

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO
EN EL CULTIVO DE *Raphanus sativus*, CAJAMARCA-
2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental.

Autores:

Luis Orlando Vásquez Ramos
José Néstor Celis Llamoga

Asesor:

M.Cs. Juan Carlos Flores Cerna

Cajamarca - Perú

2020



DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a mis padres y hermanos, por el deseo de superación, apoyo y amor que me brindaron cada día de mi vida, gracias a ellos y a mi esfuerzo estoy cumpliendo mis metas, también dedicó gran parte de esta investigación a mi estimada y adorable esposa, por el apoyo incondicional y amor que me demuestra.

José Néstor Celis Llamoga

Este trabajo dedico a mi madre con mucho amor y cariño le dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis, mi esposa y mis tiernos hijos que son la fuente de mi inspiración y ánimos de superación que todos ellos que a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando toda su confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi capacidad. Es por ello que dedico mi más consideración y cariño único a todos. Los amo con toda mi vida.

Luis Orlando Vásquez Ramos.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento infinito a mi Padre Celestial y agradecer de manera especial y sincera al profesor M.Cs. Juan Carlos Flores Cerna. Por aceptarme para realizar esta tesis bajo su asesoramiento. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación profesional, también a mis docentes por dedicarme un espacio de su tiempo día a día, he ido formándome profesionalmente con el apoyo y esfuerzo de cada uno de ellos. Le agradezco también a mi compañero de tesis que hemos podido desarrollar nuestra tesis con un trabajo mutuo y una generación de confianza única el habernos facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de tesis muchas gracias a todos Ustedes.

José Néstor Celis Llamoga

Agradecer a la bendición de DIOS, quien guía mi vida siempre y a mis queridos padres por su esfuerzo y apoyo infinito. Quienes siempre han estado a mi lado en todo momento de mi vida. Mi agradecimiento es también para mi asesor y jurados de tesis que gracias a sus conocimientos compartidos han hecho realidad mis sueños, que a más de ser una guía fueron buenos amigos. Y todas aquellas personas que con su valiosa colaboración hicieron posible el desarrollo de mi tesis gracias espero verlos siempre.

Luis Orlando Vásquez Ramos.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
INDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática.	10
1.2. Formulación del problema.....	19
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivo general.	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Hipótesis.	19
1.4.1. Hipótesis general	19
1.4.2. Hipótesis específica.	19
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	20
2.1. Tipo de investigación.....	20
2.2. Población y muestra.	20
2.2.1. Población	20
2.2.2. Muestra	20
2.3. Materiales, instrumentos, reactivos y métodos	20
2.3.1. Materiales	20

2.3.2. Instrumentos	21
2.3.3. Reactivos	21
2.3.4. Procedimiento.....	21
CAPÍTULO III. RESULTADOS	44
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	57
4.1 Discusión.....	57
4.2 Conclusiones.....	61
REFERENCIAS	62
ANEXOS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reactivos para contaminación del agua	21
Tabla 2. Resultados de plomo y cadmio en muestreo de suelo	23
Tabla 3. Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo	24
Tabla 4. Contenedor, Código de muestra, contaminante en suelo.....	28
Tabla 5. Cálculo de masa molar de acetato de plomo	29
Tabla 6. Cálculo de masa molar de acetato de cadmio.....	30
Tabla 7. Porcentaje de aporte para el acetato de plomo	30
Tabla 8. Porcentaje de aporte para el acetato de cadmio.....	31
Tabla 9. Solución base de plomo y gramos de acetato de plomo	34
Tabla 10. Solución base de cadmio... ..	34
Tabla 11. mL de solución base de plomo y número de riegos.....	35
Tabla 12. mL de solución base de cadmio y número de riegos.	36
Tabla 13. Cronograma de riegos y contaminantes.....	42
Tabla 14. ppm de plomo en muestras durante el cultivo de rabanito..	44
Tabla 15. Absorción de plomo durante el cultivo.	45
Tabla 16. Resultados del primer muestreo de plomo en rabanito	49
Tabla 17. Resultado del segundo muestreo de plomo en rabanito .	49
Tabla 18. Absorción de cadmio durante el cultivo de rabanito.....	51
Tabla 19. Resultado de primer muestreo de cadmio en rabanito	55
Tabla 20. Resultado de segundo muestreo de cadmio en rabanito .	55
Tabla 21. Total de plomo en alimentos.	60
Tabla 22. Total de cadmio en alimentos.....	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de muestreo de suelo.	22
Figura 2. Zona de muestreo de suelo para el cultivo de rabanito.	25
Figura 3. Construcción de contenedores para el cultivo de rabanito.	26
Figura 4. Impermeabilización de contenedores.	26
Figura 5. Puesta en marcha de los contenedores para el cultivo de rabanito.	27
Figura 6. Siembra de semillas de rabanito.	27
Figura 7. Germinación de rabanito.	28
Figura 8. Etiquetado de contenedores.	29
Figura 9. Tara de reactivos.	32
Figura 10. Preparación de la solución de plomo a 10 000ppm.	32
Figura 11. Preparación de la solución de cadmio a 1000ppm.	33
Figura 12. Solución de plomo y cadmio para riego.	33
Figura 13. Crecimiento de rabanito contaminado con Plomo 50 ppm.	37
Figura 14. Crecimiento de rabanito contaminado con Plomo 100 ppm.	37
Figura 15. Crecimiento de rabanito contaminado con Plomo 150 ppm.	38
Figura 16. Crecimiento de rabanito contaminado con Cadmio 1ppm.	38
Figura 17. Crecimiento de rabanito contaminado con Cadmio 15ppm.	39
Figura 18. Crecimiento de rabanito contaminado con Cadmio 30 ppm.	39
Figura 19. Crecimiento de rabanito en contenedor N° 7 (MB).	40
Figura 20. Absorción de plomo en bulbo de rabanito.	46
Figura 21. Absorción de plomo en tallo y hojas del rabanito.	47
Figura 22. Absorción total de plomo en toda la planta de rabanito.	48
Figura 23. Medida de plomo en rabanito a 60 días de cultivo.	50
Figura 24. Medida de plomo en rabanito a 90 días de cultivo.	50

Figura 25. Absorción de cadmio en bulbo de rabanito.....	52
Figura 26. Absorción de cadmio en tallo y hojas de rabanito.	53
Figura 27. Absorción total de cadmio en toda la planta de rabanito.	54
Figura 28. Absorción de cadmio a 60 días de cultivo.	56
Figura 29. Absorción de cadmio a 90 días de cultivo.	56
Figura 30. Zona de extracción de muestras de suelo.....	74
Figura 31. Contenedores de muestras de suelo.....	74
Figura 32. Llenado de contenedores con suelo.	75
Figura 33. Llenado de contenedores con suelo y muestra en blanco.	75
Figura 34. Siembra de rabanito.....	76
Figura 35. Semillas de rabanito.	76
Figura 36. Intoxicación del agua de riego con plomo.	77
Figura 37. Intoxicación del agua de riego con cadmio.....	77
Figura 38. Muestra de rabanito MP1.	78
Figura 39. Muestra de rabanito MP2.....	78
Figura 40. Muestra de rabanito MP3.....	79
Figura 41. Muestra de rabanito MC2.	79
Figura 42. Muestra de rabanito MC3.	80
Figura 43. Cosecha de rabanito.	80
Figura 44. Primer muestreo para laboratorio.....	81
Figura 45. Segundo muestreo para laboratorio.....	81

RESUMEN

La presencia de metales como el plomo y cadmio en altas concentraciones es una de las formas más peligrosas de contaminación en el ambiente por su alta toxicidad y su degradación, es por ello que la presente investigación buscó determinar la capacidad de absorción de plomo y cadmio en el cultivo de *Raphanus sativus*, Cajamarca-2019; cuyo objetivo general fue determinar la capacidad de absorción de plomo y cadmio en diferentes concentraciones. Se utilizó un método de enfoque cuantitativo, con diseño cuasi experimental, de carácter longitudinal, con diseño descriptivo, causal. Se obtuvo finalmente que el rabanito presenta 0.37 ppm de plomo en toda la planta en MB, 1.42 ppm de plomo en toda la planta en MP1, 2.90 de plomo en toda la planta en MP2, 4.05 ppm de plomo en toda la planta MP3; también se presentó 0.05 ppm de cadmio en toda la planta en MCI, 0.17 ppm de cadmio en toda la planta en MC1, 0.24 de cadmio en toda la planta en MC2, 0.32 ppm de cadmio en toda la planta en MC3, es por ello la importancia del monitoreo de suelo.

Palabras clave: Cultivo, absorción, ppm, plomo, cadmio, rabanito

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

En la actualidad a nivel mundial el daño progresivo causado por la contaminación medioambiental es alarmante y es causado por diferentes contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos presentes en la atmosfera, agua, suelo y subsuelo, procedentes de diversas actividades naturales y antropogénicas, lo cual genera un irremediable deterioro en el equilibrio del medio ambiente. (Reyes, et al, 2 016).

La contaminación por metales pesados es de las formas más peligrosas de contaminación en el ambiente por su alta toxicidad y su degradación; su aporte al medio ambiente se realiza a través del empleo de prácticas industriales, mineras, aguas residuales, agrícolas inadecuadas y manufacturas de gran variedad de productos, plaguicidas, pinturas, curtiembre, herrería y fertilizantes

El riesgo latente a nivel nacional radica en el uso de agua residual o agua de ríos, lagos y lagunas en la cual no ha sido practicado un control de metales pesados, la misma que es empleada para el riego en la agricultura con el fin de conservar el agua y ofrecer beneficios económicos

Sin embargo, según Asencios (2 017). el uso continuo y discriminado de estas aguas puede conducir a la acumulación excesiva de metales pesados en el suelo. El cual es una de las fuentes de productividad y base del desarrollo

Es por ello que la presente investigación buscará determinar la capacidad de absorción de plomo y cadmio, que son metales pesados que se encuentran en mayor proporción en las industrias cajamarquinas, en el cultivo de una hortaliza que, según estudios científicos, es fuente importante de vitaminas, minerales, energía y fibra, por lo que su consumo es muy saludable para la población en general como es el *Raphanus sativus* (rabanito).

Antecedentes

Internacional

García Saran, M. (2 010). Determinación cuantitativa de Cobre, Arsénico, Cadmio y Plomo en rábano rojo (*Raphanus sativus*), que se cosecha en planes de San Pedro Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala.

En el presente estudio se planteó como objetivo determinar en forma cuantitativa la presencia de estos elementos (cobre, arsénico, plomo y cadmio) en rábano rojo, identificando la inocuidad de los mismos por estos elementos. Las muestras fueron tomadas de 34 rábanos rojos con un peso de 2.5 libras ubicados en San Pedro Sacatepéquez, Guatemala; la investigación tuvo un diseño descriptivo. Llegando a la conclusión que el consumo de rábano rojo cultivado en la “Finca Planes de San Pedro, Ojo de Agua”, San Pedro Sacatepéquez, Guatemala no presenta riesgo para la salud humana por la presencia de cobre, plomo, arsénico y cadmio.

Nacional

Asencios Márquez, M. (2 017). Bioacumulación de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en *Raphanus sativus* cultivados con compost producido a base de residuos sólidos municipales en Huari, Ancash.

En el presente estudio se realizó en Huari, Ancash; teniendo como objetivo general determinar la bioacumulación de plomo y cadmio en *Raphanus sativus* cultivados con compost producido a base de residuos sólidos municipales en Huari, Ancash. La metodología usada en la investigación fue con enfoque cuantitativo, de alcance correlacional, de diseño preexperimental y posprueba con una muestra de dos grupos no equivalentes en el que a un grupo se le aplicó cuatro tratamientos con 1 repetición y al otro grupo no (testigo) formándose 9 unidades experimentales.

Concluyendo que el plomo (Pb) y cadmio (Cd) son bioacumulados en *Raphanus sativus* cultivados con compost producido a base de residuos sólidos municipales en Huari, Ancash 2017 por lo tanto se demostró que pueden ser incorporados a la cadena trófica afectando la salud de los seres vivos.

Local

Gutiérrez Arce, W. (2 017). Metales pesados en *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens* cultivados en aguas residuales IN VITRO, Cajamarca.

El presente estudio fue realizado en el Laboratorio de Fisiología Veterinaria de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Cajamarca. Cuyo objetivo fue determinar las concentraciones de metales pesados; como el Cd, Cr, y Pb; presentes en las especies vegetales *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens* cultivadas, in vitro, en agua residual proveniente de la ciudad de Cajamarca en época de sequía. El diseño que empleó fue de tipo experimental, longitudinal, prospectivo, cuali – cuantitativo; con instrumentos aplicados fueron tablas para la recolección de datos. Concluyendo que existe presencia de Cd, Cr y Pb en la muestra de agua potable y en la muestra de agua residual. Las concentraciones en la muestra de agua potable, superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), por el Ministerio de Salud (MINSA) de Perú, y por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) de Perú. En la muestra de agua residual, las concentraciones son menores a los LMP recomendados por la SUNASS, por la Ley General de Aguas, y por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Conceptos básicos.

Metales pesados.

Mendez et al (2 009), refiere a metal pesado 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.

El término de metales pesados está asociado a los elementos que causan efectos negativos en el ambiente por ser tóxicos. Se le conoce también como metales pesados a los elementos químicos que tienen una densidad por arriba de los 6 g/cm³, a la mayoría de metales de transición se le puede denominar metales pesados una excepción es el titanio cuya densidad es 4,5 g/cm³, también se le denomina metal pesado al arsénico (no metal) cuya densidad es 5,7 g/cm³ y que por sus propiedades de carácter ambiental se le conoce también como elemento pesado. (Doménech y Peral, 2 006)

Los elementos pesados ya sea el plomo, el cadmio, el mercurio entre otros generan daños en el sistema nervioso central y renal, la transferencia de los metales pesados hacia los alimentos es ocasionados por la contaminación del suelo, agua o el aire. (OMS, 2 015)

Toxicidad de los metales pesados.

La toxicidad de los metales pesados puede dañar o reducir las funciones de la mente y el sistema nervioso central, niveles bajos de energía, y daño a la composición de la sangre, pulmones, riñones, hígado y otros órganos vitales. Exposición a largo plazo puede resultar en el progreso lento de los procesos físicos, musculares y neurológicos

degenerativos que imitan la enfermedad de Alzheimer, la distrofia muscular, la enfermedad de Parkinson, y la esclerosis múltiple, las alergias no son infrecuentes y el contacto repetido a largo plazo con algunos metales y sus compuestos pueden aún causar cáncer, los efectos que estos elementos tienen sobre la salud del ser humano depende de la naturaleza del compuesto, la ruta de exposición, la dosis de exposición y el tiempo de exposición. (Gross et al, 1 975)

Actualmente una de las más importantes rutas de exposición es la ingesta de agua debido a la contaminación de acuíferos, la intoxicación por metales pesados es un problema a nivel mundial, los metales pesados son perjudiciales porque compiten con los minerales sanos (zinc, hierro, selenio, etc.) y esto afecta a la forma de aprovechar los nutrientes que ingerimos y a las reacciones químicas que se llevan a cabo en nuestro organismo, se van acumulando de forma lenta en distintos órganos alterando su correcto funcionamiento. (IARC, 2 012)

Descripción química del Plomo.

El plomo es un elemento químico cuyo símbolo es Pb (del latín Plumbum) y su número atómico es 82 según la tabla periódica. Al clasificar los elementos Antoine Lavoisier no lo reconocía como un elemento metálico común por su gran elasticidad molecular. (Dreisbach, 1 999)

El plomo es un metal pesado de densidad relativa o gravedad específica 11.4 a 16 °C, de color azulado. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Su fusión se produce a 327.4 °C y hierve a 1725 °C. Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. Tiene la capacidad de formar muchas sales, óxidos y

compuestos organometálicos. Los cuatro isótopos naturales son, por orden decreciente de abundancia, 208, 206, 207 y 204. Se cristaliza en el sistema cúbico en forma de cara centrada invertida. (Choppin, 2 011)

Toxicología del Plomo.

Los signos y síntomas de la intoxicación crónica (saturnismo) puede dividirse en seis categorías: gastrointestinales, neuromusculares, del sistema nervioso central, hematológicos, renales y otros. Pueden ocurrir por separado o por combinaciones. La manifestación más grave de plomo en el sistema nervioso central es el saturnismo y es más frecuente en niños que en adultos. Los signos tempranos del síndrome pueden ser torpeza, vértigo, ataxia, caídas, cefalea, insomnio, inquietud e irritabilidad. Cuando desarrolla la encefalopatía, el paciente se vuelve primero excitado y confuso; luego se presenta delirio con epilepsia, letargo y coma. (Marbán, et al, 1 999)

Las vías principales de absorción del plomo son el tracto gastrointestinal y el sistema respiratorio. La absorción gastrointestinal varía con la edad; los adultos absorben alrededor del diez por ciento del plomo ingerido mientras que los niños absorben alrededor del cuarenta por ciento. Después de la absorción, el plomo inorgánico se distribuye inicialmente en los tejidos blandos, en particular en el epitelio tubular renal e hígado. Luego, el plomo es redistribuido y depositado en huesos, dientes y pelo. Con el tiempo en el hueso se encuentra cerca del noventa y cinco por ciento de la carga corporal del metal. Pequeñas cantidades de plomo inorgánico se acumula en el cerebro, la mayor parte en sustancia gris y en los ganglios basales. (Braunwald et al, 2 002)

Descripción química del Cadmio.

El cadmio es un elemento químico de número atómico 48 situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cd. Es un elemento pesado, blanco azulado, poco abundante, dúctil y maleable. Es uno de los metales más tóxicos, aunque podría ser un elemento químico esencial, necesario en muy pequeñas cantidades. Normalmente se encuentra en menas de zinc y se emplea especialmente en pilas. (García, 1 997)

El cadmio posee propiedades metalúrgicas con alta resistencia a la corrosión, características electroquímicas y otras propiedades útiles en galvanización, pigmentos para pintura y acumulaciones de níquel-cadmio. Las sustancias alimenticias no contaminadas contienen menos de 0.05 microgramos de cadmio por gramo de peso húmedo y la ingesta diaria promedio es de alrededor de 50 microgramos. (Dreisbach, 1 999)

Toxicología del Cadmio.

El cadmio solo existe en estado univalente, +2, y no forma compuestos alquilo estables ni otros compuestos órganos metálicos de significación toxicológica. La intoxicación aguda puede producirse por inhalación de polvo y vapores de cadmio y por ingestión del metal. Los efectos tóxicos iniciales se deben a irritación local. La sintomatología inicial es náuseas, vómitos, salivación, diarrea, cólicos abdominales. La toxicidad puede progresar hasta incluir edema pulmonar fatal o enfisema residual con fibrosis peri bronquial y peri vascular. (Dreisbach, 1 999)

Relación metal - planta.

En algunas especies, la acumulación de plomo, a medida que se aumenta las dosis en el suelo hasta niveles menores a 1000mg de Pb por Kg⁻¹ de suelo, tiende a

incrementarse rápidamente en los órganos de la planta que éstas no lo toleran y mueren. Los mecanismos de fitotoxicidad de Pb están relacionados, afirman algunos autores, con la permeabilidad de la membrana celular, reacciones de grupos sulfidrilos (-SH) con cationes y afinidad para reaccionar con grupos fosfatos. (Rodríguez, et al., 2 006)

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 la hoja un marchitamiento y disminución en la longitud de sus raíces y de la biomasa, para zanahorias se reporta en igual grado acortamiento en raíces y acumulación mayor en las mismas del metal. (Intawongse y Dean, 2 006)

Bioacumulación de metales pesados en las plantas

El problema de los metales pesados es que se pueden acumular en los tejidos de la planta llegando a concentraciones que perjudiquen la salud de las personas o animales que se alimenten de ellas, un ejemplo es el cadmio que se traslada con relativa facilidad desde la raíz hasta la parte aérea de la planta. La bioacumulación es un proceso de absorción, transformación y acumulación de algunas sustancias químicas en un organismo vivo al encontrarse éste expuesto a contaminantes en el suelo, agua o aire. La existencia de sustancias que se encuentran en pequeñas cantidades en el medio ambiente puede llegar a acumularse a través del tiempo dentro de un organismo vivo, trayendo consigo efectos perjudiciales a largo plazo.

(FAO, 1 991)

Descripción Botánica *Raphanus sativus* (rabanito rojo).

Su fruto es seco, simple de 3 a 10 cm de largo, cilíndrico y biarticulado formado por dos partes, la inferior atrofiada con una o dos semillas globosas, rosadas a castaño claro, y la superior corchosa, cónica-alargada que contiene de 12 a 14 semillas incluidas en un parénquima esponjoso. Tiene las hojas enteras o divididas, tallo ramoso con vellos rígidos en la parte inferior, donde las hojas forman un racimo desde la parte de arriba de la raíz, y lampiño en la superior, donde las hojas suelen brotar anceoladas, con hendiduras más o menos pronunciadas. Las flores se agrupan en racimos grandes, abiertos y alargados. La corola es blanquecina, a veces violácea o amarillenta. Se propaga por semillas. La cosecha se realiza entre tres y seis semanas después de la siembra. Estas semillas son redondeadas, de color amarillento a pardo rojizo y de tamaño pequeño a medio. Produce una raíz gruesa, carnosa, comestible, de forma esférica, cónica o alargada, de color rojo, blanco, amarillenta o rosada y de diámetro de dos a seis centímetros. (USDA 2 006)

Mecanismo de absorción de los elementos químicos tóxicos.

La absorción y posterior acumulación de los metales depende del movimiento desde la solución suelo a la raíz de la planta por medio de la membrana de las células corticales de la raíz, donde se transporta por medio de las células corticales a la xilema donde la disolución con metales se transporta desde la raíz al tallo y la posible transportación de los metales de las hojas a la fruta se da por el floema. Otro mecanismo de potencial importancia es mediante la absorción foliar, siendo este mecanismo de particular importancia en la aplicación de fertilizante foliar. (Alloway, 1 995).

1.2. Formulación del problema.

¿Cuál es la capacidad de absorción de plomo y cadmio en el cultivo de *Raphanus sativus*, Cajamarca-2019?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Determinar la capacidad de absorción de plomo y cadmio en el cultivo de *Raphanus sativus*, Cajamarca-2019.

1.3.2. Objetivos específicos.

Determinar la concentración de Plomo y Cadmio que presenta el bulbo, tallo y hojas de rabanito por tratamiento.

Evaluar los efectos en el desarrollo de la planta por la aplicación de metales pesados.

Determinar en qué parte de la planta se absorbe la mayor cantidad de plomo y cadmio.

1.4. Hipótesis.

1.4.1. Hipótesis general

El *Raphanus sativus* (rabanito) tiene una alta capacidad de absorción de metales pesados como el plomo y cadmio, y se almacena en mayor cantidad en la parte aérea de la planta.

1.4.2. Hipótesis específica.

El *Raphanus sativus* (rabanito) tiene concentraciones elevadas de plomo y cadmio en el bulbo, tallo y hojas

El *Raphanus sativus* (rabanito) no presenta efectos en el desarrollo de la planta

El *Raphanus sativus* (rabanito) absorbe mayor cantidad de plomo y cadmio en el bulbo

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación.

La investigación tendrá un enfoque cuantitativo, pues se determinará la cantidad en ppm de plomo y cadmio que el *Raphanus sativus* (rabanito) es capaz de absorber, durante su cultivo; con diseño cuasi experimental, pues se manipulará de manera deliberada la fase de riego que involucra el cultivo; de carácter longitudinal ya que no se tomará la muestra en una sola etapa del cultivo, con diseño descriptivo ya que se describirá cada una de las etapas de cultivo e intoxicación y causal pues buscará determinar la causa consecuencia de la absorción de plomo y cadmio en la planta

2.2. Población y muestra.

2.2.1. Población

La población de estudio corresponde a las 35 plantas de *Raphanus sativus* (rabanito) en las cuales se realizará el experimento.

2.2.2. Muestra

Corresponde a cada una de las plantas de *Raphanus sativus* (rabanito), en las cuales se realiza el riego con agua intoxicada por plomo y cadmio

2.3. Materiales, instrumentos, reactivos y métodos

2.3.1. Materiales

- Guantes de látex
- Mascarillas
- Lentes de seguridad
- 7 contenedores cuadrados de 0.4 m de lado y 0.3m de ancho
- Jeringa de 100 ml
- 12 litros de agua destilada (solo para riego sin solución)
- 3 recipientes herméticos para diluciones de plomo y cadmio

- Semilla de rabanito 1 onza.

2.3.2. Instrumentos

- Cámara fotográfica
- Laptop
- Calculadora
- Cronómetro
- Espectrómetro de reflectancia

2.3.3. Reactivos

Tabla 1

Reactivos para contaminación del agua

Reactivo	Cantidad	Fórmula
Acetato de plomo	50gr	$Pb(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$
Acetato de cadmio	50gr	$Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$

2.3.4. Procedimiento

2.3.4.1. Ubicación de la zona de muestreo de suelo.

La zona de la cual se obtuvo las muestras de suelo corresponde a al distrito de Llacanora, Provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca.

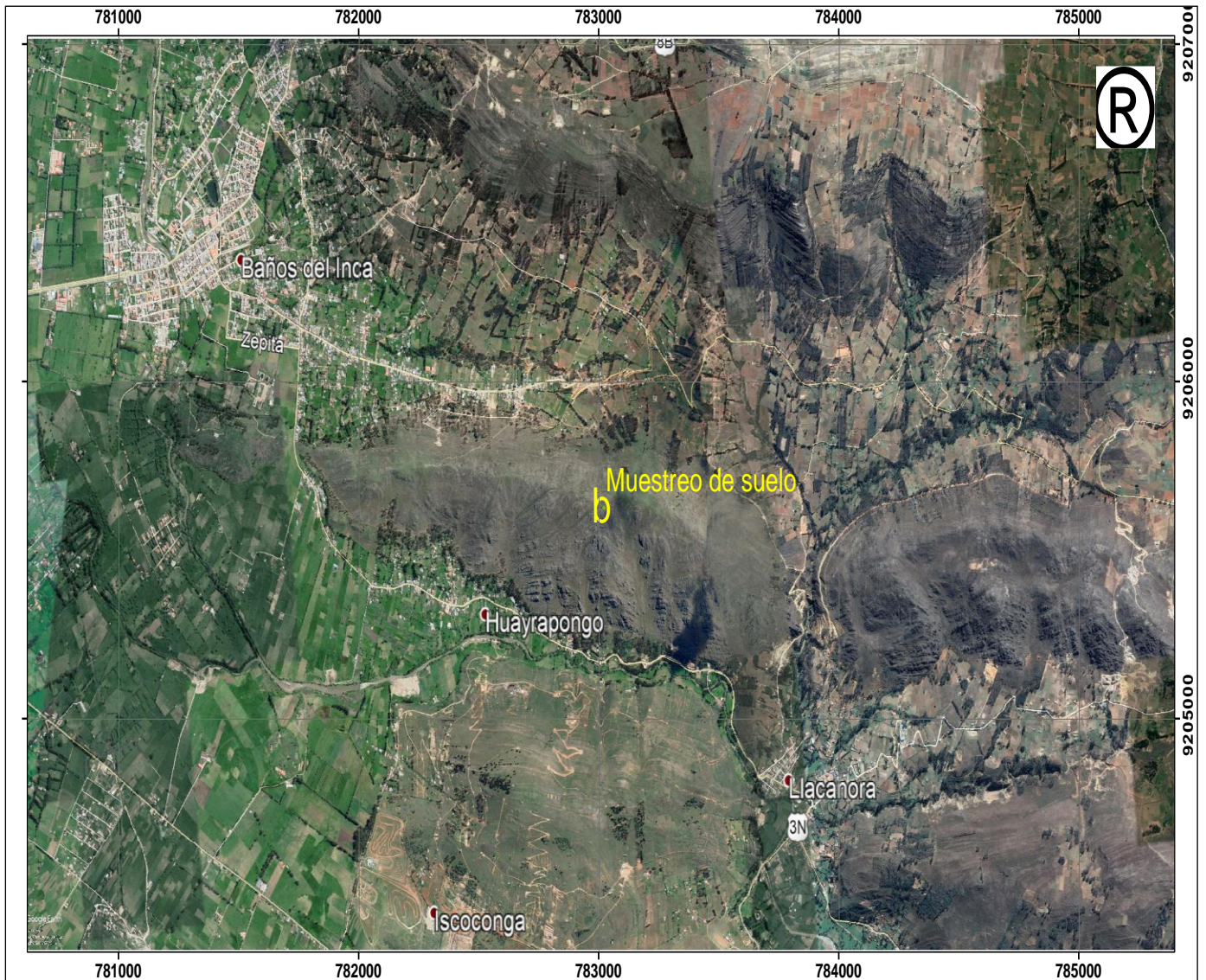


Figura 1. Ubicación de la zona de muestreo de suelo.

2.3.4.2. Descripción del suelo

El suelo se recolectó de la zona de Llacanora la cual corresponde a un suelo franco arenoso del tipo Leptosol que tiene su origen en la meteorización de colinas sedimentarios formadas sobre areniscas blancas de grano medio a grueso y cuaternarios fluviales.

Está compuesta por:

Arena: 50-70%

Limo: 0-50%

Arcilla: 0-20%

Clase textural: Franco arenoso.

Fuente: USDA (2006).

La cualidad principal de este tipo de suelo es que no es demasiado arcilloso, ni muy arenoso y es de gran capacidad para el cultivo

Para aumentar la certeza de la investigación, se realizó un análisis previo, de plomo y cadmio en el suelo, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica, a fin de asegurar la confiabilidad de los datos en los análisis químicos.

Tabla 2.

Resultados de plomo y cadmio en muestreo de suelo

Muestra	Elemento	ppm
Suelo recolectado	Cadmio	0.365
	Plomo	24.21

Obteniéndose un suelo que cumple con los estándares de calidad ambiental para suelo agrícola.

Tabla 3.

Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo

Parámetros en mg/kg	Usos de suelo			Método de ensayo
	Suelo agrícola	Suelo residencial parques	Suelo comercial industrial Extractivo	
Inorgánicos mg/kg				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Usos de suelo				
Parámetros en mg/kg	Suelo agrícola	Suelo residencial parques	Suelo comercial industrial Extractivo	Método de ensayo
Bario total	750	5000	2000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1.4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0.4	0.4	1.4	EPA 3060 EPA 7199
Mercurio	6.6	6.6	24	EPA 7471 EPA 6020
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 6020
Cianuro libre	0.9	0.9	8	EPA 9013

Fuente: (ECA, 2017)



Figura 2. Zona de muestreo de suelo para el cultivo de rabanito.

2.3.4.3. Ubicación de la zona donde se realizó el experimento

La zona donde se realizó el experimento corresponde a un área controlada ubicada en la ciudad de Cajamarca, con condiciones estables de luz, temperatura y agua.

La temperatura promedio durante la experimentación fue 18 °C, con una humedad relativa de 57 %.

2.3.4.4. Construcción de contenedores

Para la construcción de los contenedores se tomó en cuenta las medidas descritas en materiales, y se construyó 7 contenedores de madera de base cuadrada de 0.4 m de lado y 0.3 m de profundidad.

Además, los contenedores fueron impermeabilizados con polietileno para evitar la difusión del agua y translocación de los metales pesados durante la experimentación.



Figura 3. Construcción de contenedores para el cultivo de rabanito.



Figura 4. Impermeabilización de contenedores.

2.3.4.5. Adquisición y siembra de semillas de rabanito

Las semillas de rabanito fueron adquiridas de agro veterinaria “Otuzco”, pues son semillas de exportación y de calidad garantizada por el vendedor.

Las semillas fueron sembradas en cada contenedor con el suelo homogéneo franco libre de contaminantes, se utilizó alrededor de 10 semillas por contenedor y se regó con agua destilada libre de contaminantes en condiciones de total oscuridad.



Figura 5. Puesta en marcha de los contenedores para el cultivo de rabanito.



Figura 6. Siembra de semillas de rabanito.

2.3.4.6. Germinación del rabanito

Transcurridos 8 días empezaron a salir los primeros brotes en cada contenedor, se puso a los contenedores a condiciones de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad, para favorecer el crecimiento de las plantas.



Figura 7. Germinación de rabanito.

2.3.4.7. Etiquetado

Para el etiquetado se tuvo en cuenta la tabla N°4 en la cual se presenta los niveles de plomo y cadmio en cada suelo que se usó para el cultivo de rabanito.

Tabla 4.

Contenedor, Código de muestra, contaminante en suelo

Muestra	Código de muestra de rabanito	N° de contenedor
Rabanito sembrado en suelo contaminado con plomo a 50 ppm	MP 1	Contenedor 1
Rabanito sembrado en suelo contaminado con plomo a 100 ppm	MP 2	Contenedor 2
Rabanito sembrado en suelo contaminado con plomo a 150 ppm	MP 3	Contenedor 3
Rabanito sembrado en suelo contaminado con cadmio a 1 ppm	MC 1	Contenedor 4

Muestra	Código de muestra de rabanito	N° de contenedor
Rabanito sembrado en suelo contaminado con cadmio a 15 ppm	MC 2	Contenedor 5
Rabanito sembrado en suelo contaminado con cadmio a 30 ppm	MC 3	Contenedor 6
Rabanito sembrado en suelo sin contaminar	MB	Contenedor 7



Figura 8. Etiquetado de contenedores.

2.3.4.8. Preparación de la disolución patrón de plomo y cadmio

Para preparar la disolución patrón de plomo se realiza los siguientes cálculos:

A. Cálculo de la masa molar del reactivo

Fórmula: $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Tabla 5

Cálculo de masa molar de acetato de plomo

Elemento	Peso atómico	N° de moléculas	Total
Pb	207.2	1	207.2
C	12,0107	4	48.0428

Elemento	Peso atómico	N° de moléculas	Total
H	1,00784	12	12.09408
O	15.9994	7	111.9958

Masa molar = 379.33268

Fórmula: Cd (CH₃COO)₂.2H₂O

Tabla 6

Cálculo de masa molar de acetato de cadmio

Elemento	Peso atómico	N° de moléculas	Total
Cd	112.411	1	112.411
H	1.00784	10	10.0784
C	12,0107	4	48.0428
O	15.9994	6	95.9964

Masa molar = 266.5296

B. Cálculo del porcentaje real de aporte

Fórmula: Pb (CH₃COO)₂.3H₂O

Tabla 7

Porcentaje de aporte para el acetato de plomo

Elemento	Aporte	Porcentaje
Pb	207.2	54.62%
C	48.0428	12.67%
H	12.09408	3.19%
O	111.9958	29.52%

Fórmula: Cd (CH₃COO)₂.2H₂O

Tabla 8

Porcentaje de aporte para el acetato de cadmio

Elemento	Aporte	Porcentaje
Cd	112.411	42.18%
H	10.0794	3.78%
C	48.0428	18.03%
O	95.9964	36.01%

C. Cálculo de cantidad de reactivo en gramos

Se calcula los gramos necesarios de acetato de plomo y acetato de cadmio necesarios para generar una solución base con 10 000ppm y 1000ppm respectivamente.

Fórmula: Pb (CH₃COO)₂.3H₂O

$$10\ 000\text{ppm} = 10\ 000\text{mg/L} = 10\text{g/L}$$

$$10\ \text{g.} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 54.62\%$$

$$X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 100\%$$

X=g de acetato de plomo

X=18.301 g de acetato de plomo

Fórmula: Cd (CH₃COO)₂.2H₂O

$$1000\text{ppm} = 1000\text{mg/L} = 1\text{g/L}$$

$$1\text{g.} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 42.18\ \%$$

$$X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 100\ \%$$

X=g de acetato de cadmio

X=2.3701 g de acetato de cadmio



Figura 9. Tara de reactivos.

D. Preparación.

Se mezclará en una probeta de 2 litros de capacidad, 18.301 gramos de Pb
(CH₃COO)₂·3H₂O con 1 litro de agua destilada para obtener plomo
concentrado a 10 000 mg/L.



Figura 10. Preparación de la solución de plomo a 10 000ppm.

Del mismo modo, para preparar la solución patrón de cadmio, se mezcló en una probeta de 2 litros de capacidad 2.3701 gramos de Cd $(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ con 1 litro de agua destilada para obtener cadmio concentrado a 1000 mg/L.



Figura 11. Preparación de la solución de cadmio a 1000ppm.

Ambas soluciones patrones fueron vertidas en recipientes de vidrio de capacidad de 2 litros y almacenadas en el laboratorio hasta su posterior dilución para la aplicación de los tratamientos.

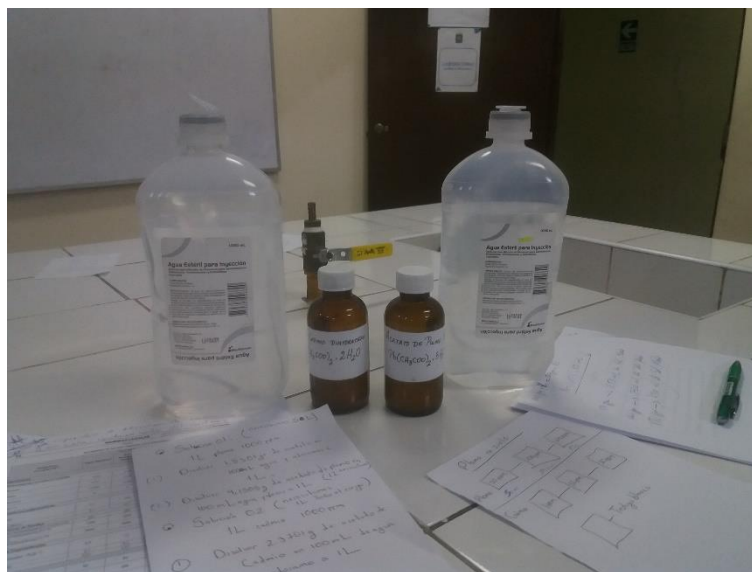


Figura 12. Solución de plomo y cadmio para riego.

En las tablas 9 y tabla 10 se presenta la cantidad necesario de solución que se preparó para contaminar el suelo hasta 50,100 y 150 para el plomo y 1, 15 y 30 ppm para el cadmio.

Tabla 9.

Solución base de plomo y gramos de acetato de plomo

Litro de solución	mg de acetato de	g de acetato de
	Plomo	Plomo
Para 1L de solución	18301	18.301
Para 2L de solución	36602	36.602

Tabla 10.

Solución base de cadmio

Litro de solución	mg de acetato de	g de acetato de
	Plomo	Plomo
Para 1L de solución	2370.1	2.3701
Para 2L de solución	4740.2	4.7402

En la Tabla 11 se especifican los ppm de plomo que se buscó alcanzar, en los cuales se tuvo en cuenta llegar a 50 ppm en el contenedor número 1 para cumplir con el rango máximo de plomo que especifica 70 ppm para suelo agrícola especificado en la tabla 3, en el contenedor número 2 se tuvo en cuenta llegar a 100 ppm para cumplir con el rango máximo de plomo en suelo residencial y parque que especifica 140 ppm en la tabla 3, finalmente en el contenedor número 3 se tuvo en cuenta llegar a 150 ppm para verificar los efectos en el rabanito sin sobrepasar el límite máximo permisible en suelos de uso comercial que especifica 800ppm de plomo según tabla 3; en la tabla

11 se especifica también la cantidad necesaria de solución para alcanzar 50, 100, 150 ppm de plomo en 40 kg de suelo y el número de riegos que se realizará durante el cultivo de rabanito.

En la Tabla 12 se especifican los ppm de cadmio que se buscó alcanzar, en los cuales se tuvo en cuenta llegar a 1 ppm en el contenedor número 4 para cumplir con el rango máximo de cadmio que especifica 1.4 ppm para suelo agrícola, en el contenedor número 5 se tuvo en cuenta llegar a 15 ppm finalmente en el contenedor número 6 se tuvo en cuenta llegar a 30 ppm y verificar los efectos en el cultivo de rabanito basado en la tabla 3.

Tabla 11.

Mililitros de solución base de plomo y número de riegos

Muestra	Unidad(mg/kg)			Total, de mg y mL
	muestra	muestra	muestra	
	MP1	MP2	MP3	
ppm (mg/kg) a alcanzar en tierra	50	100	150	
mg de plomo para 40 kg de tierra	2000	4000	6000	12000
Cantidad necesaria de solución mL	200	400	600	1200
Numero de riegos	20	20	20	
Solución contaminante por riego mL	10	20	30	

Tabla 12.

mL de solución base de cadmio y número de riegos

Muestras de tierra regadas con solución a 1000 ppm de cadmio				
Muestra	Unidad(mg/kg)			Total, de mg y mL
	muestra	muestra	muestra	
	MC1	MC2	MC3	
ppm (mg/kg) a alcanzar en tierra	1	15	30	
mg de cadmio para 40 kg de tierra	40	600	1200	1840
Cantidad necesaria de solución mL	40	600	1200	1840
Numero de riegos	20	20	20	
Solución por riego mL	2	30	60	

En la tabla 12 se especifica también la cantidad necesaria de solución para alcanzar 1, 15 y 30 ppm de cadmio en 40 kg de suelo y el número de riegos que se realizará durante el cultivo de rabanito.

2.3.4.9. Crecimiento y desarrollo

El crecimiento de rabanito en los contenedores 1,2,3,4,5,6 y 7 no evidencia retraso de crecimiento o amarillamiento por el contrario se aprecia un desarrollo normal a pesar de los niveles de plomo y cadmio agregados durante los riegos, según se evidencia en las fotos 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18.



Figura 13. Crecimiento de rabanito en contenedor N° 1 contaminado con Plomo 50 ppm.



Figura 14. Crecimiento de rabanito en contenedor N° 2 contaminado con Plomo 100 ppm.



Figura 15. Crecimiento de rabanito en contenedor N° 3 contaminado con Plomo 150 ppm.



Figura 16. Crecimiento de rabanito en contenedor N° 4 contaminado con Cadmio 1ppm.



Figura 17. Crecimiento de rabanito en contenedor N° 5 contaminado con Cadmio 15ppm.



Figura 18. Crecimiento de rabanito en contenedor N° 6 contaminado con Cadmio 30 ppm.



Figura 19. Crecimiento de rabanito en contenedor N° 7 (MB).

2.3.4.10. Riego y aplicación de plomo y cadmio

Los dos primeros riegos descritos en la tabla 13 se realizaron con agua destilada hasta la germinación de la planta que tuvo lugar 8 días después de la siembra.

A partir de ello se adicionó las soluciones de plomo y cadmio preparadas en laboratorio al agua de riego en las proporciones descritas en la tabla 11 y 12, teniendo en cuenta la siguiente distribución.

Muestra MP1: Cultivo de rabanito regado con agua destilada contaminada artificialmente por plomo hasta 50 ppm en tierra

Muestra MP2: Cultivo de rabanito regado con agua destilada contaminada artificialmente por plomo hasta 100 ppm en tierra

Muestra MP3: Cultivo de rabanito regado con agua destilada contaminada artificialmente por plomo hasta 150 ppm en tierra

Muestra MC1: Cultivo de rabanito regado con agua destilada contaminada artificialmente por cadmio hasta 1 ppm en tierra

Muestra MC2: Cultivo de rabanito regado con agua destilada contaminada artificialmente por cadmio hasta 15 ppm en tierra

Muestra MC3: Cultivo de rabanito regado con agua destilada contaminada artificialmente por cadmio hasta 30 ppm en tierra

Muestra MB: Cultivo de rabanito regado con agua destilada sin contaminantes por 90 días, cada 4 días.

En la tabla 13 se muestra el cronograma de riegos con agua destilada y con agua contaminada para cada contenedor.

Tabla 13.

Cronograma de riegos y contaminantes

Número de bandeja	Fecha de riego																								
	14/07/2019	21/07/2019	25/07/2019	28/07/2019	1/08/2019	4/08/2019	7/08/2019	11/08/2019	15/08/2019	18/08/2019	21/08/2019	24/08/2019	28/08/2019	1/09/2019	5/09/2019	11/09/2019	16/09/2019	21/09/2019	26/09/2019	29/09/2019	1/10/2019	4/10/2019	7/10/2019	9/10/2019	
	Número de riego																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Bandeja N°1	A	A	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	A
Bandeja N°2	A	A	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	A
Bandeja N°3	A	A	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	A	
Bandeja N°4	A	A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	
Bandeja N°5	A	A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	
Bandeja N°6	A	A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	
Bandeja N°7	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	

Nota: A = riego con agua sin contaminante; P = riego con agua contaminada con plomo; C = riego con agua contaminada con cadmio

2.3.4.11. Obtención de muestras

La recolección de muestras de rabanito consistió en extraer la planta completa del suelo contaminado con plomo y cadmio para analizar la capacidad de absorción de la planta y su almacenamiento en tallo, hojas y bulbo; la recolección se realizó a los 2 y 3 meses del desarrollo de la planta.

Se envió cada muestra etiquetada a laboratorio en el cual se utilizó un espectrómetro de absorción para determinar los ppm de plomo y cadmio que absorbe la planta durante el riego con agua intoxicada en tallo, hojas y bulbo.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en laboratorio son plasmados y analizados en tablas para verificar la linealidad de los datos, de este modo verificar la capacidad de absorción del rabanito en intervalos de tiempo.

La tabla número 14 presenta lo datos concernientes a los ensayos de suelo en la cual se verifica la contaminación de plomo y cadmio antes del cultivo, durante el cultivo y al final del cultivo.

Tabla 14.

ppm de plomo en muestras durante el cultivo de rabanito

N° de contenedor	Elemento	Suelo antes del cultivo (ppm)	Suelo durante el cultivo (ppm)	Suelo al final del cultivo (ppm)
Contenedor 1	plomo	24.21	50.00	28.74
Contenedor 2	plomo	24.21	100.00	58.74
Contenedor 3	plomo	24.21	150.00	103.15
Contenedor 4	cadmio	0.365	1.00	2.29
Contenedor 5	cadmio	0.365	15.00	5.90
Contenedor 6	cadmio	0.365	30.00	6.02
Contenedor 7	testigo	0.365 cadmio	0.365	0.21
		24.21 plomo	24.21	20.1

En la tabla 15 y tabla 16 se presentan también los resultados obtenidos de laboratorio que muestran los ppm de plomo y cadmio absorbidos durante el cultivo de rabanito tanto en bulbo, tallo y hojas a 0, 60 y 90 días de cultivo.

Tabla 15.

Absorción de plomo durante el cultivo

ppm de plomo en suelo contaminado									
Contaminante	Código	Unidad	0 días	60 días			90 días		
			Absorción	Absorción en bulbo	Absorción en tallo y hojas	Absorción total	Absorción en bulbo	Absorción en tallo y hojas	Absorción total
Muestra sin contaminante	MB	mg/kg	0	0.30	0.07	0.37	0.30	0.07	0.37
Con 50ppm de Plomo	MP1	mg/kg	0	0.92	0.230	1.15	0.332	1.084	1.42
Con 100ppm de Plomo	MP2	mg/kg	0	1.85	0.435	2.29	0.374	2.521	2.90
Con 150ppm de Plomo	MP3	mg/kg	0	1.97	0.478	2.45	1.001	3.046	4.05

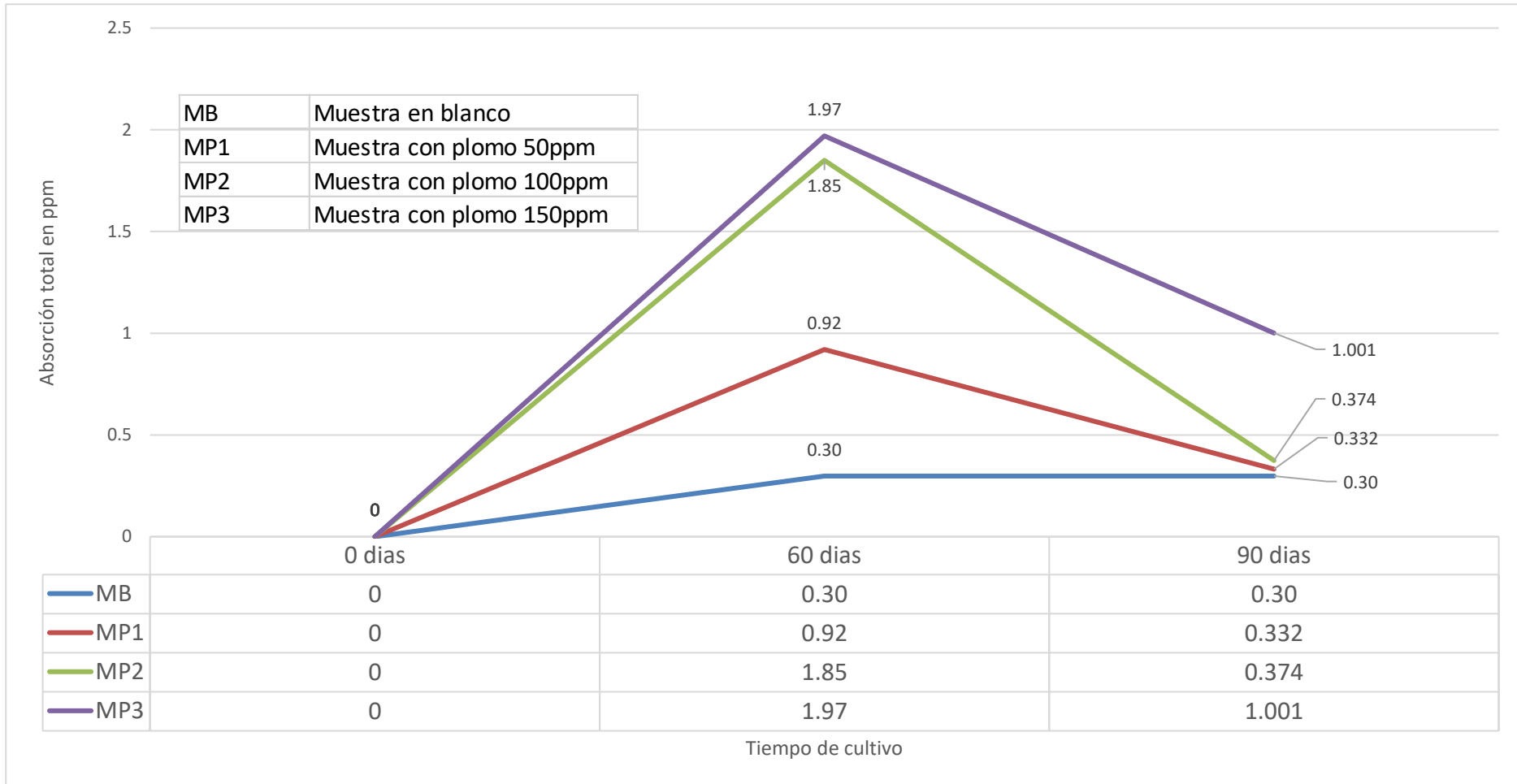


Figura 20. Absorción de plomo en bulbo de rabanito.

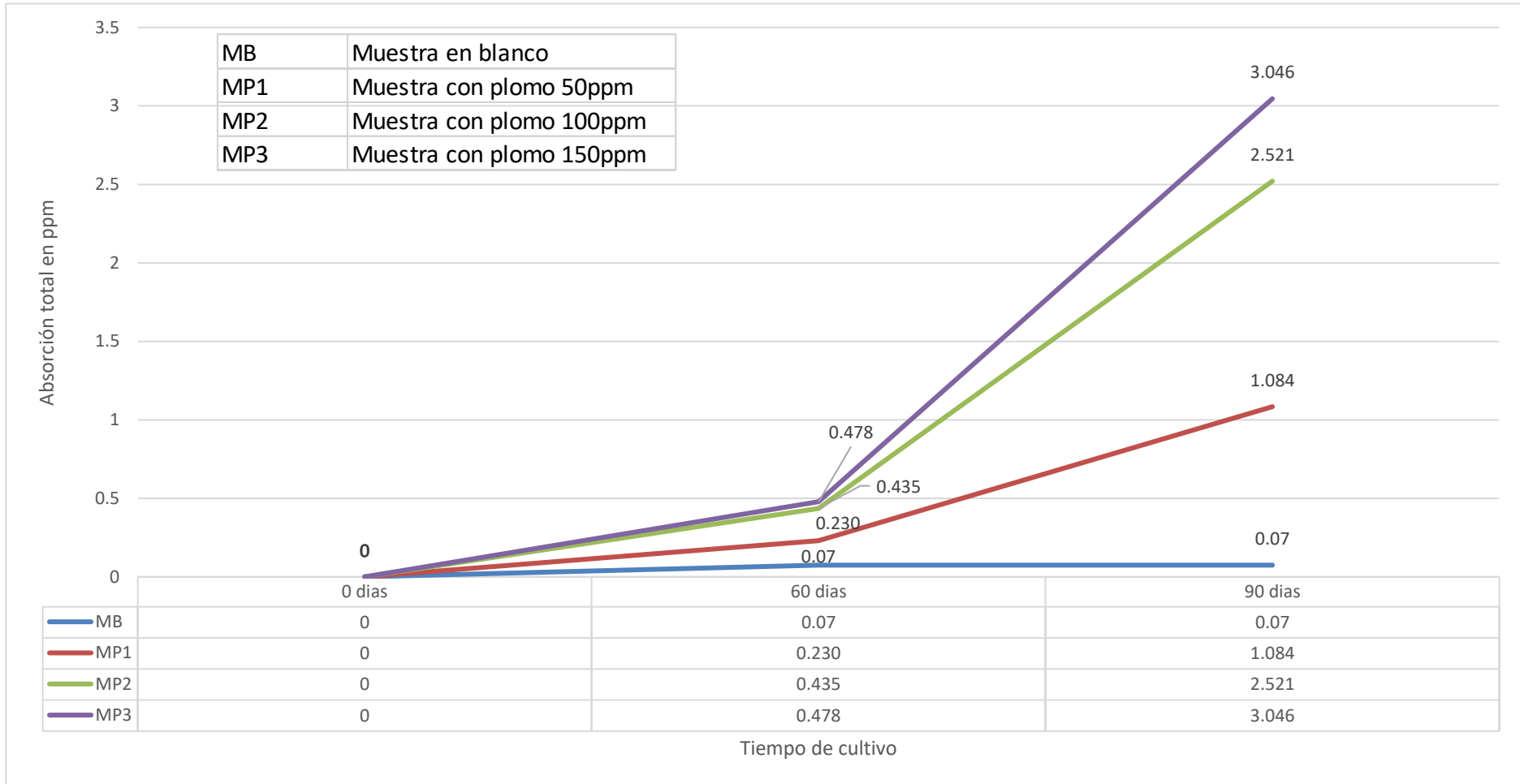


Figura 21. Absorción de plomo en tallo y hojas del rabanito.

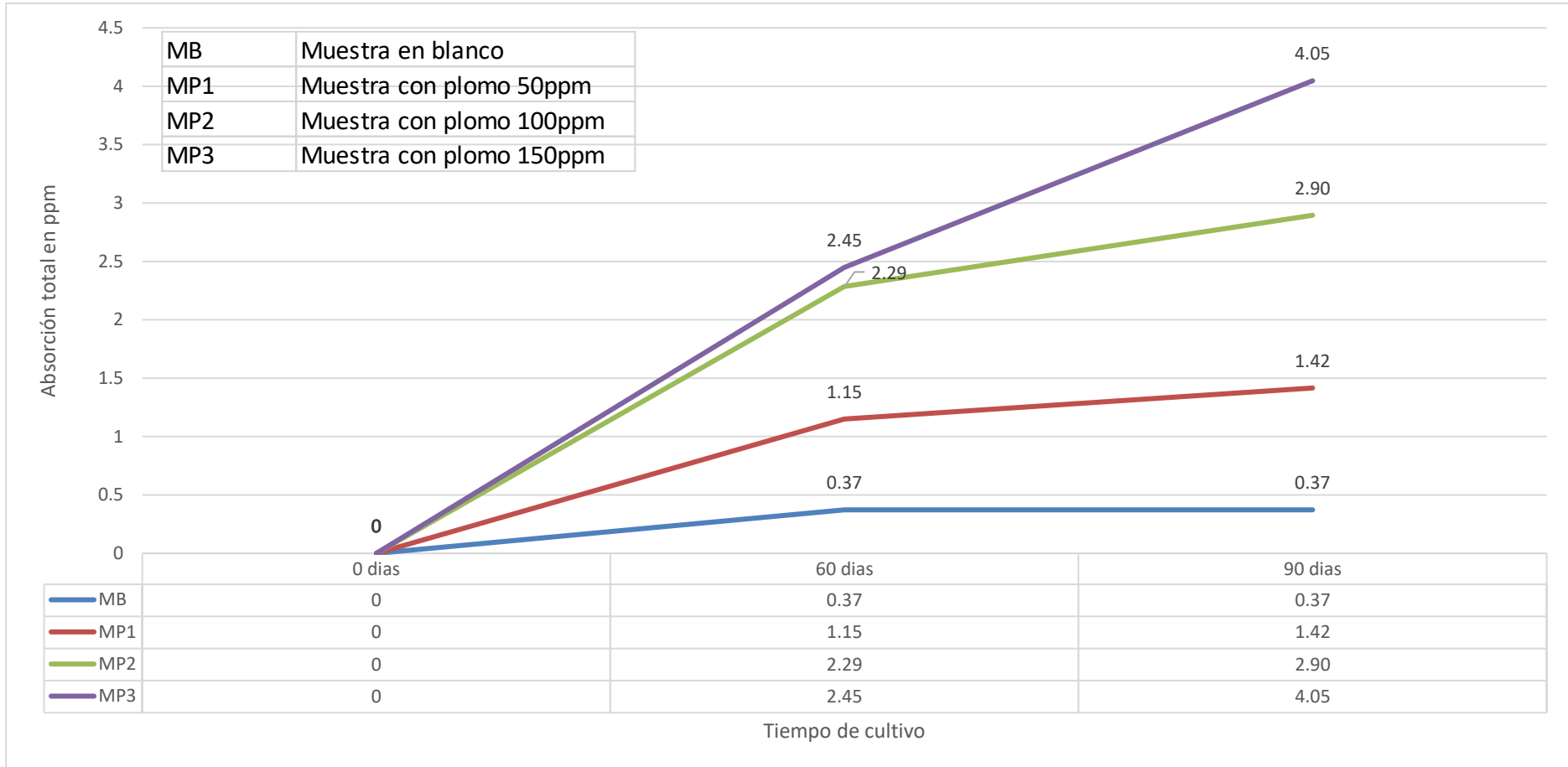


Figura 22. Absorción total de plomo en toda la planta de rabanito.

Tabla 16

Resultados del primer muestreo de plomo en rabanito

Contaminante	Unidad	Bulbo	Tallo y hojas	Total	Fecha muestreo
Con 50ppm de Plomo	mg/kg	0.92	0.230	1.15	15/09/2019
Con 100ppm de Plomo	mg/kg	1.85	0.435	2.29	15/09/2019
Con 150ppm de Plomo	mg/kg	1.97	0.478	2.45	15/09/2019

Tabla 17.

Resultado del segundo muestreo de plomo en rabanito

Contaminante	Unidad	Bulbo	Tallo y hojas	Total	Fecha muestreo
Con 50ppm de Plomo	mg/kg	0.332	1.084	1.42	13/10/2019
Con 100ppm de Plomo	mg/kg	0.374	2.521	2.90	13/10/2019
Con 150ppm de Plomo	mg/kg	1.001	3.046	4.05	13/10/2019

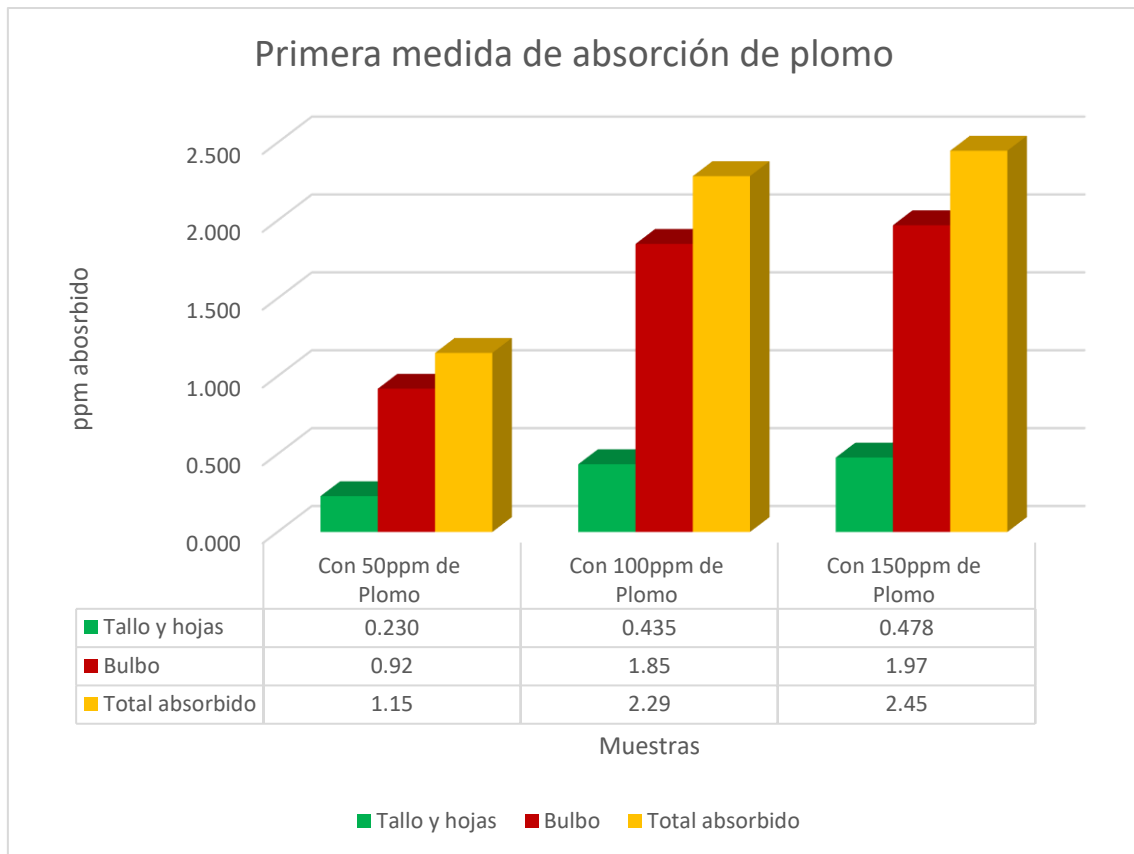


Figura 23. Medida de plomo en rabanito a 60 días de cultivo.

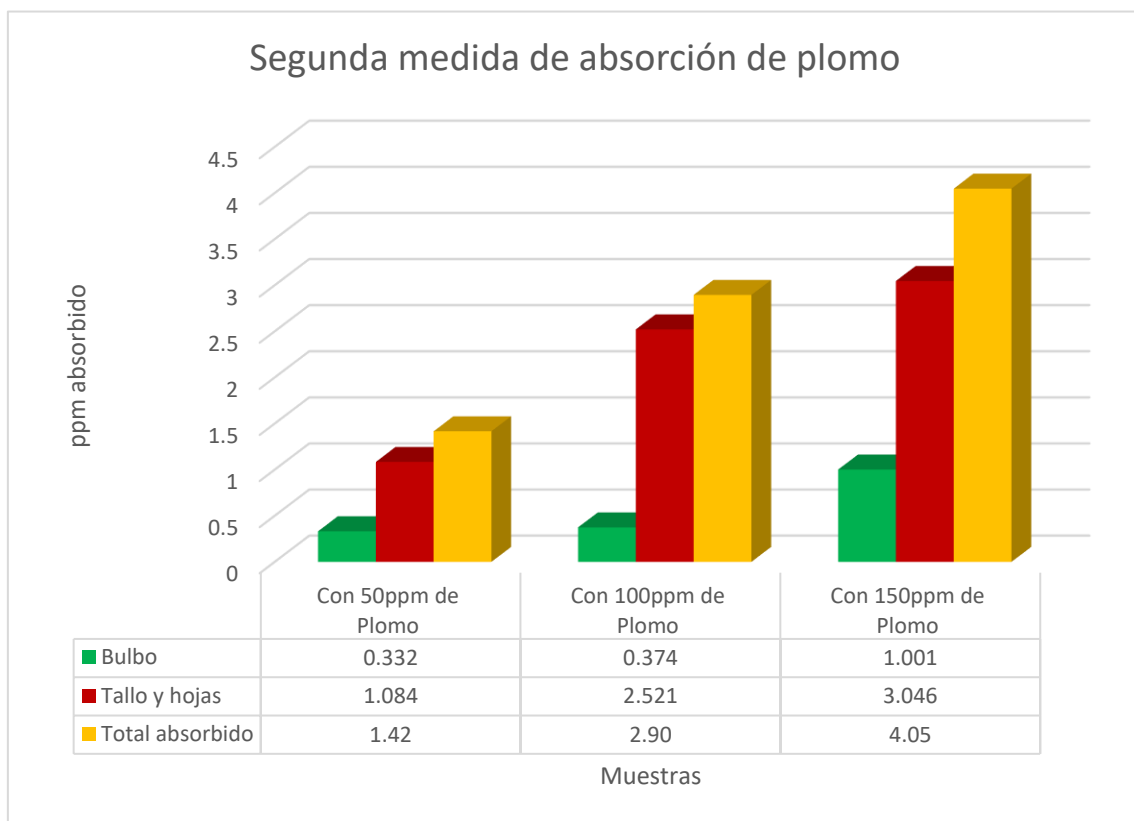


Figura 24. Medida de plomo en rabanito a 90 días de cultivo.

Tabla 18.

Absorción de cadmio durante el cultivo de rabanito

		ppm de Cadmio en suelo contaminado							
		Semilla		Primer muestreo			Segundo muestreo		
Suelo contaminado	Unidad	Almacenamiento	Absorción en bulbo	Absorción en tallo y hojas	Absorción total	Absorción en bulbo	Absorción en tallo y hojas	Absorción total	
Muestra contaminante	sin mg/kg	0	0.04	0.01	0.05	0.04	0.01	0.05	
Con 1 ppm de Cadmio	mg/kg	0	0.29	0.07	0.36	0.064	0.11	0.17	
Con 15 ppm de Cadmio	mg/kg	0	1.04	0.24	1.28	0.092	0.15	0.24	
Con 30 ppm de Cadmio	mg/kg	0	1.29	0.31	1.60	0.117	0.23	0.32	

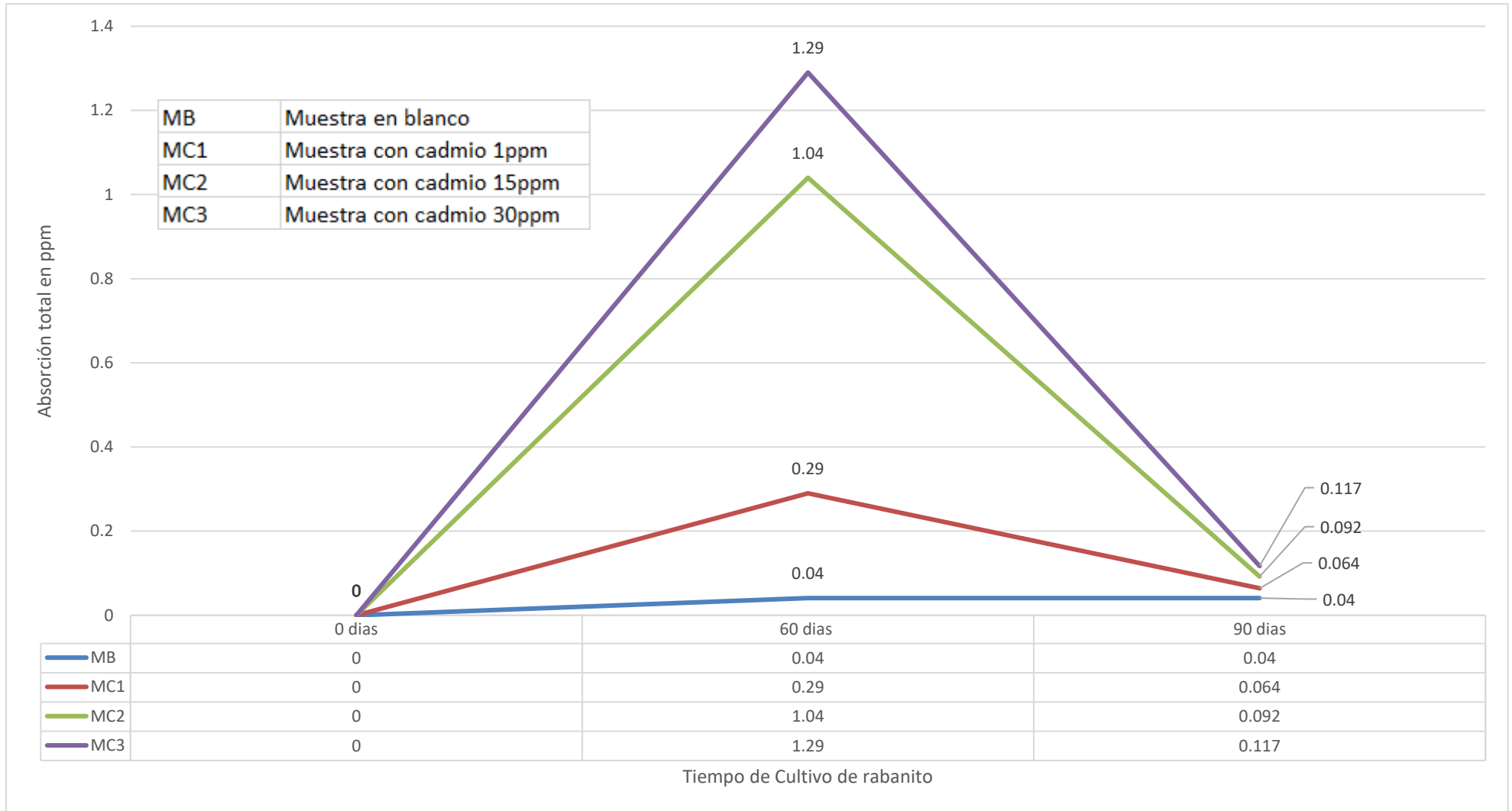


Figura 25. Absorción de cadmio en bulbo de rabanito.

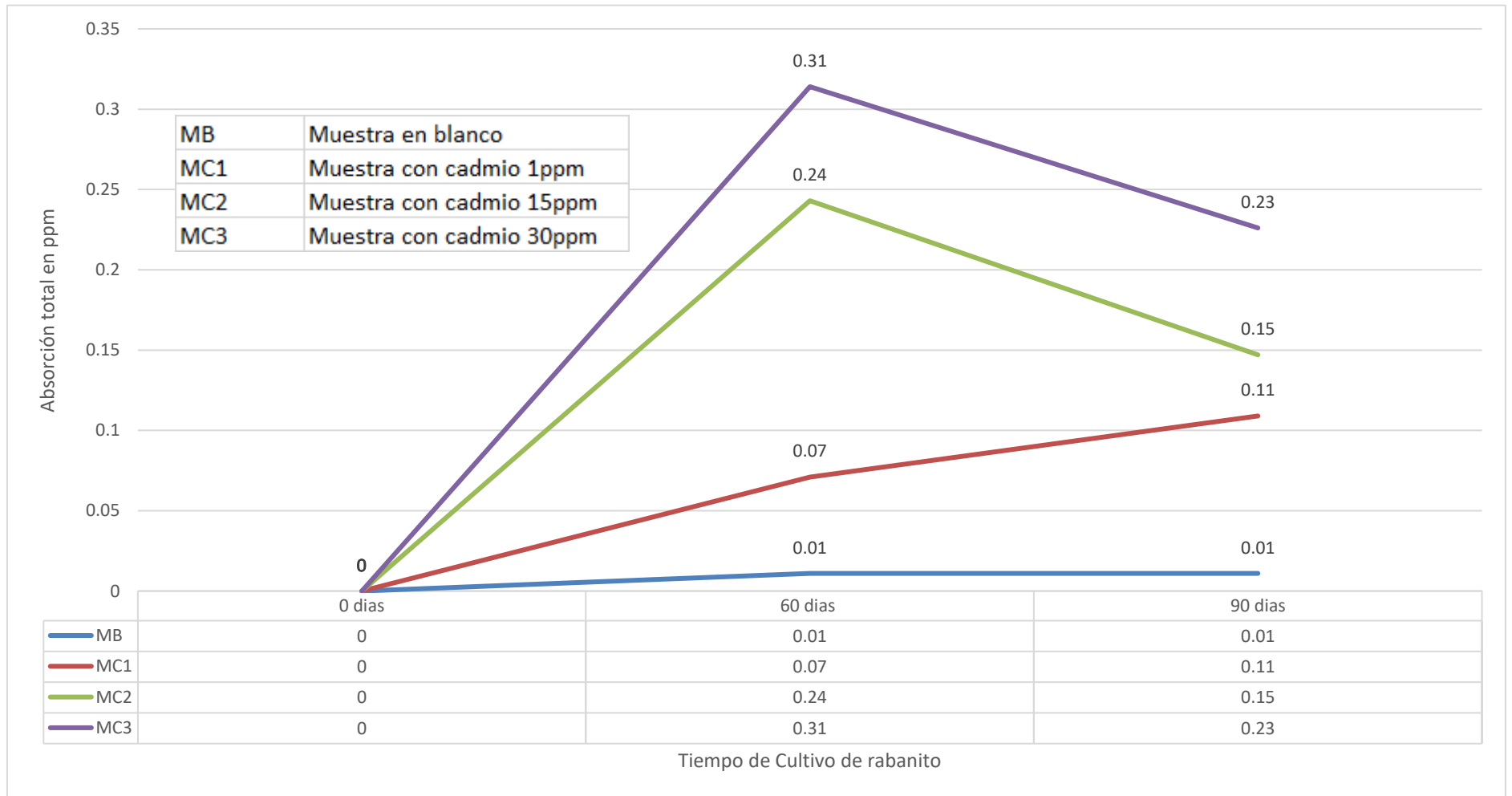


Figura 26. Absorción de cadmio en tallo y hojas de rabanito.

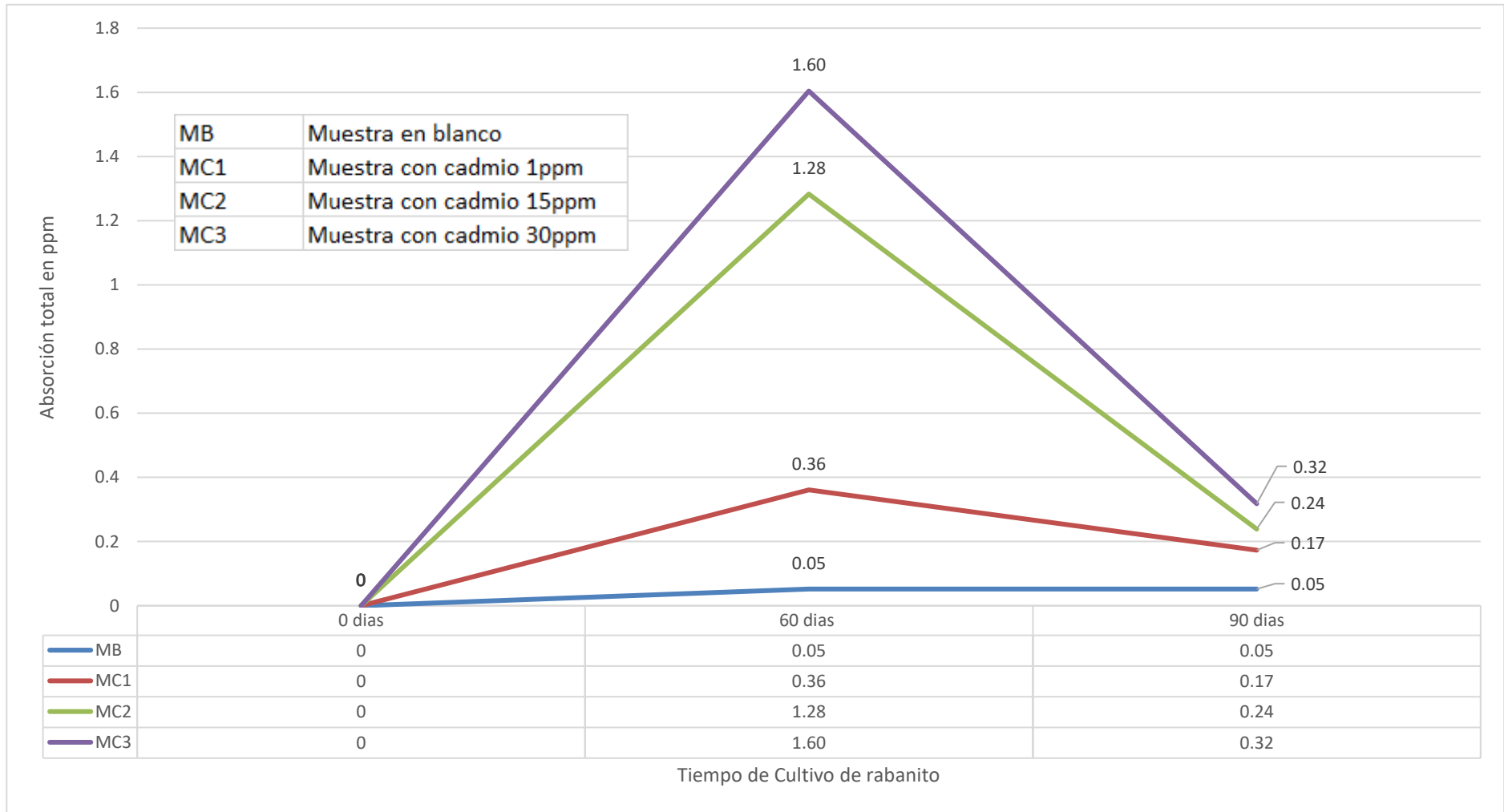


Figura 27. Absorción total de cadmio en toda la planta de rabanito.

Tabla 19.

Resultado de primer muestreo de cadmio en rabanito

Contaminante	Unidad	Bulbo	Tallo y hojas	Total	Fecha muestreo
Con 1 ppm de Cadmio	mg/kg	0.29	0.071	0.36	15/09/2019
Con 15 ppm de Cadmio	mg/kg	1.04	0.243	1.28	15/09/2019
Con 30 ppm de Cadmio	mg/kg	1.29	0.314	1.60	15/09/2019

Tabla 20.

Resultado de segundo muestreo de cadmio en rabanito

Contaminante	Unidad	Bulbo	Tallo y hojas	Total	Fecha muestreo
Con 1 ppm de Cadmio	mg/kg	0.064	0.11	0.17	13/10/2019
Con 15 ppm de Cadmio	mg/kg	0.092	0.15	0.24	13/10/2019
Con 30 ppm de Cadmio	mg/kg	0.117	0.23	0.34	13/10/2019

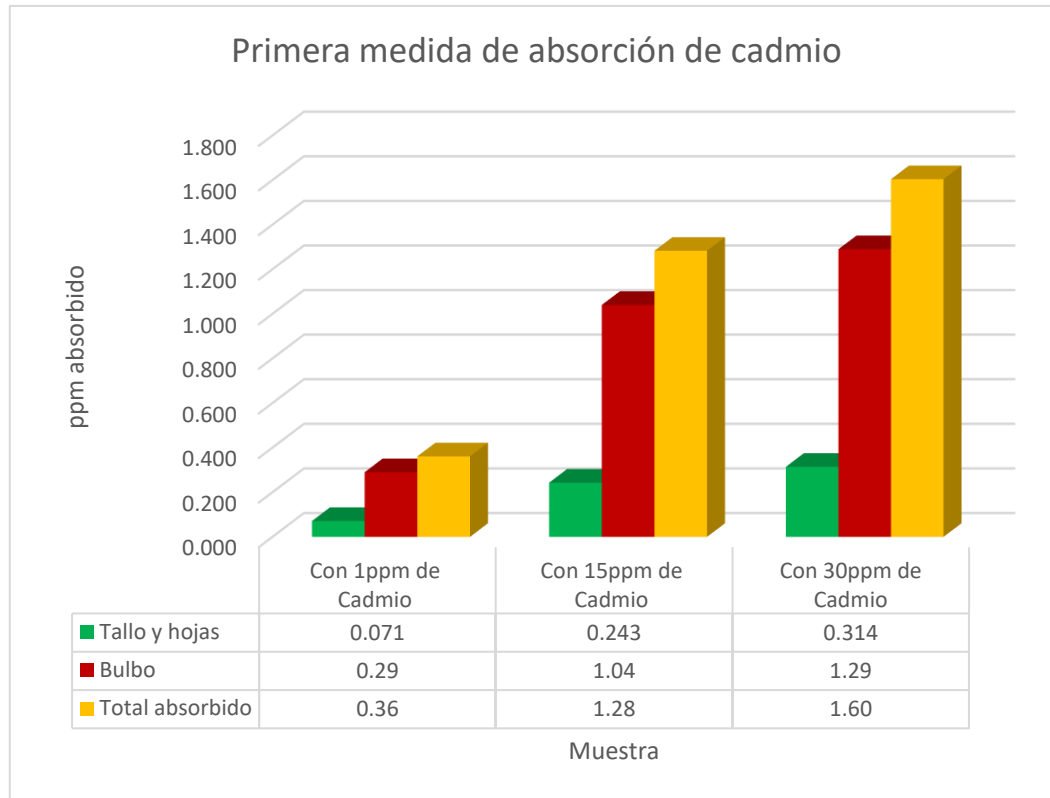


Figura 28. Absorción de cadmio a 60 días de cultivo.

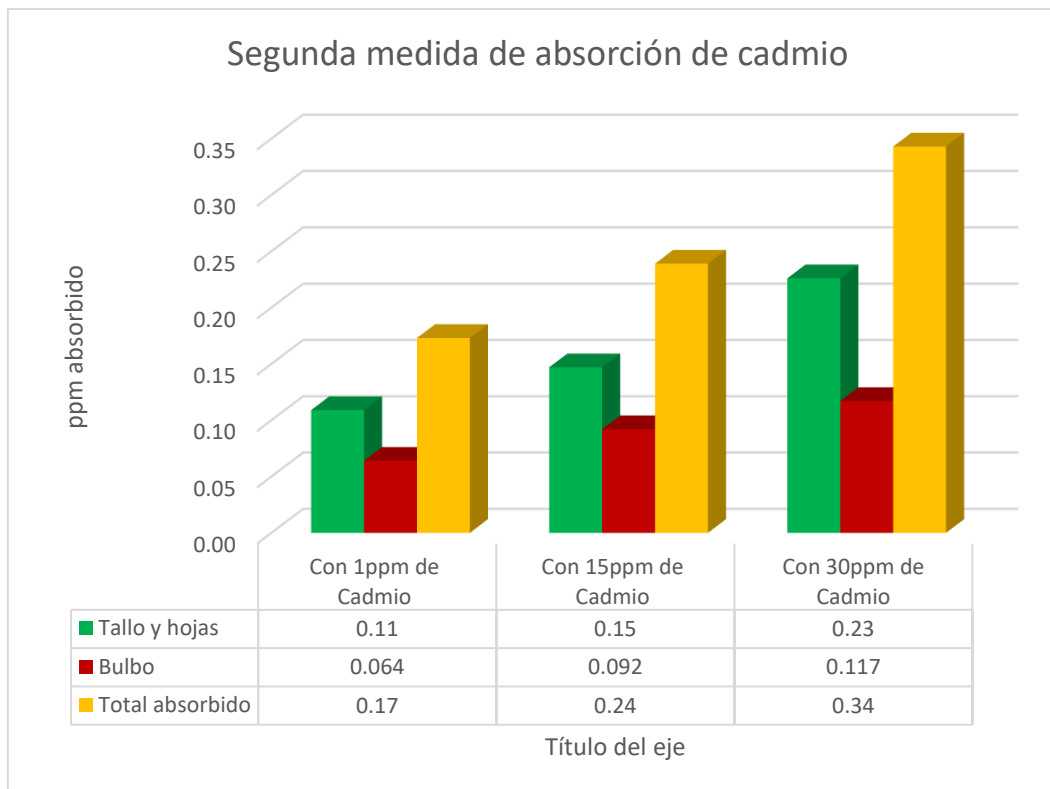


Figura 29. Absorción de cadmio a 90 días de cultivo.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

A partir de los resultados globales se puede verificar que el *Raphanus sativus* tiene una elevada capacidad de absorción de metales pesados como el plomo y cadmio, se almacena en mayor cantidad en el bulbo de la planta (fruto) en el caso del plomo, así como en el tallo y hojas en el caso del cadmio al finalizar el cultivo.

También se verifica a partir de los resultados que el *Raphanus sativus* absorbe en mayor cantidad el plomo que el cadmio concordando con Asencios (2017) el cual demostró la elevada capacidad de absorción de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en *Raphanus sativus* cultivados con compost producido a base de residuos sólidos municipales en Huari, por lo tanto, se demostró que pueden ser incorporados a la cadena trófica afectando la salud de los seres vivos.

Se verifica también que el plomo y cadmio tiene diferente forma de absorción que se especifica a continuación:

Absorción de plomo

El plomo según se aprecia en la tabla 15 tiene su mayor capacidad de absorción durante los primeros 60 días de su tiempo de cultivo, además el plomo se almacena en mayor cantidad en el bulbo durante los primeros 60 días y migra al tallo y hojas en los siguientes 30 días evidenciándose una disminución considerable de la acumulación de plomo en el bulbo y aumento en tallo y hojas.

De manera global al finalizar el cultivo (90 días) se observa que hay una mayor acumulación de plomo en el bulbo.

De los resultados también se puede observar que conforme aumenta los ppm de plomo de 50, 100 a 150 ppm; no se evidencia daños en la planta, por el contrario, a mayor cantidad de plomo en el suelo es mayor la cantidad de plomo absorbido

Absorción de cadmio

El cadmio según se aprecia en la tabla 16 tiene su mayor capacidad de absorción durante los primeros 60 días del tiempo de cultivo tanto en bulbo como en tallo y hojas, además el cadmio se almacena en mayor cantidad en el bulbo los primeros 60 días, luego presenta una pérdida considerable tanto en el bulbo como en el tallo y hojas a los 90 días.

De manera global al finalizar el cultivo (90 días) se observa que hay una mayor acumulación de cadmio en el tallo y hojas.

De los resultados también se puede observar que conforme aumenta los ppm de cadmio de 1, 15 a 30 ppm; no se evidencia daños en la planta, por el contrario, a mayor cantidad de cadmio en el suelo es mayor la cantidad de cadmio absorbido.

A partir de la muestra en blanco (MB), se puede verificar lo obtenido en las muestras de plomo y cadmio, en el caso de la muestra en blanco tiene niveles de plomo absorbido de 0.37 y 0.05 cadmio de manera global, lo que corrobora que, a menor cantidad de plomo y cadmio en el suelo, es menor la cantidad del metal absorbido.

De los resultados se obtiene que a los 60 días del cultivo se tiene valores de plomo de 0.92 para suelo contaminado a 50 ppm, 1.85 para suelo contaminado a 100 ppm y 1.97 para suelo contaminado con 150 ppm; todos ellos por encima de los límites

máximos permisibles planteados por la organización mundial de la salud según tabla 21, que plantea un valor límite de 0.1 ppm de plomo.

De igual modo de los valores de cadmio en el bulbo a los 60 días se tiene: 0.29 para suelo contaminado a 1 ppm, 1.04 para suelo contaminado a 15 ppm y 1.29 para suelo contaminado con 30 ppm; todas ellas se encuentran por encima de los límites máximos permisibles planteados por la organización mundial de la salud según tabla 22, que plantea un valor límite de 0.05 ppm de cadmio.

De los resultados se obtiene que al finalizar el cultivo a los 90 días se tiene valores de plomo en el bulbo de: 0.30 en la muestra en blanco, 0.332 para suelo contaminado a 50 ppm, 0.374 para suelo contaminado a 100 ppm y 1.001 para suelo contaminado con 150 ppm; todos ellos por encima de los límites máximos permisibles planteados por la organización mundial de la salud según tabla 21, que plantea un valor límite de 0.1 ppm de plomo.

De igual modo de los valores de cadmio al finalizar el cultivo a los 90 días en el bulbo se tiene: 0.04 en la muestra en blanco, 0.064 para suelo contaminado a 1 ppm, 0.092 para suelo contaminado a 15 ppm y 0.117 para suelo contaminado con 30 ppm; de los cuales las muestras MC1, MC2 Y MC3 se encuentran por encima de los límites máximos permisibles planteados por la organización mundial de la salud según tabla 22, que plantea un valor límite de 0.05 ppm de cadmio.

Tabla 21.

Total de plomo en alimentos

Nombre del alimento	Nivel máximo ppm	Parte del producto básico/producto a que se aplica el nivel máximo (NM)	Notas/observaciones
Hortalizas brasicáceas y hortalizas de bulbo	0.1	Coles arrepolladas y colinabos: todo el producto que se comercializa, después de eliminar las hojas claramente descompuestas o marchitas. Coliflor y brécoles: repollos (inflorescencia inmadura solo). Coles de Bruselas: “capullos” sólo. Cebollas bulbo/secas y ajo: todo el producto después de eliminar las raíces y el suelo adherente.	El NM no se aplica a la col rizada ni a las brasicáceas de hoja.

Fuente: *Código de prácticas sobre medidas aplicables en el origen para reducir la contaminación de los alimentos con sustancias químicas* (CAC/RCP 49-2001)

Tabla 22.

Total de cadmio en alimentos

Nombre del alimento	Nivel máximo ppm	Parte del producto básico/producto a que se aplica el nivel máximo (NM)	Notas/observaciones
Hortalizas brasicáceas y hortalizas de bulbo	0.05	Coles arrepolladas y colinabos: todo el producto que se comercializa, después de eliminar las hojas claramente descompuestas o marchitas. Coliflor y brécoles: repollos (inflorescencia inmadura solo). Coles de Bruselas: “capullos” sólo. Cebollas bulbo/secas y ajo: todo el producto después de eliminar las raíces y el suelo adherente.	El NM no es aplicable a las hortalizas brasicáceas de hoja

Fuente: *Código de prácticas sobre medidas aplicables en el origen para reducir la contaminación de los alimentos con sustancias químicas* (CAC/RCP 49-2001)

4.2 Conclusiones

- El rabanito tiene una capacidad de absorción elevada de plomo en el cultivo, 0.37 ppm de plomo en toda la planta en muestras de suelo que no sobrepasan los ECA para suelo de cultivo (MB), 1.42 ppm de plomo en toda la planta en suelo contaminado con 50 ppm de plomo (MP1), 2.90 de plomo en toda la planta en suelo contaminado con 100 ppm de plomo (MP2), 4.05 ppm de plomo en toda la planta en suelo contaminado con 150 ppm de plomo (MP3), lo cual lo convierte su consumo en una amenaza silenciosa por la alta capacidad de absorción de este metal a pesar de cumplir con los límites planteados en los ECA de suelo de cultivo.
- El rabanito tiene una capacidad de absorción elevada de cadmio en el cultivo, 0.05 ppm de cadmio en toda la planta en muestras de suelo que no sobrepasan los ECA para suelo de cultivo (MB), 0.17 ppm de cadmio en toda la planta en suelo contaminado con 1 ppm de cadmio (MC1), 0.24 de cadmio en toda la planta en suelo contaminado con 15 ppm de cadmio (MC2), 0.32 ppm de cadmio en toda la planta en suelo contaminado con 30 ppm de cadmio (MC3), con lo cual se concluye que debe monitorearse los suelos en los que se realiza el cultivo para evitar presencias elevadas de este metal.
- Se concluye que el *Raphanus sativus* (rabanito) no presenta efectos visibles en el crecimiento en suelo contaminados por plomo y cadmio lo que lo convierte en un riesgo de consumo.
- De la investigación podemos concluir que el *Raphanus sativus* (rabanito) absorbe mayor cantidad de plomo que se aloja en el bulbo (parte comestible de la planta) al finalizar su cultivo y en menor cantidad cadmio que se aloja en mayor proporción en tallo y hojas al finalizar su cultivo.

REFERENCIAS

Alloway, B. (1 995). *Heavy Metals in Soils*. London: Board

Asencios, M., C. (2 017). *Bioacumulación de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en Raphanus sativus cultivados con compost producido a base de residuos sólidos municipales en Huari, Ancash 2017* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo. Lima, Perú.

Braunwald et al. (2 002) *Harrison Principios de Medicina Interna*. México: Copyright

Choppin, G. (2 011). *Química*. México: Patria.

Doménech, X., y Peral, J. (2 006). *Química ambiental de sistemas terrestres*. España: Reverté.

Dreisbach. R., y Robertson. W. (1 999). *Toxicología Clínica*. México: Moderno.

García G. H. (1 997). *Determinación y cuantificación de elementos tóxicos y sustancias tóxicas por método espectrofotométrico en tejido muscular de Chichlasoma managuense (Gunter) Guapote o pez de tigre en el Lago de amatitlán. Guatemala,* (Tesis de Licenciatura en Biología). Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.

García, M. V. (2010). *Determinación cuantitativa de Cobre, Arsénico, Cadmio y Plomo en rábano rojo (Raphanus sativus), que se cosecha en planes de San Pedro Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala*, (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.

Gross, S. B., Pfitzer, E. A., Yeager, D. W., y Kehoe, R. A. (1975). Lead in human tissues. *Toxicol, Appl. Pharmacol*, 32(3), 638-651. Doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0041008X75901271?via%3Dihub>

Gutiérrez, W., J. (2017). *Metales pesados en Lolium multiflorum y Trifolium repens cultivados en aguas residuales IN VITRO* (Tesis de maestría), Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

International Agency for Research on Cancer. (2012). *Agents Classified by the IARC Monograph*. Recuperado de <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>

Intawongse, M., y Dean. J. (2006). Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract; *Food Additives and Contaminants*, 23(1), 36-48.

Lucho et al (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *PubMed*, 31(1), 313-323.

Marbán, L., Giuffré L., Ratto S., Agostini A. (1 999). *Contaminación con metales pesados en un suelo de la cuenca del río Reconquista*. Australia: Ecología Austral

Mendez, J., González, C., Roman, A., y Prieto, F. (2 009). Contaminación y fitotoxicidad en las plantas por metales pesados provenientes de suelo y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44.

Organización Mundial de la salud. (2 015). *Inocuidad de los alimentos*. Recuperado de <https://www.who.int/campaigns/world-health-day/2015/event/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2 013). *Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

Reyes et al (2 016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-67.

Rodríguez, et al (2 006). Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos Contaminados. *Fitotecnia Mexicana*, 29(3), 239-245.


United States Department of Agriculture. (2 006). Rábano rojo, fuentes y detalles. Recuperado de <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/site/national/home/>.

United States Department of Agriculture. (2 006). *Clase textural de suelos*. Recuperado de


<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/site/national/home/>.

ANEXOS

Anexo N°1. Resultados de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION



LASACI


INFORME DE ANALISIS

SOLICITANTE	: JOSE CELIS LLAMOGA	
MUESTRA	: Rabanito	
FECHA DE INGRESO	: 15 DE SEPTIEMBRE DEL 2019	
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO		

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Plomo 108	Pb mg/ Kg	1.97
Plomo 72	Pb mg/ Kg	1.85
Plomo 36	Pb mg/ Kg	0.92

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Cadmio 108	Cd mg/ Kg	1.04
Cadmio 7.2	Cd mg/ Kg	0.29
Cadmio 206	Cd mg/ Kg	1.29


TRUJILLO, 30 DE SEPTIEMBRE DEL 2019



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

Scanned by CamScanner



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

LASACI


INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: JOSE CELIS LLAMOGA
MUESTRA	: Hojas de Rabanito
FECHA DE INGRESO	: 15 DE SEPTIEMBRE DEL 2019
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Plomo 108	Pb mg/ Kg	0.478
Plomo 7.2	Pb mg/ Kg	0.435
Plomo 36	Pb mg/ Kg	0.23

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Cadmio 108	Cd mg/ Kg	0.243
Cadmio 7.2	Cd mg/ Kg	0.071
Cadmio 206	Cd mg/ Kg	0.314

TRUJILLO, 30 DE SEPTIEMBRE DEL 2019



LASACI
 Laboratorio de Servicios a la Comunidad e Investigación
 Trujillo, Perú

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBÓN - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION



LASACI

INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: JOSE CELIS LLAMOGA
MUESTRA	: Rabanito
FECHA DE INGRESO	: 13 DE OCTUBRE DEL 2019
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

Muestra en blanco

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Plomo	Pb mg/ Kg	0.298

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Plomo 108	Pb mg/ Kg	1.001
Plomo 72	Pb mg/ Kg	0.374
Plomo 36	Pb mg/Kg	0.132

Muestra en blanco

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Cadmio	Cd mg/ Kg	0.041

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Cadmio 108	Cd mg/ Kg	0.092
Cadmio 206	Cd mg/ Kg	0.117
Cadmio 7.2	Cd mg/ Kg	0.064

TRUJILLO, 25 DE OCTUBRE DEL 2019



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION



LASACI

INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: JOSE CELIS LLAMOGA
MUESTRA	: Hojas de Rabanito
FECHA DE INGRESO	: 13 DE OCTUBRE DEL 2019
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

Muestra en blanco

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Plomo	Pb mg/ Kg	0.0745

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Plomo 108	Pb mg/ Kg	0.245
Plomo 72	Pb mg/ Kg	0.093
Plomo 36	Pb mg/Kg	0.031

Muestra en blanco

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Cadmio	Cd mg/ Kg	0.011

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Cadmio 108	Cd mg/ Kg	0.023
Cadmio 206	Cd mg/ Kg	0.029
Cadmio 7.2	Cd mg/ Kg	0.016

TRUJILLO, 25 DE OCTUBRE DEL 2019



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION



LASACI

INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: JOSE CELIS LLAMOGA
MUESTRA	: TALLO
FECHA DE INGRESO	: 13 DE OCTUBRE DEL 2019
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Plomo 108	Pb mg/ Kg	2.801
Plomo 72	Pb mg/ Kg	1.428
Plomo 36	Pb mg/Kg	1.053

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Cadmio 108	Cd mg/ Kg	0.124
Cadmio 206	Cd mg/ Kg	0.197
Cadmio 7.2	Cd mg/ Kg	0.093

TRUJILLO, 25 DE OCTUBRE DEL 2019



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION



LASACI

INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: JOSE CELIS LLAMOGA
MUESTRA	: SUELO
FECHA DE INGRESO	: 13 DE OCTUBRE DEL 2019
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Plomo 108	Pb mg/ Kg	103.15
Plomo 72	Pb mg/ Kg	58.76
Plomo 36	Pb mg/Kg	28.74

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
Cadmio 108	Cd mg/ Kg	5.897
Cadmio 206	Cd mg/ Kg	6.015
Cadmio 7.2	Cd mg/ Kg	2.289

TRUJILLO, 25 DE OCTUBRE DEL 2019



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION



LASACI

INFORME DE ANÁLISIS
LASACI

SOLICITANTE	: JOSÉ CELIS LLAMOGA
MUESTRA	: SUELO
FECHA DE INGRESO	: 19 DE JUNIO DEL 2019
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

MUESTRA:

DETERMINACIONES	Unidades	Resultados
Cadmio	Cd mg/Kg	0.335
Plomo	Pb mg/Kg	24.21

TRUJILLO, 25 DE JUNIO DEL 2019



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

☎ 949959632 / 933623974

Anexo N°2. Fotos complementarias



Figura 30. Zona de extracción de muestras de suelo.



Figura 31. Contenedores de muestras de suelo.



Figura 32. Llenado de contenedores con suelo.



Figura 33. Llenado de contenedores con suelo y muestra en blanco.



Figura 34. Siembra de rabanito.



Figura 35. Semillas de rabanito.



Figura 36. Intoxicación del agua de riego con plomo.



Figura 37. Intoxicación del agua de riego con cadmio.

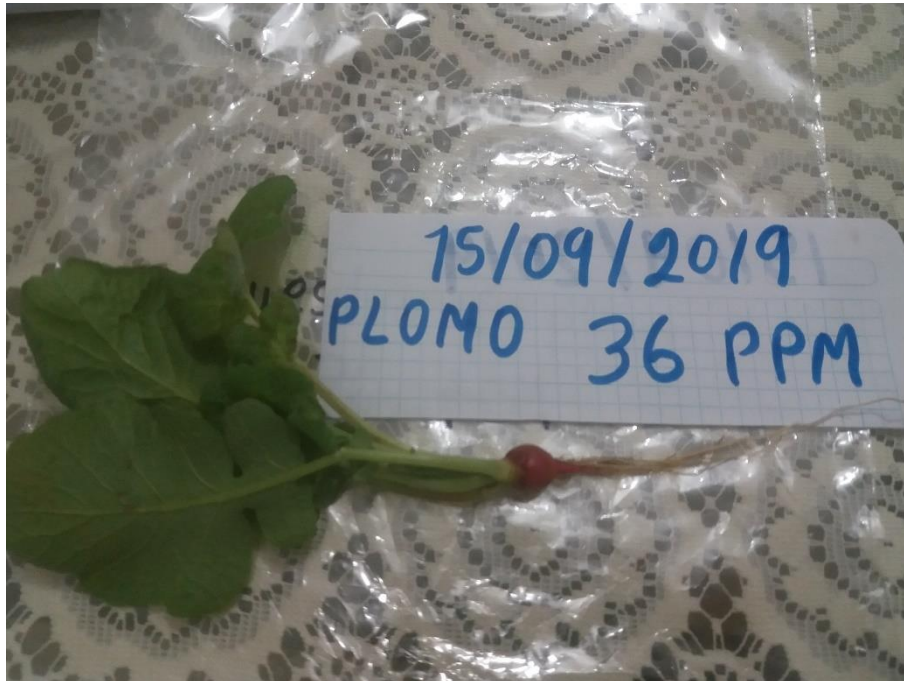


Figura 38. Muestra de rabanito MP1.

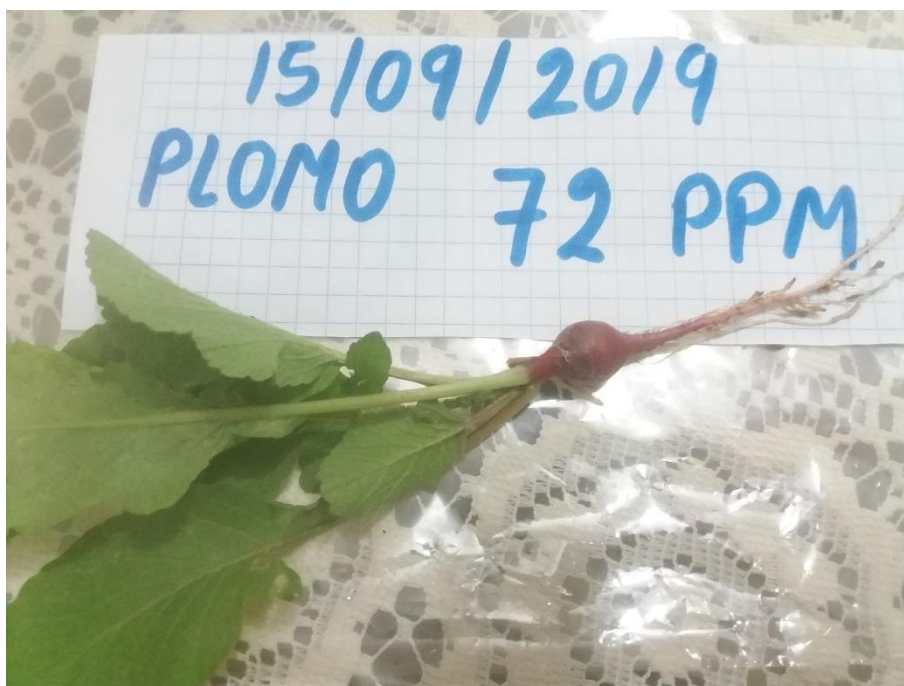


Figura 39. Muestra de rabanito MP2.



Figura 40. Muestra de rabanito MP3.

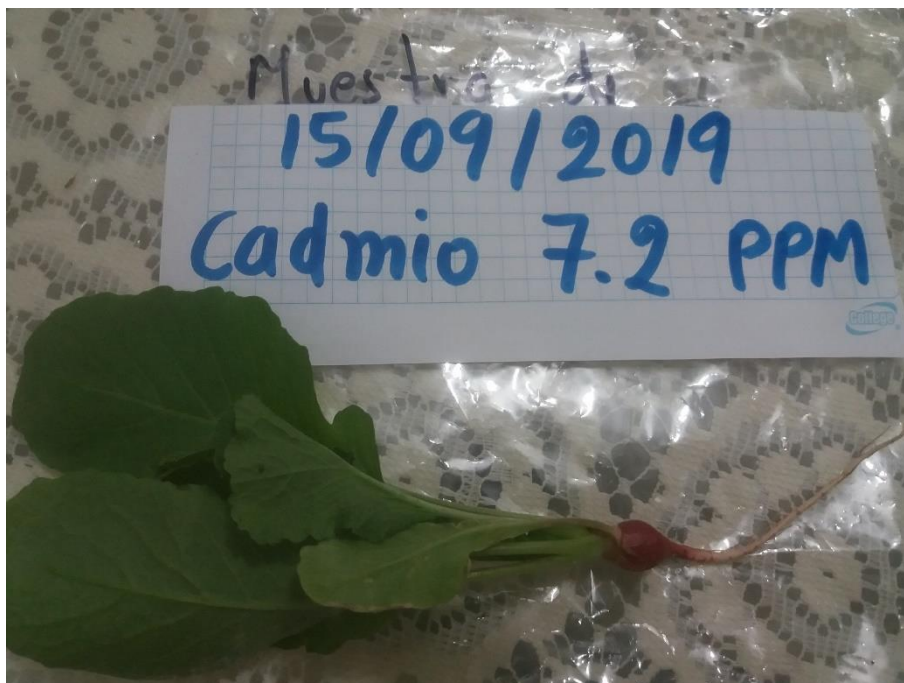


Figura 41. Muestra de rabanito MC2.



Figura 42. Muestra de rabanito MC3.



Figura 43. Cosecha de rabanito.



Figura 44. Primer muestreo para laboratorio.



Figura 45. Segundo muestreo para laboratorio.