energía

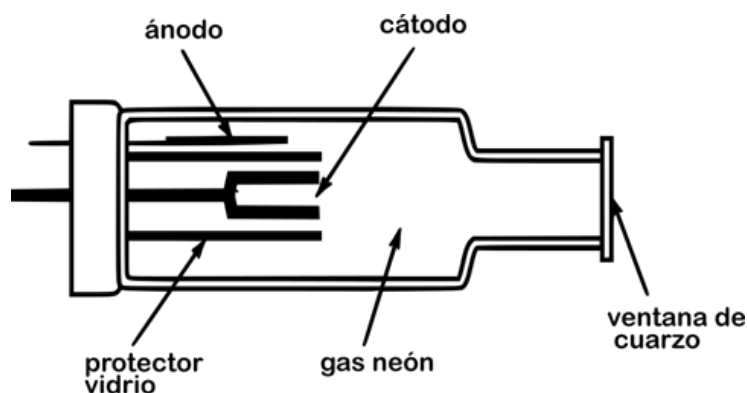
cuantitativamente idéntica a su energía de excitación, emitiendo radiaciones a longitudes de onda determinadas.

Cuando los átomos en estado fundamental se encuentran con las mismas radiaciones que ellos mismos son capaces de emitir, se produce una absorción de estas, desplazándose el equilibrio hacia la izquierda y pasando los átomos del estado fundamental al excitado. El fenómeno de absorción de radiaciones a determinadas longitudes de onda en el caso particular en que el medio absorbente sean los átomos en estado fundamental se conoce como Espectroscopía de Absorción Atómica.

En EAA se emplean lámparas específicas dependiendo del elemento que se va a determinar. Estas son capaces de emitir una línea atómica característica. Existen dos tipos fundamentales: lámparas de cátodo hueco (LCH) y lámparas de descarga sin electrodos (EDL).

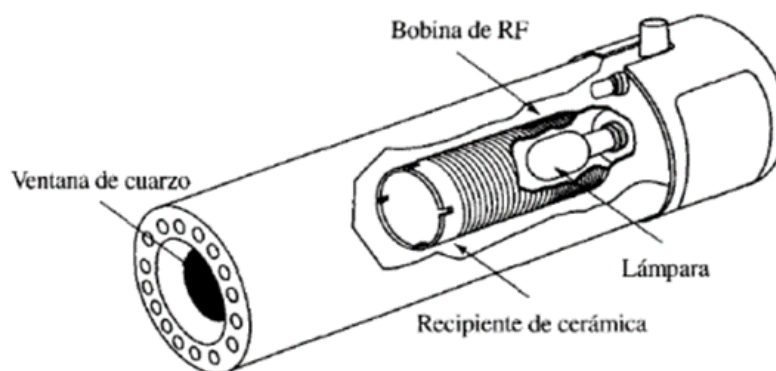
En las lámparas de cátodo hueco (LCH), el ánodo y el cátodo se encuentran en un cilindro de vidrio sellado y lleno de neón o argón. El extremo del cilindro está compuesto de una ventana de cuarzo, transparente a la radiación emitida (Ver figura N°3). Cuando se aplica una diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo (constituido por el elemento que queremos determinar), algunos de los átomos del gas de relleno se ionizan.

Los iones cargados positivamente se aceleran a través del campo eléctrico y colisionan con el cátodo cargado negativamente, desalojando átomos metálicos individuales del mismo. Los átomos de metal desalojados son entonces excitados para la emisión por los impactos subsiguientes que tienen con más iones del gas de relleno.



**Figura N°3.** Lámpara de cátodo hueco <sup>2</sup>

En las lámparas de descarga sin electrodos (EDL), una pequeña cantidad del elemento o sal de este se encuentra sellada en el interior de un bulbo de cuarzo colocado dentro de un cilindro cerámico sobre el que se enrolla la antena de un generador de radiofrecuencia. (Ver figura N°4). Cuando se aplica un campo de radiofrecuencia, la energía asociada a él hará que se vaporicen y exciten los átomos en el interior del bulbo, emitiendo su espectro característico.



**Figura N°4.** Lámpara de descarga sin electrodos <sup>2</sup>

La Espectrometría con Horno de Grafito, es una de las formas de EAA de mayor sensibilidad (permite detectar concentraciones hasta 1000 veces inferiores que las detectables con llama), siendo por tanto muy útil en el análisis de ultra-trazas. Otra gran ventaja es que se requiere muy poca cantidad de muestra (pocos microlitros, normalmente).

La energía requerida para la atomización es obtenida aplicando una diferencia de potencial eléctrico a través de un tubo de grafito dentro del cual ha sido colocada la muestra. El tubo está alineado con la luz procedente de la lámpara espectral. Así, el vapor atómico generado por la muestra cuando el horno está encendido absorberá luz proveniente de la lámpara del elemento a determinar. En este caso, la señal de absorción es transitoria, en forma de pico, de tal modo que se eleva la concentración y posteriormente cae a medida que los átomos difunden fuera del horno. En el proceso de atomización existen 4 etapas esenciales:

- Secado: permite eliminar el disolvente o diluyente
- Mineralización o Calcinación: destruye la matriz orgánica
- Atomización: consigue llevar los átomos al estado fundamental

- Barrido o limpieza: elimina los restos que puedan quedar en el tubo.

#### **4.5 Información de la muestra**

Muestreo: Recolectar muestras vegetales de lechuga (*Lactuca sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*) en mercados locales. Al recolectar la muestra clasificar por tamaño, color visualmente uniforme y ausencia de daños fisiológicos y mecánicos en hojas, tallo y en el tubérculo en caso de rábano.

Se deben colocar en bolsas de polietileno inerte con cierre hermético, se rotulan mediante un código indicando el lugar de procedencia y ubicación, luego se almacena en una hielera para su conservación.

Las muestras deben manejarse y transportarse de tal manera que se garantice su integridad, evitando exponer el producto a la luz solar directa. Es sumamente importante evitar que durante el transporte de las muestras se produzca la multiplicación de los microorganismos presentes y/o el deterioro de las hortalizas. Las muestras deben entregarse al laboratorio lo más rápidamente posible. Los alimentos o muestras vegetales deberán transportarse entre 2 y 8°C; y deben mantenerse a esa temperatura hasta el momento de realizar los ensayos, los cuales deben iniciarse dentro de las 24 horas siguientes a su recolección.<sup>5</sup>

Las muestras recolectadas se llevan al laboratorio de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador para su posterior análisis.

#### **4.6 Reactivos, materiales y equipos**

##### **4.6.1 Reactivos**

Estándar certificado de cadmio de 1000 mg/L

Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), concentrado, con contenido de  $0,07 \times 10^{-1}$  µg/L de cadmio, para preparación de estándares y para la digestión de la muestra.

Agua desionizada.

##### **4.6.2 Materiales**

Balón volumétrico de 10.0mL

Balón Volumétrico de 50.0mL

Balón Volumétrico de 25.0mL

Micropipeta de 500-5000  $\mu$ l (0,5 a 5ml)

Probetas de 10.0 mL.

Vasos de precipitado de 100.0 mL.

Filtros Whatman N° 40.

Vidrio de reloj

Guantes.

Mascarilla

#### 4.6.3 Equipo

- Espectrómetros de Absorción atómica-Horno de Grafito
- Hot-Plate
- Campana Extractora
- Agitador Vórtex

### 4.7 Procedimiento

#### 4.7.1 Preparación de curva de calibración

Preparar una solución patrón de 100 ppm de Cadmio de la siguiente manera.

- Medir 1000 $\mu$ L de solución estándar de 1000 ppm y llevar a volumen de 10mL con HNO<sub>3</sub> 2%.
- Agitar en Vórtex a 2500 rpm por 30 segundos.

Preparar una solución patrón de 10 ppm de cadmio de la siguiente manera.

- Medir 1000 $\mu$ L de solución estándar de 100 ppm y llevar a volumen de 10mL con HNO<sub>3</sub> 2%.
- Agitar en Vórtex a 2500 rpm por 30 segundos.

Preparar una solución patrón de 1 ppm de Cadmio de la siguiente manera.

- Medir 1000 $\mu$ L de solución estándar de 10 ppm y llevar a volumen de 10mL con HNO<sub>3</sub> 2%.
- Agitar en Vórtex a 2500 rpm por 30 segundos.

**Tabla N°6.** Preparación de curva de calibración para cadmio en lechuga

Elemento	Concentración Inicial (ppm)	Alícuota Concentración Inicial ( $\mu$ L)	Volumen Final (mL)	Concentración Final (ppm)
Cadmio	1	2500	50	0.05
	1	5000		0.1
	10	1000		0.2
	10	2000		0.4
	10	3000		0.6

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°7.** Preparación de curva de calibración para cadmio en rábano

Elemento	Concentración Inicial (ppm)	Alícuota Concentración Inicial ( $\mu$ L)	Volumen Final (mL)	Concentración Final (ppm)
Cadmio	1	1250	50	0.025
	1	2500		0.05
	10	500		0.1
	10	1250		0.25
	10	2500		0.50

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.2 Preparación de muestras

- Se toma la muestra de hojas de lechuga y un corte fino de rábano, cada muestra por separado.
- Las hojas de lechuga se lavan cuidadosamente con agua desionizada hasta eliminar los residuos externos, de igual manera se lava con cuidado el rábano asegurándose de no dejar residuos de tierra.
- Para cada muestra aproximadamente se pesa 0,5 g de muestra fresca.
- Se lleva a un volumen final de 25 mL con agua desionizada en un balón volumétrico.

- Las muestras se llevan a digestión en un vaso de precipitado de 100 mL agregando con una pipeta volumétrica 10 mL de Ácido Nítrico concentrado.
- Se calienta hasta la eliminación de vapores nitrosos y se afora en un balón volumétrico de 25 mL con agua desionizada, la cantidad de agua es variable dependiendo de la vaporización de la muestra.
- Se realiza el filtrado de solución utilizando filtros Whatman N° 40.
- Lectura de la muestra en el equipo

#### 4.8 Cálculos

El software del equipo con el que se trabaje realiza automáticamente los cálculos correspondientes, determinando la concentración de Cadmio presente en las muestras y el RSD entre las repeticiones de lectura que realicemos para cada muestra.

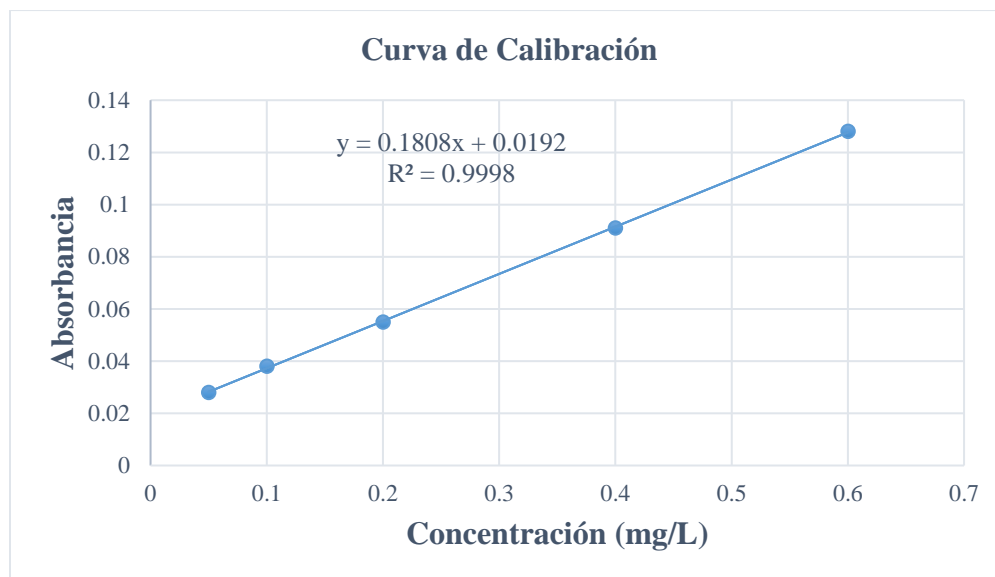
Para verificar los resultados de las concentraciones que nos da el equipo se realiza el cálculo de la siguiente manera:

- Se resuelve por medio del método matemático, ecuación de la recta  $y = mx + b$ .
- El eje “x” siempre va a ser la unidad de concentración.
- El eje “y” siempre es la señal analítica, para este caso la absorbancia que nos dará el equipo.
- El coeficiente de correlación lineal (r) debe estar en un rango de 0.995 a 1 para garantizar un análisis confiable.
- A manera de ejemplo se trabajará con los valores de la tabla N°8, la figura N°5 y la absorbancia de muestra de 0.032.

**Tabla N° 8.** Ejemplo de datos de curva de calibración de cadmio

Concentración (ppm)	Absorbancia
0.05	0.028
0.1	0.038
0.2	0.055
0.4	0.091
0.6	0.128

Fuente: Elaboración propia



**Figura N° 5.** Ejemplo de gráfica de curva de calibración de cadmio.

Fuente: Elaboración propia

- Con la ecuación de la recta que nos presenta la curva es:  $y = 0.1808x + 0.0192$ ,
- de esta ecuación vamos a despejar a “x” que representa la concentración de la muestra y el valor de absorbancia de 0.032 representa a “y”.
- Entonces despejando:  $x = \frac{y-b}{m}$
- Sustituyendo:
- $x = \frac{0.032 - 0.0192}{0.1808} = 0.0708 \text{ mg/L}$
- Para calcular la concentración de la muestra en mg/Kg
- $x = 0.0708 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \text{FD muestra}$
- $x = 0.0708 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.025\text{L}$
- $x = 0.00177 \text{ mg de Cadmio}$
- $x = \frac{0.00177\text{mg}}{0.5\text{g de muestra}} \times \frac{1000\text{g}}{1\text{kg}} = 3.54 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}$

De esta manera se calcula de concentración de cada muestra analizada.

## **4.9 Normativas nacionales e internacionales para interpretar datos**

### 4.9.1 Normas Alimentarias y Codex Alimentarius

Cuando se trata de las normas alimentarias, debemos seguir regulaciones oficiales o, en su defecto, las normas internacionales. El Codex Alimentarius es el corazón del programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias. Fue creado por la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS) con el objetivo de proteger la salud de los consumidores y promover prácticas justas en el comercio de alimentos. El cuál será guía para la interpretación de los datos obtenidos, los límites establecidos por esta norma son los siguientes:

- Hortalizas hojas el límite máximo de Cd es 0.2mg/Kg
- Hortalizas de tallo y raíz el límite máximo de Cd es 0.1mg/Kg

#### 4.10 Referencias bibliográficas

- 1- Solinsa, ¿Conoces las aplicaciones de una absorción atómica en el análisis de alimentos? [Internet]. Solinsa.mx. [consultado el 10 de junio de 2024]. Disponible en:  
<https://www.solinsa.mx/conoces-las-aplicaciones-de-una-absorcion-atmica-en-el-analisis-de-alimentos>
- 2- Determinación de Metales por absorción atómica - Horno de Grafito [Internet]. Ugr.es. [cited 2024 Jun 10]. Available from: <https://www.ugr.es/~fgil/proyecto/grafito/index.html>
- 3- De La Vega. Analítica Experimental I., Profr Joaquín Preza. Facultad De Química [Internet]. Unam.mx. [cited 2024 Jun 1]. Available from:  
<http://paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/5404/Asignaturas/1843/Archivo1.4383.pdf>
- 4- Gómez V. Curvas de calibrado [Internet]. SlideShare. [cited 2024 Jun 11]. Available from:  
<https://es.slideshare.net/slideshow/curvas-de-calibrado/40722170>
- 5- Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación (FAO). (s/f). Proyecto TCP/RLA/3013 (A) Desarrollo De Un Sistema Integral De Aseguramiento De La Calidad Para Laboratorios De Análisis De Alimentos En América Del Sur Proyecto TCP/RLA/3014 (A) Desarrollo De Un Sistema Integral De Aseguramiento De La Calidad Para Laboratorios De Análisis De Alimentos En América Central, Cuba, México, Panamá Y República Dominicana:  
[https://www.academia.edu/24018626/Guia\\_para\\_muestreo\\_de\\_alimentos\\_FAO](https://www.academia.edu/24018626/Guia_para_muestreo_de_alimentos_FAO)

## **CAPITULO V**

## 5.0 CONCLUSIONES

1. Se profundizó en los principios básicos de la espectrometría de absorción atómica, técnica analítica fundamental para la cuantificación de elementos en trazas como el cadmio.
2. Se desarrolló un procedimiento detallado para la toma, preparación y análisis de muestras, garantizando la representatividad y la fiabilidad de los resultados obtenidos.
3. La determinación de cadmio requerirá el uso de un conjunto de elementos, incluyendo un espectrómetro de absorción atómica con horno de grafito, la preparación de muestras representativas y un software de control y adquisición de datos, la combinación de estos elementos permitirá llevar a cabo un análisis preciso y confiable.
4. El trabajo de investigación ha permitido conocer más sobre el método de espectrometría de absorción atómica y se confirma que puede ser un método rápido, eficaz y seguro para detectar metales en muestras ambientales, aguas, suelos, aire, así como muestras minerales, alimentos y productos químicos.
5. Este estudio ha proporcionado información valiosa sobre los niveles de cadmio en lechuga y rábano, contribuyendo a la evaluación de la calidad y seguridad de estos alimentos. Los resultados que se obtengan al aplicar la técnica propuesta servirían como referencia para futuras investigaciones y para la implementación de medidas de control y prevención de la contaminación por metales pesados en la cadena alimentaria.

## **CAPITULO VI**

## **6.0 RECOMENDACIONES**

- 1.0 A la Facultad de Química y Farmacia para ampliar contenidos relativos a la espectrometría de absorción atómica de manera que se puedan llevar a cabo prácticas en las que se permita el uso del quipo a los estudiantes.
  
- 2.0 Al Ministerio de Salud y la Dirección de Salud Ambiental deben asegurar que se cumplan las normativas de Buenas prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas prácticas de Manufactura (BPM) en donde se establecen lineamientos de sanidad para que los comerciantes de legumbres cumplan y garanticen la seguridad alimentaria de las personas que consumirán sus productos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Saabvedra G, Coradini F, Artúnez A, Feler S, Estay P, Sepúlveda P. Manual de producción de Lechuga. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile, 2017. Disponible en: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/e96ddc42-19df-4be3-85cc-ae0f6b0c3dcc/content>
2. Villavicencio R. Efecto de dos soluciones nutritivas de origen orgánico (Lombricompost y Bokashi) sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. longifolia) en hidroponía. [Guatemala]: Universidad Rafael Landívar Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas Campus Central; 2007.
3. López Linares B. G.; Lemus O. A.; Evaluación De La Calidad Microbiológica De Hortalizas Producidas Bajo Manejo Orgánico En Tres Sistemas Agroecológicos. [San Salvador, El Salvador, Centroamérica]: Universidad De El Salvador; 2023.
4. Hernán Boris V. Z., Vega G. A. Evaluación del efecto de macronutrientes de orina humana como fertilizante en el cultivo de *Lactuca Sativa*. Revista Boliviana de Química. Bolivia Journal of Chemistry. 2016. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v33n1/v33n1\\_a03.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v33n1/v33n1_a03.pdf)
5. Ventura M. Determinación de metales pesados (plomo y cadmio) en lechuga (*Lactuca sativa*) en mercados del Cono Norte, Centro y Cono Sur de Lima Metropolitana. [Lima, Perú]: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2017.
6. Integra regmurcia digital., Rábano, historias, características y gastronomía. Citio Web, Hortalizas y verduras. Disponible en: <https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,543,m,2714&r=ReP-20526>
7. Guía técnica para el cultivo de rábano. Slideshare. Compartir diapositivas. 2016. Disponible en: <https://es.slideshare.net/pgc92/guia-tecnica-para-el-cultivo-de-rbano>

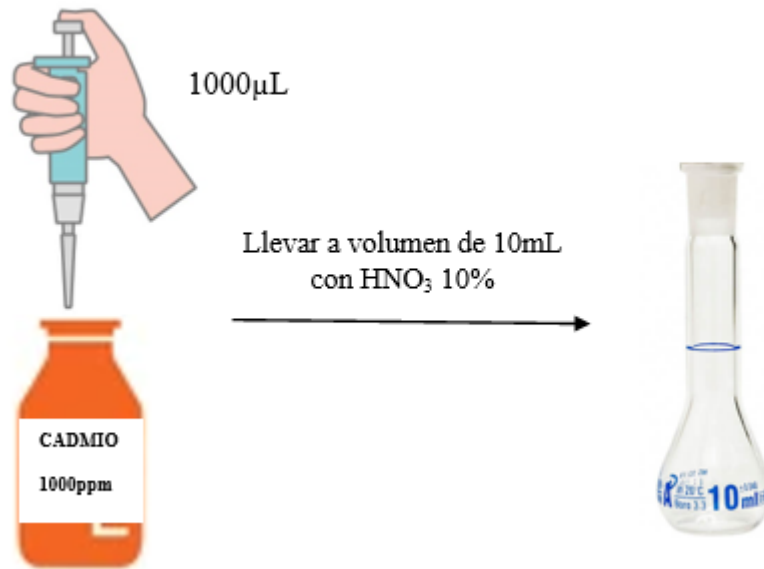
8. Gandhi L, Cristián E. Evaluación de tres fertilizantes orgánicos en el crecimiento y rendimiento del cultivo de Rábano (*Raphanus sativus* L.) en el Centro Experimental Las Mercedes UNA, 2020 [Internet]. [Managua, Nicaragua]: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE AGRONOMÍA; 2020. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/4213/1/tnf041864t.pdf>
9. Flores M. *Raphanus sativus* (Rábano). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador 2014. Disponible en: <https://es.slideshare.net/majofsdcr/raphanus-sativus-rbano>
10. Zabala J. A. Principales Zonas y Cultivos de Hortalizas en El Salvador. Scribd. El Salvador 2016. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/299306905/Principales-Zonas-y-Cultivos-de-Hortalizas-en-El-Salvador>
11. Prieto M. J., César A., González R., Alma D. Román Gutiérrez, Prieto G. F. Contaminación Y Fitotoxicidad En Plantas Por Metales Pesados Provenientes de Suelos y agua, agroecosistemas Tropicales y Subtropicales. Disponible En: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=9391124300>
12. Samudio Oggero A, Nakayama H, Avalos CR, Cantero I, Benitez JV, Ayala J, Elkhilili R, Peralta I. Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por *Typha domingensis*. Rev. Soc. cient. Py. [Internet]. 30 de noviembre de 2021 [citado 20 de julio de 2024];26(2):100-13. Disponible en: <https://sociedadcientifica.org.py/ojs/index.php/rscopy/article/view/208>
13. González Beltrán L. E., Recinos Pacheco J. M., Determinación De La Concentración De Plomo Y Arsénico En Agua Para Consumo Animal Y En Leche Cruda En Cuatro Ganaderías De El Salvador. [San Salvador, El Salvador, Centroamérica]: Universidad De El Salvador Facultad De Química Y Farmacia; 2015.

14. Juárez Sanz M., Sánchez Andreu J., Sánchez A. S., Química del suelo y medio ambiente. Universidad de Alicante; 2006.
15. Tolama H. R. J., Concentración De Metales Pesados En Hortalizas De La Localidad De Atlixco Y Su Posible Riesgo En La Salud Humana. Benemérita Universidad Autónoma De Puebla; 2017
16. Madueño F. Determinación de metales pesados (plomo y cadmio) en lechuga (*Lactuca sativa*) en mercados del Cono Norte, Centro y Cono Sur de Lima Metropolitana [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Escuela Profesional de Toxicología; 2017
17. Alva G., Evaluación De Metales Pesados En Hortalizas De Dos Procedencias Comercializadas En El Mercado Modelo De Chachapoyas, Amazonas, 2. [Chachapoyas – Perú]: Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza De Amazonas; 2021.
18. CODEX Alimentarius. Organización Mundial de la salud. Disponible en: <https://www3.paho.org/hq/dmdocuments/2015/cha-codex-alimentario.pdf>
19. Codex Alimentarius Normas Internacionales de los Alimentos. Acerca del Codex. Disponible en: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/about-codex/es/>
20. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Organización Mundial de la Salud. Codex Alimentarius. Norma general del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. CODEX STAN 193-1995. Modificado en 2016; 34-35. Disponible en: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy>

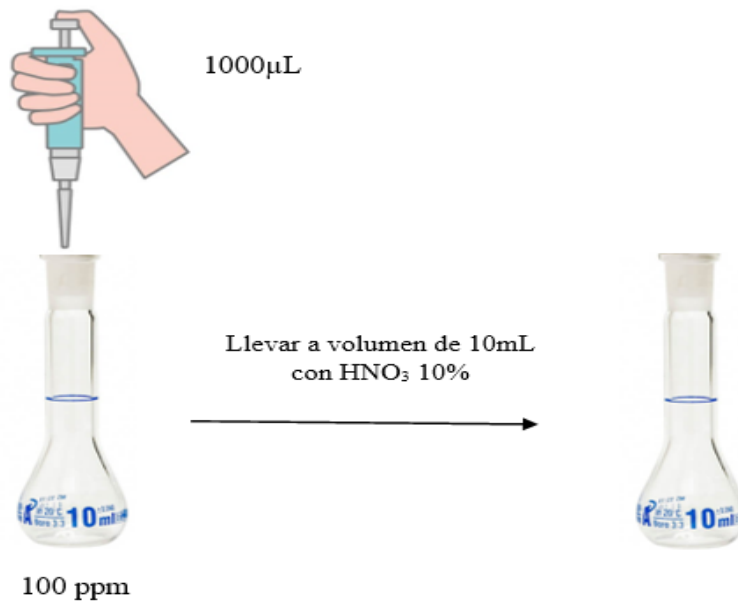
## **ANEXOS**

**ANEXO N°1. ESQUEMAS DE PREPARACIÓN DE SOLUCIONES PATRÓN DEL  
ESTÁNDAR DE CADMIO**

Preparar una solución patrón de 100ppm de Cadmio de la siguiente manera:

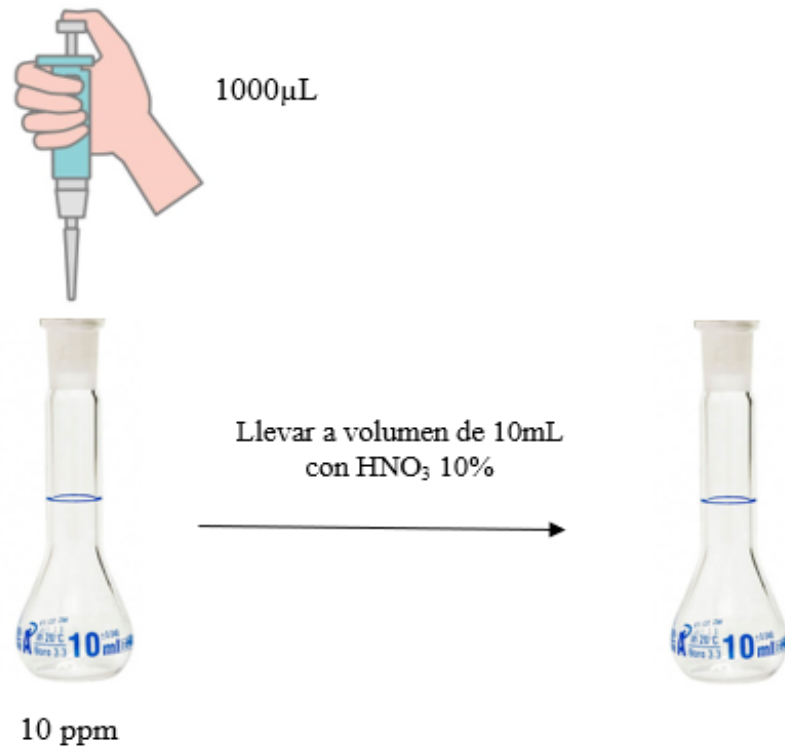


Preparar una solución patrón de 10ppm de Cadmio de la siguiente manera:



Fuente: Elaboración propia

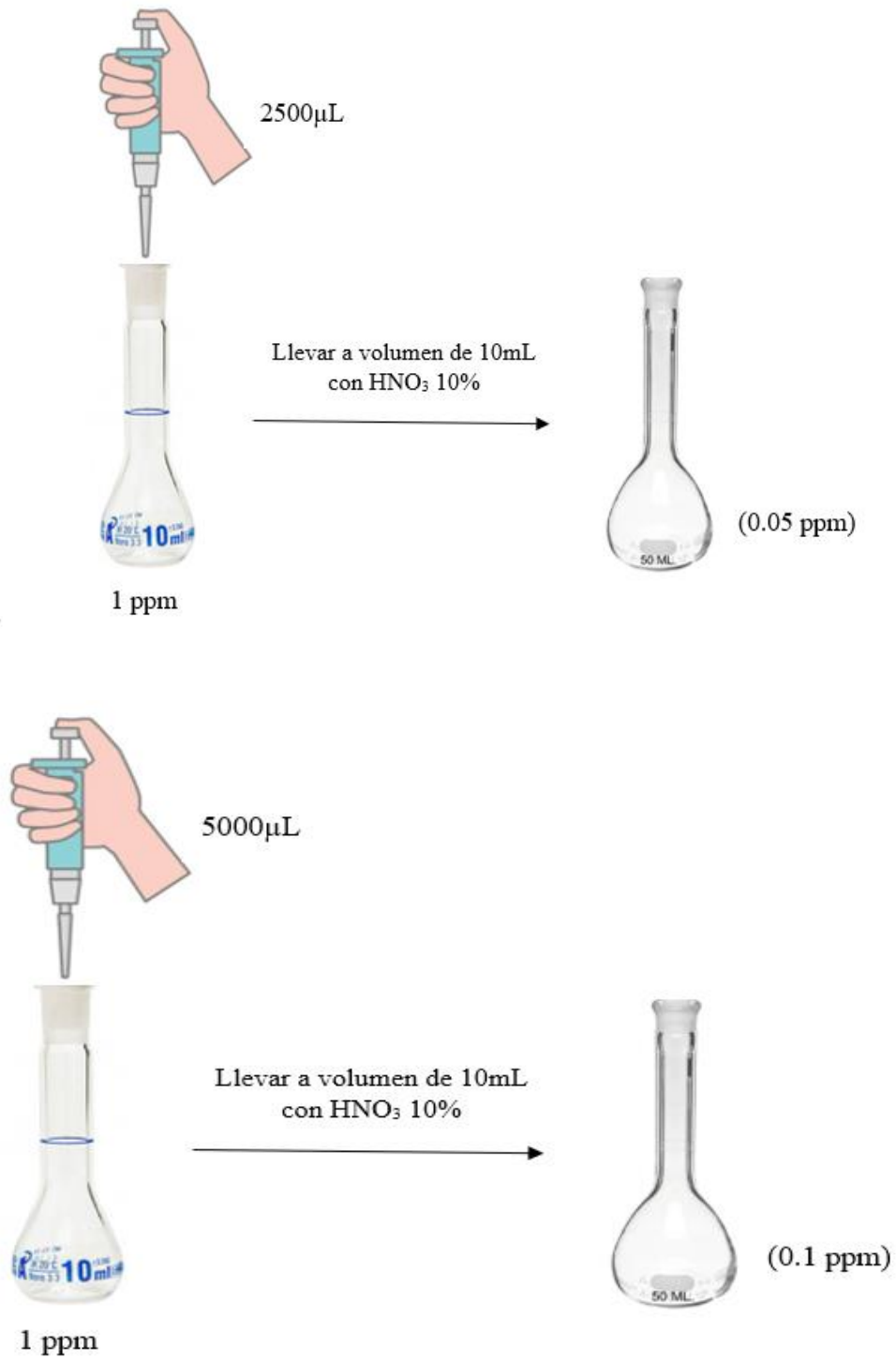
Preparar una solución patrón de 1ppm de Cadmio de la siguiente manera:



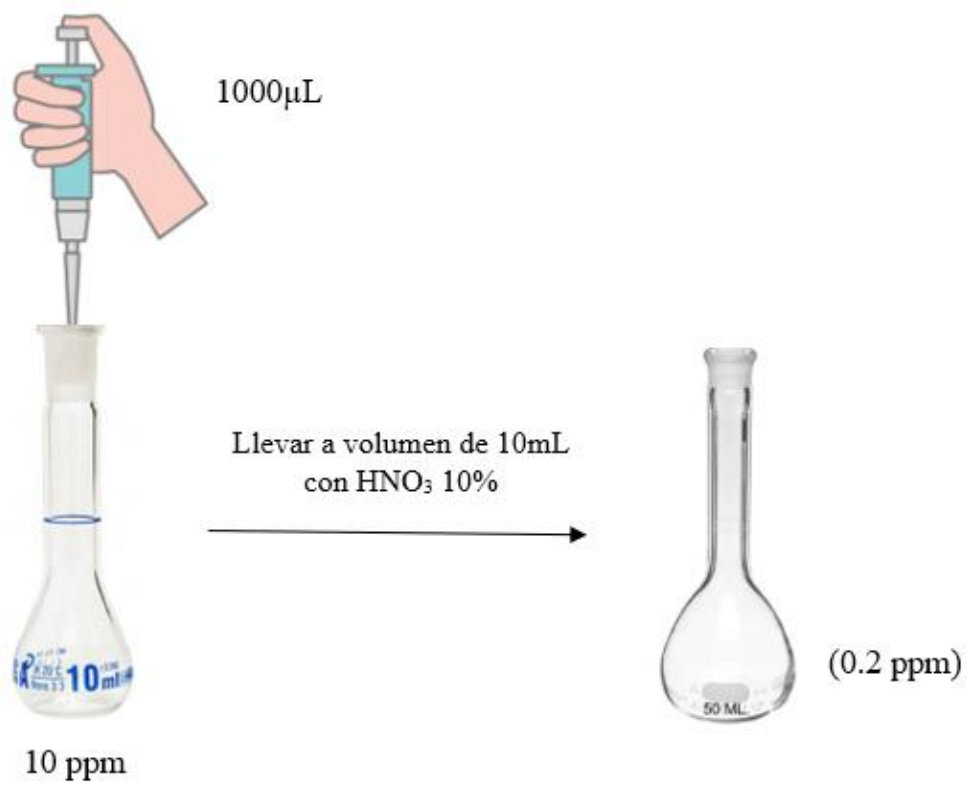
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO N°2. ESQUEMA DE PREPARACIÓN DE CURVA DE CALIBRACIÓN  
DE CADMIO EN LECHUGA**

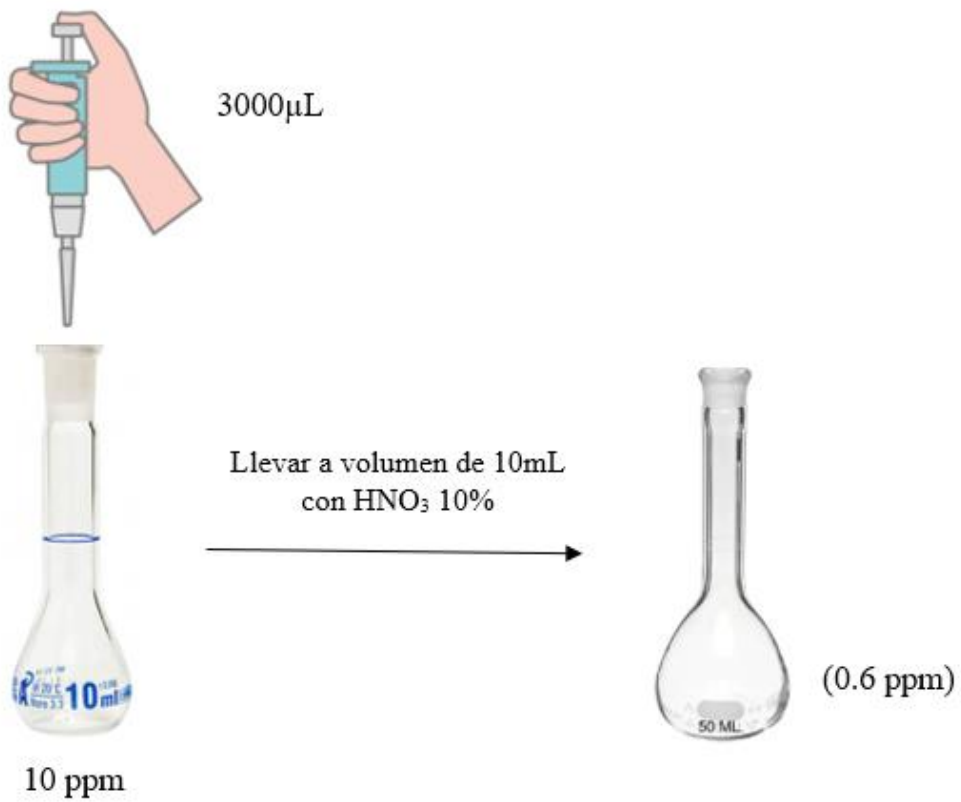
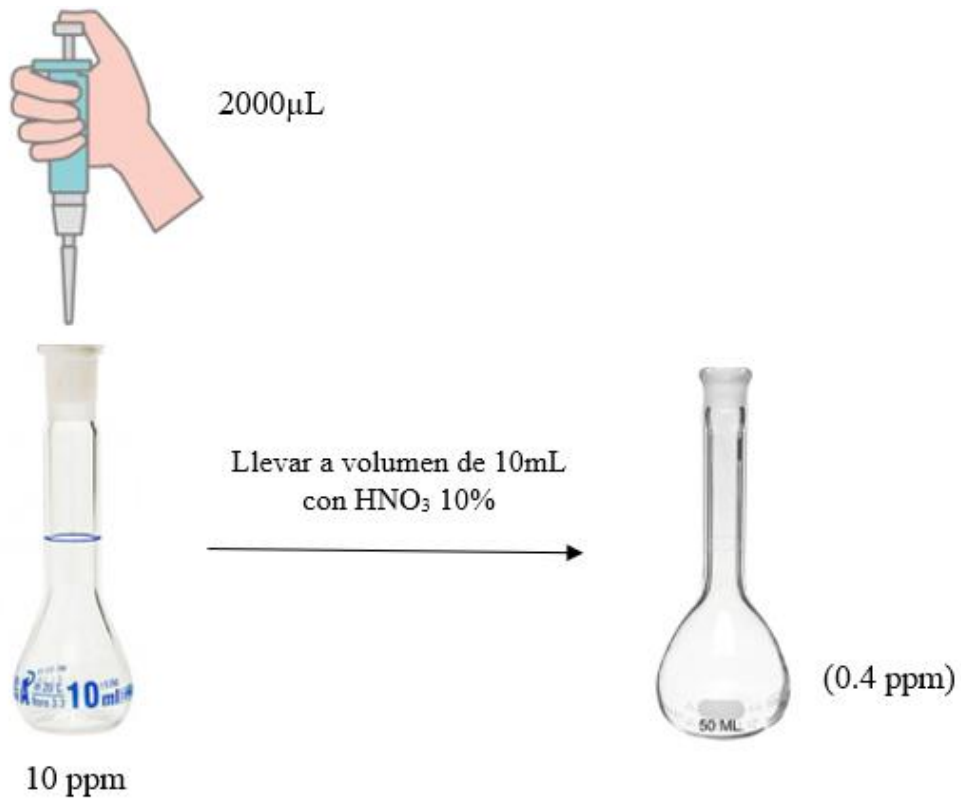
Preparación de curva de calibración de Cadmio en lechuga.



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

**ANEXO N°3. ESQUEMA DE PREPARACIÓN DE CURVA DE CALIBRACIÓN  
DE CADMIO EN RÁBANO**

Preparación de curva de calibración de Cadmio en Rábano.



1200 $\mu$ L



1 ppm

Llevar a volumen de 10mL  
con HNO<sub>3</sub> 10%



(0.025 ppm)



2500 $\mu$ L



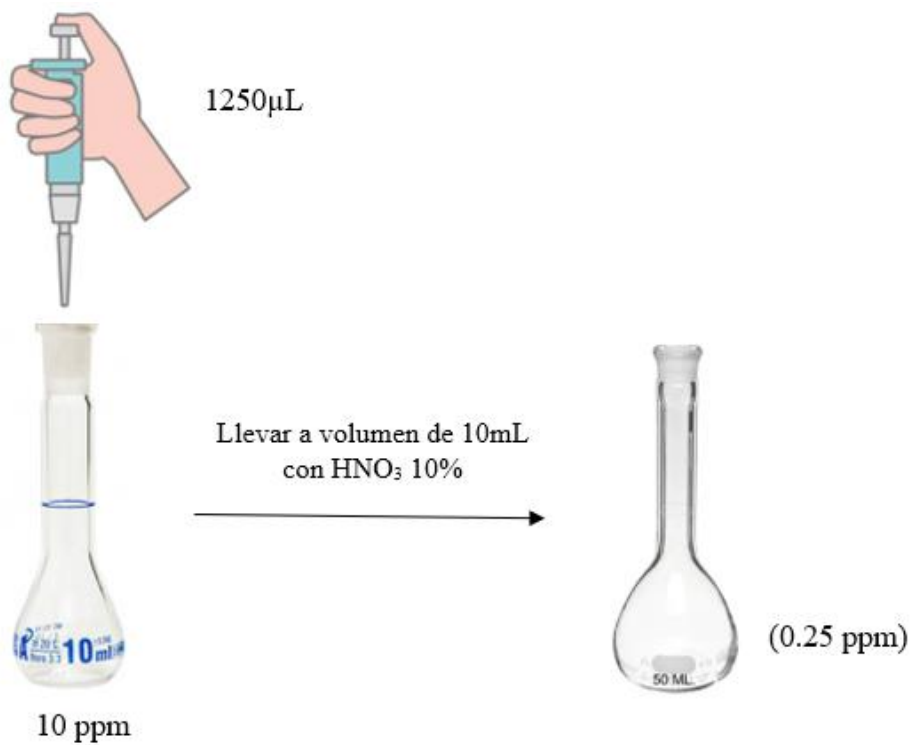
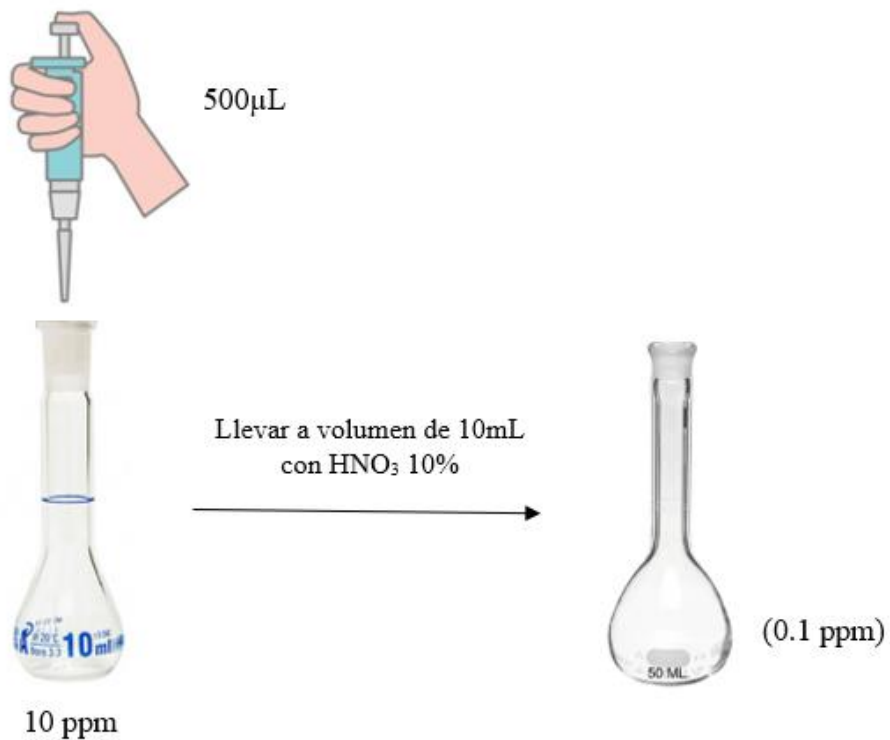
1 ppm

Llevar a volumen de 10mL  
con HNO<sub>3</sub> 10%

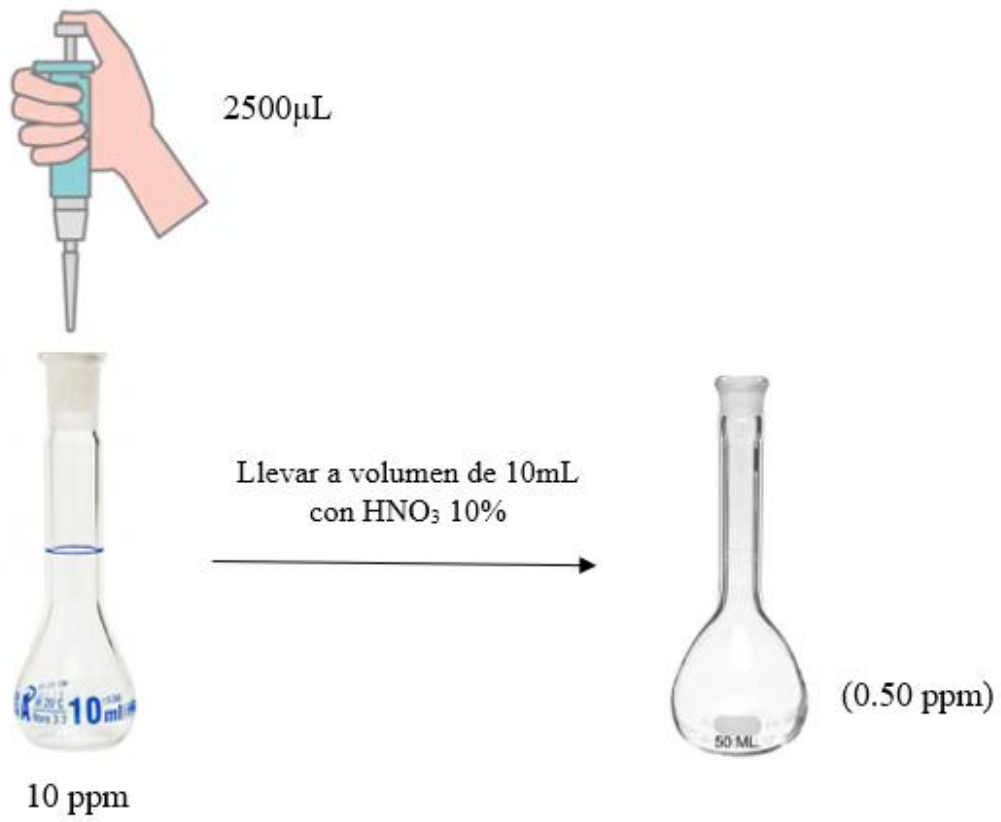


(0.05 ppm)

Fuente: Elaboración propia



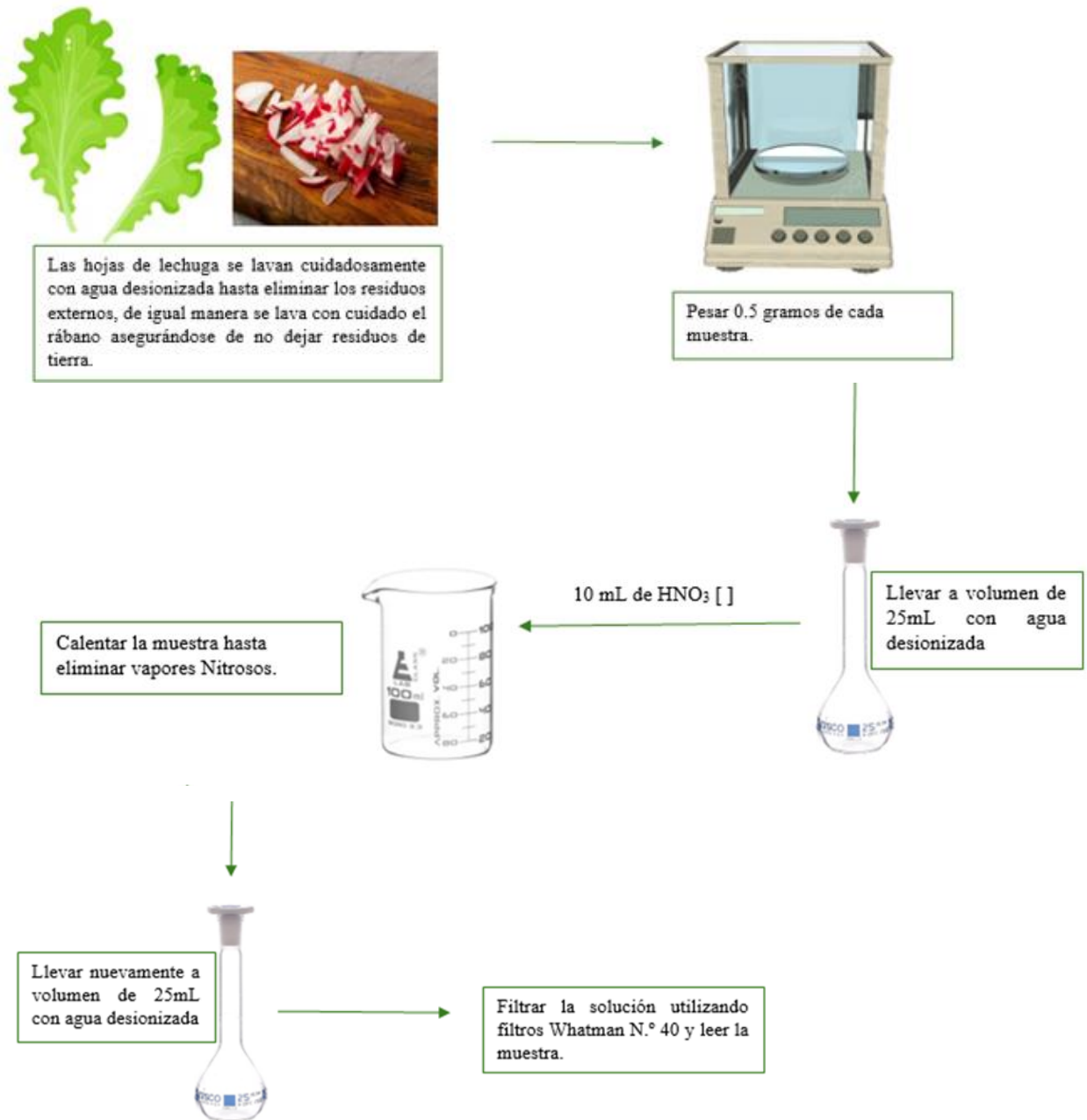
Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

## ANEXO N°4. ESQUEMA DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS

### PREPARACIÓN DE MUESTRAS



Fuente: Elaboración propia