

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**



Evaluación de la higuera (*Ricinus communis* L) para extraer metales pesados en residuos mineros

**Miguel Juárez Rojas**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Torreón Coahuila, México

Diciembre 2024

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

Evaluación de la higuera (*Ricinus cummunis* L) para extraer metales pesados en  
residuos mineros

Por:

**Miguel Juárez Rojas**

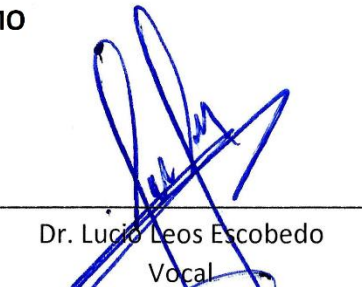
TESIS


**Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito  
parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

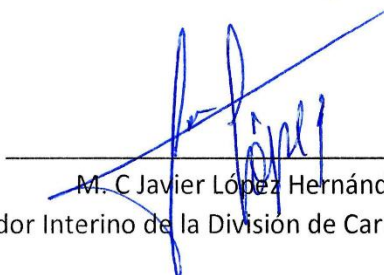
Aprobada por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Mario García Carrillo  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Lucio Leos Escobedo  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Abraham Chaparro Encinas  
Vocal Suplente

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Eduardo Arón Flores Hernández  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
M. C. Javier López Hernández  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón Coahuila, México

Diciembre 2024

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

Evaluación de la higuera (*Ricinus communis* L) para extraer metales pesados en  
residuos mineros

por:

**Miguel Juárez Rojas**

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


**INGENIERO AGRÓNOMO**


Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Mario García Carrillo  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Eduardo Arón Flores Hernández  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Lucio Leos Escobedo  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Abraham Chaparro Encinas  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
M. C. Javier López Hernández  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



## **AGRADECIMIENTOS**

**A mi alma terra mater** porque tuve espacios donde desarrollar mis habilidades,

**A las personas** que con sus acciones me dieron los ánimos para estar trabajando con empeño tanto en mi carrera como en mi trabajo de investigación

## **DEDICATORIA**

**A mis padres y a mis hermanos** que a pesar de todas mis equivocaciones se esforzaron para verme corregido, pero en especial a mí que siempre estoy firme ante las situaciones cotidianas

## RESUMEN

La fitorremediación se define como una herramienta que utiliza a las plantas para limpiar medios como el suelo, el aire y el agua contaminados.

En este trabajo de investigación se evaluó la fitoextracción de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) por la especie vegetal conocida como higuera (*Ricinus communis* L.) en tres sustratos, suelo rojo, suelo gris, además de un suelo testigo, obtenido del campo experimental en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UL. Dos de los sustratos fueron obtenidos de actividades realizadas en la minería y un sustrato testigo tomado del campo experimental de la UAAAN UL. Enseguida se tomaron submuestras las que fueron llevadas al laboratorio en el Departamento de Suelos, para su análisis físico-químico. Después se realizó la preparación de macetas de plástico en las que fue depositado los tres sustratos. El arreglo de los tratamientos fue bajo un diseño completamente al azar con tres tratamientos de estudio (el tratamiento uno fue el sustrato rojo, el tratamiento dos el sustrato gris y el tratamiento tres fue el sustrato testigo) y cuatro repeticiones en cada uno. El desarrollo vegetativo fue de 110 días. Transcurrido ese tiempo las plantas fueron retiradas de las macetas, separadas el área foliar del área radical para que así fueran evaluados, enseguida etiquetadas y llevadas al laboratorio para su secado y análisis químico. Las cantidades de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en los tratamientos (uno y dos) se presentaron en rangos aproximados de 59-300 ppm y 4000-6000 ppm respectivamente.

Las plantas de *R. communis* L, fueron capaces de extraer metales pesados y retenerlos en sus tejidos tanto en tejido aéreo y en tejido de raíz. Por lo tanto, puede ser empleada como planta bioremediadora en suelos contaminados con Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) a causa de la actividad minera.

**Palabras clave:** Fitorremediación, Higuera (*R. communis* L.), Metales Pesados

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	i
<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>INDICE</b> .....	iv
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	vi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Objetivo .....	2
1.2 Hipótesis .....	2
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b> .....	3
2.1 Origen y distribución .....	3
2.2 Clasificación taxonómica .....	3
2.3 Importancia industrial y bioremediadora .....	3
2.4 Características, identificación y descripción de <i>R. cummunis</i> L .....	4
2.5 Usos de <i>R. cummunis</i> L .....	5
2.5.1 Usos etnobotánicos de <i>R. cummunis</i> L .....	5
2.5.2 Usos Industriales <i>R. cummunis</i> L .....	6
2.6 Composición Fito química .....	6
2.7 Farmacología .....	7
2.8 Toxicidad .....	7
2.9 Antecedentes .....	7
2.9.1 Trabajos de investigación de Fito extracción de metales pesados .....	9
2.9.2 Investigaciones de extracción de metales pesados en agua con el uso de avances tecnológicos .....	17
2.9.3 Antecedentes de análisis de metales pesados en suelos .....	18
2.9.4 Investigaciones para obtener combustibles con <i>R. cummunis</i> L .....	20
2.9.5 Efectos de los metales pesados en la Salud humana .....	21
2.10 Procesos fisiológicos de Fito remediación .....	22

2.10.1 Adsorción y transporte de cadmio en las plantas .....	23
2.11 Metales pesados .....	25
2.11.1 Cadmio (Cd) .....	26
2.11.2 Usos del Cadmio (Cd) .....	27
2.11.3 Toxicidad del Cadmio (Cd) .....	28
2.11.4 Plomo (PB) .....	29
2.11.5 Usos del Pb .....	29
2.11.6 Toxicidad del Plomo (Pb) .....	30
2.11.7 Algunas soluciones de tratamiento para ambientes contaminados ...	31
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.1 Sitio experimental .....	33
3.2 Arreglo experimental .....	33
3.3 Métodos para determinar las propiedades físico químicas de los suelos ..	34
3.4 Concentración de Metales pesados en los sustratos .....	34
3.5 Preparación de macetas .....	34
3.6 Siembra de las semillas <i>R. cummunis</i> L .....	35
3.7 Riego del cultivo .....	35
3.8 Cosecha de las plantas .....	35
3.9 Secado de las plantas .....	35
3.10 Molienda de material vegetal seco .....	35
3.11 Procedimiento para la extracción de metales pesado .....	37
3.12 Determinación de metales pesados .....	38
3.13 Análisis de datos .....	38
<b>IV RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
4.1 Concentración de metales pesado en los sustratos .....	39
4.2 Concentración de Cadmio (Cd) en las hojas <i>R. cummunis</i> L .....	40
4.3 Análisis de variación de concentración de Cd en el área foliar <i>R. cummunis</i> L .....	40
4.4 Comparación de medias por la prueba de rango múltiple	



Tukey para el Cd en las hojas de <i>R. cummunis</i> L .....	41
4.5 Concentración de Cd en las raíces de <i>R. cummunis</i> L .....	41
4.6 ANOVA de concentración de Cd en el área radical <i>R. cummunis</i> L .....	42
4.7 Comparación de medias por la prueba de rango múltiple	
Tukey para el Cd en raíces de <i>R. cummunis</i> L .....	42
4.8 Concentración de Plomo (Pb) en las hojas de <i>R. cummunis</i> L .....	43
4.9 ANOVA de concentración de Pb en el área foliar <i>R. cummunis</i> L .....	43
4.10 Comparación de medias por la prueba de rango múltiple	
Tukey para el Pb en hojas de <i>R. cummunis</i> L .....	44
4.11 Concentración de Pb en raíces de <i>R. cummunis</i> L .....	44
4.12 ANOVA de concentración de Pb en raíces de <i>R. cummunis</i> L .....	45
4.13 Comparación de medias por la prueba de rango múltiple	
Tukey para el Pb en las raíces de <i>R. cummunis</i> L .....	45
<b>V DISCUSIÓN</b> .....	46
<b>VI CONCLUSIÓN</b> .....	47
<b>VII BIBLIOGRAFÍA</b> .....	48

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1.- Extracción de metales pesados por parte de la lechuga .....	12
Cuadro 3.2.- Arreglo experimental .....	33
Cuadro 4.1.- Concentración de metales pesados en los tratamientos (ppm) .....	39
Cuadro 4.2.- Concentración (ppm) de Cadmio (Cd) en área foliar .....	40
Cuadro 4.3.- Análisis de varianza de las concentraciones de plomo en el área foliar del <i>R. cummunis</i> L .....	40
Cuadro 4.4. Comparación de medias por la prueba de rango múltiple Tukey en hojas de <i>R. cummunis</i> L .....	41
Cuadro 4.5. Concentración en (ppm) Cd en área radical <i>R. cummunis</i> L .....	41
Cuadro 4.6. Análisis de varianza de las concentraciones de Cd en el área radical de <i>R. cummunis</i> L .....	42
Cuadro 4.7. Comparación de medias por la prueba de rango múltiple Tukey en raíces de <i>R. cummunis</i> L .....	42
Cuadro 4.8. Concentración en (ppm) de Plomo (Pb) en área foliar de <i>R. cummunis</i> L .....	43
Cuadro 4.9.- ANOVA de concentración de Pb en el área foliar de <i>R. cummunis</i> L .....	43
Cuadro 4.10.- Comparación de medias por la prueba de rango múltiple Tukey en hojas de <i>R. cummunis</i> L .....	44
Cuadro 4.11- Concentración en (ppm) Pb en área radical de <i>R. cummunis</i> L .....	44
Cuadro 4.12.- ANOVA de concentración de Pb en el área radical de <i>R. cummunis</i> L .....	45
Cuadro 4.13.- Comparación de medias por la prueba de rango múltiple Tukey en hojas de <i>R. cummunis</i> L .....	45

## INTRODUCCION

El sobre uso y explotación de los recursos naturales, causa degradación además del impacto negativo que dañan el medio ambiente y bajo este criterio se está optando por recurrir a determinadas especies vegetales que pueden ayudar a disminuir tales efectos negativos. Como sabemos las plantas utilizan el Carbono (C), el Oxígeno (O<sub>2</sub>) que se concentra en la atmosfera, además de otros de elementos como los macros, micros y algunos elementos minerales denominados metales pesados como Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y otros que los toma directamente del suelo y de cierto tipo de aguas contaminadas así las plantas son llamadas plantas hiperacumuladoras.

La fitorremediación utiliza la habilidad de ciertas plantas para acumular, metabolizar, estabilizar o volatilizar contaminantes que se encuentran en el suelo, agua o sedimentos, como los metales pesados. Por ende, la fitorremediación se presenta como una opción para la rehabilitación de medios alterados por ciertos contaminantes. (Delgadillo, 2011).

Algunas especies autóctonas poseen la habilidad de ser tolerantes o resistentes y poder llevar a cabo su ciclo fenológico en terrenos con altas concentraciones de metales pesados y otras sustancias perjudiciales para el medio ambiente. Después de examinar sus mecanismos fisiológicos, se han realizado estudios con especies autóctonas para su aplicación en la bioremediación ambiental.

## 1.1 Objetivos

Determinar el potencial de Fito extracción de Plomo (Pb) y Cadmio (C) por la especie *Ricinus cummunis* L contenidos en tres sustratos (jale rojo, jale gris y un testigo)

## 1.2 Hipótesis

Ho= La especie evaluada *R. communis* L, no es capaz de extraer Cadmio (Cd) y plomo de los jales de la minería y acumularlos en sus tejidos aéreos y subterráneos.

Ha= La especie evaluada *R. communis* L, es capaz de extraer Cadmio (Cd) y plomo de los jales de la minería y acumularlos en sus tejidos aéreos y subterráneos.

## II REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Origen y distribución geográfica

el centro de origen de la higuera es África, en la actualidad se encuentra, distribuido en muchas partes en distintos continentes, en México también está presente en distintas entidades federativas (Mondragón, 2009).

### 2.2 Clasificación taxonómica de *R. communis* L

Reino: *Plantae*

Subreino: *Traqueobionta* (plantas vasculares)

Superdivisión: *Spermatophyta* (plantas con semillas)

División: *Magnoliophyta* (plantas con flor)

Clase: *Magnoliopsida* (dicotiledóneas)

Subclase: *Rosidae*

Orden: *Euphorbiales*

Familia: *Euphorbiaceae*

Género: *Ricinus*

Especie: *Ricinus communis* L. (De Jesús, 2021).

### 2.3 Importancia industrial y bioremediadora de *R communis* L

Los usos que se le aportan están relacionados con patrones de comportamiento de los seres humanos de acuerdo a al papel que les toca desarrollar en la comunidad, (Castañeda y Alva, 2016).

Es un cultivo que tiene uso industrial y que no entra en la cadena trófica, de forma potencial tolera y extrae Elementos con Potencial Tóxico como el Cadmio

(Cd) estas razones la proponen como candidata para ser bioremediadora, (Maciel *et al*, 2024)

En 2017 La producción de higuierilla fue de cuatro mil toneladas, todas cultivadas bajo riego, Sonora aportó 65.6 por ciento del volumen total y Nayarit, con el 34.4 por ciento del resto. Hermosillo es el principal municipio productor de Sonora, que contribuyó con 99.9 por ciento del volumen del estado; mientras que, Nayarit, el total se cosechó en el municipio de Santiago Ixcuintla. (SIAP, 2018). De 2018 a 2020, en una media se cosecharon 635 hectáreas de higuierilla y se obtuvo una producción de 4 mil 361 toneladas. (INIFAP,2022).

#### **2.4 Características, identificación y descripción de *R. cummunis* L**

Las hojas de la planta *R. cummunis* L son consideradas de tamaño grande, tienen color verde oscuro brillante, pero pueden variar de dependiendo del nivel de pigmentación antocianina que contiene. El pecíolo es en tamaño proporcional a la hoja o más largo y presenta glándulas poco antes de la lámina foliar, que se les llama nectarios extraflorales, Algunas flores son monoicas, pistiladas o intercaladas , tiene frutos como capsulas globosas de uno a dos centímetros de longitud , presenta espinas cortas y gruesas. Para la dispersión de las semillas, algunas variedades se rompen explosivamente liberando a suelo las semillas. (De Jesús, 2021).

## **2.5 Usos de *R cummunis* L.**

En distintas examinaciones se ha considerado la higuera como un cultivo de opción con posibilidades amplias para producir de manera sostenible biocombustibles. Rosales *et al.*, (2023). La planta tiene por lo menos 700 aplicaciones, sin embargo, el principal uso de la planta es la extracción de aceites a partir de las semillas (Orihuela, 2011). Su interés económica y el potencial ecológico de cada planta es considerada relevante (Martínez *et al.*, 2011).

### **2.5.1 Usos etnobotánicos de *R. cummunis* L**

En México *R. cummunis* L presenta diferentes nombres, y también diferentes usos, por ejemplo, ha sido usado como desparasitante, y también para luchar contra problemas como la pérdida de cabello, la caspa y el cuero cabelludo seco, a través de una combinación de aceite de ricino (40g) y zumo de ortigas (100g), aplicando esta mezcla al cuero cabelludo y actuando como desparasitante. (De Jesús, 2021).

En estados de la región sur y sureste, es usado para bajar la temperatura o aliviar el empacho mediante infusiones de las hojas en agua caliente luego aplicar baños al enfermo o directamente la hoja colocada sobre el estómago y los pies. Monserrat, (2023). Cabrera, (2011) menciona el uso de la planta para preparar cebos contra pequeños mamíferos, perros y aves.

### **2.5.2 Usos Industriales de *R. cummunis* L.**

Sus usos industriales son variados y se ha determinado que tiene potencial mayor para producir de biocombustibles líquidos, porque el grano contiene en una media 40 a 50 por ciento de su peso, Rosales *et al.*, (2023). Aplicaciones industriales aprovechan su tallo como una fuente de celulosa para la fabricación de papel y, sustituyendo a la fibra que proviene de recursos maderables como *Eucalyptus globulus* L. (Escoto *et al.*, 2015).

El aceite de ricino a altas temperaturas cercanas a 250° C con una sustancia alcalina genera ácido sebácico, sustancia que es básica de plastificantes, cosméticos, velas nailon, y otras, De Jesús, (2021). Con la higuera, se lograron obtener películas de bioplástico con valores altos de resistencia a la tracción (7.1 ±0.4 MPa) haciendo comparación con fuentes botánicas similares. (Gallegos *et al.*, 2024).

### **2.6 Composición Fito química**

En las semillas de la *R cumminis* L, contiene cantidades cercanas del 50 por ciento en peso de un aceite abundante en un triglicérido del ácido ricinolénico, junto con esteroides, beta-caroteno, en las flores se encuentran derivados dihidroximetoxilados de la cumarina y los flavonoides hiperósido y rutina, la raíz contiene ácido indol-acético (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009).



## **2.7 Farmacología.**

Los extractos de las hojas y tallos en etanol, acetona y agua tienen actividades antibióticas contra bacterias. el extracto que la semilla posee ocasiona efecto anticonvulsivo en ratas tratadas con metrazol aplicado por vía intraperitoneal y estrogénica en rata ovariectomizada, y que produce actividad hematopoyética en borregos (Revista Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009).

## **2.8 Toxicidad.**

El ricino o ricina es una proteína altamente tóxica contenida en las semillas de higuera (*Ricinus communis* L), y el daño causado por la proteína ricina se debe principalmente a su ingesta. Martínez *et al*, (2019). Comer entre dos y seis semillas es suficiente para causar la muerte de un adulto (Instituto Nacional de Elecciones y Consultas, 2012).

## **2.9 Antecedentes**

La fitorremediación es ese conjunto de herramientas que utilizan la capacidad de ciertas plantas para, acumular, estabilizar, metabolizar, o volatilizar contaminantes que se encuentran en el suelo, aire, agua o sedimentos, por ejemplo, los metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. (Delgadillo *et al.*, 2011).

La fitorremediación surge como alternativa ante las problemáticas de contaminación ambiental, y se basa en el uso de plantas que retienen concentraciones de metales en sus tejidos, mediante mecanismos de fisiología de plantas y/o por los microorganismos que se desarrollan en la rizosfera. sugiere

que los microorganismos rizosféricos poseen mecanismos capaces de alterar la circulación de metales dentro del ambiente, con efectos subsecuentes en el potencial de la planta para absorberlos a través de la raíz (Marrero, 2012).

La fitorremediación es una sucesión utilizado por las plantas para eliminar, transferir, detener, resguardar y eliminar contaminantes en, áreas impactadas. Se puede aplicar tanto en el terreno como en laboratorios. En as herramientas de fitorremediación estan incluidas la rizodegradación, que ocurre en el suelo alrededor de los ríos, siendo expulsadas sustancias ricas en nutrientes por estos, la fito acumulación, donde los contaminantes son capturados por las raíces y luego transportados a los tejidos de las plantas. La fito estabilización limita el movimiento y la biodisponibilidad de los contaminantes debidos a que son retenidos entre los tejidos vegetales, y la fito degradación, que implica el metabolismo de los contaminantes dentro de los tejidos vegetales. (Agudelo *et al.*, 2005).

Las especies autóctonas que subsisten en terrenos contaminados con metales (*metalofitas y pseudometalofitas*) han evolucionado unos mecanismos fisiológicos particulares para resistir la presencia de metales: la exclusión que evita la infiltración de metales en la raíz y/o su traslado a la parte aérea de la planta, y su acumulación en dicha parte aérea a través de su inmovilización o compartimentación en las vacuolas. (Becerril *et al.*, 2007).

El primer trabajo de investigación para *R. cummunis*, en México se llevó a cabo en 1962, en el Campo Experimental de Río Bravo, Tamaulipas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), se estudiaron cuatro variedades enanas y se

encontró que los altas producciones de grano se lograron con las variedades Lynn con 1 908 kilogramos por hectarea y Hale con 1888 kg ha<sup>-1</sup> (Barrios *et al.*, 2018).

### **2.9.1 trabajos de investigación de fito extracción de metales pesados**

SALAU *et al*, (2024) analizaron la capacidad del grano de higuerilla (*R. communis* L) para la purificación del terreno contaminado con residuos petroleros en Billiri, en el estado de Gombe, Nigeria, empleando métodos estándar adecuados. Los hallazgos de los ensayos revelaron que los productos derivados del petróleo modificaron de manera notable las características fisicoquímicas. metales pesados y el Contenido Total de Hidrocarburos (THC) presente en el terreno. Tras un periodo de 14 semanas de fitorremediación, *Ricinus communis* logró reducir el Contenido Total de hidrocarburos (THC) en el suelo de 878,4 mg kg<sup>-1</sup> a 254 mg kg<sup>-1</sup> y, simultáneamente, demostró potencial para la degradación de otros metales pesados en el terreno.

Zeferino, (2019), realizo su trabajo de evaluar la concentración de Cd Cu y Pb en hojas, tallos y raíces en el cultivo de *Medicago sativa*, regada con dos tratamientos: T1 agua residual y T2 agua de suelo. Los hallazgos señalaron que el Cd fue el metal de menor presencia en este estudio, con presencia de 0.023, 0.032 y 0.035 mg kg<sup>-1</sup>. Se detectaron medias de 0.155, 0.172 y 0.226 miligramos por kilogramo, tanto en el primer tratamiento como en el segundo tratamiento. Así pues, está por debajo de los estándares mexicanos e internacionales, que son de cuatro mgkg<sup>-1</sup>. En los tratamientos, el Pb fue el elemento que presentó volúmenes elevados, sus cantidades fueron de 0.186, 0.192 y 0.202 mg kg<sup>-1</sup> encontrándose en hoja y tallo. Diferente a la raíz que se reportaron volúmenes más bajos con

promedios de  $0.090 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esta sustancia excedió el límite máximo establecido por ciertas regulaciones oficiales mexicanas e internacionales de  $0.050$  y  $0.500 \text{ mg kg}^{-1}$ . El tallo posee la concentración más alta de cobre y plomo, la hoja le sigue, mientras que la raíz tiene la concentración más baja.

Landeros et al., (2012) llevaron a cabo una investigación en terreno para medir el ritmo de Fito extracción de plomo por *Acacia farnesiana* L. Se emplearon árboles jóvenes ( $n=48$ ), ubicados en maceteros de plástico, a los que se vertieron tres concentraciones de Pb ( $0$ ,  $250$  y  $500 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  y cuatro dosis de nitrógeno ( $0$ ,  $100$ ,  $300$  y  $500 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en forma de Fosfo-Nitrato. Se analizó la tasa de fotosíntesis y la cantidad de Pb en los órganos vegetales. La relación entre las dosis de nitrógeno y los niveles de plomo resultó ser estadísticamente relevante ( $P=0.0074$ ), determinándose que la acumulación más elevada de Pb tuvo lugar en la sección donde se produjo la mayor concentración de plomo.

Altunar, (2011), Examinó la habilidad de la especie vegetal *Nicotiana glauca graham* para absorber plomo en el suelo a través de su raíz, tallo y hoja, con el objetivo de determinar si puede clasificarse como una especie hiperacumuladora de plomo. Aplicar solo un tratamiento (sustrato compuesto únicamente por suelo contaminado con metales pesados producidos por la industria de pintura Met Mex, extraído del parque ecológico situado en la avenida Ignacio Comonfort y Raúl madero, en Torreón Coahuila). Se aconseja el uso de la planta *Nicotiana graham* como bioremediadora de terrenos contaminados con Pb, ya que ha demostrado absorber una alta concentración de Pb ( $1443 \text{ ppm}$ ) en su biomasa.

En la investigación llevada a cabo por Cartaya *et al.*, (2022) se estableció el impacto de una combinación de oligogalacturónidos (Ogal) en las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), corroborando su capacidad para cultivar esta y posiblemente otras especies en terrenos con altos niveles de cationes metálicos (Cu, Cd y Fe). El uso de diversas formas y combinaciones de la mezcla de Ogal alteró la biodisponibilidad de estos cationes en un terreno contaminado, promoviendo el proceso de extracción de Fito por las plantas de tomate. Además, se fomentó la producción de biomasa sin que las plantas presentaran signos visuales de fitotoxicidad.

Guzmán *et al.*, (2021) En San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, llevaron a cabo un estudio con el propósito de valorar la obtención de metales pesados por las plantas de lechuga. Se confirmó la presencia de metales pesados mediante la Fluorescencia de Rayos X—Dispersiva en Energías y se calculó el coeficiente de transferencia en la planta de cultivo. Los resultados logrados se contrastaron con los límites máximos permitidos y los niveles de riesgo para el suelo y las plantas. Se detectó la acumulación de siete metales pesados, tales como Hierro (Fe), Cobalto (Co), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu), Níquel (Ni) y Plomo (Pb), en niveles altos, siendo la mayor concentración en la zona aérea, lo que supone un riesgo para la seguridad alimentaria de la región.

En el cuadro 2.1 se enlistan los niveles de extracción de metales por distintas partes de la lechuga.

Cuadro 2.1 Extracción de metales pesados por parte de la lechuga (tomado de Guzmán *et al.*, 2021)

Muestras	Fe	Co	Zn	Mn	Cu	Ni	Pb
	mg kg <sup>-1</sup> de MS						
Hojas	974	28	800	114	176	124	174
Raíces	1 098	25	1 145	47	321	93	153
Tallos	4 720	30	637	243	320	160	133

Para evaluar la eficacia de diversos compuestos orgánicos y *Helianthus annuus* en la fitorremediación de un terreno con pH elevado impactado con Pb en una cama de sembrar, se cultivaron nueve parcelas de 1 m<sup>2</sup> en un terreno contaminado con 834 mg Pb kg<sup>-1</sup> de suelo. Se removió el terreno y se utilizaron una y dos toneladas por hectárea de una materia orgánica conocida como (MI) y una lombricomposta (LO), fabricada con eses de ganado. Se plantó un híbrido ornamental de girasol, cv. —Sunbrighthll, con 36 hectáreas de planta. Se utilizaron cuatro y seis ml L<sup>-1</sup> de agua de ácidos fúlvicos: los primeros procedentes del compost MI (AFM) y los segundos del producto comercial, conocido como (KT). En las variables estudiadas se integraron: peso fresco de tallo (PFT), de hoja (PFH) altura de planta (AP), y capitulo (PFC); peso seco de tallo (PST), de follaje (PSF) y de capitulo (PSC). La planta fue colectada al ras del suelo y se le midió el contenido de Plomo y Calcio, al tejido vegetal de tallo (TVT), de follaje (TVF) y de capitulo (TVCL), los hallazgos indicaron que al añadir 6 ml/litro de agua a los ácidos fúlvicos obtenidos del compost MI y 2 ton ha<sup>-1</sup> del compost MI, se incrementaron los valores de AP, PFT, PFH, PFC, PST, PSF y de PSC; adicionalmente, al incorporar el mismo ácido fúlvico del compost, se obtuvo la mayor concentración de Plomo y Calcio en el tejido vegetal de follaje y capitulo del girasol ornamental. Los investigadores determinaron que los ácidos fúlvicos

obtenidos del compost Miyaorganic®, aportan beneficios a la altura de la planta; adicionalmente, en conjunto con este mismo compost, lo lograron en todas las otras variables agronómicas evaluadas y en la acumulación de Plomo y Calcio en el tejido vegetal de follaje y capitulo. (Narváez, 2010).

Además, con el objetivo de disminuir la absorción de Cd del suelo, se analizaron los impactos de la omisión de macronutrientes en la absorción de Cd por las plantas de arroz en seis suelos tropicales de Ecuador. Para ello, se implementaron nueve tratamientos: testigo, uno (sin fertilización y sin Cd), dos (sin fertilización con Cd), fertilización completa (N, P, K, S, Mg, Ca) y los seis tratamientos adicionales de Los hallazgos indican que la fertilización total promueve la absorción de Cd en los terrenos de las provincias analizadas. Por otro lado, las ausencias de nutrientes impactaron en la absorción de Cd. (Valarezo *et al.*, 2022).

Ruiz, (2011), Comprobó la habilidad del lirio acuático para eliminar metales pesados en aguas residuales, basándose en la naturaleza en las que realizo la labor y los resultados logrados. Los niveles totales de Arsénico (As) alcanzaron un máximo de 65 mg kg<sup>-1</sup> y un mínimo de 35 mg kg<sup>-1</sup>, evidenciando el volumen elevado de arsénico en los tallos y hojas y los más bajos en las raíces. En cuanto al Plomo (Pb), los niveles alcanzaron un máximo de 107 mg kg<sup>-1</sup> y un mínimo de 95 mg kg<sup>-1</sup>, evidenciando la concentración más alta en las raíces y la más baja en las hojas. Finalmente, el Zinc (Z el Zinc (Zn) con elevado volumen fue de 80.5 y la menor de 39.5 hallando el tallo la menor cantidad de sustancias y en las láminas foliares la mayor cantidad.

Ortiz *et al.*, (2009). Investigaron la potencia a extraer Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en el quelite (*Amaranthus hybridus* L.) al añadir una combinación de micorrizas arbusculares (*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum*, *G. clarum*) a los sustratos contaminados. Dos ensayos, uno para cada metal, utilizando un arreglo de experimentación de bloques seleccionados con cuatro repeticiones. Primero, se incorporaron volúmenes de micorrizas (0, 2.5 y 5.0 miligramos por hectarea) en terrenos con  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb. En la experimentación contigua, se evaluaron cantidades similares de micorrizas en terrenos contaminados con  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cd. Los hallazgos indican que la incorporación de micorrizas aumentó de manera notable ( $P < 0.05$ ) el volumen de Pb y Cd en los órganos vegetales de quelite.

Por otro lado, Sarmiento y Febres, (2021). Investigaron la influencia del girasol (*Helianthus annuus*) y el vermicompost en la purificación de terrenos agrícolas contaminados de manera artificial con Pb, el nivel inicial de Pb en el terreno era de 16.05 ppm, y se añadieron 105 ppm de Pb a través de una disolución de  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , logrando una concentración inicial de 121.05 ppm, que superaba el estándar nacional de calidad ambiental (ECA) para terrenos agrícolas (70 ppm de Pb). Todos los métodos de tratamiento disminuyeron la cantidad de Pb en el terreno por debajo del ECA.

El objetivo de la investigación fue examinar el impacto de extractos cetónicos (técnica de Soxhlet) de raíces, tallos, hojas y frutos de higuera (*R. cummunis*) en tres concentraciones de 25, 50 y 100 por ciento, comparándolos con los testigos de agua y químicos (Carbofuran) en *R. similis* bajo condiciones in



vitro. Se utilizaron dos ml de extracto en 50 hembras de *R. similis* que se colocaron en cajas Petri. Tras 48 horas, se analizó el efecto nematocida y nemostática de los extractos en un diseño experimental totalmente aleatorio. En una concentración del 100 por ciento, experimentaron un efecto nematocida de 73 a 89 por ciento, sin diferencias estadísticas relevantes respecto al testigo químico que registró valores de 82 a 98 por ciento; estos tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas con el testigo agua que presentó valores menores entre 0,7 y 12 confirmando que el extracto cetónico de frutos tuvo una cantidad alta de Albúmina, probablemente ricina, que influyó en la mortalidad mayor de *R. similis*.

El propósito de la investigación de Rosales *et al.*, (2023), fue analizar la morfología, productividad y calidad del grano de higuera (*Recinus cummunis*) plantada en el Centro-Norte de México. Durante el periodo de primavera y verano de 2020, se plantaron cuatro tipos y un híbrido de higuera en Durango, Durango, y Pabellón, Aguascalientes, México. Se analizaron datos como el número de días de floración (DF), la altura de la planta (AP), la longitud de la espiga (LE), y el rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Se detectaron variaciones significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) en la altura de la planta entre localidades (195.0 cm-282.7 cm) y entre materiales para AP, LE y P100. En las dos áreas SAB 14 ( $2,906 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $2,408 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y K 855 ( $2,669 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $2,400 \text{ kg ha}^{-1}$ ). mostraron el rendimiento más alto. En CG Guanajuato Oil (57.1 por ciento) y SAB 14 (55.4 por ciento) superaron estadísticamente al resto de los materiales.

En el estudio realizado por Pérez, (2022) se establecieron los coeficientes de remediación de cadmio y plomo del romerillo americano en terrenos contaminados. Los coeficientes biológicos de fitorremediación logrados, en los sistemas experimentales y en las pruebas llevadas a cabo en el lugar, superaron el uno, a excepción del coeficiente de absorción biológica en la raíz para el plomo. Este resultado se alinea con las concentraciones más elevadas de plomo alcanzadas en las hojas en comparación con la raíz. Los resultados de los coeficientes de remediación obtenidos indican que el romerillo americano tiene la habilidad de bioacumular el Cd y el Pb presentes en ambas regiones.

Aguirre *et al.*, (2022). Para evaluar el impacto de Cadmio (Cd) en la germinación y desarrollo de seis variedades de Zea maíz, incluyendo una variedad autóctona de la provincia de Manabí en Ecuador. Durante un período de ocho días, se sometieron granos de las variedades a 0, 0,25, 0,5, 1, 2, 4 y 8 mg L<sup>-1</sup> de CdNO<sub>3</sub>. Se evaluó el impacto del metal a través de la determinación de las señales de tolerancia y toxicidad. El porcentaje de germinación se redujo un 37,5 por ciento en la variedad INIAP H-551, y un poco en la Autóctona al nivel de 1 mg L<sup>-1</sup> de Cd; otras variedades no sufrieron alteraciones, siendo la Autóctona la más tolerante. La señalación de toxicidad evidenció al Cd en la siguiente secuencia: INIAP-101, INIAP H-551, INIAP-122, INIAP H-553, INIAP-180, INIAP-151 y la menos afectada fue la Autóctona.

Hernández *et al.*, (2019) efectuaron una revisión bibliográfica de los mecanismos de entrada y transporte clave del Cadmio (Cd) en las plantas, así como sus efectos tóxicos en ellas. donde trataron asuntos como, los mecanismos

de protección de las plantas frente al estrés provocado por el metal citado y las tácticas actuales para reducir su toxicidad. En la diversidad de cultivos, el tomate es de particular relevancia ya que es la hortaliza más extendida a nivel global y ha demostrado ser una planta tolerante y con capacidades para acumular ese metal.

García *et al.*, (2022) Se plantearon el objetivo de establecer los niveles de metales pesados Pb y Cd en el pericarpio de la fruta de *Capsicum annuum* L. Para el estudio se utilizó la digestión húmeda con ácido nítrico, clorhídrico, perclórico y el método de espectrofotometría de absorción atómica utilizando una llama de acetileno, demostrando que estos niveles se encuentran menores a los índices aprobados para el consumo de alimentos.

### **2.9.2 Investigaciones de remoción de metales pesados en agua con el uso de avances tecnológicos**

El objetivo de trabajo de Lozada *et al.*, (2021), fue la creación de un reactor de flujo continuo para la eliminación experimental del plomo mediante electrocoagulación en las aguas del río Coata de Puno, Perú. La estructura del reactor se compone de dos celdas de flujo continuo que se vincularon mediante un canal de tuberías. En la muestra de aguas sin tratamiento, la concentración inicial de plomo fue de 0.081 mg L<sup>-1</sup>. Se encontró una concentración de 0.038 mg L<sup>-1</sup> en la primera celda, mientras que la segunda celda tuvo una concentración de 0,011 mg L<sup>-1</sup>. Los hallazgos muestran un porcentaje de eliminación del 53 y el 86 por ciento respectivamente para cada celda. Así concluyeron que, el diseño del reactor de flujo continuo removió satisfactoriamente y bajo condiciones experimentales. las concentraciones de plomo en las aguas del río Coata de Puno, Perú.

### 2.9.3 Antecedentes de análisis de metales pesados en suelos

Yoan *et al.*, (2020) Examinaron los volúmenes totales y las partes de los metales pesados, tales como Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Hierro (Fe), manganeso (Mn), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Cromo (Cr) y Cobalto (Co), en la región tabacalera Pinar del Río (Cuba). Las cantidades totales de metales pesados no superaron los niveles de alerta fijados para los terrenos en la zona. Los metales pesados analizados fueron principalmente vinculados con la fracción residual, mientras que la segunda fracción con mayor relación con los metales fue la vinculada a óxidos de manganeso y hierro. El estudio de los componentes principales reveló que su origen principal es pedogenético.

En los resultados del trabajo de López, (2012) encontraron metales pesados en el suelo que están por encima los índices aprobados conforme a la norma oficial NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Se encontraron volúmenes totales de plomo ( $4245 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cu ( $2600 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cadmio ( $1600 \text{ mg kg}^{-1}$ ), As ( $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Se evaluaron cuatro tratamientos los cuales son testigo (suelo sin planta) alfalfa, (*medicago sativa* L), Zacate ballico (*lolium perenne* L.) y zacate navajita (*Bouteloua gracilis* L.). La evaluación del contenido de los metales pesados en el suelo pos tratamientos reveló una disminución de los metales pesados.

Mendoza *et al.*, (2021) evaluaron los niveles de Cd, Cu, Co, Zn, Fe, Mn, Ni, Ar y Se en terrenos bajo dos métodos de cultivo, convencional y siembra directa en dos ubicaciones fisiográficas: napa alta y napa baja, a través de la

fluorescencia de rayos X. Las muestras se recolectaron a dos profundidades: 0-10 y 10-20 centímetros, con nueve muestras por cada uno de los sistemas de siembra. Los hallazgos indicaron que el nivel de Co, Cu, Ni, Cd y Zn se incrementó en el sistema de siembra directa a causa del uso extendido de fertilizantes fosfatados. Finalmente, se estableció que los niveles de Co, Cu y Cd excedieron los límites máximos autorizados por las regulaciones ambientales internacionales.

Ortega y Olaya, (2022). Llevaron a cabo análisis documentales de información secundaria sobre las propiedades y el empleo del biocarbón como una opción factible para la remediación de terrenos contaminados con hidrocarburos. Como resultado, se descubrió que posee un gran potencial debido a sus destacadas propiedades fisicoquímicas que le habilitan para actuar como un agente sorbente, así como para bioestimular las actividades enzimáticas de la microbiota edáfica nativa que degrada los contaminantes mediante diversas vías metabólicas.

#### **2.9. 4 Investigaciones para obtener combustibles con uso de *R. cummunis* L**

La demanda de cultivos bioenergéticos, como *R. communis* L (*Euphorbiaceae*), para la producción de biodiesel ha crecido en los últimos años. (López *et al.*, 2020).

Boulal *et al.*, (2022) utilizarón aceite de ricino para la preparación de biodiesel (BD) mediante el método de transesterificación, mientras que los restos

de la planta de ricino, incluidos el tallo, semillas y las hojas, para la preparación de etanol y biogás, el mejor rendimiento de BD alcanzó el 91 por ciento con una relación molar de aceite de 9:1 entre metanol y aceite de ricino obtenida a 60°C durante 60 minutos. Este rendimiento correspondió a 910 g BD por kg de aceite de ricino. Según el seguimiento del proceso de destilación del BD obtenido es positivo y se ubica entre el diésel ligero y el pesado, además BD no es nocivo para el medio ambiente.

El objetivo de la investigación de Sánchez *et al.*, (2018). fue la generación de diésel renovable se origina a partir de la desoxigenación del aceite de higuera a través de catalizadores de Níquel (Ni) y Molibdeno (Mo) depositados en alúmina. Se examina el impacto de los parámetros de reacción (temperatura y cantidad de catalizador) y del contenido de metales activos Ni-Mo en la pureza, desempeño, conversión y selectividad hacia diésel renovable (C9-C24), productos de La innovación del estudio radica en gran parte en el uso de este tipo de catalizadores con la materia prima escogida.

Varias entidades se han enfocado en la exploración de nuevas fuentes de energía derivadas de especies vegetales., una de las especies vegetales es higuera (*R. communis* L.). Muñoz *et al.*, (2016), estudiaron la variabilidad y adaptación de un grupo de variedades de higuera en trabajos de investigación en el Colegio de Postgraduados, campus Montecillos, estado de México. El material genético consistió en 10 variedades mejoradas obtenidas del Centro de Investigación (INIFAP) originarias éstas de los estados de Chiapas y Michoacán. Además de una no mejorada colectada en Colegio de Postgraduados, campus

Montecillos. Se evaluaron características morfológicas, días a floración, frutos y semillas. De acuerdo a las señales de selección y componentes principales las variedades mejoradas V2 (Riric 265-1), V3 (Riric67-6) V6 (Riric19) y V10 (Riric1) fueron las que mejor se adaptaron y las características en las que sobresalieron fueron tamaño de tallo, número de ramas, número de hojas, tamaño del dosel, porte bajo y precocidad, se obtuvo la producción de granol o que indica la propuesta de crear genéticas adaptadas a ese nivel altitudinal.

### **2.9.5 Efectos de los metales pesados en la Salud humana**

Seijas y Squillante., (2018) examinaron el vínculo entre las alturas de Pb en la sangre, la condición nutricional y la estratificación socioeconómica en un conjunto de niños. La evaluación antropométrica incluyó la medición de Plomo en sangre, Hemoglobina y Hematocrito. Los promedios de Pb-S en varones ( $11,1 \pm 3,1 \mu\text{g dL}^{-1}$ ) fue mayor  $p \leq 0.05$  a los datos que se encontraron en hembras ( $9,5 \pm 2,7 \mu\text{g dL}^{-1}$ ). El volumen de Plomo fue de  $10,5 \pm 3 \mu\text{g dL}^{-1}$ , Los niveles del metal en la sangre no constituyen un nivel alarmante “crítico” de exposición.

Téllez *et al.*, (2019). calcularon la prevalencia de altos niveles de plomo en la sangre (PbS) y su relación con la utilización de loza de barro vidriada con plomo (LBVPb). En 2018, se realizó una medición del PbS capilar en un grupo representativo de niños de uno a cuatro años, que residían en áreas de México con menos de 100 000 residentes. La prevalencia de altas concentraciones de PbS alcanzó el 21.8 por ciento. Las prevalencias en las zonas norte, centro y sur fueron del 9.8, 20.7 y 25.8 por ciento, respectivamente. La relación entre el uso y la frecuencia de LBVPb fue sumamente relevante y variada por región.

## 2.10 Procesos fisiológicos de Fito remediación

Las fases del proceso por las cuales las plantas incorporan y acumulan metales pesados, son las siguientes:

- **fase I.** Involucra el traslado de metales pesados a la planta o a las células. La raíz representa el principal tejido de absorción de las sustancias, que se introducen en el medio a través de la difusión en el medio, a través de un flujo masivo o por intercambio catiónico. La raíz sostiene cargas negativas en sus células a causa de la existencia de grupos carboxilo que interactúa con la carga positiva de los metales pesados, generando un balance dinámico que favorece la entrada a las células internas.
- **Fase II.** Los elementos en la planta, son secuestrados o acomplejados a través del enlace a ligandos específicos. Entre las diversas sustancias generadas por los vegetales se incluyen ácidos orgánicos (cítrico oxálico y málico), ciertos aminoácidos (cisteína y histida), y dos tipos de péptidos fitoquelatinas que son ligandos de alta afinidad que se unen al glutatión. Estas se componen principalmente de tres Las metalotioneinas, que son polipéptidos de 70 a 75 aminoácidos, poseen un alto contenido en cisteína aminoácida, con la capacidad de formar complejos cationes a través del grupo sulfhidril. Posee una afinidad notable por los aspectos iónicas de Zn, Cd Hg y Cu.



- **Fase III.** Implica el proceso de compartimentación y detodificación donde el complejo ligando metal se mantiene retenido en la vacuola (Arteaga, 2014).

### 2.10.1 Ingreso y locación del Cadmio (Cd) en las plantas

- Principalmente, llega al vegetal en forma de  $\text{Cd}^{2+}$  dado que los iones quelatos no son capaces de ser absorbidos por las raíces. La epidermis es el tejido destinado a la absorción de iones, y en su interior, los pelos absorbentes son el área más activa para la absorción de iones del suelo, siendo esta la estructura que promueve la absorción de  $\text{Cd}^{2+}$ . Se han sugerido tres rutas distintas para la introducción de Cd en la raíz.
- **Primera vía:** En la epidermis de la raíz, el  $\text{CO}_2$  se descompone en  $\text{H}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$  mediante la respiración del vegetal. El  $\text{H}^+$  se transforma en  $\text{Cd}^{2+}$  del terreno, lo que provoca que la sustancia metálica se adsorba en la por encima de las células de la epidermis de la raíz. Este procedimiento de adsorción es veloz y no necesita energía, siendo la fase previa a la absorción de  $\text{Cd}^{2+}$  en las células epidermicas mediante el canal del apoplasto.
- **Segunda vía:** El Cadmio es un componente no crucial y, en consecuencia, se presupone que los vegetales no cuentan con mecanismos de entrada establecidos para su introducción. Entra en las células vegetales mediante los transportadores de metales indispensables  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , tal como sucede con las proteínas

IRT1 y LCT1. Una vez que el Cd se une a las proteínas transportadoras, se infiltra en la capa epidermica de la raíz mediante la ruta simplat.

- **Tercera vía:** Para incrementar la presencia de iones en la tierra de la rizosfera, las raíces de los vegetales liberan sustancias de baja masa molecular, como los ácidos mugineicos (MA), que conforman complejos con el  $Cd^{2+}$ . Así pues, el  $Cd^{2+}$  se infiltra en la epidermis radical mediante las proteínas YSL en forma de quelatos. La transferencia de Cadmio a la parte aérea se regula mediante procesos: la captura de metales en las células raíz; su traslado hacia la estela y la expulsión de la sustancia metálica al xilema. La retención se origina a partir de las barreras apoplásticas y la quelación en vacuolas, se comprobó que las fitoquelatinas son quelantes en el secuestro de Cd en la zona radical. Uno más de las maneras propuestas de acumulación del Cd en raíces es a través de la impregnación de la suberina en las paredes celulares en el tiempo de maduración de exodermis y endodermis, afectando su plasticidad y limita el traslado a la estela, a transferencia y removilización del Cadmio desde el xilema al floema. (Hernández et al., 2019).

## 2.11 Metales pesados

Estas sustancias metálicas tienen una densidad que supera los  $5\text{g cm}^{-3}$  y cuyo número atómico supera 20, suelen bioacumularse durante su tránsito por los diferentes eslabones metabólicos. En niveles elevados, pueden generar serias problemáticas en el crecimiento, desarrollo y reproducción de los organismos vivos. (Delgadillo, 2011).

Los metales pesados están presentes en el suelo de forma natural en niveles que usualmente no afectan las distintas formas de vida, no pueden ser degradados o eliminados. Sin embargo, si son disueltos por elementos físicos y químicos, lixiviados y dispersos en los ecosistemas, hasta ser incorporados a la cadena trófica, el surgimiento de los metales pesados en los suelos puede ser natural, ya que provienen de la roca madre donde se origina. En general, las rocas ígneas basálticas son ricas en metales pesados como cobre (Cu), Cadmio (Cd), Níquel (Ni) y Cobalto (Co), mientras que las rocas sedimentarias contienen Plomo (Pb), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn) y Cadmio (Cd) (Bello *et al.*, 2021).

Las actividades mineras, la polución del suelo, agua, vegetación y animales a causa de la industrialización, la utilización de fertilizantes, insecticidas químicos y otras acciones relacionadas con el progreso de las sociedades contemporáneas han favorecido el incremento desmedido de metales pesados.: Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr). (Londoño *et al.*, 2016).

Con el propósito de analizar la variabilidad espacial de las concentraciones de plomo retenidas en el tejido vegetal, Zapata *et al.*, (2018) Se llevó a cabo un

muestreo de musgos y hepáticas en Villavicencio (Meta-Colombia), organizándolos en cuatro áreas de acuerdo a su actividad principal: comerciales, residenciales, seminaturales y vías principales. Se descubrió que los géneros *Fabronia sp.* y *Frullania sp.* (*Fabroniaceae*). (*Frullaniaceae*), fueron los más frecuentemente encontrados.. Las zonas de vías principales y comerciales presentaron las mayores concentraciones promedio de plomo de 12.62 mg Kg<sup>-1</sup> y 20.69 mg Kg<sup>-1</sup>, respectivamente, La comparación de las variaciones de las áreas analizadas se llevó a cabo mediante el test estadístico ANOVA, el cual presentó un valor p de 0.0028 <0.05, lo que señaló diferencias importantes entre las áreas comerciales y residenciales seminaturales. Los niveles detectados en el tejido briófito señalan una elevada presencia de plomo.

### **2.11.1 Cadmio (Cd)**

Es metal pesado cuya densidad es de 8.642 g cm<sup>3</sup>, con número atómico 48, y masa atómica 112414, se produce como resultado de la metalurgia Zinc (Zn) y Pb a partir de sulfuro de cadmio, donde durante el procedimiento se produce el óxido de cadmio. De tonalidad blanca, suave y maleable, es un componente escasamente presente en la naturaleza y presente en la mayoría de los minerales del Zn. Los suelos contienen entre uno y tres miligramos de cadmio por kilogramo., en terrenos no impactados el volumen de Cadmio (Cd) debe estar por debajo de un miligramo por hectarea. (Aguirre et al., 2022).

### **2.13.2 Usos del Cadmio (Cd).**

Se emplea en baterías de recarga, conexiones y contactos de monitores de tubo de rayo catódico. (Serrano et al., 2009).

La aplicación de telururo de cadmio de película delgada (CdTe), que actualmente se percibe como un material clave para el avance de la energía solar. Un grupo de estudio de Estados Unidos ha creado una célula solar de telururo de cadmio (CdTe) mediante un procedimiento de despegue que asegura una cristalinidad superior de la película de sulfuro de Cd. El aparato posee una eficiencia de conversión de energía del 12,60 por ciento, un voltaje de circuito abierto de 0,829 V, una densidad de corriente de cortocircuito de 23,64 mA cm<sup>-2</sup> y un factor de llenado del 64,30 por ciento (Bellini, 2023).

Goodfellow, (2021) ha informado que, a comienzos de los años 2000, cerca del 90 por ciento del cadmio se utilizaba en baterías, principalmente en formato de baterías recargables de níquel-cadmio. El revestimiento de cadmio con baja fragilización por hidrógeno (LHE) continúa siendo la opción preferida para los elementos de las aeronaves, dado que este revestimiento ofrece una magnífica defensa contra la corrosión sin deteriorar las características mecánicas de los aceros de gran resistencia. El cadmio se emplea en las barras de control de los reactores nucleares, funcionando como un potente veneno de neutrones para regular el paso de neutrones durante la fisión nuclear.

### **2.11.3 Toxicidad del Cadmio (Cd)**

El Cadmio (Cd) provoca la inhibición de la germinación y una reducción en la productividad de las cosechas. Se han reportado efectos perjudiciales en las plantas, incluyendo la restricción de la germinación y el crecimiento, disminución de la biomasa y alteración de la producción de clorofila. Adicionalmente, se ha mencionado que el Cd provoca síntomas de toxicidad como la atrofia y la clorosis,

que son resultado de la interacción directa o indirecta del metal con el Fe, Zn, P o Mn. (Aguirre *et al.*, 2022).

Los niveles de Cd pueden acumularse en plantas que, aunque no son dañinas para ellas, resultan tóxicos para los animales y las personas que los ingieren. El Cd, de todos los metales pesados tóxicos, es el más móvil y biodisponible de todos. En humanos, se ha vinculado la exposición al Cd con la enfermedad renal, la osteoporosis y diversos tipos de cáncer. (Huaraca *et al.*, 2019).

Las investigaciones han demostrado que disminuye el crecimiento, la actividad de fotosíntesis, la transpiración y la cantidad de clorofilas, altera la actividad de enzimas que participan en el metabolismo de los ácidos orgánicos y en el ciclo de Krebs. (Hernández *et al.*, 2019).

Para la persona puede causar diversos perjuicios, como la toxicidad respiratoria: El 25 al 50 por ciento del Cd inhalado se absorbe, la fiebre por humo de cadmio: provocada por la inhalación de humos producidos por la soldadura, se evidencia con tos, fiebre, escalofríos, cefalea, dolor pleurítico torácico, dolores y dolores en la garganta. Usualmente aparece a las cuatro a 12 horas después de la exposición y se soluciona a las 24-48 horas. Toxicidad en el sistema digestivo: La absorción es reducida, oscilando entre el 5-20 por ciento, muestra vómitos, diarrea y dolor abdominal, pudiendo llegar a la hipotensión. (Guía de actuación y Diagnóstico de Enfermedades Profesionales, 2019).

#### **2.11.4 Plomo (Pb)**

El elemento Pb pertenece a la tabla periódica con el número atómico 82. Posee una concentración de 1,3 ppm en la corteza terrestre, y existe en una pequeña proporción en el medio ambiente. El plomo (Pb) ha sido empleado en todas las civilizaciones debido a sus características físicas y químicas. Las principales emisiones de Pb se producen en la minería, la industria metalúrgica y los procesos de transformación de este metal para su uso industrial. El uso de plomo elemental y sus derivados ha impactado significativamente en la polución ambiental y su uso principal es en el sector urbano (pinturas, revestimiento de cables, cañerías). (Et4Pb) (Valles *et al.*, 2018).

#### **2.11.5 Usos del Plomo (Pb):**

Se calcula que en los Estados Unidos hay seis millones de tuberías de Pb y que entre seis y diez millones de hogares carecen de líneas de servicios hechos de Pb. Si las fuentes de agua y las operaciones para su tratamiento no se organizan de forma eficaz, siempre existirá una liberación excesiva de Plomo (Pb) Lozada *et al.*, (2021). El uso del metal se debe a sus características como: longevidad, maleabilidad, resistencia a la corrosión, sencillez para crear aleaciones con otros metales. De igual forma, puede utilizarse como escudo contra radiaciones y como aislamiento sonoro. (Molina *et al.*, 1983)

#### **2.11.6 Toxicidad del Plomo (Pb):**

La existencia de plomo en el agua para consumo, incluso en niveles reducidos, puede provocar patologías como anemia, hepatitis y síndrome nefrótico. El plomo tiene la capacidad de acumularse en los tejidos vivos, lo que provoca su concentración en toda la cadena alimenticia y su fácil absorción por el

organismo humano. El plomo es un metal tóxico de gran peso y, por el perjuicio que puede causar su consumo, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) lo ha categorizado entre las 20 sustancias químicas más riesgosas para la salud humana. Además, fijó el límite máximo permitido de plomo en agua potable de 0,001 ppm. Palomino *et al.*, (2018).

Los niveles tolerables 2-3 mg kg<sup>-1</sup> de Cd y 140-150 mg kg<sup>-1</sup> de Pb en los fertilizantes orgánicos aseguran la generación de alimentos, en particular vegetales, exentos de estos contaminantes. Rodríguez *et al.*, (2022). Perales *et al.*, (2021), evaluaron seis especies de áreas áridas fueron evaluadas: *Agave funkiana*, *A. obscura*, *A. salmiana* pertenecientes a la familia *Asparagaceae*; y *Opuntia cochenillifera*, *O. ficus-indica*, *Pereskia sacharosa*, pertenecientes a la familia *Cactaceae*. Los variados niveles de Cd y Pb generaron efectos diferentes en las seis especies de plantas de áreas áridas examinadas en este estudio. *A. salmiana* y *P. sacharosa* obtuvieron una mortalidad de 55 por ciento con 0.009 mM de Cd y una mortalidad de 77 por ciento con 0.8 mM para Pb, siendo estas concentraciones las más altas. Los bioensayos ecotoxicológicos resultan beneficiosos para medir contaminantes tales como metales pesados en plantas tolerantes como *A. obscura*, *O. cochenillifera* y *O. ficus-indica*..

#### **2.11.7 Algunas soluciones de tratamiento para ambientes contaminados**

En la actualidad, no hay un método de eliminación apropiado, se recurre a la incineración. Sin embargo, tanto los humos como las cenizas poseen subproductos contaminantes. Se han creado diversos métodos con el objetivo de controlar y eliminar estos metales. Los métodos han progresado con el tiempo



hasta ser capaces de identificar y eliminar cantidades mínimas de estos metales. Los métodos han progresado a lo largo del tiempo hasta ser capaces de identificar y eliminar cantidades pequeñas (Valles *et al.*, 2018).

Según su característica, los procedimientos de remediación de terrenos contaminados se categorizan en: 1) fisicoquímicos, que son aquellos que emplean las características físicas y químicas de los contaminantes o del entorno contaminado con el fin de transformar, separar o inmovilizar dicho contaminante. 2) los biológicos, o denominados de biorremediación, son aquellos que utilizan la capacidad metabólica de los organismos (bacterias, hongos y plantas). El método microbiano empleado en el tratamiento es: Bio absorción: Los componentes de las células de los microorganismos pueden ser absorber de manera pasiva a través de atracciones electrostáticas. (Covarrubias *et al.*, 2015).

Los metales, tienen carga positiva, se atraen por las cargas negativas de los grupos carboxilos, fosforilos y aminos que se encuentran en las paredes de las células, membranas y material extracelular de microorganismos. Algunos metales pesados, cuando se adhieren a la superficie de células, se internan en la célula. En este proceso, los cationes metálicos pueden ser vinculados o depositados en vacuolas u otras estructuras para reducir su toxicidad. Bioprecipitación: Algunos metales pesados tienen la capacidad de ser inmovilizados eficazmente a través de la actividad de bacterias capaces de disminuir su estado redox, disminuyendo así la biodisponibilidad de dichos elementos. Este suceso es denominado reducción biológica.

Para los terrenos agrícolas contaminados con cadmio, el método de inmovilización química *in situ*, también conocido como estabilización *in situ*, consiste en aplicar modificaciones para inmovilizar metales mediante diferentes reacciones biológicas y químicas. Esta es una solución más factible, lucrativa, sencilla, de fácil ejecución y ecológicamente sustentable. Esta metodología implica atrapar o inmovilizar el Cd en el terreno a través de la aplicación de agentes estabilizadores como las enmiendas, con el objetivo de solidificar el suelo o transformar las fracciones de contaminantes móviles en precipitados y/o residuos altamente absorbidos. (Huaraca *et al.*, 2019).

### III MATERIALES Y METODOS.

#### 3.1 Sitio experimental

El trabajo de tesis fue realizado en las instalaciones de la UAAAN UL, Torreón Coahuila, México. Las preparaciones de sustrato macetas y siembra se desarrollaron en los laboratorios del departamento de suelos y el lugar donde se establecieron las macetas fue dentro de los invernaderos que están a cargo del Departamento de Horticultura.

#### 3.2 Arreglo experimental

Este diseño experimental se compuso del arreglo al azar de tres tratamientos con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron sustrato rojo, sustrato gris ambos traídos de los jales de las minas de Parral Chihuahua y el suelo testigo fue tomado de los campos experimentales de la UAAAN UL. Los procesos de manejo de materia seca del cultivo y el proceso de extracción de metales pesados y sus cuantificaciones se elaboraron en las instalaciones del Departamento de Suelos de la UAAAN UL

El cuadro 3.2 muestra el arreglo de los tratamientos con sus repeticiones

cuadro 3.2.- Arreglo experimental

sustrato rojo	sustrato gris	sustrato testigo
T1R1	T2R1	T3R1
T1R2	T2R2	T3R2
T1R3	T2R3	T3R3
T1R4	T2R4	T3R4

### **3.3 Métodos para determinar las características fisicoquímicas de los sustratos**

Materia orgánica (MO): para la detección del contenido de materia orgánica en los sustratos se empleó el procedimiento señalado por el método de Walkley y Black (1947). Densidad aparente (Da) la determinación de la densidad aparente fue mediante el método de la parafina. Para la Conductividad Eléctrica (Ce) y potencial de Hidrogeno (pH) las medidas fueron tomadas mediante el empleo del método de extracto de pasta de suelo a saturación.

### **3.4 Concentración de metales pesados en los sustratos**

Se pesaron cinco gramos de suelo de cada tratamiento y repeticiones. Los cinco gramos de suelo se vierten en los frascos de plástico donde también es añadido 50 mililitros de ácido nítrico cuatro molar, esa preparación fue sometido a 12 horas en baño a María a una temperatura 65 ° Celsius constante, pasado ese tiempo se agitó por durante una hora. Cuando el tiempo concluyó, se filtró la solución y se dejó preparado el filtrado para su determinación de contenido de metales pesados.

### **3.5 Preparación de macetas**

Los materiales utilizados para la preparación de sustratos fueron el suelo traído de las minas de Hidalgo del Parral Chihuahua y una parte media de perlita para completar el llenado de los contenedores maceta.

### **3.6 Siembra de las semillas de *R. cummunis* L**

Al principio se aplicó alrededor de 500 ml de agua para humedecer completamente el sustrato y así dejarlo en las condiciones de humedad que las semillas necesitan para empezar el proceso de germinación.

Teniendo los cálculos de kilogramos por hectárea se semilla a sembrar, se calculó la cantidad correspondiente de semilla a usar por el área correspondiente al contenedor o maceta, entonces la decisión tomada fue de sembrar dos semillas por maceta. con el paso de los días algunas semillas murieron y algunas plántulas también murieron, por ese motivo se realizaron prácticas de resiembra.

### **3.7 Riego del cultivo**

La especificación del proyecto fue de usar 500 ml de agua por maceta aplicándola de manera manual en cometedores de 19 y cinco litros,. Sin embargo, por las condiciones de las características de los sustratos que retenían mucha humedad se utilizaba menos cantidad de agua haciendo las observaciones de mantener estable la humedad del suelo, que no utilizamos electrodos, tensiómetro o alguna otra herramienta para medir la humedad del suelo, solo con la observación y el tacto al sustrato. Durante los meses que estuvo en crecimiento el cultivo se mantuvo el riego siguiendo el método de riego manual, suspendiéndolo antes de la cosecha del cultivo.

### **3.8 Cosecha de plantas.**

El experimento se estableció en la semana del lunes cuatro de septiembre y se cosecho el día seis de diciembre del año 2023. Las partes de la planta que nos interesaban por supuesto eran las raíces y la parte aérea por ese motivo empezamos retirando el sustrato donde estaban ancladas las raíces teniendo cuidado de lograr el mínimo daño en las raíces y recuperar una buena cantidad de ese material. Cada vez que se obtenían las raíces se procedía a lavarlas con agua destilada, cortarlas separándolas de la parte aérea, se secaban con sanitas luego se depositaban en bolsas de papel con su respectivo etiquetado. Para la parte aérea, de la misma manera fueron separadas y almacenadas en las bolsas de papel etiquetándolas de acuerdo a cada repetición de cada tratamiento.

### **3.9 Secado de plantas.**

las plantas seccionadas y guardadas en las bolsas de papel respectivamente etiquetadas, se trasladaron a guardar a las instalaciones del departamento de suelos, allí permanecieron por alrededor de dos meses para lograr un buen secado antes de continuar con la obtención de la materia molida.

### **3.10 Molienda del material vegetal seco**

Con ayuda de un molino eléctrico se realizó la molienda del tejido vegetal, el vegetal en polvo fue depositado en bolsas tipo ziploc también etiquetadas con el número de muestra correspondiente, una vez teniendo todo el material vegetal molido fue seguir en el procedimiento para la extracción de metales pesados del material vegetal.

### **3.11 Procedimiento de extracción de metales pesados.**

El procedimiento inicia preparando los crisoles de 30 a 40 ml, hay que lavarlos secarlos y después meterlos a un aparato llamado mufla donde se mantienen por durante cuatro horas a 600 grados Celsius, esto con el fin de eliminar toda la humedad que puede contener el crisol y así ponerlo en peso constante. Pasado el tiempo debemos retirar los crisoles dejándolos enfriar en el desecador, cuando el crisol ya está frío se puede poner las partes vegetales de interés a incinerar, para esto con la ayuda de una balanza analítica se pesa un gramo de muestra empezando por la parte aérea, para incinerar el material vegetal también lo metimos a la mufla por durante cuatro horas a 600 grados Celsius, las muestras contenidas en los crisoles. Al finalizar el tiempo dentro de la mufla los crisoles fueron retirados ya solo con la ceniza, también se dejó a enfriar las cenizas así dentro de los contenedores y puestos en el desecador. Cuando las cenizas estaban frías continuamos los pasos del procedimiento, empleando el uso de reactivos como ácido clorhídrico y cloruro de cesio.

Usando una pipeta se procedió a agregar 10 ml de HCl al 37 por ciento a las cenizas de la muestra dejándolas reposar por durante 20 minutos, enseguida pasarlos a matraz de afore usando embudo de vidrio para filtrar y papel filtro del número uno, una vez ya filtrados se agregan 10 ml de cloruro de cesio al matraz midiéndolo en una probeta de vidrio de 10 ml y después aforar la solución con agua destilada, tapar el matraz con papel cera y hacer agitaciones al matraz, esa solución de nuevo se filtró pasando esa solución a botes de plástico de 100 ml, esa solución filtrada es la que emplea en el equipo de Absorción Atómica.

### **3.12 Determinación de metales pesados.**

La determinación se llevó a cabo en un espectrófotometro de absorción atómica. Para calibrar el equipo, se empleó una solución estándar de 1000 ppm tanto para el cadmio como para el plomo.

### **3.13 Análisis de datos.**

Con los datos obtenidos, se realizó el análisis de varianza entre los tratamientos del experimento, los datos fueron analizados en con el software Statiscal Analysis System v9 (SAS 9.0) después se realizó la comparación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey.



#### IV.- RESULTADOS

Afirmamos que la concentración de Cadmio (Cd) en los sustratos analizados son los siguientes valores; en el sustrato uno 299 ppm, en el sustrato dos 59 ppm; y para el sustrato testigo fue de 1.2 ppm, en la concentración de Plomo (Pb) en el sustrato uno fue de 4049 ppm, en el sustrato dos 6229 ppm y en el sustrato testigo 4.9 ppm.

Las plantas de *R communis* L, extrajeron en promedio en el caso del Cadmio (Cd) y en el tratamiento uno, 6.50 ppm en el área foliar, en el tratamiento dos 4.5 ppm y en el tratamiento testigo en 2.88 ppm. La parte radical en el tratamiento uno 10 ppm, en el tratamiento dos 3.11 ppm y en el tratamiento testigo 2.25 ppm. El plomo se acumuló en la parte aérea del cultivo en el tratamiento uno, 405.50 ppm, en el tratamiento dos 351.25 ppm, en el tratamiento testigo 48.25 ppm. El plomo bioacumulado en la raíz en el tratamiento uno 415.50 ppm, en tratamiento dos 343.75 ppm y en el tratamiento testigo 47 ppm.

##### 4.1 Concentración de metales pesados en los sustratos

El cuadro 4.1 muestra la concentración de metales pesados contenidos en los diferentes sustratos.

Cuadro 4.1- Concentración de metales pesados en los tratamientos (ppm)

sustrato	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)
S rojo	4049	299
S gris	6229	59
testigo	4,9	1,2

## 4.2 Concentración de Cadmio (Cd) en las hojas de *R. cummunis* L

El cuadro 4.2 muestra los resultados de las concentraciones de Cadmio (Cd) en las hojas de higuera, en tratamiento y repetición.

Cuadro 4.2.- Concentración en (ppm), de Cadmio (Cd) en área foliar

Rep.	T1	T2	T3
R1	6.50	4.00	2.66
R2	6.00	4.11	3.00
R3	7.00	4.33	3.00
R4	6.50	4.00	2.88
$\bar{X}$	6.50	4.11	2.88

## 4.3 Análisis de varianza (ANOVA) de concentración de Cadmio (Cd) en el área foliar *R. cummunis* L

El cuadro 4.3 muestra coeficiente de variación, valor de la F y significancia estadística de los valores encontrados de Cadmio (Cd) en las hojas de higuera.

Cuadro 4.3- Análisis de varianza de las concentraciones de cadmio en el área foliar de *R. cummunis* L

FV	GL	SC	CM	F tablas ,01 ,05	F calculada	Pr>f
Tratamiento	2	.27.04126667	13,520633	8,022 4,2	187.30 **	.0001**
E. experimental	9	0,64970000	0,072188			
Total	11	27,69096667				

\*\*=Altamente significativo  
CV= 5.97%

Tukey (0.05)

El valor de la F calculada en los tratamientos para el área foliar es de 187.30, es mayor a las F tabulares en 5 y 1 por ciento, nos indica que existen diferencias altamente significativas.

#### 4.4 Comparación de medias en el Cd por la prueba de rango múltiple Tukey en hojas de *R. cummunis* L

El cuadro 4.4 indica los tratamientos, el valor de las medias y significancia obtenida por la prueba de rango múltiple de Tukey.

Cuadro 4.4.- Comparación de medias por la prueba de rango múltiple Tukey, en hojas de *R. cummunis* L.

Tratamientos de estudio	Valor de la media	Significancia
T1= Sustrato rojo	6,50±0.35	a
T2= Sustrato gris	4.11±0.13	b
T3= Testigo	2,88±0.13	c

DMS= 0.530 Los tratamientos que tiene la misma letra en el valor de significancia son estadísticamente iguales.

#### 4.5 Concentración de Cadmio (Cd) en las raíces de *R. cummunis* L

El cuadro 4.5 muestra los resultados de las concentraciones de Cadmio (Cd) en las raíces de higuera, tratamiento y repetición

Cuadro 4.5.- Concentración en (ppm) de Cadmio (Cd) en área radical de *R. cummunis* L

Rep.	T1	T2	T3
R1	9.80	3.00	2.00
R2	10	3.11	3.33
R3	10	3.11	2.00
R4	9.66	3.00	2.11
$\bar{X}$	9.86	3,055	2.11

#### 4.6 ANOVA de concentración de Cd en el área radical *R. cummunis* L

El cuadro 4.6 muestra coeficiente de variación, valor de la F y significancia estadística de los valores encontrados de Cadmio (Cd) en las raíces de higuerrilla.

Cuadro 4.6.- Análisis de varianza de las concentraciones de Cadmio (Cd) en el área radical de *R. cummunis* L

FV	GL	SC	CM	F tablas		F calculada	Pr>f
				0,01	0,05		
Tratamiento	2	143,990066	71,995033	8,02	4,25	4004.6 **	0.0001**
E. experimental	9	0,1618000	0,0179778				
Total	11	144,151866					

CV= 2.672%

El valor de la F calculada para el área foliar es de 4006.6, es > F tabulares en 5 y 1 por ciento, nos indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

#### 4.7 Comparación de medias en el Cd por la prueba de rango múltiple Tukey en raíces *R. cummunis* L

El cuadro 4.7 indica los tratamientos, el valor de las medias y significancia obtenida por la prueba de rango múltiple de Tukey

Cuadro 4.7.- Comparación de medias por la prueba de rango múltiple Tukey, en las raíces de *R. cummunis* L.

Tratamientos de estudio	Valor de la media	Significancia
T1= Sustrato rojo	9.86±0.14	a
T2= Sustrato gris	3,055±0.055	b
T3= Testigo	2.110±0.13	c

DMS= 0.264

Los tratamientos que tiene la misma letra en el valor de significancia son estadísticamente iguales.

#### 4.8 Concentración de, Plomo (Pb) en hojas de *R. cummunis* L

El cuadro 4.8 se presentan los resultados de las concentraciones de Plomo (Pb) en las hojas de higuera, tratamiento y repetición.

Cuadro 4.8.- Concentración (ppm) de Plomo (Pb) en área foliar de *R. cummunis* L

Rep.	T1	T2	T3
R1	366	351	47
R2	437	369	42
R3	451	344	51
R4	368	351	53
$\bar{X}$	405.50	353.75	48.25

#### 4.9 ANOVA de concentración de Plomo (Pb) en el área foliar de *R. cummunis*

L

El cuadro 4.6 muestra coeficiente de variación, valor de la F y significancia estadística de los valores encontrados de Plomo (Pb) en las raíces de higuera.

Cuadro 4.9.- Análisis de varianza de las concentraciones de Pb en el área foliar de *R. cummunis* L

FV	GL	SC	CM	F tablas		F calculada	Pr>f
				0,01	0,05		
Tratamiento	2	296506,1667	148253,0833	8,0215	4,2565	214,77**	0.0001**
Error experimental	9	6212,5	690,277				
Total	11	302718,667					

El valor de la F calculada en los tratamientos para el área foliar es de 214.7, es mayor a las f tabulares en 5 y 1 por ciento, nos indica que si existen diferencias altamente significativas.

#### 4.10 Comparación de medias por la prueba de rango múltiple Tukey para el Pb en las hojas de *R. cummunis* L

El cuadro 4.10 indica los tratamientos, el valor de las medias y significancia obtenida por la prueba de rango múltiple de Tukey

Cuadro 4.10.- Comparación de medias por la prueba de rango múltiple Tukey, en las hojas de *R. cummunis* L

Tratamientos de estudio	Valor de la media	Significancia
T1= Sustrato rojo	405,50±38.8	a
T2= Sustrato gris	351,25±9.2	b
T3= Testigo	48,25±4.2	c

CV= 9.791%

Los tratamientos que tiene la misma letra en el valor de significancia son estadísticamente iguales

#### 4.11 Concentración Pb en las raíces de *R. cummunis* L

El cuadro 4.11 muestra los resultados de las concentraciones de Pb en las raíces de higuera, en su tratamiento y repetición.

Cuadro 4.11.- Concentración de Plomo (Pb) en ppm, en área radical de *R. cummunis* L

Rep.	T1	T2	T3
R1	406	321	48
R2	437	359	42
R3	451	344	44
R4	368	351	54
$\bar{X}$	415.5	343.75	47

#### 4.12 ANOVA de concentración de Pb en el área radical de *R. cummunis* L

El cuadro 4.12 muestra coeficiente de variación, valor de la F y significancia estadística de los valores encontrados de Plomo (Pb) en las raíces de higuera.

Cuadro 4.12.- Análisis de varianza de la concentración de Plomo (Pb) en el área radical de *R. cummunis* L.

FV	GL	SC	CM	F tablas		F calculada	Pr>f
				0,01	0,05		
Tratamiento	2	305334,50	152667	8,02	4,2565**	277,25	0.0001**
E. experimental	9	4955,750	550,63				
Total	11	310290,250					

CV= 9.791%

El valor de la F calculada en los tratamientos para el área foliar es de 277.25, es mayor a las f tabulares en 5 y 1 por ciento, nos indica que si existen diferencias altamente significativas.

#### 4.13 Comparación de medias en el Pb por la prueba de rango múltiple

##### Tukey en las raíces de *R. cummunis* L

El cuadro 4.13 indica los tratamientos, el valor de las medias y significancia obtenida por la prueba de rango múltiple de Tukey

Cuadro 4.13.- de medias por la prueba de rango múltiple Tukey, en las raíces *R. cummunis* L

Tratamientos de estudio	Valor de la media	Significancia
T1= Sustrato rojo	415,50±28.5	a
T2= Sustrato gris	343,75±12.6	b
T3= Testigo	47,00±4.09	c

Los tratamientos que tiene la misma letra en el valor de significancia son estadísticamente iguales.

## V DISCUSIÓN

Basándonos en los resultados en este trabajo de investigación se encontró que existen diferencias de concentración de Cadmio entre la parte aérea y las raíces, encontrándose en las raíces la mayor concentración, en el caso del Plomo (Pb) en el tejido vegetal en la parte aérea y en la raíz se encuentran diferencias. Así como Landeros *et al.*, (2012) cuando llevaron a cabo su experimento descubrieron que la relación entre las concentraciones de plomo fue estadísticamente relevante, determinando que la acumulación más alta de plomo tuvo lugar en la zona aérea de la planta. con una media de 352.34 mg kg<sup>-1</sup>. Cuando Altunar, (2011) examinó la habilidad de la especie vegetal *Nicotiana glauca graham* para absorber plomo en el suelo en sus distintas partes (raíz, tallo y hojas), evidenció que esta especie tiene la capacidad de absorber un alto nivel de plomo (1443 ppm) en su biomasa.

En la investigación de Pérez, (2022) los coeficientes de remediación para Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) del romerillo americano en terrenos contaminados fueron establecidos. El resultado se alinea con las concentraciones de plomo más elevadas alcanzadas en las hojas en comparación con la raíz.

Barrios y Garcillazo, (2019) en su tesis, descubrieron que *R. communis* L es capaz de tolerar y absorber niveles de plomo (47.32 ppm) y arsénico (49.15 ppm) en terrenos contaminados por metales. Por ende, puede ser empleada para la fitorremediación de suelos impactados por la contaminación minera.



## VI CONCLUSION

La fitorremediación, a través de la especie *Ricinus communis* L., demuestra ser efectiva en la extracción de metales pesados como el Cadmio y el Plomo en suelos contaminados, lo que sugiere su potencial uso como herramienta bioremediadora en áreas afectadas por la minería. Este estudio resalta la capacidad de las plantas para contribuir a la limpieza de ambientes contaminados, ofreciendo una solución sostenible para la rehabilitación de suelos.

## VII BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, B. L. M., Macías, M. K. I., Suárez, M. A. J. 2005. Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. Revista Lasallista de Investigación, vol. 2, núm. 1. pp. 57-60 Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia.
- Altunar, A. H. 2011. determinación de la capacidad de adsorción de plomo en suelo *porriocotiana glauca Graham*. Tesis. Licenciatura. Torreón Coahuila, México
- Aguirre, H. Viteri, P. León, P. Mayía, Y. Cobos, P. Mero, M. Pernía, B. 2022. Fitotoxicidad del cadmio sobre la germinación y crecimiento inicial de variedades de maíz ecuatorianas. : <http://www.doi.org/10.51372/bioagro341.1>. (10/abril/2024).
- Arrieta, F. M. C., Anaya, F. J. A., Guavita, D. M. A. 2023. Higuierilla. Universidad de Córdoba. Facultad de ciencias agrícolas. Córdoba.
- Arteaga, N. E. 2014. Fito remediación del suelo de la mina La Blanca, Hidalgo, con plantas de la especie *Cosmos bipinnatus* y el género *Dahlia*. Tesis. Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 117 p
- Barrios, G. E. J., Canul, J. K., Hernández, A. M. G. 2018. Evaluación de dos ciclos de higuierilla en Morelos, México: siembra y rebrote. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Volumen 9. Número 8.
- Barrios y Garcillazo. 2019. Capacidad fitorremediadora de *Ricinus communis* "Higuierilla" sobre Arsénico y Plomo de suelos contaminados del sector La Porfía Pataz. Tesis. Licenciatura. 62 paginas Bello, P. L., Alberto, T. N. M., Díaz, R. O. 2022. Metales pesados en suelos agrícolas del Caribe Insular: estado actual e índices de contaminación. Revista Centro Agrícola. Vol. 49.
- Becerril, J. M., Barrutia, O. García, P. J. I., Hernández, A. Olano, J. M., Garbisu, C. 2007. Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos eco fisiológicos y su uso en fitorremediación. Ecosistemas, vol. 16, núm. 2, pp. 1-6.
- Bellini, E. 2023. Célula solar de telururo de cadmio flexible con una eficiencia del 12,6 % mediante el método de despegue. Pv magazine México. <https://www.pv-magazine-mexico.com/2023/01/24/celula-solar-de-telururo-de-cadmio-flexible-con-una-eficiencia-del-126-mediante-el-metodo-de-despegue/>. (20/abril/2024).
- Biblioteca digital de la medicina tradicional mexicana. 2009. Higuierilla. Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana. <https://es.scribd.com/document/677274148/LA-HIGUERILLA-monografia>. (01/mayo/2024).

- Boulal, A., Khelafi, M., Djaber A. 2022. Quality Study of biodiesel produced from *Ricinus communis* L. (Kharouaa) in southwest Algeria. Algerian Journal of Environmental Science and Technology. Vol.8. No4
- Cabrera, C. R. 2011. Evaluación del efecto microbiano del aplicado en procesos diarreicos en conejos. Tesis de licenciatura. facultad de medicina veterinaria. Universidad Michiacana de San Nicolas Hidalgo. 49p.
- Cartaya, R. O., Moreno, Z. A. M., Guridi, I. F. Cabrera, H. J. A. 2022. Mezcla de oligogalacturónidos para la fitoextracción de metales pesados en suelos contaminados. ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN. vol. 3.
- Castañeda, S. R., Alva, C. J. 2016. Importancia cultural de la flora silvestre del distrito de Pamparomás, Ancash, Perú. Ecología Aplicada, vol. 15, núm. 2, pp. 151-169.
- Covarrubias, S. A., García, B. J. A., Peña, C. J. J. 2015. El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Acta Universitaria. 25 (NE-3).
- De Jesús, A. F., Guzmán, O. A., Mejía, L. F. 2012. Efecto de extractos cetónicos de higuera (*Ricinus communis* LINNEO.) sobre el nematodo barrenador [*Radopholus similis* (COBB.) THORNE] en condiciones in vitro. Revista Luna Azul.
- De Jesús, P. U. G. 2021. Morfometría y fisiología de plantas de ecotipos silvestres de higuera (*Ricinus communis* L.) Del norte de México. Tesis. Doctorado. Bermejillo, Mapimí, Durango, México. 65 p.
- Delgadillo, L. A., Gonzales, R. C., Prieto, G. F., Villagómez, I J. R., Acevedo. S. O. 2011 Phytoremediation, an alternative to eliminate pollution. Trop. subtrop, agroecosyt. vol. 14. núm. 2.
- Escoto, G. T., Murillo, V. R. N., Rodríguez, R. A., Ansaldo, H. J. J., Rivera, P. J. 2015. Obtención de celulosa blanqueada de *Ricinus communis* L. mezclada con fibra industrial para fabricar papel bond. Rev. mex. de cienc. forestales vol.6. número 28.
- García, M. R. J., Bravo, S. L. R., Pérez, P. J. C. 2022. determinación de metales pesados en pulpa de fruta de *Capsicum annum* l. cultivado en la Comuna Joá, Cantón Jipijapa. centro azúcar vol. 49 Issue 2, p122-135
- Goodfellow, C. 2021. Un foco en el Cadmio. Advent Research Materials. <https://www.advent-rm.com/es-ES/Articles/2021/10/A-spotlight-on-Cadmium>. (05/mayo72024).

- Gallegos, C. A., López, T. J., Damián, R. A. A., Núñez, P. F. A., Núñez, P. F., Zapien, R. J. M. 2024. Obtención de películas de bioplástico a partir de higuera. Revista mexicana de ciencias agrícolas.
- Guía de actuación y diagnóstico de enfermedades profesionales. 2019. exposición a Cadmio y sus compuestos. ministerio de producción y trabajo. Buenos Aires, Argentina.
- Guzmán, M. A., Paz, O. C. Valdés, C. R., Valdés, H. P. A. 2021. Evaluación de la contaminación por metales pesados y su acumulación en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). cultivos tropicales. Vol. 42.
- Hernández, B. Y., Rodríguez, H. P., Peña, I. M., Meriño, H. Y., Cartaya, R. O. 2019. Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. cultivos tropicales. vol. 4.
- Huaraca, J. F., Pérez, S. L., Bustinza, C. L. S., Pampa, Q. Noé, B. 2020. Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. Vol. 31 Issue 4, p139-152.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2012. Ficha técnica de agricultura. sistema integrado de consulta. de clasificaciones y nomenclaturas. [https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co\\_agricola.php?id=01449.00.01](https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co_agricola.php?id=01449.00.01) (15/mayo/2024).
- Landeros, M. O., Trejo, C. R., Reverles, H. M., Valdez, C. R. D., Arreola, A. J. G., Pedroza, S. A., Ruíz, T. J. 2011. Uso potencial del huizache (*Acacia farnesiana* L. Will) en la fitorremediación de suelos contaminados con plomo. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales, Vol. 17.
- Londoño, F. L. F., Londoño M. P. T., Muñoz, G. F. G. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 14
- López, G. G., Gómez, R. J., Barrera, J. F. 2020. Arthropod pests and their management, natural enemies and flora visitors associated with castor (*Ricinus communis*), a biofuel plant: a review. Revista Colombiana de Entomología. Vol. 46.
- López, G. Y. 2012. Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados. Tesis. Licenciatura. Torreón Coahuila, México.
- Lozada, V. R. A., Argota, P. G., Ramos, N. E., Choqueneira, C. R. M. 2021. Reactor de flujo continuo para la remoción del plomo por electrocoagulación en las aguas del río Coata, Puno-Perú. Revista Campus. vol. 26.

- Maciel, T. S. P., Jacobo, S. M. R., Figueroa, V. U., Pedroza, S. A., Trejo, C. R., Rivas, G. T. 2024. Evaluación de la Capacidad Extractora de Arsénico de *Ricinus communis* L. Latinoam vol.42. Chapingo México.
- Martínez, P. A., López, P. A., Gil, M. A., Cuevas, J. A. Sánchez. 2012. Useful and relevant wild plants identified in the Mixteca Poblana, México. Act. Bot. Mex no.98 Pátzcuaro
- Marrero, C. J., Amores S. I. 2012. fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, vol. 46, no. 3. pp. 52 – 61.
- Mendoza, E. B., Torres, R. D., Lué, M. M., Gómez, C. Estanga, B. M., García O. Y. 2021. Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. Instituto Tecnológico Metropolitano. Tecnológicas, vol. 24, núm. 5.
- Molina, A. N., Valazco, E. M T. 1983. Costo beneficio del uso del hematofluorometro en etapa cubclinica del saturnismo. Tesis. Maestría. 111 p.
- Mondragón, P. J. Vibrans, H. 2009. Malezas de México. Euphorbiaceae *Ricinus communis* L. Higuierilla. biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. 2009. Higuierilla *Ricinus communis* L. Euphorbiacea. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=ricinus-communis>. (20/abril/2024)
- Monserrat, P. 2023. ¿Quieres tratar la bilis de manera natural? Conoce la planta medicinal que la combate. infobae. <https://www.infobae.com/mexico/2023/12/27/quieres-tratar-la-bilis-de-manera-natural-conoce-la-planta-medicinal-que-la-combate/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20informaci%C3%B3n,la%20espalda%2C%20est%C3%B3mago%20y%20pies>. (14/abril/2024).
- Muñoz, O. A., Salvador, E. J. A., Estrada, Z. A., Solís, B. J. L. 2016. Crecimiento de variedades y componentes del rendimiento de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Montecillo, Estado de México. Rev. Mex. Cienc. Agríc vol. 7 no. 2 Texcoco, México.
- Narváez, O. W. A 2010. Efectividad de compuestos orgánicos de origen diverso y girasol ornamental en la fitorremediación de un suelo alcalino contaminado con plomo. Tesis. Licenciatura. Buenavista saltillo Coahuila, México.

- Ortega, R. A. T., Olaya, P. M. P. 2023. Aplicación de biocarbón como estrategia de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos. *Gestión y ambiente*.
- Ortiz, C. H. G., Trejo, C. R. Valdez, C. R. D., Arreola, A. J. G., Flores, H. A., López, A. B. 2009 Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. Vol. 15
- Palomino, A. C. C., Téllez, M. L., Visitación, F. L. 2018. Identificación de los sitios de unión del plomo en la superficie del adsorbente de residuos de pelos de la industria curtiembre *Rev. sov quin. Perú*.
- Perales, A. L., Esquivel, R. J., Silos, E. H., Carrillo, R. J., Perales, S. C. 2021. Tolerancia de plantas de zonas áridas a metales pesados. *revista Terra Latinoam* vol. 39
- Pérez, R. G. E., De Blasa, B. S., Pontevedra, P. X., López, J. E. 2011. The soil use conflict and food quality. *Journal of Food*. Vol. 9, No. 4, pp 342–350.
- Pérez, V. M. M., Zorrilla, V. M., Domínguez, M. L., Mayusca, G. R. Y., González, G. M. 2022. Determinación de los coeficientes de fitorremediación de cadmio y plomo en el romerillo *Rev. Cubana Quím*. Vol. 34.
- Rodríguez, A. M., Muñiz, U. O., Clístenes, W. A., Montero, Á. A., Calero, M. B., Martínez, R. F. 2022. rangos permisibles de Cadmio y Plomo en abonos orgánicos utilizados en la producción de alimentos. *Cultivos Tropicales*, vol. 43, no. 1.
- Rosales, S. R., Arellano, A. S., Nava, B. C. A., Jiménez, O. R., Santana, E. S., Borja, B. M., Abby, O. I. Martínez, R. E. 2023. Productividad y calidad del grano de higuierilla cultivada en el Centro-Norte de México. *Ecosistemas y recur. agropecuarios* vol.10 no.2 Villahermosa.
- Ruiz, R. H. 2011. Extracción de metales pesados de aguas residuales de tratadora *samsara ecosystems* con lirios acuáticos. Tesis. Licenciatura. Torreón Coahuila, México.
- Sánchez, L. Biviana, A. L., Ríos, L. A 2017. Producción de Diésel Renovable a partir de Aceite de Higuierilla mediante Catalizadores de Níquel-Molibdeno Soportados sobre Alúmina. *información tecnologica* VOL 28.
- Sarmiento, S. G. Febres F. S. 2021. Lead recovery in artificially contaminated agricultural soil as a remediation strategy using sunflower and vermicompost. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, Vol. 27.

- Seijas, D. Squillante G. 2018. Plomo en sangre, estado nutricional y estratificación socioeconómica en niños de una comunidad de Valencia. *Anales Venezolanos de Nutrición* 2008; Vol. 21 (1): 14-19.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2018. Higuierilla: planta tropical oleaginosa. <https://www.gob.mx/siap/articulos/higuierilla-planta-tropical-oleaginosa?idiom=es>. (01/mayo/2024).
- Téllez, R. M. M., Luis, F., Bautista, A. L. F., Trejo, V. B., Cantora, I. A., Estrada, S. D., Kraiem, R., Pantic, I. Rosa, P. A., Gómez, A. L. M., Romero, M. M., Cuevas,, N. L. Teresa, S. L. T., Fuller, R. Tamayo O. M. 2019. Reporte nacional de niveles de plomo en sangre y uso de barro vidriado en población infantil vulnerable. *Salud pública de México / vol. 6. pp 787-797.*
- SALAU, A. O; BWALA, S. J; DOKA, D. Y. 2024. Potential of Castor Seed (*Ricinus communis* L) for Remediation of Petroleum Products Contaminated Soil in Billiri, Gombe State, Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* Vol. 28 (6) 1815-1820
- Vallés, M., Fuentes, E. Pons J. 2018. El plomo: un problema medioambiental y para la salud. UAB DIVULGA. Barcelona.
- Valarezo, J. X., Carrillo, Z. M. D., Rubio, Z. G. A., Peña, S. K. E., García, O. Y. 2022. Omisión de macronutrientes y biodisponibilidad de cadmio en suelos de Ecuador. *Acta agronómica* vol. 71.
- Yoan, M A. Moura, B. N., Febles, G. J. M., Souto, A. L., Mileisy, B. O. 2020. Fraccionamiento de metales pesados en suelos cultivados con tabaco en Pinar del Río, Cuba. *Acta agronómica. Universidad Nacional de Colombia.*
- Zapata, M. Y. L., Trujillo, G. J. M., Torres, M. M. A. 2018. Distribución espacial del plomo (Pb) en el municipio de Villavicencio usando briófitos como medio de verificación de la calidad ambiental urbana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental.* Vol. 9.
- Zeferino, B. J. M. 2019. Determinación de cadmio, cobre y plomo en el cultivo de alfalfa (*medicago sativa* L) irrigada con agua residual tratada y subterránea. Tesis. Licenciatura. 61 p.