



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Absorción de plomo por girasol (*Helianthus annuus*) en suelo
contaminado y remediado con quelante en la región San Martín
2022.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Ramirez Armas, Deysy Eliana (orcid.org/0000-0003-0934-0987)

Saurin Tuanama, Maria Yovancith (orcid.org/0000-0001-5761-4546)

ASESOR:

Dr. Vallejos Torres, Geomar (orcid.org/0000-0001-7084-977X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TARAPOTO – PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación, a mis Padres Ronel Rengifo Pizango y a Lusy Armas Salas, por su apoyo incondicional, por solventar parte de los gastos para mi formación profesional y por inculcarme valores, también a mi hija Kendra Antonella Vásquez Ramírez, por ser mi motor y motivo para seguir adelante, y al padre de mi hija por ser una de las personas que está conmigo en las buenas y en las malas mostrándome su apoyo para seguir adelante. A mis docentes por sus enseñanzas y amigos por apoyo brindado.

Deisy Eliana Ramirez Armas

Dedico este trabajo a mis queridos padres por ser aquellos que me impulsan a seguir mejorando cada día, por ayudarme en uno de mis logros más anhelados, culminar mi carrera, porque a pesar de cualquier tipo de circunstancias ellos están ahí para mí. A mis docentes y amigos que me han brindado su apoyo.

Maria Yovancith Saurin Tuanama

Agradecimiento

Agradezco a Dios, por guiarme en este camino tan complejo y permitirme cumplir uno de mis metas, que es culminar esta investigación, a mis queridos padres, por brindarme su amor incondicional, siempre alentarme para seguir adelante con mis estudios, y por enseñarme el valor de la humildad y por formarme en la persona de hoy. También a mis docentes que estuvieron conmigo brindándome sus enseñanzas durante estos años. Del mismo modo al Dr. Geomar Vallejos Torres por su asesoría en esta investigación.

Deisy Eliana Ramirez Armas

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme vida y salud que durante este proceso ha estado conmigo para seguir cumpliendo mis metas y objetivos, a mis queridos padres por mantenerse siempre conmigo, apoyándome incondicionalmente, brindándome su confianza e inculcándome y formándome en la persona que llegue a ser ahora, a mis docentes que durante todo a mi proceso académico me han brindado sus conocimientos y han formado parte de mi proceso profesional.

Maria Yovancith Saurin Tuanama

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen	vii
Abstrac.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA	13
3.1. Tipo y diseño de investigación	13
3.2. Variables y operacionalización	14
3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis	16
3.3.1. Población.....	16
3.3.3 Muestreo.....	16
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.3.4. Técnicas	17
3.3.5. Instrumento de recolección de datos	17
3.4. Procedimientos	18
3.5. Método de análisis de datos.....	25
3.6. Aspectos éticos.....	26
IV. RESULTADOS.....	27
V. DISCUSIÓN	35
VI. CONCLUSIONES.....	39
VII. RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS	41
ANEXOS	50

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Tratamientos propuestos para la investigación</i>	14
Tabla 2. Diseño de ANOVA para el trabajo de investigación	26
Tabla 3. <i>Parámetros medidos para el trabajo de investigación</i>	27
Tabla 4. Resultado de las evaluaciones de Pb.	29
Tabla 5. Prueba de normalidad de datos	31
Tabla 6. Análisis de varianza de la concentración de Pb en el suelo.....	31
Tabla 7. Prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la concentración de Pb en el suelo	32
Tabla 8. Análisis de varianza de la concentración de Pb en el tallo.....	33
Tabla 9. Prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la concentración de Pb en el tallo	33
Tabla 10. Análisis de varianza de la concentración de Pb la raíz	34
Tabla 11. Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para la concentración de Pb en la raíz	34

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Tipos de procesos de fitorremediación. Fuente: Shah y Daverey (2020).	9
Figura 2. Mapa de ubicación del trabajo de investigación	18
Figura 3. Muestreo de suelo. A) lugar de muestreo B) limpieza y extracción del suelo.....	19
Figura 4. Tamizado de suelo. A) Arrojando el suelo para su respectivo tamizado B) Tamizado del suelo para colocar en los maceteros.....	20
Figura 5. A) Preparación de la solución de plomo 10 mg/kg. B) preparación de la solución de 20 mg/kg. C) instrumentos para la elaboración de las soluciones del plomo(C).....	21
Figura 4. Aplicación de sustancia de plomo y edta A) Aplicación de metal pesado plomo en el suelo B) aplicación del quelante químico edta en el suelo con los girasoles en su etapa adulta.....	22
Figura 5. Semillas de girasol (<i>Helianthus annuus</i>) A) selección de semilla para la siembra B) semilla seleccionada para su respectiva siembra C) siembra de <i>Helianthus annuus</i> en las macetas experimentales.	23
Figura 7. cosecha y análisis de la muestra A) Codificación en las bolsas de ziploc B) corte del tallo del girasol C) muestra del tallo del girasol D) muestra de suelo E) secado de la raíz del girasol	24
Figura 7. Caracterización de suelo inicial	28
Figura 8. Evaluación de concentración de Pb en el suelo, tallo y raíz	30

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo general evaluar la absorción de plomo por girasol (*Helianthus annuus*) en suelo contaminado y remediado con quelante, el tipo de investigación fue de tipo aplicada nivel experimental. Se obtuvo como resultados iniciales que el suelo evidencio un porcentaje de arena 26,63%, arcilla 38,56%, limo 31,81%, considerándose así un suelo franco arcilloso, con un pH de 7,38 reflejándonos que es un suelo moderadamente alcalino, donde se muestra que no hay problemas de sales ya que está por debajo de los >2000 uS/cm, materia orgánica con un 2,94% y el análisis de plomo con 00 ppm. Obteniendo como resultado, el tratamiento optimo en el suelo es el T₃ (10 mg/kg de Pb + 0,0 mmol/kg de Quelante) debido a que evidencia un valor de 26,19 ppm de Pb. Por otro lado, el tratamiento optimo en el tallo es el T₆ (20 mg/kg de Pb + 2,5 mmol/kg de Quelante) debido a que evidencia un valor de 2,01 ppm de Pb. Mientras que el tratamiento optimo en la raíz no existe ya que muestra un p-valor de >0,0549, siendo este mayor al nivel de significancia (0,05); por ello se dice que los tratamientos no son significativos, por lo tanto, no tienen diferente efecto.

Palabras clave: Fitorremediación, plomo, *helianthus annuus*, quelante.

Abstract

The general objective of this research was to evaluate the absorption of lead by sunflower (*Helianthus annuus*) in contaminated soil and remediated with chelating agent, the type of research was applied experimental level. It was obtained as initial results that the soil showed a percentage of sand 26.63%, clay 38.56%, silt 31.81%, thus considering it a clay loam soil, with a pH of 7.38, reflecting that it is a moderately alkaline, where it is shown that there are no salt problems since it is below >2000 uS/cm, organic matter with 2.94% and lead analysis with 00 ppm. Obtaining as a result, the optimal treatment in the soil is T3 (10 mg/kg of Pb + 0.0 mmol/kg of Chelate) because it shows a value of 26.19 ppm of Pb. On the other hand, the optimal treatment in the stem is T6 (20 mg/kg of Pb + 2.5 mmol/kg of Chelate) because it shows a value of 2.01 ppm of Pb. While the optimal treatment in the root does not exist since it shows a p-value of >0.0549 , this being greater than the level of significance (0.05); therefore, it is said that the treatments are not significant, therefore, they do not have a different effect.

Keywords: Phytoremediation, lead, *Helianthus annuus*, chelator.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente los metales pesados son una amenaza principalmente para nuestro medio ambiente debido a la acumulación excesiva, dentro de ellos los metales que contienen altas concentraciones en el suelo son, Cu, Mn, Zn, Cd, Pb, Ni y Co. Debido a la exposición de estos metales a través de ingestión de manos y por inhalación son un riesgo para la salud (Gupta *et al.*, 2021).

Los metales tóxicos afectan al suelo en todas sus dimensiones, porque no se descompone y se acumula. La remediación de estos suelos es muy compleja y resulta tedioso para los investigadores, pero se han utilizado métodos tradicionales, pero tiene un costo elevado; sin embargo, una de las técnicas remediadoras ecológicas es la fitorremediación que utilizan a las plantas para así reducir la concentración de los metales tóxicos en suelos contaminados (Patra, Pradhan y Patra 2020).

Los suelos de los vertederos, representan riesgo para la salud, a través de la aglomeración de metales pesados (Mukhopadhyay *et al.*, 2020). La consecuencia de los vertederos, es la emisión de lixiviados, una de las causas principal de la contaminación del medio terrestre y acuático; ya que contienen compuestos orgánicos solubles, contaminantes inorgánicos , sólidos en suspensión, metales pesados y sustancias peligrosas (Wdowczyk y Szymańska-Pulikowska, 2021).

La fitorremediación es un método rentable; ya que es ecológica y se utiliza plantas principalmente para descontaminación de los suelos con metales tóxicos; además se realiza en el mismo sitio, lo que ahorra costos en transportes y procesamiento fuera del sitio. Pero el éxito depende mucho del sitio de estudio, la elección de las variedades de plantas y la disponibilidad de absorción de metales tóxicos (Patra, Pradhan y Patra 2020).

El rasgo de hiperacumulación permite que algunas especies de plantas asignen cantidades notables de oligoelementos metálicos a su follaje sin sufrir toxicidad. La utilización de plantas de hiperacumulación para remediar los sitios contaminados podría proporcionar una alternativa sostenible a los enfoques industriales. Un obstáculo importante que actualmente obstaculiza este enfoque es la complejidad de la relación planta-suelo. Para anticipar mejor el resultado de futuros esfuerzos de fitorremediación, evaluamos el potencial de biodisponibilidad de metales del suelo para predecir la acumulación en dos poblaciones no metálicas y dos metálicas de hiperacumuladoras de Zn / Cd. También examinamos la relación entre el hábitat de una población y su eficiencia de fitoextracción (Dietrich *et al.*, 2021).

Para remediar los suelos contaminados con metales, las plantas hiperacumuladoras son eficientes; ya que acumulan metales.(Xu *et al.*, 2020). Entre las más destacadas tenemos seis especies hiperacumuladoras, *Solanum nigrum L*, *Bidens pilosa L*, *Xanthium strumarium L*, *Helianthus annuus L*, *Lonicera japonica T* y *Pennisetum sinense R* (Yu *et al.*, 2022).

Se realizaron fitorremediación de Cd en dos tipos de suelos contaminados, se seleccionaron cuarenta cultivares de semillas oleaginosas de girasol, con la cual se obtuvo una significativa diferencia en la biomasa y el rendimiento de absorción en los brotes y una menor acumulación en las raíces (Zehra *et al.*, 2020).

Se realizaron experimentos en suelos contaminados con Pb y Cd con la planta *Helianthus annuus L*. para evaluar la eficacia para la eliminación de estos metales, mediante macetas. El resultado mostró que la capacidad de la planta *Helianthus annuus L* es favorable en acumular el Pb y Cd tanto en sus brotes y raíces, pero la capacidad de acumulación en la planta de *Helianthus annuus L*. en Cd es mayor que el Pb (Alaboudi, Ahmed y Brodie 2018).

Salehi, Azhdarpoor y Shirdarreh (2020) investigo sobre la remediación de suelos contaminados con pireno, Cd y Pb mediante la planta de sorgo bicolor con los diferentes niveles de lixiviados de los vertederos. Los resultados de esta investigación concluyo que su eficiencia de remoción de pireno, Cd y Pb aumento

durante la fitorremediación, por el aumento de los nutrientes y la cantidad de bacterias del suelo.

Actualmente la aplicación de agentes quelantes biodegradables, se tomó en cuenta para la remediación de suelos contaminados con metales pesados, con el objetivo de aumentar la eficiencia en cuanto a su eliminación de los metales.(Chen, *et al.*, 2020) se considera de forma necesaria los agentes quelantes biodegradables sin efectos dañinos para el suelo entonces son considerados dentro de estos biodegradables ya que tienen una alta biodegradabilidad, por lo tanto la planta tiene una gran capacidad de absorción (Hasan *et al.*, 2019).

Este estudio de investigación se justifica mediante el uso de teorías y conceptos básicos, la fitorremediación es una práctica que a nivel mundial está tomando relevancia dado que la actividad antropogénica está causando la degradación del medio ambiente; además es una técnica ecológica y amigable, pero aun es una técnica primitiva, siendo uno de los problemas la falta de información, en los antecedentes y resultados, ya que al utilizar plantas para este proceso su duración es larga porque depende del crecimiento, la actividad biológica y las condiciones de la planta. En lo ambiental los metales pesados en los suelos son contaminantes que necesitan de atención, para ello una de las alternativas biorremediadores ante la problemática ambiental es la fitorremediación que es una solución para la limpieza de suelos contaminados; además ecológicos y sin alteraciones en el sitio tratado, se fundamenta en el uso de plantas que acumulan concentraciones de metales pesados en sus tejidos para inmovilizar, remover o contrarrestar metales pesados en el suelo. Las remediaciones de los suelos contaminados por metales pesados, por tratamiento químico y físico tienen un costo bastante elevado debido, lugar y a su logística; sin embargo, uno de las alternativas recomendadas por su bajo costo y su forma natural con el medio ambiente es la fitorremediación.

El problema general de nuestra investigación se planteó mediante la realidad problemática

PG: ¿la absorción de plomo por girasol (*Helianthus annuus*) en suelo contaminado y remediado con quelantes en la Región San Martín 2022.es eficiente? y los problemas específicos.

PE1: ¿las propiedades fisicoquímicas del suelo son afectada por la concentración de plomo?

PE2: ¿Cuáles son los efectos de los quelantes en la absorción de la planta? y ¿Cuál es el efecto de las concentraciones de plomo en la absorción por la planta?

PE3: ¿Determinar el tratamiento óptimo para la absorción de plomo por girasol (*Helianthus annuus*) en suelo contaminado y remediado con quelantes?

La investigación determinará el uso de quelantes en la fitorremediación mediante la planta *Helianthus annuus* de suelos contaminados con Pb. De manera que, se planteó la hipótesis general.

HG: La absorción del plomo con ayuda del girasol para descontaminación de suelo con Pb y el uso de quelantes como remediador. Y las hipótesis específicas

HE1: Las propiedades fisicoquímicas del suelo cambian al remediar con quelantes al suelo contaminado con Pb

HE2. El uso de quelantes afecta significativamente en la respuesta del *Helianthus annuus*. y en la calidad del suelo en el proceso de fitorremediación de Pb y El efecto de las concentraciones de Pb en el suelo definen la eficiencia del uso de quelantes en la fitorremediación de suelo contaminado con Pb mediante *Helianthus annuus*.

HE3: Determinar el tratamiento óptimo para la absorción de plomo por Girasol (*Helianthus annuus*) en suelo contaminado y remediado con quelantes.

Este estudio planteo como objetivo general

OG: Evaluar la absorción de plomo por Girasol (*Helianthus annuus*) en suelo contaminado y remediado con quelantes en la Región San Martín 2022. Y sus objetivos específicos

OE1: Evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo.

OE2: Evaluar los efectos de los quelantes y los efectos de las concentraciones la absorción de plomo en la planta.

OE3: Determinar el tratamiento óptimo para la absorción de plomo por Girasol (*Helianthus annuus*) en suelo contaminado y remediado con quelantes.

II. MARCO TEÓRICO

Asimismo, Huang *et al.*, (2020) evaluaron 5 plantas hiperacumuladoras en el jardín botánico del sur de china (Guangzhou, China). Con el objetivo de investigar la eficiencia de acumulación en las plantas acumuladoras, en las cuales se destinó dos suelos Maba y Renhua, los experimentos se realizaron en macetas al aire libre, fueron usadas 40 unidades experimentales, esto consiste en 5 especies de plantas x 2 dos tipos de suelos x 4 repeticiones, colocándose en un diseño completamente aleatorio, cada maceta con un peso de 5 kg, como resultados obtuvieron que en el suelo Maba, S,plumbizincola el contenido de Cd fue el más alto con valores en los brotes y raíces de 152,93 mg/kg-1 y 90,84 mg/kg-1, en el suelo Renhua el Cd se encontró en S, plumbizincola con un 541,36mg/kg-1, concluyendo así que las plantas hiperacumuladoras absorbieron diferentes cantidades de Cadmio de los dos suelos analizados, las plantas crecieron mejor en los suelos ácidos que en los suelos alcalinos.

Chen *et al.*, (2020) afirman que usaron la aplicación de agentes quelantes biodegradables para ayudar en el proceso de fitorremediación, los experimentos se realizaron en un invernadero en el laboratorio de residuos nucleares y medio ambientales de la defensa del estado (Mianyang, provincia de Sichuan), teniendo como objetivo evaluar los efectos de los tres agentes quelantes sobre la mejora de la absorción, traslocación y eficacia de remediación de U y Cd en el suelo, para el proceso experimental se hizo uso de 3 agentes quelantes el ácido cítrico (CA), ácido oxálico(OA) y disuccinato de etilendiamina (EDDS), , teniendo como resultados se obtuvo que la biomasa de brotes y raíces

disminuyo en un 12,12% y 15,74% bajo estrés combinado de U y Cd, también la aplicación de estos agentes, en especial EDDS, redujo aún más la biomasa de brotes y raíces de girasol, concluyendo así que los agentes quelantes mejoraron los efectos adversos que producen el U y Cd y mejoran eficazmente la capacidad del girasol para transportar y absorber metales pesados.

Por su parte Hasegawa *et al.*, (2019) en su investigación sobre la extracción de Plomo, zinc y cobre a través del uso de quelantes en Japón. En la cual se aplicó a suelos que fueron contaminados un método de lavado húmedo teniendo el objetivo de la separación y eliminación de elementos parcialmente tóxicos (PTE) por los quelantes que se están usando como el EDTA, DPTA, EDDS y HIDS, para esto se utilizaron botellas de polietileno, obteniendo como resultado que la eficacia de dichos quelantes en condiciones acidas (pH 3 y 5), neutras (pH 7) y alcalinas (9 y 11) entonces la mayor eficiencia que se mostro es en un suelo de pH 5 es un suelo acido concluyendo que los quelantes lograron una extracción notoria de las PTE a comparación del lavado de suelos.

Grandez (2017) tuvo como objetivo evaluar la optimización de la fitoextracción mediante girasol y maíz estas consideradas bioacumuladoras para metales pesados, las muestras recolectadas fueron de 50 kg de suelos contaminados con Cd y Pb del departamento de Junín, con un porcentaje de 11% de remoción de Cd; en Pb un 9,951% de remoción con las respectivas plantas cultivadas.

Vaileios *et al.*, (2021) el artículo tuvo como objetivo estudiar el potencial de 12 especies, para realizarlo se usaron unas macetas durante dos años utilizando suelos que fueron contaminados y comprobar en términos su eficiencia en la fitorremediación, las 12 plantas dieron una cosecha favorable y esto significa que son candidatas para la fitorremediación, la planta que produce en mayor abundancia de materia seca aérea fue *Arrhenatherum elatius* seguido de

Holcus lanatus concluyendo así que *Artemisia Vulgaris* fue la planta que consiguió mayor absorción de PTE, entre las 12, referente al Cd, Zn y menor grado el Cu y Ni.

Díaz (2017) mediante la técnica de fitorremediación en suelos agrícolas contaminados por metales pesados en el cultivo de maíz (*Zea Mays*) y se muestra el mal uso de los plaguicidas en los cultivos, el glifosato muestra el 21% con un índice mayor de uso en la agricultura, los fungicidas un 37% y los insecticidas el 44% restante.

Zhang *et al.* (2020), en el estudio realizado sobre la efectividad de los hongos micorrízicos arbusculares, donde hace mención que mediante este tratamiento se baja el nivel de toxicidad de los metales pesados en el girasol, el experimento se realizó en macetas de 8 semanas para ser investigadas en su crecimiento y en cómo reacciona el girasol ante la inoculación fúngica de micorrizas, entonces se concluyó que a Trávez de la inoculación de hongos.

Munive *et al.* (2020) en su investigación pretende reducir la contaminación por metal pesado en suelos agrícolas, en ella utilizaron girasol para su respectivo tratamiento, obteniendo como resultado que el suelo contiene gran cantidad de Pb el cual indica que existe negatividad en la producción de biomasa, el girasol absorbió el metal pesado en la raíz, en el tallo, flores, hojas y suelo, por lo tanto la acumulación de Pb en el suelo fue de 208.24 mg.kg, mientras tanto el que más absorbió fue en la raíz.

Sarmiento *et al.* (2021) en su estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos del girasol en la biorremediación de suelos agrícolas contaminados con plomo en ello realizaron 4 tratamientos, obteniendo como resultado en la muestra testigo a 16, 05 ppm Pb en el suelo y agregaron 105 ppm de plomo alcanzando concentración inicial de 121, 05 ppm el cual supera al estándar nacional de la

calidad de suelo, después del tratamiento hubo recuperación de Plomo en 81, 21 % en las raíces del girasol, y en los T1 Y T3 registró valores <1.

Contaminación del suelo por metales pesados

Actualmente la contaminación del suelo por metales pesados es uno de los problemas ambientales que se genera debido a las actividades antrópicas muchas de ellas como la industrialización, la agricultura y minería debido a estas actividades que se intensifican con el incremento de la población (Rong, 2020).

Así mismo Rai *et al.*, (2019) refiere que la contaminación del suelo por metales pesados es uno de los principales problemas ambientales que se genera dentro de nuestro país y a nivel mundial también, debido a varios factores, uno de estos es la población en aumento, con esto la demanda de los alimentos y para su producción es mucho mayor. Los metales pesados generan un impacto debido a las actividades geogénicas o por la descarga de residuos industriales.

Los metales pesados se localizan de una forma natural dentro de nuestro medio, mediante las actividades humanas, sin embargo, pueden alterarse y convertirse en contaminantes para nuestro medio ambiente. Las fuentes donde se generan las alteraciones de dichos metales, la mayoría se presentan en los trabajos agrícolas, por ejemplo: uso de pesticidas, fertilización inorgánica y en el proceso de riego, en actividades industriales ejemplo fabricación de hierro y acero, las manufacturas de productos químicos, productos fármacos, actividad minera ejemplo: contaminación de suelos, vertimiento de desechos al ambiente, productos químicos arrojados a los cuerpos de agua (Mejia y Sebastian, 2019).

Conceptos de fitorremediación

La fitorremediación es la técnica más sostenible (económica y ecológica) de todas. Aunque la fitorremediación es menos eficiente que los métodos físicos,

todavía se encuentra en la etapa de desarrollo y por lo tanto, se necesita redireccionar las actividades de investigación para su uso comercial. el método de fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados implica varios procesos: Fitoextracción, Fitoacumulación, fitovolatilización, Fitoestabilización, a continuación, se explica el proceso en la figura 1 (Shah y Daverey, 2020).

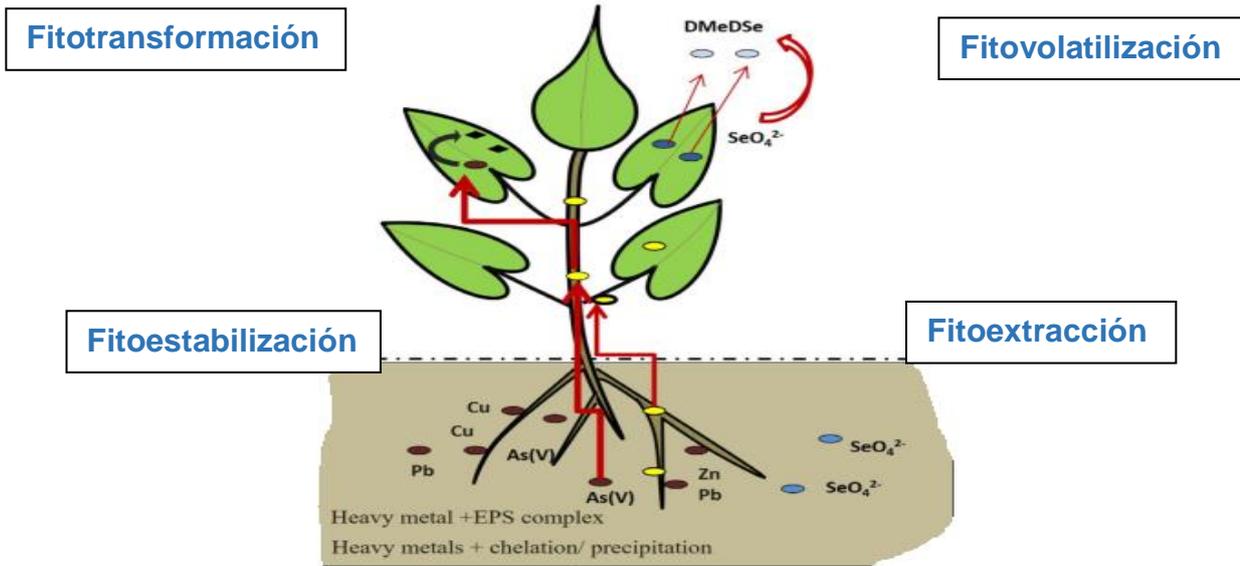


Figura 1. Tipos de procesos de fitorremediación. Fuente: Shah y Daverey (2020).

Fitotransformación: los metales pesados se transforman en una forma menos toxica. Fitoestabilización: contaminantes de metales pesados inmovilizados en la zona de la raíz. Fitovolatilización: contaminantes metálicos convertidos en forma volátil. Fitoextracción: traslocación y acumulación de metales en la parte aérea.

Hasta ahora se tiene conocimiento de 721 especies de hiperacumuladoras, y a medida que seguirán haciendo investigaciones estos datos van a cambiar. A continuación, se adjunta la imagen donde se da conocimiento sobre la base de datos global (Reeves, *et al.*, 2018).

Nadeen *et al.*, (2017) reúne las distintas técnicas de fitorremediación las actuales y las avanzadas que actualmente se publican mediante revistas, artículos, por lo tanto, el objetivo de esto es comparar, comprender estas técnicas y ver cuál es la más eficiente para lograr que los suelos contaminados por los metales pesados sean efectivos mediante estas estrategias de fitorremediación.

Vijendra y Daverey (2020) nos muestra uno de los principales desarrollos referente a este tipo de aplicaciones y el modo de comprensión en la fitorremediación, las ventajas, las limitaciones, y el enfoque multidisciplinario como al comienzo.

Taxonomía del *Hellianthus annuus* “girasol”

Hellianthus annuus “girasol” es una especie de planta anual de los nativos perteneciente a la familia de Asteraceae con una característica particular en la flor de gran tamaño, con un color amarillo, crece en diversos tipos de suelos, el tallo crece hasta 3m de altura y la cabeza de la flor crece hasta 30 cm de diámetro con las semillas. También considerado como un cultivo energético de alta biomasa, por eso es reconocida por su capacidad de fitoextracción. es de rápido crecimiento y de fácil cosecha, produce en gran cantidad la biomasa y el gran poder de acumular y transportar el Cd en la parte aérea de las plantas KhalidA, *et al.*, (2020).

Generalmente el crecimiento del girasol es aproximadamente de 120 días hasta su etapa de cosecha, está dividida en 5 etapas: se establece en los 20 días de haberse sembrado, su vegetación de 30 días, su etapa de floración 30 días, su etapa de formación de rendimiento 25 días y por ultimo su etapa de maduración (Zhao *et al.*,2019).Se realizó una investigación sobre la absorción de plomo y cadmio a través del uso del girasol, haciendo uso de enmiendas orgánicas (compost y vermicompost),los resultados indicaron que en el suelo de Muqui

contienen mayor contenido de plomo y cadmio , en la cual se presentan efectos que no favorecen en la producción de biomasa (Cerron *et al.*,2020).

Clasificación taxonómica del girasol

Familia : Asteraceae
Género : *Helianthus*
Especie: *Helianthus annuus* L.
Nombre común: "Girasol"

se considera a una planta hiperacumuladoras, tomando en cuenta ciertos criterios como la capacidad de tolerar y acomodar en cantidades mayores del metal toxico en la parte aérea de la planta, sin mostrar síntomas de toxicidad, demostrando así que tolera y tiene la capacidad de desintoxicar los metales almacenados. Se muestran los valores, para definir como una planta hiperacumuladoras para cada metal, metaloide y semital (Ovani 2018).

Gina y tito (2020) una planta que se caracterizó por ser hiperacumuladoras de plomo con una cantidad de incorporación de 1000 mg/kg de plomo y toleran un alto nivel en cuanto a la concentración de metales.

"Estudios diversos evaluaron la capacidad de fitoextracción del girasol principalmente en macetas, en suelos y en ensayos hidropónicos, pero en condiciones ambientales controladas" (Zhera *et al.*,2020). Es muy importante tener en cuenta el procedimiento en el crecimiento de la planta en el proceso de la fitorremediación para que este albergue la mayor cantidad en metales a través de sus tejidos, teniendo en cuenta de hacer uso del factor de traslocación y el factor de bioacumulación (Rostami y Azhdarpoor, 2019).

Agnello *et al.*, (2020) algunos estudios realizados nos hablan sobre el papel importante del girasol, para trasladar algunos metales como Pb, Cd y Zn de las raíces hasta la parte aérea de la planta (pag, 8).

Actualmente la aplicación de agentes quelantes biodegradables, se tomó en cuenta para la fitorremediación, con el objetivo de aumentar la eficiencia en cuanto a su eliminación de los metales (Chen *et al.*, 2020), se considera de forma necesaria los agentes quelantes biodegradables sin efectos dañinos para el suelo; son considerados dentro de estos biodegradables ya que tienen una alta biodegradabilidad y referente a su capacidad de absorción de las plantas (Hasan *et al.*, 2019).

Wang *et al.* (2019) el uso de un agente quelante degradable ayuda en la mejora para la Fito extracción en suelos contaminados con abundante metal pesado, ayudan en gran medida la capacidad de las plantas para mejorar su capacidad de absorber y transportar los metales del suelo.

Yang *et al.*, (2019) el agente quelante puede romper el equilibrio entre los metales pesados en la fase líquida y sólida del suelo y reducir la retención del suelo de los complejos quelantes, estos pueden promover significativamente los metales de las plantas. La acción de transporte y absorción.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, por que utilizó procesos de fitorremediación en suelos contaminados con plomo empleando la planta de *Helianthus annuus*. Además “se centra en solucionar problemas y satisfacer necesidades de manera práctica, su objetivo es resolver la problemática del estudio” (Nieto, 2018). En esta investigación se busca evaluar la eficiencia del *Helianthus annuus* en suelos contaminados con plomo con la ayuda del quelante EDTA.

Diseño de investigación

Esta investigación es de diseño experimental, ya que el investigador busca probar o contradecir la hipótesis mediante el análisis estadístico, manipulando la variable independiente (Hernández *et al.*, 2010). Se opera dos variables, la variable independiente (remediación con quelante) y la variable dependiente (absorción de plomo con girasol), se manipula la variable independiente para realizar la comprobación de la variable dependiente.

Esta investigación tiene como finalidad evaluar la eficiencia de la planta de *Helianthus annuus* en suelo contaminado con Plomo con ayuda del quelante EDTA. El diseño será un diagrama completamente al azar (DCA), distribuido en 6 tratamientos y 3 repeticiones.

Tabla 1. Tratamientos propuestos para la investigación

Tratamientos	Niveles de Pb (mg/kg)	Quelante (mmol/kg)	Descripción	Código de clave
T ₁	0	0	Suelo sin contaminar + sin quelante + girasol	T ₁ R ₁
T ₂	0	2.5	Suelo sin contaminar + quelante + girasol	T ₂ R ₁
T ₃	10	0	Suelo contaminado con Pb + sin quelante + girasol	T ₃ R ₁
T ₄	10	2.5	Suelo contaminado con Pb + quelante + girasol	T ₄ R ₁
T ₅	20	0	Suelo contaminado con Pb + sin quelante + girasol	T ₅ R ₁
T ₆	20	2.5	Suelo contaminado con Pb + quelante + girasol	T ₆ R ₁

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente: remediación de quelantes

Definición conceptual: el uso de quelantes es un método competente en la fitorremediación debido a su eficacia de eliminación de contaminantes en el suelo (Chen, Yang y Wang 2020).

Definición operacional: se Utilizará el agente quelante químico edta, como ayuda para la mejor absorción del *Helianthus annuus* en suelo contaminado con plomo.

Propiedades:

- Tipo de quelante
- Dosis de quelante

Indicadores:

- Químico edta

- 2.5 mmol/kg

Escala de medición:

- Nominal
- Ordinal

Variable dependiente: Absorción de plomo por *Helianthus annuus* (girasol)

Definición conceptual: El Girasol es una planta fitorremediadora, su capacidad de trasladar los metales pesados como Cadmio, plomo y zinc permiten la absorción de los metales (Agnello et al, 2020)

Definición operacional: Se utilizará *Helianthus annuus* en la absorción de plomo para evaluar su eficiencia por su gran capacidad de trasladar los metales.

Propiedades:

- Concentraciones de plomo en el suelo
- Calidades fisicoquímicas del suelo

Indicadores:

- Concentraciones de plomo (0,10,20) mg/kg
- % materia organica
- Conductibilidad eléctrica
- pH

Escala de medición:

- ordinal
- nominal

3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

3.3.1. Población

Díaz (2018) afirma que la población está compuesta por todos los elementos, objetos, personas, organismos; que son seleccionados para ser medidas, cuantificadas y estudiadas.

El suelo se recolecto del distrito de Picota, se selecciono por cumplir con las características óptimas para este estudio.

Criterios de inclusión

Para estos criterios se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Tener acceso al lugar para la toma de muestras
- Autorización del propietario

Criterios de exclusión

Para esto se tomó en cuenta los criterios de exclusión:

- el lugar inaccesible
- no contar con la autorización del propietario

3.3.2. Muestra

Se recolecto 90 kg de muestra de suelos para la investigación, 5 kg de suelo en cada macetero.

3.3.3 Muestreo

El muestreo es de tipo no probalístico ya que permite al investigador seleccionar sus muestras a criterios que toma en cuenta (Hernández *et al.*, 2014). Se utilizo el protocolo establecido por MINAN denominado manual para muestreo de suelos, en la cual se establece los protocolos para las tomas de muestras MIMAN (2014 pg. 40).

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.4. Técnicas

Para el presente trabajo de investigación se empleó las siguientes técnicas:

Observación: se estableció el lugar en donde se recolecto el suelo, así mismo se ubicó el lugar de trabajo donde se dispuso las macetas.

Análisis documental: Se utilizo documentos con veracidad de autoría, además se contó con base de datos confiables como, Science Direct, Google Académico, Scopus.

3.3.5. Instrumento de recolección de datos

La investigación tuvo diferentes instrumentos de recolección, las cuales se mencionan a continuación:

Guías de observación. “para obtener la información y dar respuesta a la investigación, se utiliza el método de recolección de datos para la obtención de resultados (Hernández y Duana, 2020).

Cadena de custodia. Se detallo la toma de muestra de los parámetros a evaluar, concedida por el laboratorio

Validez de instrumentos

En esta investigación la autenticidad de los instrumentos conto con la validez de personales especializados en el tema, mediante una ficha de validación

3.4. Procedimientos

En la investigación se realizaron las etapas que se detallan a continuación:

Etapa 1: Fase de gabinete

Se elaboró las guías de observación y se realizó una revisión de artículos científicos de diversas plantas fitorremediadoras hiperacumuladoras. Luego de la revisión bibliografía se optó por utilizar al girasol debido a su alta capacidad remediadora e hiperacumuladora.

Finalmente, se realizó la cotización para la caracterización del suelo los parámetros de Pb (planta y suelo) en el “Laboratorio de análisis de suelo, plantas, aguas, fertilizantes y alimentos del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) - Sede San Martín” y en la Universidad de San Martín- Tarapoto.

Etapa 2: Fase de campo

a. Ámbito de la investigación

La investigación estuvo ubicada en la urbanización Santa Elena, distrito de Morales, en la ciudad de Tarapoto. Su clima es cálido y su temperatura promedio es 30.16 °c, y la mas baja es 21 °c.

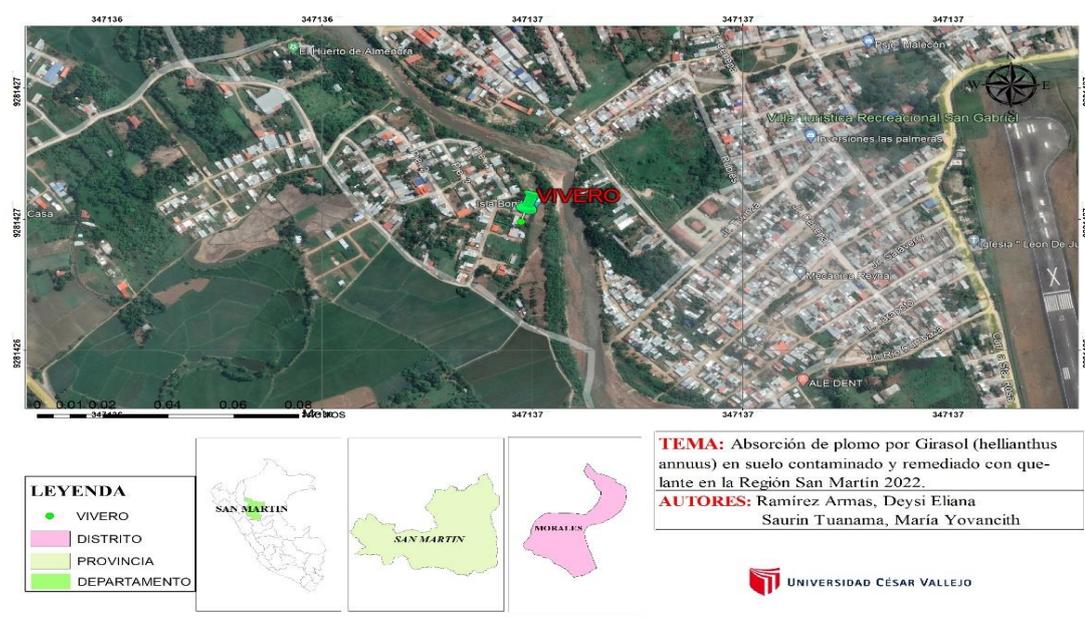


Figura 2. Mapa de ubicación del trabajo de investigación

b. Muestreo de suelos

Para la recolección de la muestra es necesario delimitar las áreas de muestreo lo más homogénea posible. La muestra se tomo en la provincia de Picota, en el sector Capanau, el muestreo consistió en hacer un recorrido en zig-zag tomando en cada punto una submuestra, en total se obtendrá 15 submuestras, siempre tratando de tomar una misma cantidad de suelo en cada punto y a la misma profundidad, para esto se necesita una palana, con la cual se perforo un hoyo de 25 x 25 cm aproximadamente de lado y 20 cm de profundidad, pero se retiró los 2 cm primeros del suelo y en un balde, se mezcló las 15 submuestras para sacar una sola muestra de 1 kilogramos. La muestra se recolectó en bolsas de cierre hermético para luego ser analizada en el laboratorio.

Se realizó la caracterización de las condiciones del suelo para poder determinar su estado actual. El muestreo de suelos se realizó de acuerdo a la Guia para el muestreo de suelos del MINAM (2014). La muestra de suelo fue llevada al “Laboratorio de análisis de suelo, plantas, aguas, fertilizantes y alimentos del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) - Sede San Martin”.



Figura 3. Muestreo de suelo. A) lugar de muestreo B) limpieza y extracción del suelo

c. Construcción y acondicionamiento del área de investigación.

Los materiales que se utilizó fueron: 7 listones, 10 metro de plástico alemán, 1/4 clavos, martillos, 18 maceteros, 1 kg de semillas de girasoles (*Helianthus annuus*), bolsas de ziploc.

Se realizó la construcción de un vivero para acondicionar los maceteros para el experimento. El vivero tiene una medida de 3 metros de largo por 2,30 metros de ancho, con una altura de 1,50 metros. Primeramente, se dispuso a cavar hoyos en el suelo para poner los listones para formar las columnas, después de ellos se dispuso a cerrar la parte de arriba con el plástico alemán, clavar las partes sueltas del plástico a los listones para que no entre el agua de lluvia.

d. Preparación del suelo en los maceteros

Se tamizo el suelo con una malla de diámetro (0,05 mm) para que el suelo tenga condiciones homogéneas respectivamente, para evitar que el suelo tenga consigo objetos no deseados como ´por ejemplo piedras, bolsas, ramas.

Al culminar de tamizar los 90 kg se suelo, se dispuso a colocar 2.5 de suelo en cada macetero, ya que más adelante aplicamos la solución del plomo y rellenamos los 2.5 restantes para que cada macetero tenga 5 kg de suelo cada uno.



Figura 4. Tamizado de suelo. A) Arrojando el suelo para su respectivo tamizado B) Tamizado del suelo para colocar en los maceteros.

e. Preparación de la solución de plomo y edta

Preparación del plomo en sus concentraciones de 10 mg/kg, para su elaboración de la solución se utilizó agua destilada de 100 ml esto lo medimos con una probeta para ser exactos en la preparación, el proceso se realizó con un matraz de 1000 ml, seguidamente se agregó la primera concentración de 10 mg/kg de plomo, para esto tuvimos la ayuda de una pipeta automática, para una mayor exactitud del plomo y facilitar ponerlo en el matraz.

Para la concentración de 20 mg/kg de plomo se utilizó una solución de agua destilada de 100 ml, para agregarla la medimos con una probeta para ser exactos en la preparación, el proceso se realizó en un matraz de 1000 ml, seguidamente se agregó la primera concentración de Pb de 20 mg/kg, para esto tuvimos la ayuda de una pipeta automática, para una mayor exactitud del plomo y facilitar ponerlo en el matraz



Figura 5. A) Preparación de la solución de plomo 10 mg/kg. B) preparación de la solución de 20 mg/kg. C) instrumentos para la elaboración de las soluciones del plomo(C)

f. **Aplicación del plomo y Edta**

Después de la preparación de la sustancia plomo, nuestras concentraciones de 10 ppm y 20 ppm ya estaban listas para su aplicación en los siguientes tratamientos (T3, T4, T5, T6), se agregó las concentraciones con la ayuda de una probeta. La semana 6 después de la aplicación de plomo se dispuso a aplicar el quelante químico ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) en el suelo en los siguientes tratamientos (T2, T4, T6)



Figura 6. Aplicación de sustancia de plomo y edta A) Aplicación de metal pesado plomo en el suelo B) aplicación del quelante químico edta en el suelo con los girasoles en su etapa adulta.

g. **Siembra de las semillas de *Helianthus annuus***

Para la siembra de las semillas de *Helianthus annuus* primero se seleccionó las mejores y se fueron descartando las más pequeñas, con algunas perforaciones y color. Luego de seleccionar a las mejores semillas se dispuso a formar 18 grupos de 6 unidades de semillas. Finalmente, se

sembró 6 semillas en cada macetero, primeramente, se hizo un hoyo en el suelo de una gema, para introducir la semilla y luego tapar, la distancia de cada semilla con la otra fue de 1 cm.



Figura 7. Semillas de girasol (*Helianthus annuus*) A) selección de semilla para la siembra B) semilla seleccionada para su respectiva siembra C) siembra de *Helianthus annuus* en las macetas experimentales.

h. Cosecha y análisis de las muestras

La cosecha se realizó después de que el *Helianthus annuus* llegará a su fase adulta. Primeramente, se dispuso a codificar las bolsas ergonómicas ziploc donde se colocó las muestras para los diferentes análisis, después se cortó la parte área (tallo y hoja) para colocarlo en las bolsas ziploc, luego se sustrajo de

cada macetero 5 gramos de suelo, por último se extrajo la raíz, realizamos un lavado para que se desprenda el suelo u objetos no deseados para el muestreo, luego se puso al sol 20 minutos para que se seque y luego colocar en las bolsas ziploc y por último se llevó al “Laboratorio de análisis de suelo, plantas, aguas, fertilizantes y alimentos del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) - Sede San Martín”



Figura 8. cosecha y análisis de la muestra A) Codificación en las bolsas de ziploc B) corte del tallo del girasol C) muestra del tallo del girasol D) muestra de suelo E) secado de la raíz del girasol

Etapa 3: Gabinete final

- Se elaboró las tablas de resultados para su previa interpretación.
- Se elaboró el informe final para previa presentación y sustentación.

3.5. Método de análisis de datos

Análisis descriptivo

Para la estadística descriptiva se elaboraron tablas y figuras a partir de los resultados obtenidos de la investigación, donde se ordenó la información de los resultados para poder tener un mejor análisis y discusión. Estas tablas y figuras se elaboraron en el Microsoft Excel.

Prueba de normalidad

Se realizó la prueba de normalidad de datos para poder determinar su distribución paramétrica. Se eligió la prueba de Shapiro-Wilks debido a que nuestros datos no superan los 50. Para determinar la existencia de normalidad en los datos el p-valor debe ser mayor al nivel de significancia (p-valor > 0,05), de lo contrario los datos no serán normales (p-valor < 0,05).

Análisis experimental

Para esta investigación se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 6 tratamientos y 3 repeticiones, teniendo solo 1 observación (muestreo) a lo largo del experimento. Se realizó un DCA para la observación, a fin de probar si existen diferencias significativas entre tratamientos, donde si el valor de F calculado es igual o mayor que el valor F de la tabla, se concluirá, que al nivel de significancia establecido (5%) las medias de los tratamientos no son iguales, caso contrario ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabla}}$) se concluirá que los tratamientos son iguales (BUSTOS *et al.*, 2008).

Tabla 2. Diseño de ANOVA para el trabajo de investigación

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	F crítico
Tratamiento	GLT	SCT	CMT	FCT	FTT
Error	GLE	SCE	CME		
Total	GLTotal				

Finalmente, para la estadística experimental los resultados de la presente investigación fueron sometidos a la prueba de medias de “Tukey” con un nivel de significancia del 5 % ($p \leq 0,05$), para determinar la naturaleza de las diferencias entre los tratamientos. Esta prueba se representará en tablas y gráficos, a fin poder visualizar de manera práctica los resultados.

3.6. Aspectos éticos

Esta investigación uso el ISO 690 respetando así la normativa de nuestra universidad Cesar Vallejo, como también la resolución de vicerrectorado de investigación N°011-2020-VI-UCV, que indica la originalidad y autenticidad de la investigación.

IV. RESULTADOS

4.1. Propiedades fisicoquímicas del suelo.

Los resultados iniciales del análisis para las propiedades fisicoquímicas del suelo (Tabla 3), evidenciaron porcentaje de arena 26,63%, arcilla 38,56%, limo 31,81%, considerándose así un suelo franco arcilloso, con un pH de 7,38 reflejándonos que es un suelo moderadamente alcalino, donde se muestra que no hay problemas de sales ya que está por debajo de los >2000 uS/cm, materia orgánica con un 2,94% y finalmente el análisis de plomo para nuestro suelo nos arroja con 0 ppm de Pb. (Anexos, cuadro 2).

Tabla 3. *Parámetros medidos sobre la caracterización del suelo y análisis inicial de Pb.*

Parámetros medidos		Valores
Análisis mecánico	% Arena	26,63
	% Arcilla	38,56
	% Limo	31,81
Clase textural		Franco Arcilloso
pH		7,38
C.E uS/cm		223,3
M. O %		2,94
N %		0,1
P ppm		7,12
K ppm		194,36
CIC		9,1
Cationes Cambiables (meq/100g)	Ca +	7,64
	Mg +	0,68
	K +	0,5
	Na +	0,4
	Al +	0
	Al + H	0
% Sat. Bas.		100

Pb ppm	0
--------	---

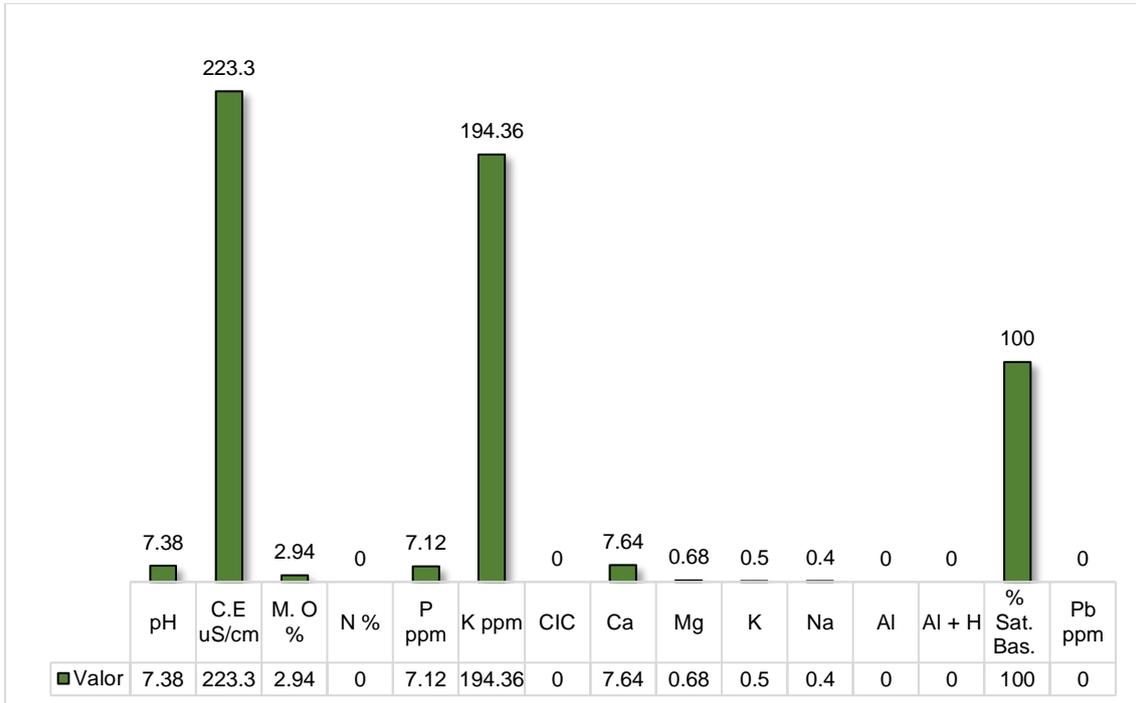


Figura 9. Caracterización de suelo inicial

Figura 7 se muestra de forma gráfica los parámetros medidos iniciales, para dar inicio a nuestro trabajo de investigación se tuvo que analizar con que tipo de suelo estamos trabajando, posterior a esto también sobre el nivel inicial del plomo, ya que se necesitaba contar con nuestros tratamientos testigos y así poder contaminar los demás tratamientos restantes con las concentraciones.

4.2. Evaluar los efectos de los quelantes y los efectos de las concentraciones en la absorción de plomo en la planta.

Tabla 4. Resultado de las evaluaciones de Pb en el suelo, tallo y raíz

Tratamiento	Repeticiones	Pb en suelo (ppm)	Pb en tallo (ppm)	Pb en raíz (ppm)
T1	1	0,00	0,00	0,00
T2	1	0,00	0,00	0,00
T3	1	26,78	0,55	0,94
T4	1	28,97	1,58	0,98
T5	1	25,35	0,78	2,87
T6	1	28,97	2,26	2,81
T1	2	0,00	0,00	0,00
T2	2	0,00	0,00	0,00
T3	2	25,60	0,73	4,41
T4	2	26,87	0,63	0,56
T5	2	29,88	0,55	4,71
T6	2	31,35	1,75	3,43

Las plantas expuestas a las concentraciones de plomo presentaron un crecimiento menor a comparación con las muestras testigos que no se contaminaron, la calidad del suelo y sus propiedades fisicoquímicas juegan un papel importante para el crecimiento de los girasoles y también el quelante sea de ayuda en un suelo en el cual sobresalga su capacidad de ayudar a absorber el metal pesado en la planta a través de su raíz, tallo. En la tabla 4 se muestran los resultados que obtuvimos de suelo, tallo y raíz de Pb en el suelo, el nivel de Pb en el caso de suelo en el T5 con un valor de 25,35 ppm nos muestra con un valor menor al resto de los tratamientos que fueron contaminados y el T₆ es el que tiene una concentración alta de 28,97 ppm en el suelo.

En el caso de los análisis de Pb en el tallo el T₃ (Pb 10 ppm +sin quelante es el que muestra un tratamiento óptimo ya que su valor es de 0,55 ppm esto significa que tanto el girasol está cumpliendo su proceso de fitorremediación a través del

tallo y el agente quelante ayuda a remediar el suelo almacenando en su parte aérea, el tratamiento más alto T₆ con un 2,26 ppm en tallo.

Los resultados de Pb en raíz nos refieren una muestra de p-valor de >0,0549, siendo este mayor al nivel de significancia (0,05); por ello se dice que los tratamientos no son significativos, por lo tanto, no tienen diferente efecto. Esto nos estaría indicando que todos los tratamientos son iguales. Se tiene un coeficiente de variación de 66,88 %, evidenciando que los resultados son confiables.

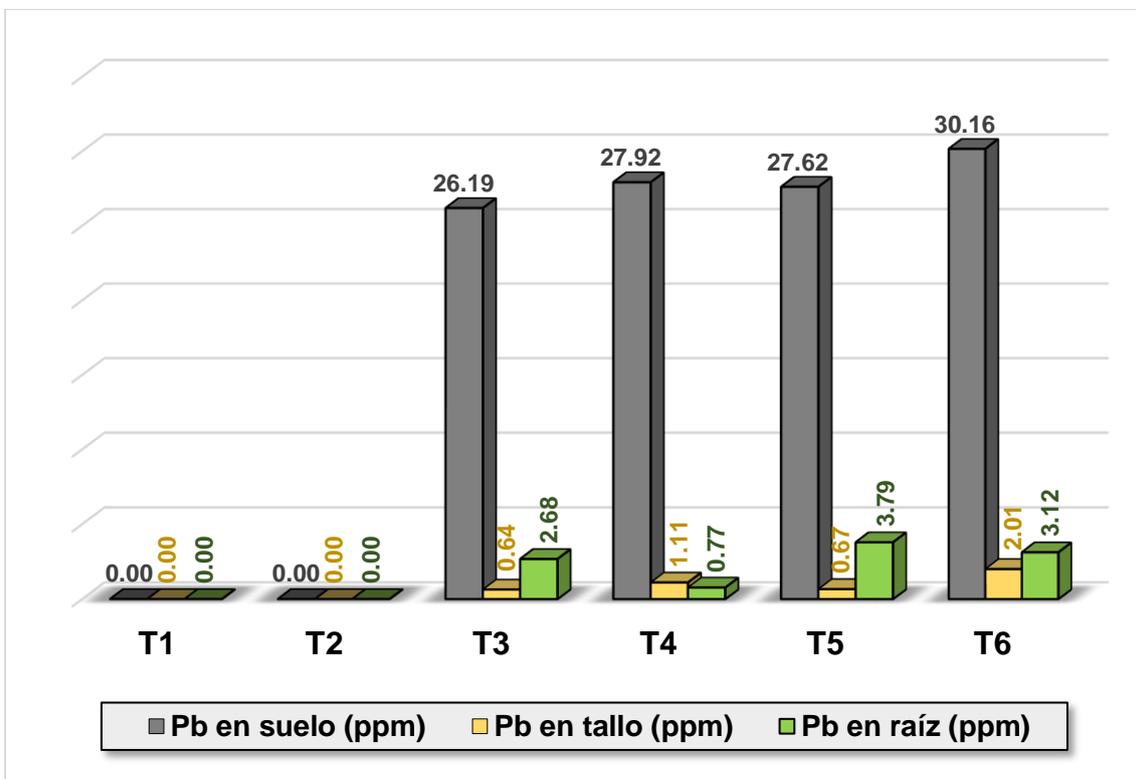


Figura 10. Evaluación de concentración de Pb en el suelo, tallo y raíz

4.3 Tratamiento óptimo para la absorción de plomo por girasol (*Helianthus annuus*) en suelo contaminado y remediado con quelantes.

A continuación, se muestra la tabla 5 donde están los valores de la prueba de normalidad.

Tabla 5. Prueba de normalidad de datos

Variable	p-Valor	Decisión
Pb en suelo	0,9706	0,9706 > 0,05 Presenta normalidad
Pb en tallo	0,9345	0,9345 > 0,05 Presenta normalidad
Pb en raíz	0,7626	7626 > 0,05 Presenta normalidad

Análisis de la varianza de la concentración de Pb en el suelo

El análisis de varianza (ANOVA) muestra un p-valor de <0,0001, siendo este muy inferior al nivel de significancia (0,05); por ello se dice que los tratamientos son altamente significativos, por lo tanto, tienen el diferente efecto. Esto nos estaría indicando que el girasol con ayuda del quelante está influyendo en la absorción de plomo. Se tiene un coeficiente de variación de 8,76 %, evidenciando que los resultados son confiables.

Tabla 6. Análisis de varianza de la concentración de Pb en el suelo

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	Valor F Calculado	p-valor
Tratamiento	5	2102,56	420,51	157,75	<0,0001
Error	6	15,99	2,67		
Total	11	2118,56			

Por su parte, la prueba de medias de Tukey corrobora la información del ANOVA, mostrando las diferencias significativas de los tratamientos para la concentración de Pb en el suelo. Para esta variable se puede evidenciar que existe dos agrupaciones (A y B). El tratamiento óptimo estará determinado por aquel tratamiento que tenga menor valor de media, esto debido a lo que se busca en

la investigación es la menor concentración posible de plomo. Por lo tanto, el tratamiento óptimo es T₃ (10 mg/kg de Pb + 0,0 mmol/kg de Quelante) debido a que evidencia un valor de 26,19 ppm de Pb. El que tuvo valores alto de ppm de Pb fue el T₆ (20 mg/kg de Pb + 2,5 mmol/kg de Quelante) con 30,16 ppm. La agrupación B presenta valores 0,0 ppm de Pb debido a que no fueron sometidos a contaminación con dicho elemento.

Tabla 7. Prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la concentración de Pb en el suelo

Tratamiento	n	Medias	P. Tukey
T ₆	2	30,16	A
T ₄	2	27,92	A
T ₅	2	27,62	A
T ₃	2	26,19	A
T ₁	2	0,00	B
T ₂	2	0,00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis de la varianza de la concentración de Pb en el tallo

El análisis de varianza (ANOVA) muestra un p-valor de <0,0056 siendo este muy inferior al nivel de significancia (0,05); por ello se dice que los tratamientos son altamente significativos, por lo tanto, tienen el diferente efecto. Esto nos estaría indicando que el tallo del girasol tiene mayor capacidad de concentración de plomo. Se tiene un coeficiente de variación de 43,82 %, evidenciando que los resultados son confiables.

Tabla 8. Análisis de varianza de la concentración de Pb en el tallo

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	Valor F Calculado	p-valor
Tratamiento	5	5,69	1,14	10,94	<0,0056
Error	6	0,62	1,14		
Total	11	6,31	0,10		

Por su parte, la prueba de medias de Tukey corrobora la información del ANOVA, mostrando las diferencias significativas de los tratamientos para la concentración de Pb en el tallo. Para esta variable se puede evidenciar que existe tres agrupaciones (A, B y AB). El tratamiento óptimo estará determinado por aquel tratamiento que tenga mayor valor de media, esto debido a lo que se busca en la investigación es la mayor concentración posible de plomo. Por lo tanto, el tratamiento óptimo es T₆ (20 mg/kg de Pb + 2,5 mmol/kg de Quelante) debido a que evidencia un valor de 2,01 ppm de Pb. El que tuvo valor más bajo de ppm de Pb fue el T₃ (10 mg/kg de Pb + 0,0 mmol/kg de Quelante) con 0,64 ppm.

Tabla 9. Prueba de Tukey (≤ 0.05) para la concentración de Pb en el tallo

Tratamiento	n	Medias	P. Tukey
T ₆	2	2,01	A
T ₄	2	1,11	A B
T ₅	2	0,67	B
T ₃	2	0,64	B
T ₁	2	0,00	B
T ₂	2	0,00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis de la varianza de la concentración de Pb la raíz

El análisis de varianza (ANOVA) muestra un p-valor de $>0,0549$, siendo este mayor al nivel de significancia (0,05); por ello se dice que los tratamientos no son significativos, por lo tanto, no tienen diferente efecto. Esto nos estaría indicando que todos los tratamientos son iguales. Se tiene un coeficiente de variación de 66,88 %, evidenciando que los resultados son confiables.

Tabla 10. Análisis de varianza de la concentración de Pb la raíz

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	Valor F Calculado	p-valor
Tratamiento	5	27,95	5,59	4,20	$>0,0549$
Error	6	27,95	1,33		
Total	11	35,95			

Por su parte, la prueba de medias de Tukey corrobora la información del ANOVA, mostrando que no existe diferencias significativas de los tratamientos para la concentración de Pb en la raíz. Para esta variable se puede evidenciar que existe solo una agrupación (A).

Tabla 11. Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para la concentración de Pb en la raíz

Tratamiento	n	Medias	P. Tukey
T ₅	2	3,79	A
T ₆	2	3,12	A
T ₃	2	2,68	A
T ₄	2	0,77	A
T ₁	2	0,00	A
T ₂	2	0,00	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

V. DISCUSIÓN

Respecto al objetivo específico 1, **Evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo**, los resultados iniciales de los análisis evidenciaron que el suelo está conformado por 26,63% de arena, 38,56% de arcilla y 31,81% de limo, el cual indica que es un suelo franco arcilloso, con pH de 7,38 siendo un suelo alcalino, con materia orgánica de 2,94%, además, de estar por debajo de los >2000 uS/cm y con Pb de 0 ppm. Por su parte, Sarmiento *et al.*, (2021) en cambio obtuvo como resultado en la muestra testigo a 16,05 ppm Pb en el suelo el cual supera al estándar nacional de la calidad de suelo, el suelo presentó 64,7% de arena, 20,1% de limo y 15,2% de arcilla lo que indica que el suelo es franco arenoso quien facilitó el desarrollo radicular del girasol, ya que el girasol se desarrolla mejor en un suelo arenoso y con pH neutro, en cuanto a su materia orgánica fue moderada por lo que se necesitó la incorporación de vermicompost para mejorar el proceso de remediación, en su estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos del girasol en la biorremediación de suelos agrícolas contaminados con plomo en ello realizaron 4 tratamientos.

mientras tanto, Munive et al. (2020) en su investigación utilizaron 5 plantas hiperacumuladoras, buscando verificar la eficiencia de la acumulación en brotes y raíces en dos tipos de suelo, al realizar el análisis inicial encontraron que el suelo era ácido con pH 7,30 y pH 7,85, el suelo fue de textura franco arcilloso y franco arenoso, con materia orgánica de 3,56% y 2,30% con concentración de Pb 16,05 ppm, entonces al comparar los resultados de los autores con los nuestros deducimos que las plantas remediadoras se adaptan a suelos alcalinos y ácidos, además de que es importante realizar muestras iniciales de suelo para conocer sus componentes.

Concerniente al objetivo específico 2: **Evaluar los efectos de los quelantes y los efectos de las concentraciones en la absorción de plomo en la planta.**

Los resultados se evidenciaron en la tabla 4, tanto en el tallo, raíz y suelo en concentraciones de plomo, el nivel de Pb en el caso de suelo en el T₅ con un valor de 25,35 ppm nos muestra con un valor menor al resto de los tratamientos y el T₆ es el que tiene una concentración alta de 28,97 ppm en el suelo. En el caso de los análisis de Pb en el tallo el T₃ (Pb 10 ppm +sin quelante) es el que

muestra un tratamiento óptimo ya que su valor es de 0,73 ppm esto significa que el girasol está cumpliendo su proceso de fitorremediación y el agente quelante ayuda a remediar el suelo almacenando en su parte aérea, el tratamiento más alto T₆ con un 2,26 ppm en tallo. Los resultados de Pb en raíz nos refieren que sigue actuando de manera efectiva, muestra un p-valor de >0,0549, siendo este mayor al nivel de significancia (0,05); por ello se dice que los tratamientos no son significativos, por lo tanto, no tienen diferente efecto. Esto nos estaría indicando que la raíz del girasol no está absorbiendo el plomo. Se tiene un coeficiente de variación de 66,88 %. En cambio, el autor Chen, *et al.*, (2020), en su investigación muestra que al utilizar diferentes agentes quelantes provocó diferencias significativas (**p < 0.01**) en las concentraciones de U y Cd de los brotes y raíces de los girasoles. En este estudio, la aplicación de CA y EDDS tuvo efectos significativos en las concentraciones de U de brotes y raíces. Las concentraciones más altas de U de brote (1,3 mg / kg) y raíz (44,84 mg / kg) se observaron en las adiciones de CA de 5,0 y 7,5 mmol / kg, que fueron 5,87 y 2,79 veces mayores que las del brote (0,21 mg / kg). kg) y raíz (16,05 mg / kg), mientras en Cd 19,02% a 290,35% para los brotes y 12,66%mi 88,56% para las raíces debido a la adición de agentes quelantes. La concentración máxima de Cd fue de 70,38 mg / kg para el brote y 108,27 mg / kg para la raíz siguiente.

Por otra parte, el autor Alaboudi, Ahmed y Brodie (2018) muestra que en su investigación los resultados fueron que la concentración mayor Pb y Cd en brote (40,1 y 65,7 mg kg⁻¹Dwt) y raíces (107,7 y 71,3 mg kg⁻¹, respectivamente) en conclusión el estudio de la planta de *H. annuus* fue más propicia para la absorción de Cd en comparación con el Pb, y proponemos su capacidad para la remediación de suelos contaminados con Pb y Cd.

Finalmente, al objetivo específico 3: **tratamiento óptimo para la absorción de plomo por Girasol (*Helianthus annuus*) en suelo contaminado y remediado con quelantes**, se identificó la prueba de normalidad de datos indicó que el análisis de varianza muestra un p-valor de <0,0001, siendo inferior al nivel de significancia (0,05); indicando que los tratamientos son altamente significativos y que tienen diferente efecto lo que indica que el girasol con ayuda del quelante influyó en la absorción de plomo con variación de 8,76 %, de acuerdo, al análisis

de concentración de Pb en suelo se evidencia que existe dos agrupaciones (A y B), el tratamiento óptimo es T₃ (10 mg/kg de Pb + 0,0 mmol/kg de Quelante) debido a que evidencia un valor de 26,19 ppm de Pb y el que tuvo valores alto de ppm de Pb fue el T₆ (20 mg/kg de Pb + 2,5 mmol/kg de Quelante) con 30,16 ppm, mientras tanto la agrupación B presenta valores 0,0 ppm de Pb debido a que no fueron sometidos a contaminación con dicho elemento y que el análisis de varianza muestra un p-valor de <0,0056 siendo inferior al nivel de significancia (0,05); por lo tanto, los tratamientos son altamente significativos, el cual indica que el tallo del girasol tiene mayor capacidad de concentración de plomo, con coeficiente de variación de 43,82 %.

El análisis de varianza muestra un p-valor de >0,0549, siendo este mayor al nivel de significancia (0,05); por ello se dice que los tratamientos no son significativos, por lo tanto, no tienen el diferente efecto, el cual indica que la raíz del girasol no está absorbiendo el plomo, y tiene coeficiente de variación de 66,88 %, mientras tanto para el análisis de concentración de Pb en raíz, muestra que no existe diferencias significativas de los tratamientos para la concentración de Pb en la raíz y se evidencia que existe solo una agrupación (A), el autor Munive *et al.*, (2020) en su investigación pretende reducir la contaminación por metal pesado en suelos agrícolas, en ella utilizaron girasol para su respectivo tratamiento, obteniendo como resultado que el suelo contiene gran cantidad de Pb el cual indica que existe negatividad en la producción de biomasa, el girasol absorbió el metal pesado en la raíz, en tallo, flores , hojas y suelo, lo que demostraron que el Pb fijó mayor concentración en las raíces especialmente en suelos más contaminados en (T4, T5 y T6) mostrando promedio de 134,75 mg.kg⁻¹, en el caso del tallo hubo concentración menor con promedio de 9.16 mg. kg⁻¹, el análisis estadístico tuvo diferencias en los contenidos de plomo en el girasol lo que mostraron diferencias significativas entre cada órgano(p<005).

Ruiz *et al.*, (2020) en su artículo realizó fitorremediación en la acumulación de metal pesado en raíces, tallos y hojas, lo que indicaron que las plántulas de girasol se separaron para el respectivo análisis de concentración del Pb, en la raíz acumuló 4340 µg g⁻¹ y no tuvieron efectos significativos en raíz y tallo, la mayor concentración se da en las raíces secundarias ya que son capaces de

tolerar concentraciones de 500 mg/l de plomo, de tal modo que al comparar los resultados se evidenció que el girasol absorbe mayor concentración en los tallos y raíces debido a su crecimiento.

VI. CONCLUSIONES

- Se realizó la evaluación inicial del suelo para tener conocimiento con qué tipo de suelo estamos trabajando en la caracterización y si tenía presencia de Pb, donde los resultados nos indican que su pH es de 7.38 reflejándonos que es un suelo moderadamente alcalino y el análisis de plomo para nuestro suelo nos arroja con 0 ppm de Pb, lo cual nos permitió usar tratamientos testigo el T₁ y T₂. Las plantas remediadoras se adaptan a suelos alcalinos y ácidos, además de que es importante realizar muestras iniciales de suelo para conocer sus componentes.
- Se pudo determinar que al usar el agente quelante dentro de nuestros tratamientos contaminados con plomo generan una ayuda a la planta en la absorción de plomo, y esto se evidenció en el análisis de varianza de la concentración de plomo en el tallo en el tratamiento 6 (20 mg/kg de Pb + 2,5 mmol/kg de Quelante) ya que muestra un p-valor de <0,0056 siendo este muy inferior al nivel de significancia (0,05) Esto nos estaría indicando que el tallo del girasol tiene mayor capacidad de concentración de plomo. Se tiene un coeficiente de variación de 43,82%.
- El análisis de varianza (ANOVA) en el caso de la raíz nos muestra un p-valor de >0,0549, siendo este mayor al nivel de significancia (0,05); por ello se dice que los tratamientos no son significativos, esto nos estaría indicando que todos los tratamientos son iguales. Se tiene un coeficiente de variación de 66,88 %.

VII. RECOMENDACIONES

- A la comunidad científica investigar más sobre trabajos relacionados sobre fitorremediación de plomo, además utilizar otras especies que tengan mayor capacidad de absorción de metales pesados en el suelo.
- A los futuros investigadores, para tener mejores resultados en la remediación de suelos contaminados con plomo, al utilizar *Helianthus annuus* (girasol) realizar el proceso de remediación de suelo con un periodo más largo para que la especie pueda desarrollarse en su totalidad.
- Profundizar en las investigaciones sobre el agente quelante EDTA, ya que ayudaría bastante a los futuros investigadores en que tipo de suelos es en que actúa mejor si en suelos ácidos o alcalinos o en qué tipo de planta absorbe más los diferentes tipos de metales que contaminan el suelo.
- A la comunidad científica realizar más trabajos de investigación sobre el proceso de fitorremediación ya que no solo significa que absorba el metal, si no cuidarla en el lapo de su proceso de desarrollo y que no se vea afectada por la absorción de dichos metales que queremos usar para nuestras investigaciones.

REFERENCIAS

Agnello, A. C., Potysz, A., Fourdrin, C., Huguenot, D., & Chauhan, P. S. (2018). Impact of pyrometallurgical slags on sunflower growth, metal accumulation and rhizosphere microbial communities. *Chemosphere*, 208, 626–639. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.03>

ALABOUDI, K.A., AHMED, B. y BRODIE, G., 2018. Annals of Agricultural Sciences Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sun flower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Sciences* [en línea], no. March, pp. 0-1. ISSN 0570-1783. DOI 10.1016/j.aoas.2018.05.007. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2018.05.007>

Alaboudi, K. A., Ahmed, B., & Brodie, G. (2018). Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(1), 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2018.05.007>

A new TDR probe for measurements of soil solution electrical conductivity por Moret Fernández [et al]. *Journal of Hydrology* [en línea] 2012. 2017 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.04.042>

Cerrón, R. M., Sánchez, G. G., Yachachi, Y. M., Ramos, F. P., Gonzales, L. V., & Torres, R. C. (2020). Lead and cadmium uptake by sunflower from

contaminated soil and remediated with organic amendments in the form of compost and vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177–186.
<https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2020.02.04>

Chen, L., Hu, W. fang, Long, C., & Wang, D. (2021). Exogenous plant growth regulator alleviate the adverse effects of U and Cd stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) and improve the efficacy of U and Cd remediation. *Chemosphere*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127809>

BUSTOS, Alexander; CAICEDO, Daniel Rodríguez; CANTOR, Fernando. ANDEVA para diseño completamente al azar (DCA). *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 2008, vol. 4, no 1-2, p. 143-148. Disponible en:

<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2240>

Dai, H., Wei, S., Pogrzeba, M., Krzyżak, J., Rusinowski, S., & Zhang, Q. (2021). The cadmium accumulation differences of two *Bidens pilosa* L. ecotypes from clean farmlands and the changes of some physiology and biochemistry indices. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111847>

DIETRICH, C.C., TANDY, S., MURAWSKA-WŁODARCZYK, K., BANAŚ, A., KORZENIAK, U., SEGET, B. y BABST-KOSTECKA, A., 2021. Phytoextraction efficiency of *Arabidopsis halleri* is driven by the plant and not

by soil metal concentration. *Chemosphere*, vol. 285, no. June. ISSN 18791298. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131437>

DETECCIÓN de *Trichinella*: identificación y evaluación estadística de las fuentes de error en el método del agitador magnético para la digestión de muestras agrupadas por Riehn [et al]. *Parasitología veterinaria [en línea]* 2013 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.01.03>

CHEN, L., YANG, J. and WANG, D., 2020. Phytoremediation of uranium and cadmium contaminated soils by sun flower (*Helianthus annuus* L .) enhanced with biodegradable chelating agents. *Journal of Cleaner Production*, vol. 263, pp. 121491. ISSN 0959-6526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121491>

ESTEBAN NIETO, Nicomedes. Tipos de investigación. 2018. <http://repositorio.usdg.edu.pe/handle/USDG/34>

GAVRILESCU, Maria. Enhancing phytoremediation of soils polluted with heavy metals. *Current Opinion in Biotechnology*, 2022, vol. 74, p. 21-31.

DOI: [10.1016/j.copbio.2021.10.024](https://doi.org/10.1016/j.copbio.2021.10.024)

GOMIS YAGÜES, Vicente. Tema 7. Espectroscopia de emisión y absorción atómica. *Técnicas Instrumentales en el Análisis Industrial*, 2008. <http://hdl.handle.net/10045/8252>

GUPTA, N., YADAV, K.K., KUMAR, V., CABRAL-PINTO, M.M.S., ALAM, M., KUMAR, S. y PRASAD, S., 2021. Appraisal of contamination of heavy metals and health risk in agricultural soil of Jhansi city, India. *Environmental Toxicology and Pharmacology* [en línea], vol. 88, no. August, pp. 103740. ISSN 18727077. DOI 10.1016/j.etap.2021.103740. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2021.103740>.

HERNANDEZ, Mendoza, S., & Duana Avila , d. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. Boletín Científico De Las Ciencias Económico Administrativas Del ICEA, 9(17), 51-53. <https://doi.org/10.29057/icea.v9i17>.

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ-COLLADO, R.; BAPTISTA-LUCIO, Pilar. Selección de la muestra. 2017.

Huang, R., Dong, M., Mao, P., Zhuang, P., Paz-Ferreiro, J., Li, Y., Li, Y., Hu, X., Netherway, P., & Li, Z. (2020). Evaluation of phytoremediation potential of five Cd (hyper)accumulators in two Cd contaminated soils. *Science of the Total Environment*, 721. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137581>

Hunce, S. Y., Clemente, R., & Bernal, M. P. (2019). Energy production potential of phytoremediation plant biomass: *Helianthus annuus* and *Silybum marianum*. *Industrial Crops and Products*, 135, 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.029>

LI, Yijia, et al. Nitrogen addition facilitates phytoremediation of PAH-Cd cocontaminated dumpsite soil by altering alfalfa growth and rhizosphere communities. *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 806, p. 150610.

MUKHOPADHYAY, S., CHAKRABORTY, S., BHADORIA, P.B.S., LI, B. y WEINDORF, D.C., 2020. Assessment of heavy metal and soil organic carbon by portable X-ray fluorescence spectrometry and NixPro™ sensor in landfill soils of India. *Geoderma Regional* [en línea], vol. 20, pp. e00249. ISSN 23520094. DOI 10.1016/j.geodrs.2019.e00249. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00249>

Manara, A., Fasani, E., Furini, A., & DalCorso, G. (2020). Evolution of the metal hyperaccumulation and hypertolerance traits. In *Plant Cell and Environment* (Vol. 43, Issue 12, pp. 2969–2986). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/pce.13821>

Mahajan, P., & Kaushal, J. (2018). Role of Phytoremediation in Reducing Cadmium Toxicity in Soil and Water. In *Journal of Toxicology* (Vol. 2018). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2018/4864365>

MUNIVE CERRÓN, Rubén, et al. Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 2020, vol. 11, no 2, p. 177-186.

MINAM. Guía para Muestreo de Suelos (En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo). Perú. 2014. 39 pp.

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12104/07_guia-para-el-muestreo-de-suelos-final.pdf

Moslehi, A., Feizian, M., Higuera, P., & Eivand, H. R. (2019). Assessment of EDDS and vermicompost for the phytoextraction of Cd and Pb by sunflower (*Helianthus annuus* L.). *International Journal of Phytoremediation*, 21(3), 191–199. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1501336>

PATRA, D.K., PRADHAN, C. y PATRA, H.K., 2020. Toxic metal decontamination by phytoremediation approach: Concept, challenges, opportunities and future perspectives. *Environmental Technology and Innovation* [en línea], vol. 18, pp. 100672. ISSN 23521864. DOI 10.1016/j.eti.2020.100672. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100672>

Popek, E. Comprensión del laboratorio analítico. Muestreo y análisis de contaminantes químicos ambientales, [en línea] 2018 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803202-2.2.0005-7>

ROBERTO HERNÁNDEZ SAMPIERI CARLOS FERNÁNDEZ COLLADO y LUCIO, . María del Pilar Baptista, 2010. *metodologia de investigacion*. S.l.: s.n. ISBN 9786071502919. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Rostami, S., & Azhdarpoor, A. (2019). The application of plant growth regulators to improve phytoremediation of contaminated soils: A review. In

Chemosphere (Vol. 220, pp. 818–827). Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.203>

Rai, P. K., Lee, S. S., Zhang, M., Tsang, Y. F., & Kim, K. H. (2019). Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. In *Environment International* (Vol. 125, pp. 365–385). Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067>

Shah, V., & Daverey, A. (2020). Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. In *Environmental Technology and Innovation* (Vol. 18). Elsevier B.V.

<https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>

SARMIENTO-SARMIENTO, Guido; FEBRES-FLORES, Shadai. Lead recovery in artificially contaminated agricultural soil as a remediation strategy using sunflower and vermicompost. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 2021, vol. 27, no 3, p. 199-212. Disponible en:

<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2021.04.007>.

Wu, M., Luo, Q., Liu, S., Zhao, Y., Long, Y., & Pan, Y. (2018). Screening

<https://doi.org/10.51.rchsh.20.04.003>

WDOWCZYK, A. y SZYMAŃSKA-PULIKOWSKA, A., 2021. Analysis of the possibility of conducting a comprehensive assessment of landfill leachate contamination using physicochemical indicators and toxicity test. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 221. ISSN 10902414.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112434>

YU, F., TANG, S., SHI, X., LIANG, X., LIU, K., HUANG, Y. y LI, Y., 2022. Phytoextraction of metal(loid)s from contaminated soils by six plant species: A field study. *Science of the Total Environment*, vol. 804. ISSN 18791026.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150282>

ZEHRA, A., TONG, W., TANG, L., HAMID, Y., WANG, Q., CAO, X., BILAL, M., HUSSAIN, B., AHMED, S., HE, Z. y YANG, X., 2020. Ecotoxicology and Environmental Safety Identification of high cadmium-accumulating oilseed sun flower (*Helianthus annuus*) cultivars for phytoremediation of an Oxisol and an Inceptisol. , vol. 187, no. October 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109857>

Wu, M., Luo, Q., Liu, S., Zhao, Y., Long, Y., & Pan, Y. (2018). Screening ornamental plants to identify potential Cd hyperaccumulators for bioremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 162, 35–41.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.049>

Wang, K., Liu, Y., Song, Z., Wang, D., & Qiu, W. (2019). Chelator complexes enhanced *Amaranthus hypochondriacus* L. phytoremediation efficiency in Cd-contaminated soils. *Chemosphere*, 237.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124480>

Xu, W., Xiang, P., Liu, X., & Ma, L. Q. (2020). Closely-related species of hyperaccumulating plants and their ability in accumulation of As, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn. *Chemosphere*, 251.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126334>

Yang, J., You, S., & Zheng, J. (2019). Review in Strengthening Technology for Phytoremediation of Soil Contaminated by Heavy Metals. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 242(5). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/242/5/052003>

Zehra, A., Sahito, Z. A., Tong, W., Tang, L., Hamid, Y., Wang, Q., Cao, X., Khan, M. B., Hussain, B., Jatoi, S. A., He, Z., & Yang, X. (2020). Identification of high cadmium-accumulating oilseed sunflower (*Helianthus annuus*) cultivars for phytoremediation of an Oxisol and an Inceptisol. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109857>

Zhang, Y., Hu, J., Bai, J., Wang, J., Yin, R., Wang, J., & Lin, X. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate the heavy metal toxicity on sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants cultivated on a heavily contaminated field soil at a WEEE-recycling site. *Science of the Total Environment*, 628–629, 282–290. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.331>

Zhao, X., Joo, J. C., Lee, J. K., & Kim, J. Y. (2019). Mathematical estimation of heavy metal accumulations in *Helianthus annuus* L. with a sigmoid heavy metal uptake model. *Chemosphere*, 220, 965–973. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.210>

ANEXOS

Cuadro 01: *operacionalizacion de variables*

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONALIZACIÓN	PROPIEDADES	INDICADORES	ESCALA
Variable independiente: remediación con quelante	el uso de quelantes es un método competente en la fitorremediación debido a su eficacia de eliminación de contaminantes en el suelo (Chen, Yang y Wang 2020).	se Utilizará el agente quelante químico edta, como ayuda para la mejor absorción del Helianthus annuus en suelo contaminado con plomo.	tipo de quelante	químico edta	Nominal
			dosis de quelante	0 y 2.5 mmol/kg	ordinal
Variable dependiente: Absorción de plomo por Helianthus annuus (girasol)	El Girasol es una planta fitorremediadora, su capacidad de trasladar los metales pesados como Cadmio, plomo y zinc permiten la absorción de los metales (Agnello et al, 2020)	Se utilizará Helianthus annuus en la absorción de plomo para evaluar su eficiencia por su gran capacidad de trasladar los metales.	• Concentraciones de plomo en el suelo	• Concentraciones de plomo (0,10,20) mg/kg	ordinal
			• Calidades fisicoquímicas del suelo	% materia orgánica, Conductibilidad eléctrica, pH	Nominal

Validación de Instrumentos

Validación de especialista N° 1 – Cadena de custodia



INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

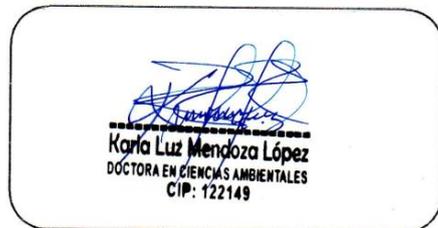
- I. **DATOS GENERALES**
- Apellido y nombre del experto : Dra. Mendoza López, Karla Luz
 Institución donde labora : Universidad Cesar Vallejo
 Especialidad : Estudio de impacto ambiental
 Instrumento de evaluación : Cadena de custodia
 Autor(s) del instrumento (s) : Ramírez Armas, Deysy Eliana / Saurin Tuanama, Maria yovancith
- II. **ASPECTOS DE VALIDACION**
 MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.				X	
ACTUALIDAD	instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación ilegal inherente a la variable: absorción de plomo en suelos contaminados				X	
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respeto a la variable, de manera que permitan hacer inferencia en la función de la hipótesis, problema y objetivos e la investigación.				X	
SUFICIENTE	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde a la variable, dimensiones y indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio: absorción de plomo en suelos contaminados					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	Los ítems del instrumentó expresa la relación con los indicadores de cada dimensión de la variable absorción de plomo en suelos contaminados					X
METODOLOGIA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
PERTINECIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.				X	
PUNTAJE TOTAL						

(nota: tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41 Excelente", sin embargo, un puntaje menos a anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

- III. **OPINION DE APLICABILIDAD**
 El instrumento es valido
 Promedio de valoración **41**

Tarapoto 16 de julio del 2022



Validación de especialista N° 2 – Cadena de custodia



INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

I. DATOS GENERALES

Apellido y nombre del experto : Msc. César Oswaldo Arévalo Hernández
 Institución donde labora : Instituto de Cultivos Tropicales
 Especialidad : Suelos
 Instrumento de evaluación : Cadena de custodia
 Autor(s) del instrumento (s) : Ramírez Armas, Deysy Eliana / Saurin Tuanama, Maria yovancith

II. ASPECTOS DE VALIDACION

MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
ACTUALIDAD	instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación ilegal inherente a la variable: absorción de plomo en suelos contaminados					X
ORGANIZACIÓN	los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respeto a la variable, de manera que permitan hacer inferencia en la función de la hipótesis, problema y objetivos e la investigación.					X
SUFICIENTE	los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde a la variable, dimensiones y indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio absorción de plomo en suelos contaminados				X	
CONSISTENCIA	la información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	los ítems del instrumento expresa la relación con los indicadores de cada dimensión de la variable absorción de plomo en suelos contaminados					X
METODOLOGIA	la relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.				X	
PERTINECIA	la redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.				X	
PUNTAJE TOTAL						

(nota: tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41 Excelente", sin embargo, un puntaje menos a anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

III. OPINION DE APLICABILIDAD

El instrumento es valido
Promedio de valoración 42



Tarapoto 18 de julio del 2022

Validación de especialista N° 3 – Cadena de custodia



INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

- I. **DATOS GENERALES**
 Apellido y nombre del experto : Ordóñez Sánchez, Luis Alberto
 Institución donde labora : UCV Docente DTC investigador
 Especialidad : Producción vegetal y ecosistemas agroforestales
 Instrumento de evaluación : Cadena de custodia
 Autor(s) del instrumento (s) : Ramirez Armas, Deysy Eliana
 Saurin Tuanama, Maria yovancith

- II. **ASPECTOS DE VALIDACION**
 MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					x
ACTUALIDAD	instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación ilegal inherente a la variable: absorción de plomo en suelos contaminados					x
ORGANIZACIÓN	los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respeto a la variable, de manera que permitan hacer inferencia en la función de la hipótesis, problema y objetivos e la investigación.					x
SUFICIENTE	los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde a la variable, dimensiones y indicadores.					x
INTENCIONALIDAD	los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio absorción de plomo en suelos contaminados					x
CONSISTENCIA	la información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					x
COHERENCIA	los ítems del instrumento expresa la relación con los indicadores de cada dimensión de la variable absorción de plomo en suelos contaminados				x	
METODOLOGIA	la relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					x
PERTINECIA	la redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.				x	
PUNTAJE TOTAL					43	

(nota: tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41 Excelente", sin embargo, un puntaje menos a anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

- III. **OPINION DE APLICABILIDAD**
 El instrumento es valido
Promedio de valoración 43



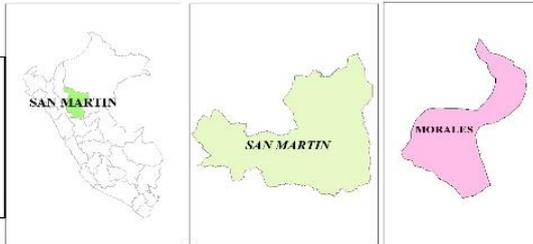
Tarapoto 18 de julio del 2022

Mapa de ubicación del trabajo de investigación



LEYENDA

- VIVERO
- DISTRITO
- PROVINCIA
- DEPARTAMENTO



TEMA: Absorción de plomo por Girasol (*heliathus annuus*) en suelo contaminado y remediado con quelante en la Región San Martín 2022.

AUTORES: Ramírez Armas, Deysi Eliana
Saurín Tuanama, María Yovancith



Cuadro 02: Resultado de las evaluaciones de caracterización de suelo y Pb

N°	Análisis mecánico			Clase textural	pH	C.E uS/cm	M. O %	N %	P ppm	K ppm	CIC	Cationes Cambiables (meq/100g)					% Sat. Bas.	Pb ppm	
	% Arena	% Arcilla	% limo									Ca	Mg	K	Na	Al			Al + H
1	26.63	38.56	31.81	F Arcilloso	7.38	223.3	2.94	0.1	7.12	194.36	9.1	7.64	0.68	0.5	0.4	0	0	100	0

Panel fotográfico



El lugar donde se acondicionó el vivero, y compra de maceteros



90 kg de suelo para el experimento traído desde Picota y tamizado de suelo para que todos fueran homogéneas



Preparación y aplicación de la concentración de plomo y el químico edta



Las raíces puestas al sol para que secan y después de ellos ponerlos en las bolsa ziploc para llevarlo al laboratorio



Muestras de suelo, tallos y hojas para llevar al laboratorio para su respectivo análisis

Reporte de análisis inicial de caracterización de suelo en el laboratorio de la universidad nacional de San Martín- Tarapoto



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUAS Y FOLIARES



SOLICITANTE : MARÍA YAVANCITH SAURIN TUANAMA/ DEYSI ELIANA RAMÍREZ ARMAS
 PROVINCIA: PICOTA
 DISTRITO: PICOTA

FECHA DE MUESTREO: 26/04/2022
 FECHA DE REPORTE: 10/05/2022

N°	Análisis mecánico			Clase Textural	pH	C.E. $\mu\text{S}/\text{cm}$	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CIC	Cationes Cambiables (meq/100g)					% Sat. Bas.	Pb ppm	
	% Arena	% Arcilla	% Limo									Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³			Al ⁺³ +H ⁺
1	29.63	38.56	31.81	F Arcilloso	7.38	223.3	2.94	0.1	7.12	194.36	9.2	7.64	0.68	0.5	0.4	0	0	100	0

pH	C.E. $\mu\text{S}/\text{cm}$	% M.O.	% N	P ppm	K ppm	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	Al ⁺³	Al ⁺³ +H ⁺	Pb
7.38	223.25	2.94	0.1323	7.12	194.36	7.64	0.68	0.36	0	0	0
Moderadamente alcalino	No hay problemas de sales	Medio	Normal	Medio	Medio	Bajo	Muy bajo	Bajo			

d.s. \rightarrow 1.29 t/m³

Clasificación del suelo	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Clasificación	% M.O.	ppm P	ppm K	Escala de pH	pH
No hay problemas de sales	<2000	Bajo	< 2	< 7	< 100	Extremadamente ácido	< 4.5
Ligeros problemas de sales	2000 - 4000	Medio	2.0 - 4.0	7.0 - 10.0	100 - 240	Fuertemente ácido	> 4.5 - 5.4
Medios problemas de sales	4000 - 8000	Alto	> 4	> 14	> 240	Moderadamente ácido	> 5.4 - 6.5
Fuerte problemas de sales	8000 - 16000					Neutro	> 6.5 - 7.3
Muy fuertemente salino	> 16000					Moderadamente alcalino	> 7.3 - 8.3
						Fuertemente alcalino	> 8.3


 Ing. Carlos Verde Girbau
 Lab. de Análisis de Suelos y Aguas
 UNSM - TARAPOTO
 Facultad de Ciencias Agrarias

Reporte de análisis foliar (raíz) en la ICT



INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES

INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN AGRÍCOLA PARA EL DESARROLLO DE LA AMAZONIA PERUANA
CERTIFICADO INDECOPI N° 98873583

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS, FERTILIZANTES Y ALIMENTOS

REPORTE DE ANÁLISIS FOLIAR

N° SOLICITUD	: AF012-02-22	FECHA DE MUESTREO	: 27/06/2022
SOLICITANTE	: MARÍA SAURÍN TUANAMA	FECHA DE RECEP. LAB	: 28/06/2022
PROCEDENCIA	: SAN MARTIN - SAN MARTÍN - MORALES	FECHA DE REPORTE	: 02/07/2022
TEJIDO VEGETAL	: RAIZ DE GIRASOLES		

ITEM	Número de Muestra			Plomo	Peso Seco	
	Laboratorio		Campo			ppm
01	22	06	0206	T3R1	0.94	0.32
02	22	06	0207	T3R2	4.41	-----
03	22	06	0208	T4R1	0.98	0.47
04	22	06	0209	T4R2	0.56	-----
05	22	06	0210	T5R1	2.87	0.40
06	22	06	0211	T5R2	4.71	-----
07	22	06	0212	T6R1	2.81	1.12
08	22	06	0213	T6R2	3.43	-----

INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES
TARAPOTO - PERU

Cesar O. Arvalo Fernandez, MSc
JEFE DE DPTO. DE SUELOS

METODOLOGIA:
PESO SECO : Gravimétrica
METALES PESADOS : Digestión HNO₃/HCl, H₂O₂ / Digestión Ácido-Ácido

La Banda de Shilcayo, 02 de Julio del 2022

Nota: el laboratorio no se responsabiliza por la metodología aplicada para la toma de la muestra del presente reporte.

Reporte de análisis foliar (tallo) en la ICT



INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES

INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN AGRÍCOLA PARA EL DESARROLLO DE LA AMAZONIA PERUANA
CERTIFICADO INDECOPI N° 09671183

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS, FERTILIZANTES Y ALIMENTOS

REPORTE DE ANÁLISIS FOLIAR

N° SOLICITUD	: AF012-01-22	FECHA DE MUESTREO	: 27/06/2022
SOLICITANTE	: MARÍA SAURÍN TUANAMA	FECHA DE RECEP. LAB	: 28/06/2022
PROCEDENCIA	: SAN MARTIN - SAN MARTÍN - MORALES	FECHA DE REPORTE	: 02/07/2022
TEJIDO VEGETAL	: TALLO DE GIRASOLES		

ITEM	Número de Muestra				Plomo ppm	Peso Seco g
	Laboratorio		Campo			
01	22	06	0198	T3R1	0.55	2.45
02	22	06	0199	T3R2	0.73	----
03	22	06	0200	T4R1	1.58	2.55
04	22	06	0201	T4R2	0.63	----
05	22	06	0202	T5R1	0.78	3.30
06	22	06	0203	T5R2	0.55	----
07	22	06	0204	T6R1	2.26	5.30
08	22	06	0205	T6R2	1.75	----

INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES
TARAPOTO - PERU
Cesar O. Arzúo Fernandez, MSc
JEFE DE DPTO. DE SUELOS

METODOLOGIA:
PESO SECO : Gravimetría
METALES PESADOS : Digestión HNO₃/HClO₄(1/1) / Espado Alarado Alarado

La Banda de Shilcayo, 02 de Julio del 2022

Nota: el laboratorio no se responsabiliza por la metodología aplicada para la toma de la muestra del presente reporte.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, VALLEJOS TORRES GEOMAR, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TARAPOTO, asesor de Tesis titulada: "Absorción de plomo por girasol (*Helianthus annuus*) en suelo contaminado y remediado con quelante en la región San Martín 2022.", cuyos autores son SAURIN TUANAMA MARIA YOVANCITH, RAMIREZ ARMAS DEYSY ELIANA, constato que la investigación cumple con el índice de similitud establecido, y verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TARAPOTO, 22 de Julio del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
VALLEJOS TORRES GEOMAR DNI: 01162440 ORCID 0000-0001-7084-977X	Firmado digitalmente por: GVALLEJOST el 22-07- 2022 15:46:26

Código documento Trilce: TRI - 0360440