

Cuantificación de cadmio y plomo en rábanos y cebollas cultivados en San Pablo Ahuatempa, Puebla.

Cassal Valencia, Jorge Antonio

2024

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5995>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Cuantificación de cadmio y plomo en rábanos y cebollas cultivados en San Pablo Ahuatempa, Puebla

Cassal Valencia Jorge Antonio (cuarto semestre en Ingeniería Química)^{1,*}, Martínez Ceja Carolina (cuarto semestre en Ingeniería Química)¹, Páez García Regina (sexto semestre en Ingeniería en Biotecnología)¹, Ramírez Morales Abigail (cuarto semestre en Ingeniería Química)¹, Reyna Madrigal Amira (profesora responsable)¹, Aldave Moreno Ivonee Alondra. (profesora asesora)¹, Morúa Álvarez Nora del Rocío (profesora asesora)¹.

¹Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

Resumen

En los últimos años, el volcán Popocatepetl ha mostrado una actividad considerable, expulsando ceniza a lo largo de varios kilómetros. Aunque se reconoce que la ceniza volcánica contiene nutrientes beneficiosos para los cultivos, su composición también incluye metales pesados, que en grandes cantidades pueden causar problemas de salud en los seres humanos. Este fenómeno ha desatado debates sobre si la ceniza volcánica podría tener beneficios para los cultivos cercanos. Para abordar esta cuestión, se seleccionaron dos hortalizas locales, la cebolla y el rábano, de San Pablo Ahuatempa, Puebla. Dado que estas plantas son fitoacumuladoras de metales, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica y procesos como el secado y pulverización para estudiar la presencia de cadmio y plomo. Los resultados revelaron que, en el caso de la cebolla, los niveles de cadmio se encuentran por debajo del límite diario de 0.1 microgramos por kilogramo de peso corporal establecido por la OMS para una persona de 70 kg. Sin embargo, el consumo de una cebolla de 300 gramos representaría aproximadamente el 23% del límite diario. En contraste, un solo rábano contiene 1.24 mg, superando significativamente el límite diario del Codex alimentario de 0.01, representando alrededor del 252% del límite diario. Dada la presencia de cadmio y plomo que excede los límites establecidos, se recomienda ampliar la investigación para abarcar áreas potencialmente contaminadas. Este estudio proporciona información sobre la presencia de metales en las hortalizas seleccionadas, destacando la necesidad de una mayor investigación en la seguridad alimentaria de la región.

Palabras clave: Cadmio, plomo, alimentos, espectrofotometría, cenizas, hortalizas.

***Autor Corresponsal:** jorge.cassal@iberopuebla.mx

Introducción

La nutrición humana ha estado ligada a la tierra para obtener los nutrientes esenciales.

En regiones como México, donde las condiciones climáticas y edáficas favorecen el cultivo de una amplia variedad de vegetales, se ha observado una preocupante correlación entre la composición del suelo y la seguridad alimentaria.

Particularmente, la actividad volcánica ha sido identificada como una fuente de elementos esenciales y no esenciales que se incorporan al sustrato. El suelo que favorece el cultivo en regiones volcánicas también plantea preocupaciones debido al eje volcánico activo en México, conocido como la Cordillera Neovolcánica [1].

Un ejemplo de los volcanes más activos es el Popocatepetl, que se ha registrado que puede expulsar hasta 50,000 toneladas de ceniza volcánica al día [1], actualmente se encuentra en actividad intensa, manteniendo en alerta a tres estados por sus exhalaciones recurrentes y la emisión de fragmentos incandescentes. En particular las cenizas resultantes afectan diversas localidades en el estado de Puebla [2].

La ceniza volcánica proveniente del Popocatepetl contiene elementos para el crecimiento y desarrollo de las plantas, incluyendo minerales esenciales como el hierro (Fe), cobre (Cu), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y zinc (Zn). Sin embargo, estas cenizas también aportan elementos peligrosos en concentraciones significativas, tales como el níquel (Ni), cromo (Cr) y cadmio (Cd) [3]. La presencia de

estos elementos no esenciales es acumulativa, porque no pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica, ya que no presentan funciones metabólicas [4].

Los cultivos pueden prosperar en suelos contaminados debido a la durabilidad de los metales. Los compuestos químicos de cadmio y plomo son más solubles que otros metales pesados, y son transportados por el agua desde las raíces hasta las hojas de las plantas, donde son almacenados, llegando a concentrarse en cantidades considerables dentro de éstas, y por ende, transfiriéndose a la dieta humana [5].

El cadmio, como elemento tóxico, se sabe que daña algunos órganos y está clasificado por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) en el Grupo 1, como carcinógeno [6]. Sumado a esto, no tiene una función biológica conocida y la exposición crónica a niveles muy bajos ha resultado en defectos hacia la salud. Por su parte, el plomo es capaz de afectar al sistema nervioso y los riñones. Estudios indican que la exposición al plomo puede causar enfermedades respiratorias, neurológicas, digestivas, cardiovasculares y urinarias [7]. La vida media del plomo en el cuerpo es de aproximadamente 30 a 40 años, y la del cadmio ronda entre los 10 a 30 años [8].

Por consecuencia, se establecen rangos recomendados para los humanos sobre el consumo de estos dos metales, Cd y Pb, según tres diferentes organizaciones: la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA), y la Comisión

Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios de México (COFEPRIS).

Para el Cd, la OMS recomienda un límite de 0.1 microgramos por kilogramo de peso corporal en una persona adulta. La FDA sugiere un límite de 0.07 microgramos al día, mientras que la COFEPRIS establece un límite mucho más bajo, con 0.007 microgramos por kilogramo [9, 10].

Para el Pb la OMS establece un límite de 0.01 microgramos por cada kilogramo de peso en adultos y la FDA recomienda un límite de 2.5 microgramos por cada kilogramo, lo cual es significativamente más alto que la recomendación anterior. Igualmente, COFEPRIS propone un límite de 0.01 microgramos por kilogramo, alineándose con la recomendación de la OMS [9,11].

Las verduras se han identificado como una vía principal de exposición a estos contaminantes, especialmente en los tubérculos y bulbos por su proximidad a la tierra [12]. Las cercanías del volcán Popocatepetl con zonas de cultivo son aptas para plantas geófitas como el rábano (*Raphanus sativus*) y la cebolla (*Allium cepa*). Las cebollas tienen la capacidad de absorber nutrientes y minerales del suelo de cultivo, y en suelos contaminados absorben los metales tóxicos de manera significativa [13].

Por su parte, el rábano es fitoacumulador, lo que implica que tiene la capacidad de almacenar y extraer sustancias no deseadas del suelo. En investigaciones recientes, se ha descubierto que el rábano posee una capacidad para incorporar el Cd [14].

En otro estudio realizado por Q. Xiao y colaboradores, se investigó la contaminación por Cd de suelos en tierras agrícolas y hortalizas en la ciudad de Qujing, provincia de Yunnan, China y los resultados muestran que la cebolla tiene contenido de Cd e incluso algunas hortalizas de hoja superaron el estándar de seguridad alimentaria de China [15]. En otros lugares con actividad volcánica cercanos a zonas de cultivo se han realizado pruebas de biorremediación debido a la contaminación generada por la ceniza.

La ceniza llega a ser tóxica pasando de los 20 cm de suelo dañando y contaminando los cultivos vegetales. Un ejemplo de esto es El Cantón Mocha, una municipalidad de la provincia de Tungurahua, Ecuador que tuvo que buscar un método efectivo de remediación del suelo contaminado para evitar que se incorporara a la cadena alimenticia [5].

Históricamente, se ha cultivado cerca de zonas volcánicamente activas, por lo que los seres humanos se han alimentado con productos de la tierra que almacenan elementos tóxicos en su interior, sin percatarse que han tenido una grave acumulación de material que el cuerpo no es capaz de procesar lo que ha generado enfermedades con fuentes de riesgo no identificadas [15].

Gracias al avance que ha tenido la tecnología en el último siglo, se tiene un amplio conocimiento de las causas de las patologías que se presentan en la salud humana. En este caso, Arnold Beckman en 1941, inventó el espectrofotómetro, lo que da la posibilidad de buscar una solución y advertir a las personas de los alimentos que podrían estar dañando el funcionamiento de cada órgano. Este avance permite que se busquen cantidades muy pequeñas de contaminantes en diferentes muestras, por lo que es el más utilizado para determinar elementos en la actualidad [16].

La complejidad de la interacción entre los metales pesados y los sistemas biológicos de las plantas plantea una paradoja en la nutrición y seguridad alimentaria: mientras las verduras adquieren propiedades del suelo, éstas se convierten en transporte de metales dañinos para la salud. Ante este escenario, es necesario el desarrollo y aplicaciones de métodos analíticos avanzados como la espectrofotometría de absorción atómica, que permite la cuantificación de contaminantes, lo que es fundamental para evaluar y gestionar riesgos asociados con la contaminación de cultivos [17].

Es esencial realizar una evaluación en zonas volcánicas activas para promover la seguridad alimentaria y reducir riesgos de contaminación del suelo. La información obtenida guiará prácticas agrícolas seguras, contribuyendo a políticas de seguridad alimentaria y prácticas agrícolas sostenibles.

Ante este panorama, este artículo tiene como objetivo cuantificar cadmio y plomo en rábanos y cebollas cultivados en San Pablo Ahuatempa, Puebla.

Metodología

La metodología que será presentada a continuación fue basada en investigación de campo y experimentación en laboratorio. Durante el proceso de desarrollo, se realizaron análisis y se llevaron a cabo experimentos en instalaciones de la universidad.

Trabajo de campo:

Para identificar el lugar para recoger los tubérculos, se visitó un mercado al aire libre en Atlixco, en la colonia Álvaro Obregón, Puebla (Fig. 1). Durante esta exploración, se reconocieron las hortalizas locales, al tiempo que se estableció contacto con vendedores, productores y cultivadores en áreas cercanas al volcán Popocatepetl.



Fig. 1. Col. Álvaro Obregón, Atlixco, Puebla, se sitúa el mercado al aire libre en las calles 11 sur, 13 poniente y 15 poniente

Recolección de muestra

Los rábanos (Fig. 2) se recolectaron por un método de muestreo aleatorio simple, porque la temporada de cosecha de este tubérculo es muy corta, por lo que las plantas maduras ya se habían sacado de la tierra en parcelas cercanas. Utilizando un proceso de selección al azar se obtuvieron 35 muestras que llevaban un día fuera del suelo. Sólo se utilizó la parte comestible y se desecharon las hojas y tallos.



Fig. 2. Muestras ya cosechadas de rábano

La recolección de muestras de cebolla se realizó en octubre, estratégicamente sincronizada con la disponibilidad estacional de verduras en la región.

Para este proceso se hizo una selección del terreno en San Pablo Ahuatempan, Puebla (Fig. 3), con dimensiones cercanas a una hectárea. De esta manera, se procuró obtener datos que reflejaran las propiedades de las cebollas cultivadas en dicho contexto geográfico y temporal.



Fig. 3. Ampliación de la zona de Puebla, San Pablo Ahuatempan y la parcela donde se realizó la recolección de muestras [1]

Con base en la literatura [18] se eligió hacer un muestreo en el patron mostrado en la Fig. 4, para obtener datos representativos en el análisis de metales.

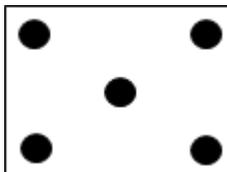


Fig. 4. Diagrama de muestreo probabilístico sistemático en X



Fig. 5. Muestras de cebolla ordenadas idénticamente al muestreo

Se acomodaron y etiquetaron las muestras con base en su zona de extracción, como se muestra en la Fig. 5. Se tomaron 6 ejemplares de cebollas ubicadas en cada punto indicado (extremo superior derecho e izquierdo, extremo inferior derecho e izquierdo y centro), así se logró abarcar cada espacio (Fig. 6 y 7) [18].



Fig. 6. Parcela de recolección en San Pablo Ahuatempan



Fig. 7. Muestras de cebollas recolectadas

Conservación de la muestra

Dado que el analito consiste en metales pesados altamente estables, se preservaron las muestras mediante su congelamiento para mantener los elementos de interés en ellas.

Proceso de la muestra

En la Fig. 8 se puede consultar los pasos del proceso.

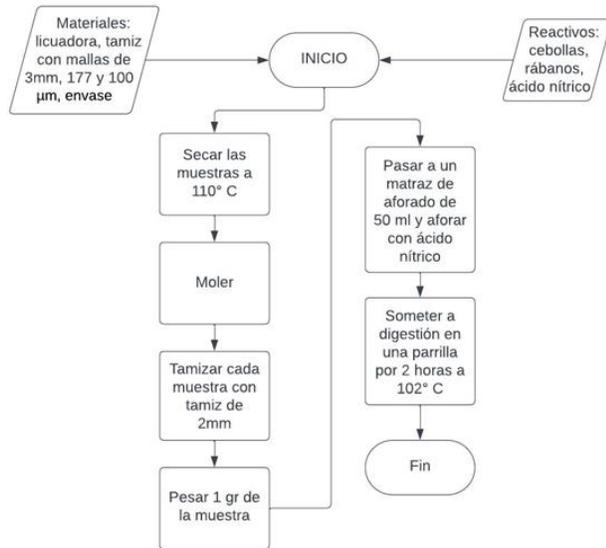


Fig. 8. Diagrama de flujo para procesar la muestra.

Lavado

El procedimiento inicial implicó la limpieza de las muestras con agua corriente. Para eliminar cualquier contaminante superficial. Después se sumergieron en agua destilada para eliminar los metales del agua, en pos de la pureza y la calidad de las muestras para su análisis [19].

Secado

Como siguiente paso, se cortaron las muestras en porciones pequeñas para un secado rápido. Se pusieron en una bandeja y se colocaron en una estufa de laboratorio de modelo "3481 M Imperial V Laboratory Oven". Se programó la estufa a una temperatura de 110°C y se mantuvo durante 24 horas continuas. Este proceso permitió la eliminación de la humedad en las muestras y evitó posibles alteraciones que podrían surgir con métodos más rápidos o temperaturas más elevadas [19].



Fig. 9. Muestras antes de pasar al proceso de secado.

Molienda

Cuando los trozos se secaron, se usó una licuadora para pulverizar y obtener una consistencia más fina. Posteriormente, para refinar la muestra, los materiales pulverizados fueron sometidos a un proceso de machacado en un mortero de porcelana [17]. El siguiente paso implicó un tamizado, llevado a cabo mediante mallas de diferentes tamaños: 3 mm, 177 µm y 100 µm. Este proceso de tamizado

tuvo como objetivo seleccionar las partículas según su tamaño, eliminando las impurezas no deseadas para que la muestra final consistiera en partículas homogéneas [20].

Digestión de las muestras

En el proceso de digestión de cada muestra, se requirió la preparación de 50 mL de una disolución de ácido nítrico (HNO_3) al 50%. La cantidad necesaria de mililitros de una solución al 70% se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$v_1 = \frac{(0.5)(50 \text{ mL})}{0.7} = 35.7142 \text{ mL} \dots (1),$$

por lo tanto, se necesita un volumen de 35.71 mL de la solución inicial.

El proceso de preparación continuó con la adición de 35.7142 mL de ácido nítrico (HNO_3) al 70% en un matraz de 50 mL, seguido por la incorporación del volumen restante utilizando agua ionizada. Posteriormente, se pesó en una balanza analítica 1 gramo de la muestra previamente pulverizada y se añadió en el ácido nítrico [21].

En una parrilla se implementó un sistema de digestión a reflujo y se trasvasó la preparación anterior al matraz de bola. Para evitar fugas, es importante mantener una temperatura constante a 102 °C por 2 horas 30 minutos [19].

Filtrado

La solución resultante de la digestión se filtró al vacío para eliminar los restos de materia orgánica [21].



Fig. 10. Visualización de la muestra a lo largo de los procesos de transformación físicos y químicos

Espectrofotometría de absorción atómica

Se usó un espectrofotómetro de absorción atómica modelo Agilent Technologies, 200 series AA, mostrado en la Fig. 11, que cuenta con los parámetros y el proceso de lectura de elementos mostrados en la siguiente sección.



Fig.11. Espectrofotómetro de absorción atómica modelo Agilent Technologies, 200 series AA

Parámetros

- Corriente de lámpara: 4 mA
- Combustible: acetileno
- Soporte: aire
- Estequiometría de llama: oxidante.

Tabla 1: Longitudes de onda según con su ancho de hendidura y rango óptimo de trabajo según la concentración buscada de analito.

Longitud de onda (nm)	Ancho de hendidura (nm)	Rango óptimo de trabajo (µg/mL)
228.8	0.5	0.02-3.00
326.1	0.5	20-1000

Longitud de onda: Las longitudes de onda se ajustan según la concentración de Cd en la muestra. El manual de uso del equipo “Method Development ePrimer” sugiere dos longitudes de onda: 228.8nm y 326.1nm. Se optó por usar la de 228.8 nm porque está en el rango óptimo de trabajo.



Fig. 12. Modelo de lámpara Agilent Technologies de cadmio utilizada.

El espectrofotómetro funciona con estándares de cadmio y plomo para generar la curva de calibración. En este proceso, se evaluó la solución STOCK y se midieron 5 puntos más de la curva.



Fig. 13. Estándares de cadmio y plomo.

Se hicieron diferentes soluciones que abarcaban una concentración de 1, 3, 5, y 10 mg/L.

Para el stock o solución madre de donde se obtuvieron las 5 siguientes se usó la fórmula 2, la cual es útil para saber cuánta solución estándar necesitamos

$$v1 = \frac{(400mg/L)(100 ml)}{1000 mg/L} = 40 ml \text{ de estándar} \dots (2)$$

Para las 5 soluciones de la curva de calibración se utilizaron las fórmulas 3-7.

$$v1 = \frac{(10mg/L)(100 mL)}{400mg/L} = 2.5 ml \text{ de stock} \dots (3)$$

$$v1 = \frac{(8mg/L)(100 mL)}{400mg/L} = 2 ml \text{ de stock} \dots (4)$$

$$v1 = \frac{\left(5 \frac{mg}{L}\right)(100 mL)}{400 \frac{mg}{L}} = 1.25 ml \text{ de stock} \dots (5)$$

$$v1 = \frac{\left(3 \frac{mg}{L}\right)(100 mL)}{400 \frac{mg}{L}} = 0.75 ml \text{ de stock} \dots (6)$$

$$v1 = \frac{\left(1 \frac{mg}{L}\right)(100 mL)}{400 \frac{mg}{L}} = 0.25 ml \text{ de stock} \dots (7)$$

Con los datos obtenidos se realizaron las disoluciones aforando las mezclas con agua destilada en matraces de 50 mL. Éstas fueron leídas a través de espectrofotometría de absorción atómica. Se elaboró una curva de calibración en la que se identificó el crecimiento de la absorbancia con respecto a las concentraciones, como se ve en la Fig.14.

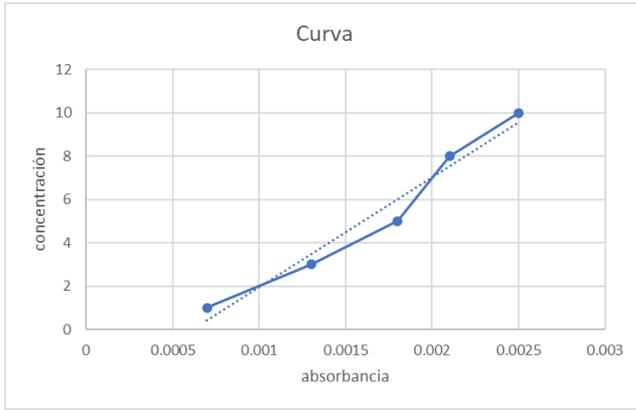


Fig. 14. Curva de calibración.

Resultados y Discusión

Cadmio (Cd)

La absorbancia de la curva de calibración hecha con los cinco estándares nos arrojó resultados congruentes, ya que las lecturas aumentaban de forma proporcional y gradual de acuerdo con nuestras concentraciones de Cd.

Tabla 2. Estándares con sus respectivas absorbancias y concentraciones

Estándar	Absorbancia	Concentraciones (mg/L)
Rábano 1	0.0007	1
Rábano 2	0.0013	3
Rábano 3	0.0018	5
Rábano 4	0.0021	8
Rábano 5	0.0025	10

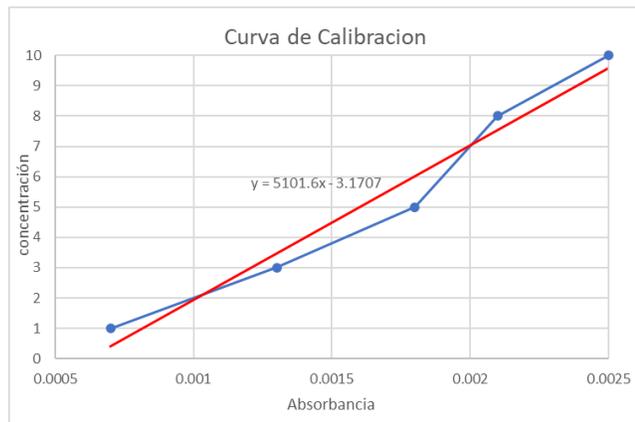


Fig. 15. Curva de calibración con los puntos obtenidos de los estándares (en azul) y la línea de tendencia (en rojo).

La línea de tendencia en la curva de calibración tiene la siguiente pendiente.

$$y = 5201.6x - 3.1707 \quad \dots (8).$$

El espectrofotómetro lee la absorbancia y al sustituirla en la fórmula de la pendiente, que se muestra en la Tabla 3 y se grafica en la Fig. 16, se tiene como resultado las siguientes

concentraciones que se muestran en la Tabla 3 y se grafican en la en la Fig. 16.

Tabla 3. Resultados de espectrofotómetro en cebollas.

Muestra de cebolla	Absorbancia	Concentraciones (mg/L)
Esquina Inferior izquierda	0.0018	6.01218
Esquina Superior izquierda	0.0009	1.42074
Centro	0.0014	3.97154
Esquina superior Derecha	0.002	7.0325
Esquina inferior Derecha	0.0023	8.56298
PROMEDIO		5.399988

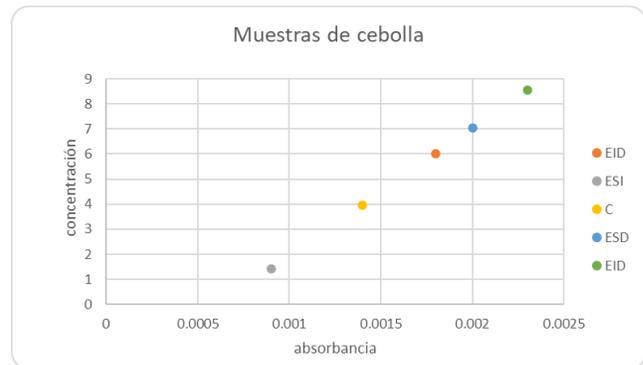


Fig. 16. Gráfica de los resultados obtenidos de la tabla 3 ordenados por absorbancia. El primer punto de mayor a menor es la esquina superior izquierda (ESI) el segundo punto es el centro (C), el tercer punto es esquina superior derecha (ESD), el cuarto punto es la esquina superior derecha y el quinto punto es la esquina inferior derecha (EID)

Los resultados de las pruebas de un terreno de cebolla muestran concentraciones de Cd medida en miligramos por litro (mg/L), recolectados por muestreo en X del terreno estudiado. La absorbancia, obtenida a través de un espectrofotómetro, varía en cada muestra: desde 0.0009 hasta 0.0023. Estas absorbancias se han convertido a concentraciones, oscilando entre 1.42074 mg/L y 8.56298 mg/L. El promedio de concentración para todas las ubicaciones es de aproximadamente 5.4 mg/L. Estos datos proporcionan información sobre la distribución de la sustancia en el terreno de cebolla, siendo útiles para comprender la variabilidad y la concentración promedio en diferentes secciones del área muestreada.

Tabla 4. Resultados obtenidos con espectrofotómetro de la relación absorbancia concentración de las muestras de y promedio de las concentraciones.

Muestra	Absorbancia	Concentraciones (mg/L)
Rábano 1	0.0041	17.74586
Rábano 2	0.0038	16.21538
Rábano 3	0.0044	19.27634
Rábano 4	0.0035	14.6849
Rábano 5	0.0047	20.80682

PROMEDIO

17.74586

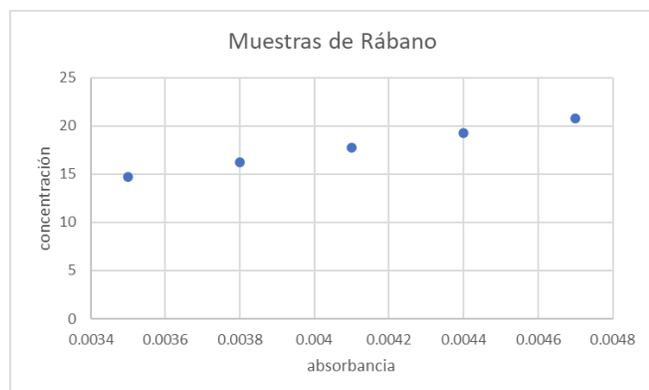


Fig. 15. Gráfica de los resultados obtenidos de la tabla 4 ordenados por absorbancia

Los resultados del muestreo aleatorio simple de rábanos presentan la absorbancia y concentración de una sustancia medida en miligramos por litro (mg/L) en cada prueba. Los valores de absorbancia, obtenidos a través de un espectrofotómetro, varían entre 0.0035 y 0.0047. Estos valores se convirtieron a concentraciones, que van desde 14.6849 mg/L hasta 20.80682 mg/L. El promedio de concentraciones en estas muestras específicas fue de 17.74586 mg/L. Estos datos proporcionan información sobre la presencia y distribución de la sustancia en diferentes rábanos muestreados, permitiendo evaluar la variabilidad en la concentración de la sustancia en la muestra aleatoria seleccionada.

El estudio de los límites diarios recomendados y las concentraciones promedio de cadmio (Cd) en cebollas y rábanos revela datos importantes al considerar la seguridad alimentaria. Para la cebolla, aunque la concentración promedio del consumo de un kilo de cebolla, se situó por debajo del límite diario de 0.1 microgramos por kilogramo de peso corporal establecido por la OMS para una persona adulta (equivalente a 7 mg/kg de ingesta por día), el consumo de una sola cebolla de 300 g representa aproximadamente 1.62 mg, lo que equivale al 23% del consumo diario para una persona de 70 kg. Es crucial destacar que una dieta típica no se compone sólo de cebollas, lo que podría aumentar la dosis diaria de cadmio al considerar otros alimentos contaminados. Además, hay muchas personas que no superan los 70 kg, por lo que su tolerancia diaria baja, especialmente si consideramos a niños, que deberían tener una exposición menor a toxinas. En estos casos una sola cebolla puede representar un potencial riesgo.

A pesar de que un kilo de cebollas se mantiene por debajo del límite diario de la OMS, superan significativamente el límite establecido por el CODEX Alimentarius para bulbos, con un valor de 0.05 mg/kg. Este hallazgo subraya la importancia de considerar diferentes estándares internacionales al evaluar la seguridad alimentaria. Como se mostró en los resultados obtenidos y presentados en tabla 3, se encuentra un promedio de 5.39 mg/kg, representando un 10798%.

En contraste, los rábanos presentan una situación más preocupante. Un kilo de rábano exhibe una concentración

que supera el límite diario establecido por cualquier organización y el límite del CODEX para bulbos (Tabla 5), tomando en cuenta que los rábanos suelen pesar 70 g. Entonces en un solo rábano tenemos la cantidad de 1.24 mg, contrastando con el CODEX alimentario que dicta un límite de 0.01 representan aproximadamente un 252% del límite diario. Esta situación plantea una seria preocupación, especialmente considerando que la concentración promedio de cadmio en rábanos es significativamente mayor (17.74586 mg/L) en comparación con las cebollas.

Tabla 5. Límites seguros por día

	Cd	Pb
OMS	0.1 µg por kg de peso corporal en 70 kg.	0.01 µg por cada kg en adultos.
FDA	0.07 µg en personas adultas.	2.5 µg por cada kg de peso corporal.
COFEPRIS	0.007 µg/kg.	0.01 µg/kg.

La concentración de los resultados se puede atribuir a la identificación del rábano como un hiperacumulador de cadmio. La capacidad del rábano para acumular concentraciones significativamente mayores de cadmio en comparación con la cebolla respalda la consistencia de los hallazgos. Los hiperacumuladores son plantas que tienen la capacidad única de absorber y acumular grandes cantidades de metales pesados del suelo [22].

En este contexto, el hecho de que un solo rábano pueda superar ampliamente los límites diarios recomendados y establecidos para la ingesta de cadmio indica una mayor sensibilidad de esta planta a la absorción de este metal, por lo tanto, requiere una atención especial en términos de consumo humano.

Plomo (Pb)

Para la detección de plomo en las muestras se hizo uso del equipo UV-visible, puesto que el manual del espectrofotómetro de absorción atómica menciona que para la cuantificación de este metal es necesario una máquina especial llamada "Horno de grafito", sin embargo, podemos identificar su presencia por medio de la espectroscopia UV-visible, con lo que se sometió a este proceso las muestras ya realizadas.

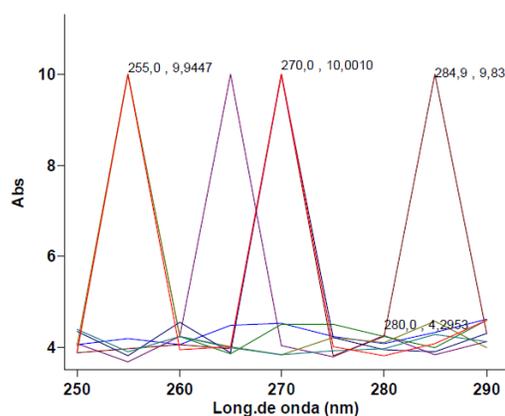


Fig. 16. Gráfica del barrido del equipo de espectrofotometría UV-Visible. Se muestra el rango de la longitud de onda de 280-290 nm

donde se buscó la presencia del plomo donde se observan las bandas que sugieren la presencia de plomo y la absorbancia de cada pico.

El plomo se detecta a partir de una longitud de onda de 283,3 nm, para la evaluación de la presencia del Pb se buscó dentro de un rango de 280-290 nm. En los resultados obtenidos por la espectrofotometría de UV-visible se observó una banda en la longitud de onda de 280.0 nm por lo que se puede suponer la presencia de plomo en una muestra de cebolla ya que presenta una absorbancia de 4.2953. También se encontró otra banda en la longitud de onda de 284.9 nm, la cual se encuentra dentro del rango previamente establecido con una absorbancia de 9.83, que es mayor a la muestra previamente analizada, y corresponde a una muestra de rábano.

Las concentraciones de plomo permitidas en hortalizas son muy bajas, por lo que cualquier concentración encontrada de este metal puede llegar a ser dañina.

Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

En este proyecto, se llevaron a cabo análisis sobre las cantidades de Cd y Pb en bulbos de cebolla y rábano en San Pablo Ahuatempa, Puebla, los resultados encontrados mostraron que se ven influenciados por la actividad reciente del volcán Popocatepetl. Asimismo, se revela que el consumo de una sola cebolla de 300 g representa hasta el

23% del consumo diario que recomienda la OMS, y se encuentra por encima de cualquier recomendación de la COFEPRIS, en cuanto a consumo de Cd. Por otro lado, el consumo de un solo rábano excede todas las recomendaciones (OMS, FDA, COFEPRIS), por ejemplo, representa un 252% del límite diario de Cd que dicta la OMS, probablemente debido a su naturaleza hiper acumuladora. Las concentraciones de cadmio superaron las normativas establecidas por la Organización Mundial de la Salud según el CODEX, indicando un riesgo potencial para la salud.

La presencia de plomo en las hortalizas estudiadas plantea un riesgo para la salud pública, ya que este metal puede tener efectos adversos en las personas, especialmente en el desarrollo cognitivo de niños y la salud general de los adultos [4]. Se recomienda usar una extensión de horno de grafito para determinar de forma más precisa la presencia de plomo. Se puede concluir que la presencia de ceniza volcánica en los cultivos es un factor de contaminación.

Este proyecto puede servir como base para futuras investigaciones de mayor alcance, que permitan corroborar los análisis hechos, dado que no se puede basar una conclusión en los datos obtenidos de un solo estudio con muestras limitantes. Se recomienda extenderse a otras hortalizas, otras parcelas cercanas y otros metales pesados para promover la seguridad alimentaria.

Referencias

- [1] R. Espinasa, "Historia de la actividad del volcán Popocatepetl" [En línea], Ciudad de México: Cent. Nac. Prevención Desastres, vol. 2, 2012. Disponible: <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/225-HISTORIADELAACTIVIDADELVOLCANPOPOCATPETL-17AOSDEERUPCIONES.PDF> [Accedido: 30-septiembre-2023].
- [2] Asociación Mexicana de Mastozoología, "Entre cenizas: La musaraña del volcán Popocatepetl" [En línea], AMMAC - Asociación Mexicana de Mastozoología A.C., vol. 2, 2023, Disponible: <https://mastozoologiamexicana.com/ojs/index.php/theyaixmana/article/view/368/344>. [Accedido: 1-octubre-2023].
- [3] M. D. Castañeda, et al., "Caracterización fisicoquímica de material particulado del Popocatepetl, trayecto Atlixco-Puebla, y su impacto en la salud y el ambiente" [En línea], Acta Univ., vol. 32, pp. 1–22, agosto de 2022. doi:10.15174/au.2022.3489, [Accedido: 1-octubre-2023].
- [4] O. Abollino, et al., "Distribution and mobility of metals in contaminated sites. Chemometric investigation of pollutant profiles" [En línea], Environmental Pollut., vol. 119, pp. 177–193, 2002. doi: 10.1016/s0269-7491(01)00333-5. [Accedido: 5-octubre-2023].
- [5] Y. Huang, et al., "Toxicity of cadmium and its health risks from leafy vegetable consumption" [En línea], Food & Funct., vol.8 no. 4, pp. 1373–1401, 2017, doi: 10.1039/c6fo01580h, [Accedido: 4-octubre-2023].
- [6] D. Asitimbay, "Estudio de biorremediación de metales pesados por actividades agropecuarias en el cantón mocha a causa de la ceniza volcánica" [En línea], Trabajo de grado, Esc. Super. Politec. Chimborazo, Chimborazo, 2022. Disponible: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/17610>. [Accedido: 3-octubre-2023].
- [7] M. Boskabady, et al., "The effect of environmental lead exposure on human health and the contribution of inflammatory mechanisms, a review" [En línea], Environ. Int., vol. 120, pp. 404–420, noviembre de 2018, doi: 10.1016/j.envint.2018.08.013. [Accedido: 3-octubre-2023].
- [8] T. S. Nawrot, et al., "Cadmium-Related mortality and long-term secular trends in the cadmium body burden of an environmentally exposed population" [En línea], Environ. Health Perspect., vol. 116, no. 12, pp. 1620–1628, diciembre de 2008, doi: 10.1289/ehp.11667. [Accedido: 2-octubre-2023].
- [9] Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, "Artículos de alfarería vidriada, cerámica vidriada, porcelana y artículos de vidrio-Límites máximos permisibles de plomo y cadmio solubles-Método de Ensayo" [En línea], NOM-231-SSA1-2016, Ciudad de México, 2016, Disponible: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5458225&fecha=25/10/2016#gsc.tab=0, [Accedido: 11-octubre-2023].

- [10] World Health Organization, “Chemicals of public concerns I Cadmium” [En línea], World Health Organization (WHO), s.f., Disponible: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/chemical-safety-and-health/health-impacts/chemicals/cadmium>. [Accedido: 7-octubre-2023]
- [11] World Health Organization. “Lead poisoning” [En línea], World Health Organization (WHO), s.f., Disponible: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>. [Accedido: 6-octubre-2023].
- [12] L. Liang, et al., “Intercropping affects the physiology and cadmium absorption of pakchoi, lettuce, and radish seedlings” [En línea], *Environmental Sci. Pollut. Res.*, agosto de 2022, doi: 10.1007/s11356-022-22381-6, [Accedido: 8-octubre-2023].
- [13] Q. Xiao, S. Wang y Y. Chi, “Accumulation and chemical forms of cadmium in tissues of different vegetable crops” [En línea], *Agronomy*, vol. 13, no. 3, pp. 680, febrero de 2023, doi: 10.3390/agronomy13030680, [Accedido: 12-octubre-2023].
- [14] H. Chen et al., “Effects of intercropping with floricultural accumulator plants on cadmium accumulation in grapevine” [En línea], *Environmental Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, no. 24, pp. 24474–24481, junio de 2019, doi: 10.1007/s11356-019-05697-8, [Accedido: 12-octubre-2023].
- [15] TI, “Clinical orthopaedics and related research” [En línea], *Amer. J. Med. Sci.*, vol. 254, no. 5, pp. 766, noviembre de 1967, doi: 10.1097/00000441-196711000-00041, [Accedido: 19-octubre-2023].
- [16] M. R. Martínez, “Análisis instrumental: Espectrometría de absorción atómica (EAA)” [En línea], *Univ. Politec. Valencia*, vol. 1, pp. 10, 2020, Disponible: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/138418/Martínez%20-%20Análisis%20Instrumental.%20Espectrometría%20de%20Absorción%20Atómica%20\(EAA\).pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/138418/Martínez%20-%20Análisis%20Instrumental.%20Espectrometría%20de%20Absorción%20Atómica%20(EAA).pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Accedido: 11-octubre-2023].
- [17] E. T. Simba simba y M. A. Zurita, “Evaluación de la presencia de metales pesados en *Solanum lycopersicum*, *Solanum tuberosum*, *Daucus carota*, *Lactuca sativa* mediante espectrofotometría de absorción atómica, en cuatro mercados de la ciudad de Quito” [En línea], *Repos. Univ. Politec. Sales. Ecuad.*, vol. 1, pp. 136, 2021, Disponible: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20887/1/UPS%20-%20TTS501.pdf>, [Accedido: 19-octubre-2023].
- [18] L. J. Astonitas Carrasco, E. Pariente y M. E. Milla Pino, “Metodología de muestreo de suelos con fines de análisis químico para la detección de metales pesados” [En línea], *Rev. Investig. Agroproducción Sustentable*, vol. 5, no. 2, pp. 77, agosto de 2021, doi: 10.25127/aps.20212.772, [Accedido: 6-octubre-2023].
- [19] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, “Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y restauración” [En línea], PROY-NOM-138-SEMARNAT-2003, SEMARNAT, Ciudad de México, 2003, Disponible: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=708408&fecha=19/03/2004#gsc.tab=0, [Accedido: 18-octubre-2023].
- [20] L. Púa, G. E. Barreto, J. L. Zuleta y O. D. Herrera, “Análisis de nutrientes de la raíz de la malanga (*Colocasia Esculenta Schott*) en el trópico seco de Colombia” [En línea], *Información Tecnol.*, vol. 30, no. 4, pp. 69–76, agosto de 2019, doi: 10.4067/s0718-07642019000400069. [Accedido: 14-oct-2023].
- [21] F. Huaranga, E. Mendez, F. Bernui, N. Costilla y F. Huaranga, “Fitoextracción de pb, as y cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros por el “maíz” (*Zea Mays L.*) y “beterraga” (*Beta Vulgaris L.*)” [En línea], *Arnaldoa*, vol. 1, pp. 20, 2022. Disponible: <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v29n1/2413-3299-arnal-29-01-99.pdf>. [Accedido: 19-octubre-2023].
- [22] M. P. Morales Irigoyen y I. García Martínez, “EVALUACIÓN DE *Raphanus sativus* COMO BIOACUMULADOR DE CADMIO” [En línea], *Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Laboratorio de Bioproductos y Medio Ambiente*, 2011, Disponible en: <https://smbb.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/IV/carteles/CIV-47.pdf>, [Accedido: 16-octubre-2023].