



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Remoción de cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz, con
siembra del *Cajanus cajan* y *Vicia faba*, Tarapoto, 2023

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE :
Ingeniero Ambiental**

AUTOR:

Gatica Cordova, Gilberto Waldir (orcid.org/0000-0002-5791-9187)

ASESOR:

MSc. Ordoñez Sanchez, Luis Alberto (orcid.org/000-0003-3860-4224)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TARAPOTO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A mis padres, Gilberto Gatica Grandez y Rosanith Córdova Saavedra, por su sacrificio, porque cada día a pesar de las circunstancias me brindaron su apoyo y confianza incondicional, por ser mi soporte desde siempre, por los buenos valores y perseverancia que me inculcaron, gracias a ellos puedo decir que cumplí una de las metas anheladas de ser un gran Ingeniero Ambiental.

A mi familia en general, amigos y docentes que de alguna u otra forma me brindaron su apoyo en este camino, por la confianza y motivación que me demuestran para seguir adelante.

“Gilberto Waldir Gatica Córdova”

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme culminar esta investigación, a mis queridos padres Gilberto Gatica Grandez y Rosanith Córdova Saavedra, por su sacrificio económico, por impulsar mi crecimiento como persona y profesional.

Al MSc. Luis Alberto Ordóñez Sánchez, por su asesoría en esta investigación.

A mi familia en general, amigos, docentes por brindarnos su tiempo y apoyo incondicional durante el transcurso del proyecto.

“Gilberto Waldir Gatica Córdova”



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, ORDOÑEZ SANCHEZ LUIS ALBERTO, 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: "Remoción de cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz, con siembra del Cajanus cajan y Vicia faba, Tarapoto – 2023.", cuyo autor es GATICA CORDOVA GILBERTO WALDIR, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 20.00%, 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, 11 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
ORDOÑEZ SANCHEZ LUIS ALBERTO DNI: 00844670 ORCID: 0000-0003-3860-4224	Firmado electrónicamente por: LORDONEZS el 22- 12-2023 22:34:07

Código documento Trilce: TRI - 0691742



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, GATICA CORDOVA GILBERTO WALDIR estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TARAPOTO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Remoción de cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz, con siembra del Cajanus cajan y Vicia faba, Tarapoto – 2023.", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

Nombres y Apellidos	Firma
GATICA CORDOVA GILBERTO WALDIR DNI: 71008144 ORCID: 0000-0002-5791-9187	Firmado electrónicamente por: GGATICA el 18-12- 2023 11:52:07

Código documento Trilce: INV - 1556012

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR	IV
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	XI
ABSTRACT	X
I. INTRODUCCIÓN	11
II. MARCO TEÓRICO	14
III. METODOLOGÍA	22
3.1. Tipo y diseño de investigación	22
3.2. Variables y operacionalización	22
3.3. Población, muestra y muestreo Población	24
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
3.5. Procedimientos	26
3.6. Método de análisis de datos	32
3.7. Aspectos éticos	32
IV. RESULTADOS	33
V. DISCUSIÓN	43
VI. CONCLUSIONES	46
VII. RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS	48
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 1	Taxonomía del Frijol de Palo	21
Tabla 2	Taxonomía de la Haba	21
Tabla 3	Concentraciones del Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz pre tratamiento	33
Tabla 4	Análisis de varianza en ANOVA de cadmio y plomo con frijol de palo y habas	34
Tabla 5	Desarrollo vegetativo del <i>Cajanus cajan</i> (Frijol de palo) en 45 días, tratamiento 1, 15 plantas	36
Tabla 6	Desarrollo vegetativo del <i>Vicia faba</i> (Habas) en 45 días, tratamiento 2, 15 plantas	37
Tabla 7	Desarrollo vegetativo del <i>Cajanus cajan</i> (Frijol de palo) en 60 días, tratamiento 3, 15 plantas	38
Tabla 8	Desarrollo vegetativo del <i>Vicia faba</i> (Habas) en 60 días, tratamiento 4, 15 plantas	39
Tabla 9	Análisis de varianza (ANOVA) de la remoción de plomo y cadmio con la siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i> .	40
Tabla 10	Pre y post tratamiento del Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz.	41

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 1	Georreferenciación de la parcela de arroz a utilizar en la investigación	27
Figura 2	Muestreo de suelo	28
Figura 3	Acondicionamiento del área de estudio	29
Figura 4	Proceso de selección de semillas y siembra	30
Figura 5	Registro de características biométricas de la planta	30
Figura 6	Recolección de muestras de suelo tratado con habas y frijol de palo	31
Figura 7	Muestra testigo de Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz	33
Figura 8	Análisis de medias en Tukey del cadmio utilizando frijol de palo y habas	34
Figura 9	Análisis de medias en Tukey del plomo utilizando frijol de palo y habas	35
Figura 10	Tratamiento 1 con 15 plantas de frijol de palo	36
Figura 11	Tratamiento 2 con 15 plantas de habas	37
Figura 12	Tratamiento 3 con 15 plantas del frijol de palo	38
Figura 13	Tratamiento 4 con 15 plantas de habas	39
Figura 14	Resultados de Cd y Pb pre y post tratamiento	42

RESUMEN

La investigación planteó como objetivo general evaluar la remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz, con siembra del *Cajanus cajan* y *Vicia faba*. Contó con una investigación de diseño experimental de tipo aplicada. Las concentraciones de Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz del sector Chontamuyo, Banda de Shilcayo, ostentan $0,25 \text{ mg.kg}^{-1}$ de Cd y $10,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ de Pb. Mediante ANOVA se encontraron altas diferencias significativas en cuanto a cadmio de $p=0,00$ menor a $p<0,05$ y plomo con alta significancia $p=0,00$ menor a $p<0,05$. El desarrollo vegetativo del *Cajanus cajan* a los 60 días muestra los siguientes valores promedio, altura de 25,08 cm, número de hojas de 6, diámetro de 0,24 cm y longitud de raíz 2,60 cm. En cuanto a la *Vicia faba* con una altura de 13,01 cm, número de hojas de 2, diámetro de 0,24 cm y longitud de raíz de 2,57 cm. La remoción de Cd y Pb con *Cajanus cajan* y *Vicia faba*, mostraron una remoción del 80 % en cadmio y 70 % en plomo. Se concluye que las especies empleadas en la investigación mostraron una alta remoción de metales pesados en suelo tal como el cadmio y plomo.

Palabras clave: Tratamiento, suelos agrícolas, remediación, plantas leguminosas.

ABSTRACT

The general objective of the research was to evaluate the removal of cadmium and lead in agricultural rice soils, with planting of *Cajanus Cajan* and *Vicia faba*. It had an applied experimental design research. The concentrations of Cd and Pb in agricultural rice soils in the Chontamuyo sector, Banda de Shilcayo, show 0,25 mg.kg⁻¹ of Cd and 10,7 mg.kg⁻¹ of Pb. Using ANOVA, high significant differences were found in terms of cadmium from p= 0,00 less than p<0,05 and lead with high significance p=0,00 less than p<0,05. The vegetative development of *Cajanus cajan* after 60 days shows the following average values, height of 25,08 cm, number of leaves of 6, diameter of 0,24 cm and root length of 2,60 cm. As for the *Vicia faba* with a height of 13,01 cm, number of leaves of 2, diameter of 0,24 cm and root length of 2,57 cm. The removal of Cd and Pb with *Cajanus cajan* and *Vicia faba* showed a removal of 80% in cadmium and 70% in lead. It is concluded that the species used in the research showed a high removal of heavy metals in soil such as cadmium and lead.

Keywords: Treatment, agricultural soils, remediation, leguminous plants.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente a nivel global, hay una creciente de la contaminación del suelo a causa de la presencia de metales pesados de alta densidad, lo cual afecta de manera importante la salud humana. Esta situación ha empeorado debido a las acciones humanas. Entre estas acciones, la minería se destaca como la principal fuente de contaminación ambiental, generando la liberación de metales pesados (Peña y Beltrán, 2017). La presencia de metales pesados con densidad elevada en el suelo constituye un tema ambiental que produce estrés abiótico debido a elevadas cantidades de sustancias contaminantes. Aunque en muchos casos estos metales están naturalmente presentes en el suelo, las actividades humanas contribuyen al aumento de sus niveles. Los metales pesados son perjudiciales para los seres vivos, ya que se acumulan en sus tejidos aéreos debido a su capacidad de migración. Esto conlleva a una reducida tasa de crecimiento y, además, puede tener implicaciones preocupantes, ya que es posible que se integren en la cadena alimentaria, afectando así la salud humana (Shehata S., Badawy R. & Aboulsoud Y., 2019). El Perú se posiciona como el segundo país con mayor productividad de arroz a nivel latinoamericana, generando más de 3 millones de toneladas anuales, y se destaca también como el segundo país con un rendimiento significativo, alcanzando el 7,6 T. ha⁻¹. Hay una gran potencialidad para incrementar la producción, la cual puede ser realizada a través de mejoras en las técnicas de fabricación, recolección y tratamiento. Sin embargo, el incremento de fuerzas biológicas que ejercen presión debido a variaciones en el clima está impulsando a los cultivadores a recurrir a la aplicación constante de plaguicidas, lo que incrementa los gastos de manufactura, sino que también conlleva a la contaminación del entorno. El elevado consumo de agua, las emisiones de metano y los efectos ambientales derivados del abuso desmedido de sustancias químicas en la agricultura revelan que las metodologías empleadas para cultivar arroz carecen de sostenibilidad y no logran adaptarse adecuadamente al cambio climático (La Red Agrícola, 2018). En el territorio de la región de San Martín, la actividad agroindustrial ocupa un papel preponderante, destacando la

recolección de arroz, maíz, café, cacao y palma para obtener aceite. Es debido a esto que la producción de arroz adquiere un rol fundamental al generar empleo en zonas rurales, asegurando medios de subsistencia a la población y siendo un recurso básico local. No obstante, esta actividad productiva presenta un problema en la forma de un uso excesivo de fertilizantes, lo que provoca una degradación de la calidad del suelo y resulta en la acumulación de metales pesados en este recurso a través de la bioacumulación. Por lo tanto, se formula el siguiente problema general de estudio a base de la realidad problemática: ¿Cuál es la remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz, con siembra del *Cajanus cajan* y *Vicia faba*, Tarapoto - 2023?, seguido de los problemas específicos: (1) ¿Cuáles son las concentraciones del Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz pre y post del tratamiento, Tarapoto 2023? (2) ¿Cuál es el desarrollo vegetativo del *Cajanus cajan* y *Vicia faba* post tratamiento, Tarapoto 2023? (3) ¿Cuál es el estudio óptimo de remoción de Cd y Pb con *Cajanus cajan* y *Vicia faba*, Tarapoto 2023? De manera similar, se expone la justificación, en la cual la problemática ambiental radica en la polución del suelo debido a los contaminantes y acciones humanas. Cada jornada, la población contamina el suelo sin tomar en cuenta su importancia crucial en el fomento de las operaciones agrícolas y como entorno fundamental para las manifestaciones de vida presentes en el mundo. Luego de lo expuesto, el estudio revela una justificación social, ya que se plantea la necesidad de indagar en soluciones de tratamiento que sean asequibles, efectivas y de fácil implementación, como la remoción de metales pesados mediante plantas leguminosas. Esto permitiría que dichas soluciones estén disponibles para su uso por parte de los agricultores, al mismo tiempo que contribuirían a disminuir los niveles de cadmio y plomo presentes en los cultivos, lo cual podría prevenir problemas de salud a largo plazo. Seguido la justificación metodológica se basó en la estrategia de búsqueda de información a través de artículos de revisión y publicaciones científicas. La selección de bases de datos incluyó Scopus, Scielo y ScienceDirect, y los temas abordados se centraron en varias técnicas de fitorremediación; así como, durante el desarrollo de absorción en la superficie terrestre mediante grupos fitorremediadores. Se profundizó en la

evaluación del impacto de estas especies en la absorción a través de sus órganos vegetativos y en el suelo. Para la justificación teórica se fundamentó en teorías e investigaciones relacionadas con especies fitorremediadoras. Además, el propósito de la investigación es contribuir como fuente de conocimiento para otros investigadores, especialmente en lo que respecta a ciertas especies capaces de absorber metales de alta densidad como el Cd y Pb. Además, se busca destacar las ventajas de la fitorremediación, las cuales se representan como eficientes, respetuosa del medio ambiente y económicamente viables. No obstante, es importante mencionar que todavía requiere una exploración más profunda, ya que una de las limitaciones principales reside en la escasa información disponible acerca de la fitorremediación con plantas leguminosas. De igual manera, en la justificación ambiental, el enfoque de la investigación reside en la problemática relativa debido a la existencia de metales de alta densidad en el terreno de Chontamuyo, esto resulta en efectos desfavorables para el bienestar de las personas y altera la variedad de vida biológica presente en el suelo. En el presente, los métodos tradicionales utilizados para tratar suelos contaminados dependen de tecnologías costosas y complejas que presentan desafíos en su implementación. Surge entonces la opción de emplear plantas como una alternativa para abordar la presencia de agentes contaminantes del suelo. No obstante, la siembra de plantas en áreas contaminadas es una tarea complicada debido a las propiedades químicas que limitan el crecimiento de distintas especies vegetales. El estudio expone el objetivo general: Evaluar la remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz, con siembra del *Cajanus cajan* y *Vicia faba*, Tarapoto, 2023. Consecutivamente de los objetivos específicos: (1) Determinar las concentraciones del Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz pre y post tratamiento, Tarapoto, 2023, (2) Evaluar el desarrollo vegetativo del *Cajanus cajan* y *Vicia faba* post tratamiento, Tarapoto, 2023, (3) Determinar el estudio óptimo de remoción del Cd y Pb con *Cajanus cajan* y *Vicia faba*. Por tanto, se planteó como hipótesis general, Las plantas del frijol de palo y de haba permitirán la remoción de Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz, Tarapoto, 2023.

II. MARCO TEÓRICO

En síntesis, de los **antecedentes nacionales**, según Moreno et al., (2021), realizó una evaluación de la absorción de Pb y Cd utilizando la especie vegetal *Lolium multiflorum* en suelos que habían sido contaminados por residuos mineros en la región de La Libertad, Perú. La muestra de suelos consistió en terrenos con una concentración de 300 mg.kg⁻¹ de plomo y 15 mg.kg⁻¹ de cadmio, y se llevaron a cabo experimentos durante periodos de tiempo de 65, 95 y 125 días. Los resultados revelaron que, en el caso del plomo, la acumulación testigo fue de 200 mg.kg⁻¹, alcanzando un valor límite de 32,951 mg.kg⁻¹ (16,47%) a los 95 días en las raíces y un mínimo de 1,545 mg.kg⁻¹ (0,77%) a los 125 días en las hojas. En cuanto al cadmio, la concentración inicial fue de 15 mg.kg⁻¹, y se obtuvo un valor máximo de 1,882 mg.kg⁻¹ (0,94%) a los 125 días en las raíces, con un mínimo de 0,340 mg.kg⁻¹ (0,17%) a los 95 días en las hojas. En sus conclusiones, los investigadores determinaron que el *Lolium multiflorum*, conocido como rabo de zorro, se posiciona como un eficaz biorremediador debido a su capacidad de acumular metales pesados, con un promedio de absorción del 16,47% para el plomo y 0,94% para el cadmio a nivel radicular. Así mismo, Huaranga et al., (2022), efectuó el cálculo de la absorción de plomo, arsénico y cadmio en las plantas *Zea mays* y *Beta vulgaris* en un estudio realizado en la región de La Libertad, Perú. Se determinaron parámetros físicos que incluyeron una temperatura de 25 °C, una humedad relativa del 68% y un pH de 6,3 en el área de investigación. Las muestras de suelo fueron sometidas a un secado a 110 °C, tamizadas con un diámetro de 2 mm, pesando 1 gramo cada una, y luego se transfirieron a fiolas de 50 ml con ácido nítrico, siendo calentadas en un hotplate durante 2 horas a 102 °C. Como resultado, se encontró que la concentración inicial de plomo fue de 1359,6 mg.kg⁻¹ en ambas especies. La máxima concentración se registró en el maíz con 371,66 mg.kg⁻¹ (27,33%) y en la betarraga con 432,95 mg.kg⁻¹ (31,84%) a los 95 días en raíces. En cuanto al As, la concentración inicial fue de 6,1 mg.kg⁻¹, con un máximo de 1,94 mg.kg⁻¹ (31,8%) en maíz y 3,89 mg.kg⁻¹ en betarraga a 125 y 95 días respectivamente en raíces. En relación al cadmio, la cantidad utilizada como

punto de referencia fue de 28,8 ppm, y con el valor más alto se registró en el maíz con 14,82 mg.kg⁻¹ (51,46%) y en la betarraga con 13,88 mg.kg⁻¹ (48,19%) a los 125 días de tratamiento a nivel radicular. Los autores concluyeron que ambas especies de estudio poseen propiedades biorremediadoras en relación al Pb, dada su nivel de las raíces, y establecieron una relación de concentración en orden ascendente: Pb > As > Cd. Por su parte, García et al., (2022), llevó a cabo un análisis de la cantidad de cobre, cadmio, plomo y arsénico absorbidos por las raíces, tallos y hojas del girasol en terrenos afectados por la contaminación de desechos mineros provenientes de Samne en La Libertad, Perú. Para este propósito, se utilizaron muestras de suelo sin relaves de carácter agrícola como grupo de control, y se aplicaron cuatro tratamientos con porcentajes de 25, 50, 75 y 100% de suelos contaminados con relaves para evaluar el grado de asimilación en las raíces, tallos y hojas. La duración de los experimentos fue de 30, 60 y 90 días. Los resultados indicaron que, para el cobre, la concentración mínima fue de 6,58 mg/kg en las hojas, con un máximo de 8,91 mg.kg⁻¹ en las raíces. En los cuatro tratamientos, los valores de cobre en los tallos variaron entre 128,3; 131,4; 101,7 y 95 mg.kg⁻¹, mientras que en raíces los valores más altos fueron 149,4; 161,5; 118 y 99,2 mg.kg⁻¹. En el caso del cadmio, la concentración más baja fue de 0,71 mg.kg⁻¹ en los tallos y la más alta de 0,85 mg.kg⁻¹ en las raíces. En cuanto al plomo, la acumulación mínima se registró en tallos con 0,41 mg.kg⁻¹, mientras que el valor máximo fue de 0,5 mg.kg⁻¹ en las raíces. Para el arsénico, la concentración mínima encontrada fue de 0,84 mg.kg⁻¹ en los tallos, y el máximo fue de 1,02 mg.kg⁻¹ en las raíces. Los investigadores concluyeron que el girasol funciona como un fitorremediador de cobre debido a su capacidad para extraer niveles elevados de este metal en los suelos contaminados por relaves, tanto en las raíces, los tallos como las hojas, con rangos que oscilaron entre 95 y 161,5 mg.kg⁻¹. Por otro lado; respecto a los **antecedentes internacionales**, De la Cruz et al., (2018), evaluaron el impacto de los ácidos orgánicos sobre la biodisponibilidad de plomo, talio y vanadio mediante la utilización de *Chrysopogon zizanioides* en Nuevo León,

México. Para esto, se expuso el suelo a lixiviados provenientes de residuos sólidos urbanos del vertedero operado por la empresa S.A.B de C.V. La planta fue propagada mediante esquejes antes de ser introducida en el experimento, donde los brotes se mantuvieron expuestos a lixiviados durante 40 días, introduciendo ácido cítrico a una proporción de 10 mm y ácido tartárico a una cantidad de 15 mm. Los científicos notaron que la aplicación de los ácidos orgánicos resultó en un incremento en el nivel de pH y en la materia orgánica del suelo. En particular, los tratamientos T1 y T2 con ácido cítrico de 10 mm demostraron la mayor acumulación de Pb, Tl y V, con concentración más alta de Tl observada en las hojas. Como conclusión, determinaron que la introducción de ácidos orgánicos en el suelo que se encontraba la planta generó un incremento de la acidez y en la sustancia orgánica, lo cual favoreció la absorción de metales pesados. Además, se señaló que los tratamientos T1 y T2 lograron una mayor efectividad en la acumulación de plomo, talio y vanadio. Cabe mencionar que se identificó una presencia significativa de vanadio tanto en el suelo como en la planta, lo que sugiere que la planta es capaz de absorber y acumular vanadio en concentraciones elevadas en sus raíces. Por su parte, Pisco et al., (2018), evaluaron la fitoextracción de cadmio utilizando la planta *Solanum nigrum* en suelos dedicados al cultivo de cacao, Medellín, Colombia. Se emplearon tres tratamientos: T1 (0), T2 (5) y T3 (10), durante un período de 9 semanas, con cinco repeticiones por tratamiento. Antes de la siembra, las semillas fueron tratadas con ácido giberélico y germinadas en macetas de 1 kg. Las plantas y el suelo se pesaron, con 0,5 y 0,1 gramos, respectivamente, y se colocaron en tubos de teflón a los que se añadieron 4 ml de peróxido de hidrógeno al 30%, 4 ml de agua desionizada y 2 ml de ácido nítrico al 65%. Los resultados revelaron el crecimiento de *Solanum nigrum*, con un número de hojas (13) y entrenudos (11), así como una longitud del tallo (11,3 cm) y de la raíz (13,1 cm) durante la germinación y el desarrollo. El área foliar aumentó con la concentración de cadmio: 0,062 m²; 0,095 m² y 0,102 m² para los tratamientos T1, T2 y T3, respectivamente. La relación entre el tallo y la raíz al inicio fue de 1,27 a 0,96; indicando un equilibrio en la absorción. Los investigadores concluyeron que la correlación entre las concentraciones de

cadmio en el suelo y en los tejidos vegetativos favoreció el crecimiento, el área foliar ($r^2=0,63$), La generación del follaje ($r^2=0,68$); restos orgánicos ($r^2=0,63$); raíz ($r^2=0,74$) y el tallo ($r^2=0,47$). De esta manera, se dedujo que *Solanum nigrum* es una especie con un potencial de reducción del contenido de cadmio en el suelo. Sin embargo, Souhir et al., (2020), realizaron una evaluación del potencial de biorremediación in situ utilizando *Lathyrus sativus* en combinación con bacterias resistentes y eficientes frente al plomo y cadmio, en la región de Mornag en Túnez. El proceso involucró la siembra en nueve parcelas, de las cuales seis fueron inoculadas con dos tipos de inóculos: I1 (*R. leguminosarum* + *B. simplex* + *Luteibacter sp.* + *Variovorax sp.*) e I5 (*R. leguminosarum* + *P. fluorescens* + *Luteibacter sp.* + *Variovorax sp.*). Las parcelas no inoculadas se consideraron como grupo de control. Para la inoculación, se preparó una mezcla de bacterias con dilución de agua, la cual fue aplicada en 10 repeticiones para inocular *L. sativus* tanto en el día de la plántula como dos semanas después. Los resultados obtenidos revelaron que las rizobacterias promotoras de desarrollo vegetal (PGPR) interactuaron de manera diferenciada con la planta huésped, lo que generó variaciones en el crecimiento. El peso de los brotes en las plantas inoculadas resultó ser un 47% y un 22% mayor en comparación con las no inoculadas, mientras que en las plantas con inoculación se observó un aumento del peso en la raíz en un 22% y un 29%. En sus conclusiones, los autores señalaron que la inoculación con rizobacterias tuvo efectos positivos en el crecimiento de las plantas, además de potenciar la capacidad de *Lathyrus sativus* para la fitorremediación. Específicamente, el uso del inóculo I5 aumentó la acumulación de plomo en los brotes, mejorando la translocación del metal. Asimismo, la inoculación con PGPR contribuyó a disminuir la disponibilidad de plomo y cadmio en los suelos. Por su parte, Zhang et al., (2023), evaluaron la toxicidad del cadmio y cobre en suelos destinados al cultivo de cebada, junto con el análisis de propiedades que ejercen influencia en los suelos agrícolas subtropicales. Esta investigación se realizó en la provincia de Hubei, China. El estudio implicó el análisis de 30 ejemplares terrestres con elementos metálicos de alta densidad. Los niveles de cobre generaron un efecto inhibitor del 50% en el alargamiento de las raíces en un rango de 67 a

1129 mg.kg⁻¹. En el caso del cadmio, la concentración se redujo a 25 mg.kg⁻¹. Para esto, se introdujeron CuCl₂ y CdCl₂ en concentraciones que variaron de 0 a 400 mg.kg⁻¹ con pH inferior a 7 y de 0 a 600 mg.kg⁻¹ con pH superior a 7. Los resultados revelaron que las 30 muestras presentaron concentraciones de cadmio que oscilaron entre 0,10 y 1,13 mg.kg⁻¹; estos valores superaron los umbrales de detección de riesgo. En cuanto al cobre, las concentraciones variaron entre 8,27 y 50,13 mg.kg⁻¹, y un sitio superó el umbral de detección de riesgo. Las proporciones de Cd variaron del 29,2% al 58,8%; con una media del 47,7% en suelos con un pH inferior a 7 y del 43% al 70,1%, con una media del 55,8% en suelos con un pH superior a 7. Como conclusión, los autores destacaron que la contaminación del suelo con cadmio era seria y que las propiedades del suelo ejercían influencia en los efectos tóxicos que variaron entre los suelos de cobre. Se observó que el cobre inhibió el crecimiento de la cebada en comparación con el cadmio a dosis equivalentes, y el cobre presentó toxicidad debido a la presencia de metales mixtos. Por su parte, Canseco C. (2016), determinó la habilidad para absorber Cr, Pb y Cd con *Paulownia tomentosa* y *Dudleya gatesii* en un cultivo de girasol. Para este propósito, se empleó un suelo vinculado a actividades industriales que contenía Pb, al que se le añadieron 236 gr de dicromato de potasio y 234 gr de cloruro de cadmio. Las concentraciones iniciales de cadmio, plomo y cromo fueron de 1746,626 ppm; 2303,49 ppm y 3131,26 ppm, con un periodo de 180 días. A lo largo del proceso de tratamiento, se evaluó el crecimiento longitudinal de las especies plantadas. Además, se observó que la *Paulownia tomentosa* presentó concentraciones de 400,82 ppm; 570,57 ppm y 722,59 ppm para cadmio, cromo y plomo, respectivamente. En cuanto a la *Dudleya gatesii*, se identificó una acumulación de 722,67 ppm de cadmio; 270,67 ppm de cromo y 150,94 ppm de plomo. Como conclusión, el autor dedujo que la *Dudleya gatesii* muestra una mayor bioacumulación de cadmio en 0,42 y de cromo en 1,91; mientras que la *Paulownia tomentosa* mostró una mayor bioacumulación de plomo en un 0,52. Estos resultados demuestran que existen variedades de especies que pueden ser empleadas en la fitoextracción para mejorar la calidad de suelos agrícolas degradados por la presencia de metales. Referente a las

teorías relacionadas con la investigación según Shehata et al., (2019) la contaminación terrestre causada por elementos metálicos de alta densidad plantea un reto medioambiental que resulta en tensiones abióticas debido a las concentraciones considerables de agentes contaminantes. A pesar de que en varios estudios los elementos metálicos de gran densidad se encuentran de forma inherente en el suelo, son las actividades humanas las que contribuyen al aumento en los niveles de contaminación (Walter, 2017) la definición de suelo contaminado varía, comenzando por la existencia de una o más sustancias químicas en niveles que impactan adversamente la función de los organismos. También puede describirse como un proceso o conjunto que mengua sus capacidades y su potencial para generar recursos básicos. En última instancia, el suelo contaminado es menos eficaz como componente del entorno (Ramírez, 2018) la contaminación del suelo puede generar una variedad de impactos, que van desde riesgos para la salud humana hasta la merma de recursos naturales. Los principales peligros asociados al suelo contaminado incluyen la degradación del entorno debido a la disposición inadecuada de desechos. Si las consecuencias son de carácter físico, pueden demorar un tiempo considerable, incluso décadas, en manifestarse. Estos efectos pueden abarcar explosiones o incendios, corrosión y alteraciones en las características del suelo. Además, pueden ocasionar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, con consecuencias como el deterioro de los cultivos y la salud de los animales que dependen de estas fuentes de agua Daverey A. et al., (2020) La implementación de remoción con plantas resulta en una reducción de la velocidad de su crecimiento, lo cual afecta la eficacia del proceso al limitar la profundidad de las raíces. Por lo tanto, es necesario que los contaminantes de los suelos a tratar se ubiquen en áreas cercanas a las raíces de las plantas. Una reducida tasa de crecimiento de las plantas podría prolongar el tiempo necesario para restaurar el suelo a su estado original, lo que influye en las opciones disponibles para afrontar la contaminación en las áreas afectadas. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO et al., (2019) se clasifican enfoques en términos físicos, químicos y biológicos, que tienen la capacidad de abordar la mayoría de los

elementos contaminantes presentes en el suelo. La selección de las técnicas más apropiadas y su desempeño dependen de factores físicos, económicos, normativos y técnicos. La absorción a través de la vegetación implica la extracción de metales perjudiciales mediante las raíces, seguida de su acumulación en tallos y hojas, de acuerdo con (López et al., 2019). Lo mejor es utilizar acumuladores (acumulan una alta concentración de EPT en las partes aéreas) (González et al., 2017). Para determinar si una planta es acumuladora se utilizan dos indicadores: el índice de concentración biológica y el índice de traslación (Martínez Gonzales, 2020). Según González Miranda, (2017), las técnicas de extracción vegetal se presentan como la opción más efectiva para remediar suelos afectados por metales pesados. Estos elementos pueden ser captados por las plantas a través de su aplicación, y luego, a través de una serie de procesos, pueden ser transferidos a la cadena alimentaria o introducirse en aguas superficiales o subterráneas (Peña River & Beltrán Lázaro, 2017); por lo tanto, La cosecha de vegetación es un método amigable con el entorno y de bajo costo. Se sugiere considerar la experimentación con cultivos energéticos en lugar de especies almacenadoras. Según Beltrán y Gómez, (2015) se han registrado más de 400 especies vegetales como acumuladoras, de las cuales alrededor de 300 son capaces de acumular níquel, mientras que ciertas plantas también han demostrado la capacidad de acumular cadmio, cobre, plomo y zinc. En cuanto a la taxonomía de las plantas de fitorremediación, la mayoría pertenecen a los órdenes de plantas de las familias de Cruciferae, Aster, Solanum lycopersicum, Puccini, Malpighiales, Fabales, Dianthus y Rosales. Las plantas de la familia Cruciferae son de especial interés ya que incluyen plantas con alta capacidad de acumulación y que no son atractivas para los animales, lo que podría ayudar a disminuir la acumulación de metales pesados en la cadena alimenticia durante la extracción de las plantas. Los metales que generalmente son fácilmente biodisponibles para las plantas son cadmio, níquel, zinc, arsénico, selenio y cobre, mientras que cobalto, manganeso y hierro son moderadamente utilizados. Sin embargo, el plomo, el cromo y el mercurio carecen de capacidad bioacumulable.

Tabla 1

Taxonomía del Frijol de Palo.

Familia	Fabaceae
Reino	Plantae
Orden	Fabales
Subfamilia	Faboideae
Nombre común	Frijol de Palo
Nombre científico	Cajanus cajan

Fuente: Arenas-Rubio et al. 2022

Tabla 2

Taxonomía de la Haba.

Familia	Fabaceae
Reino	Plantae
Orden	Fabales
Subfamilia	Faboideae
Nombre común	Haba
Nombre científico	Vicia faba

Fuente: Infoagro, 2017

Para (Londoño et al, 2016, p. 148) el cadmio es un elemento poco común en la naturaleza y está vinculado al zinc. Exhibe un matiz blanco azulino y su número atómico es 112, con una densidad relativa de 8. Hay ocho isótopos estables y once isótopos radioactivos artificiales que son inestables del elemento cadmio. En su forma original, no se presenta en su forma no combinada, siendo la única mena del plomo verde, compuesto por sulfuro de cadmio considerándose el mineral singular en el que se encuentra. La gran mayoría de los productos de cadmio que resultan de la fundición y proceso de purificación del mineral de Zn (Londoño et al, 2016, p. 149) el plomo se origina a partir del uranio o de otros metales debido a su separación radiactiva. Los minerales que se comercializan generalmente tienen ciertas cantidades de Pb, generalmente alrededor del 3%, siendo el mineral galeno el más común con un contenido de plomo del 10%.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, puesto que se emplearon tratamientos de remoción con *Cajanus cajan* y *Vicia faba* para el propósito de descontaminar los suelos agrícolas de arroz con Cd y Pb; de ese modo mejorar las condiciones medioambientales. De acuerdo con CONCYTEC (2018) este tipo de estudio aplicada se caracteriza por utilizar conocimientos ya establecidos con la intención de solucionar adecuadamente un problema o fenómeno de la sociedad; es decir se basa en la aplicación de teorías en casos prácticos.

3.1.2. Diseño de investigación

El estudio fue ejecutado bajo un diseño experimental, Según Hernández et al. (2018) las investigaciones de diseño experimental son aquellas que involucran un conjunto de procesos asociados a un plan de trabajo para analizar el efecto o el impacto de ciertos métodos y/o procedimientos de modificación en circunstancias en el que no se ha asignado elementos o sujetos de observación de acuerdo a un criterio aleatorio.

El trabajo de investigación es cuasi experimental, dado que se analizó la capacidad de remoción del C. cajan y V. faba a través de pruebas de campo y análisis en laboratorio, considerando la evaluación de un grupo experimental antes y después de aplicar los tratamientos en el suelo con Cd y Pb.

3.2. Variables y operacionalización

3.2.1. Variable independiente: Siembra del *Cajanus cajan* y *Vicia faba*.

Definición conceptual:

Las plantas leguminosas se utilizan para inmovilizar la contaminación por metales pesados en un ambiente particular. En este proceso, la

planta no producirá la absorción necesaria del contaminante, pero por precipitación del metal lo inactivará a través de este proceso biológico (Ibrahim et al., 2021).

Definición operacional: Se empleó 60 plantas entre ambas especies divididas en 4 tratamientos donde se determinará la capacidad fitorremediadora.

Dimensiones: Características morfológicas.

Indicadores: Altura, N° de hojas, diámetro y longitud de raíz.

Escala de medición: Intervalo.

3.2.2. Variable dependiente: Remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz.

Definición conceptual:

La remediación de los suelos utilizados para el cultivo de arroz se refiere a un proceso o acciones destinadas a restaurar la calidad del suelo subyacente que ha sido contaminado, con el propósito de volver a utilizarlo para el cultivo de arroz de manera mejorada (Hongtao et al, 2021).

Definición operacional: Se determinó la concentración de cadmio y plomo existentes en el terreno agrícola de arroz antes y posterior al tratamiento. Así mismo, se evaluará su remoción.

Dimensiones: Concentración de metales pesados.

Indicadores: Cadmio y plomo.

Escala de medición: Intervalo.

3.3. Población, muestra y muestreo Población.

3.3.1. Población:

En este trabajo de investigación, se empleó la población de 60 plantas entre las dos especies y 60 kg de suelos agrícolas de arroz proveniente del sector Chontamuyo, las cuales serán sembrados en bandejas de 40 x 40 cm y 25 cm de altura. Para Díaz (2018) nos sostiene que la población se encuentra constituida por todos los elementos, objetos, personas u organismos elegidos para ser evaluados, contabilizados y analizados.

- **Criterios de inclusión:** Suelos agrícolas de arroz correspondientes al sector Chontamuyo.
- **Criterios de exclusión:** Parcelas agrícolas de arroz de otros sectores.

3.3.2. Muestra:

La muestra de la investigación estuvo constituida por un total de 60 plantas, 30 de cada especie, con 60 kg de suelos agrícolas de arroz que fueron distribuidas en cuatro bandejas de madera, cada uno con una capacidad de 15 kilogramos, también se utilizó además de eso 1 kg de suelos agrícolas de arroz para el ejemplar testigo, de esta manera, analizar las concentraciones huésped de estos suelos. Para TOLEDO, (2018), el ejemplar se refiere a la cantidad de la población investigada, las que reflejan las condiciones similares a la población.

3.3.3. Muestreo:

El muestreo es de tipo no probabilístico con definición aleatoria simple, ya que permite al investigador seleccionar la muestra del estudio, puesto que las unidades de análisis serán seleccionados según el propio criterio del investigador, considerando la facilidad de acceso o los fines que desea conseguir (Otzeng et al., 2017). Para el muestreo de suelos se utilizó el protocolo establecido por MINAM denominado manual para el muestreo de suelos, en dicho documento establece los protocolos para seguir en la toma de muestra de suelos.

3.3.4. Unidad de análisis:

Plantas de *Cajanus cajan* y *Vicia faba*.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos que se utilizó en este presente proyecto de investigación son:

Observación: Se estableció el sitio en el que se recolectó el suelo agrícola de arroz, también se localizó el área de trabajo en la que se establecieron las bandejas con los 4 tratamientos. Ñaupas et al, (2018) nos dice que la observación es un componente esencial en todo proceso investigativo, que consiste en analizar un hecho, fenómeno o caso, para luego obtener y registrar información sobre ello; por lo tanto, los resultados que se consigan son considerados datos originales y verídicos.

Análisis documental: Se emplearon documentos auténticos y se accedió a bases de datos fiables como: Science Direct, Scielo, Scopus, etc.

Instrumentos de recolección de datos

En ese sentido, de acuerdo con las técnicas de recolección señaladas en líneas anteriores, los instrumentos que se emplearon fueron los siguientes:

Ficha de observación: Permitió especificar los datos recopilados según las observaciones obteniendo una data precisa sobre los acontecimientos, identificando los atributos morfológicos de las especies de leguminosas.

Cadena de custodia: Se adquirió en el laboratorio del “Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) - Sede San Martín” donde se experimentó el estudio, especificando la toma de muestras, parámetros, rotulación y conservación para su respectivo análisis.

Validación de instrumentos

Para la autenticidad de los instrumentos del estudio fueron validados por profesionales especializados en el tema, mediante una ficha de validación de instrumentos aprobados por el MSc. Cesar Oswaldo Arévalo Hernández, jefe del departamento de suelos – ICT, Dr. Andi Lozano Chung, docente de la universidad nacional de San Martín y el Ing. MSc. José Máximo Díaz Pinto, gerente general de FUCOMA IES E.I.R.L.

Esta validez se refiere al nivel en el que un instrumento mide lo que se evaluará o medirá, por lo que el investigador debe conseguir la validez del instrumento que se emplea en la investigación (SANTOS, 2017).

3.5. Procedimientos

Para el desarrollo del proyecto se consideran 3 etapas:

Etapa 1: Fase de gabinete

- Se validaron los instrumentos de recolección de datos. Se elaboraron guías de observación.
- Se realizó una revisión literaria de artículos científicos de diversas plantas remediadoras de suelos contaminados por metales pesados, posterior a ello se seleccionó las especies leguminosas debido a su capacidad remediadora mediante tratamientos.
- Recopilación de información sobre el área de estudio.
- Seguidamente, se procedió a conocer el área de estudio para la elaboración del mapa de ubicación.
- Preparación de materiales y equipos para la recolección de muestras.
- Finalmente, se cotizó el presupuesto para el análisis del suelo en los parámetros de Cd y Pb con el laboratorio del “Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) - Sede San Martín”, así mismo se coordinó los envíos de muestras y entrega de resultados.

Etapa 2: Fase de campo

Reconocimiento del área de estudio

El lugar de estudio de la presente investigación estuvo ubicado en el sector Chontamuyo, distrito de la Banda de Shilcayo, para tener una ubicación más precisa del área se realizó una georreferenciación del lugar por medio del uso del GPS, el área de estudio presenta las siguientes coordenadas: X: 349156.00, Y: 9280236.00. Su clima es cálido y la temperatura promedio es de 30.16 °C, y la más baja es 21 °C.

Figura 1

Georreferenciación de la parcela de arroz a utilizar en la investigación.



Recolección de muestras

Se siguió el protocolo de la guía para el muestro de suelos establecido por el D.S. N° 002-2013-MINAM para la recopilación de muestras de suelo. El enfoque de muestreo se centró en áreas regulares menor a 1000 m², con una delimitación previa de la ubicación de estudio. El proceso de muestreo implicó un recorrido en patrón zigzag, extrayendo una submuestra en cada punto, lo que resultó en un total de 30 submuestras y 1 adicional para la

muestra testigo; se aseguró que la cantidad y profundidad de suelo recogido en cada punto fueron consistentes, utilizando una pala para excavar un agujero de 25 cm de largo x 25 cm de ancho y 20 cm de profundidad. Los primeros 2 cm de suelo se excluyeron y se mezclaron las 30 submuestras en un balde, obteniendo una muestra de la cual se retiró 1 kg de suelo denominado testigo, para luego etiquetarlo adecuadamente y enviar al laboratorio del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) - Sede San Martín para su debido análisis. Para llevar a cabo el experimento se utilizaron en total 60 kg de suelo y 1 kg adicional para la muestra inicial.

Figura 2

Muestreo de suelo.



Nota. (A) Primer punto de muestro, (B) diseño de la calicata (C) separación de los bordes de la sub muestra

Preparación del suelo en las bandejas

Se tamizó el suelo con una malla de diámetro de 2 mm para que el suelo tenga condiciones homogéneas respectivamente, para evitar que el suelo tenga consigo objetos no deseados como son los compuestos orgánicos o inorgánicos. Al culminar de tamizar los 60 kg de suelo, se dispuso a colocar 15 kilogramos de suelo en cada bandeja.

Figura 3

Acondicionamiento del área de estudio.

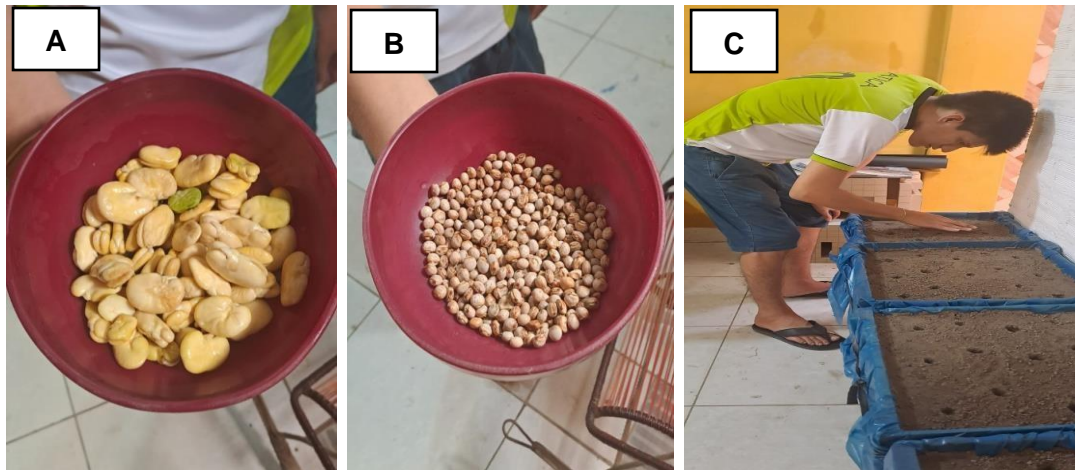


Siembra de las semillas de *Cajanus cajan* y *Vicia faba*

Para la siembra de las semillas del *Cajanus cajan* y *Vicia faba*, primeramente, se puso a germinar las semillas de ambas especies durante 10 días para luego seleccionar las plántulas con buenas condiciones; finalmente, después de escoger las mejores especies se procedió a sembrar 15 plántulas en cada bandeja de tratamiento, que consistió en hacer un hoyo en el suelo, para introducir la semilla y luego tapar, la distancia de cada semilla con la otra fue de 5 cm.

Figura 4

Proceso de selección de semillas y siembra.



Nota. (A) Semillas de Habas, (B) Semillas de frijol de palo, (C) Sembrando ambas semillas en las bandejas de tratamiento.

Cosecha y registro vegetativo

La cosecha se realizó después de cumplir los 45 y 60 días de tratamiento del *Cajanus cajan* y *Vicia faba*. Seguido de la cosecha se tomaron medidas biométricas en cada una de las plantas que consistió en medir la longitud de la planta, raíz, número de hojas y diámetro con el fin de observar el crecimiento morfológico después del proceso de remediación, se utilizó una regla como instrumento de medida.

Figura 5

Registro de características biométricas de la planta.



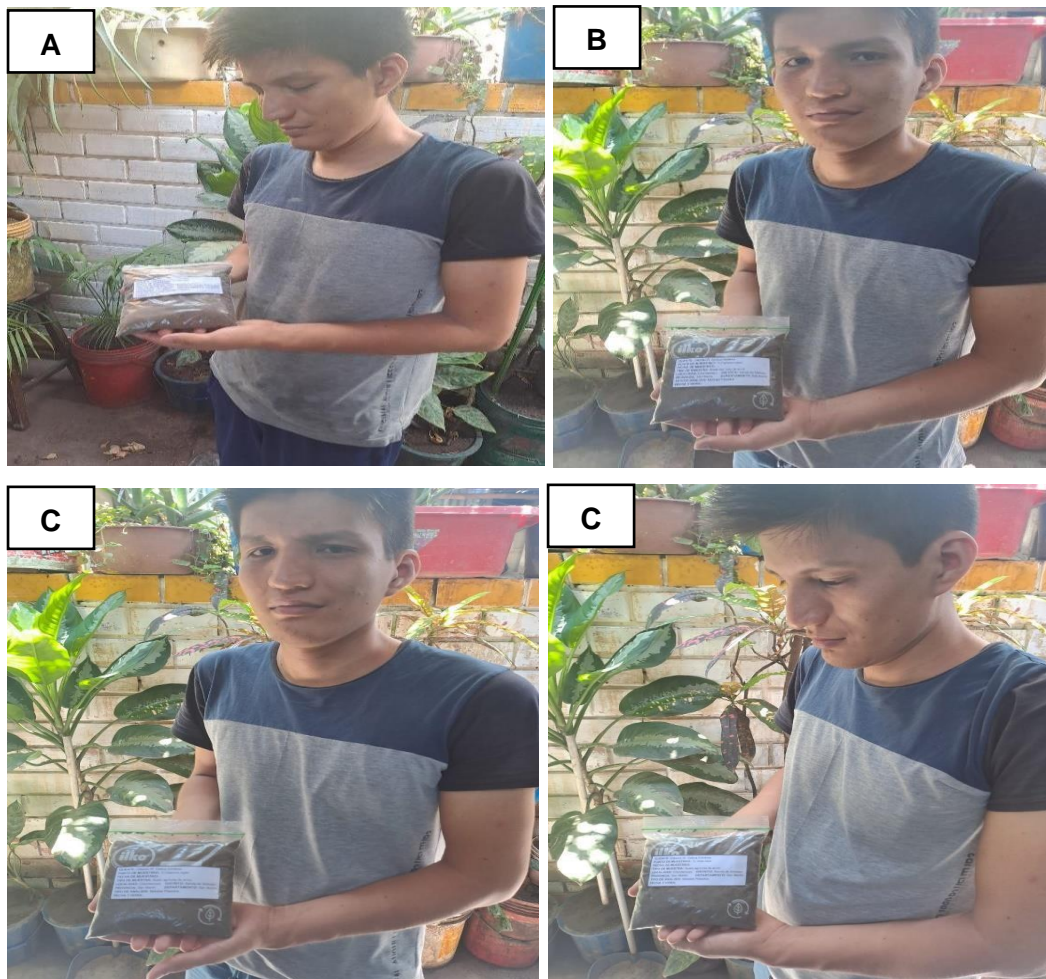
Nota. (A) conteo de hojas, (B) Medición de la altura, (C) Midiendo la longitud de la raíz.

Análisis de las muestras de los tratamientos

Finamente, se realizó una evaluación a los 45 y 60 días, en los cuales se evaluó la reducción de la concentración de cromo y cadmio para eso se tomó una muestra representativa de cada tratamiento de 1 kg de suelo. Seguidamente se realizó el rotulado de manera correcta y se procedió a llevar las 4 muestras de suelo al laboratorio del “Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) - Sede San Martín” para su análisis y resultados.

Figura 6

Recolección de muestras de suelo tratado con habas y frijol de palo.



Nota. (A) muestra de suelo del T1, (B) muestra de suelo del T2, (C) muestra de suelo del T3, (D) muestra de suelo del T4 (Fecha: 08-11-2023)

Etapa 3: Gabinete final

- Se analizó los informes de ensayo por parte del laboratorio, tanto de las muestras testigo y los 4 tratamientos.
- Se comparó los resultados de la muestra testigo con el ECA-DS-N°011-2017- MINAM.
- Se elaboró las figuras y tablas de resultados para su interpretación. Se elaboró el informe final para previa presentación y sustentación.

3.6. Método de análisis de datos

El método de análisis de datos, se empleó los programas de SPSS-25 y Microsoft Excel, donde se procesaron todos los datos recolectados de la parte experimental correspondiente a 4 tratamientos experimentales y los resultados de laboratorio de los tratamientos con frijol de palo y habas. El análisis estadístico se realizó mediante el análisis de varianza ANOVA, donde se determinó las diferencias o aumentos significativas y así tener como resultado que tratamiento fue eficiente para la remoción de cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz.

3.7. Aspectos éticos

Para esta investigación se cumplió con las reglas y lineamientos establecidos en la guía normativa de la Universidad César Vallejo, así como también se respetó los aportes teóricos tomados de los diferentes autores mencionados a lo largo del estudio, citando correctamente según las Normas ISO. Aparte de ello, se cumplió con el principio ético de beneficencia puesto que los hallazgos servirán de sustento para que se pueda emplear la capacidad de remoción de metales pesados mediante plantas leguminosas. Asimismo, el principio de no maleficencia porque la investigación sólo será realizada con fines académicos sin la intención de causar algún perjuicio a la sociedad y al ecosistema.

IV. RESULTADOS

Luego del trabajo de campo se alcanzaron a los siguientes resultados:

Concentraciones del Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz pre y post tratamiento, Tarapoto 2023.

4.1. Los suelos agrícolas de arroz del sector Chontamuyo, Banda de Shilcayo, ostentan $0,25 \text{ mg/kg}^{-1}$ de Cd y $10,7 \text{ mg/kg}^{-1}$ de Pb como testigos; lo cual resulta que, la concentración de Cd es 82 % menor que el ECA para suelos agrícolas, mientras que, la concentración de Pb es 85 %, por debajo del ECA para suelos agrícolas, indicándonos que, cuando se presenta una cantidad excesiva, puede causar daño al suelo, lo que conlleva a la disminución de sus capacidades naturales. (tabla 3 y figura 7)

Tabla 3

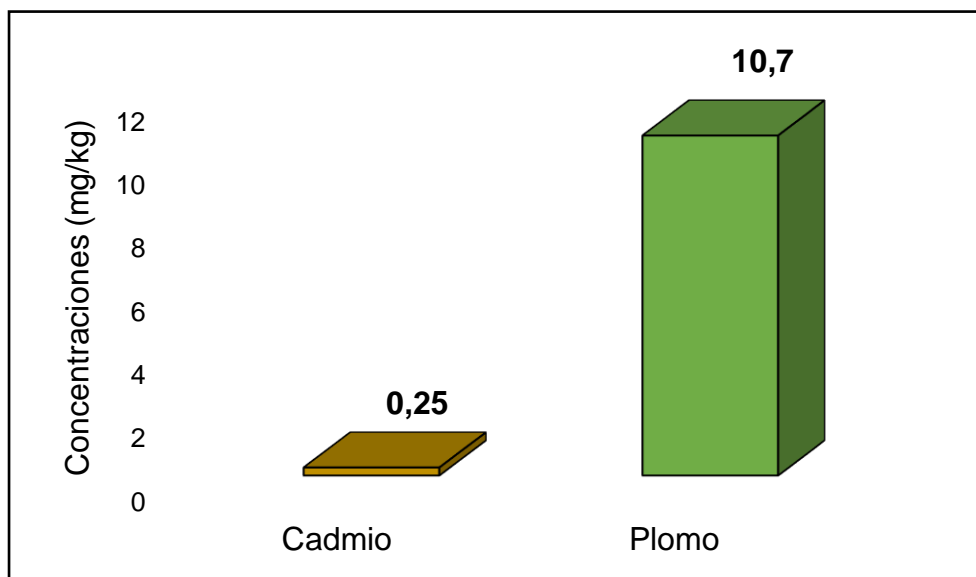
Concentraciones del Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz pre tratamiento.

Parámetros	Resultado	ECA (mg.kg^{-1})
Cadmio	0,25	1,4
Plomo	10,7	70

Nota. Ficha técnica de los análisis de suelos del laboratorio ICT – San Martín.

Figura 7

Muestra testigo de Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz.



4.2. La aplicación del análisis de varianza en ANOVA en la remoción de los metales pesados con especies vegetales frijol de palo y habas, se encontraron altas diferencias significativas en cuanto a cadmio de $p=0,00$ menor a $p<0,05$ y plomo con alta significancia de $p=0,00$ menor a $p<0,05$. (tabla 4)

Tabla 4

Análisis de varianza en ANOVA de cadmio y plomo con frijol de palo y habas.

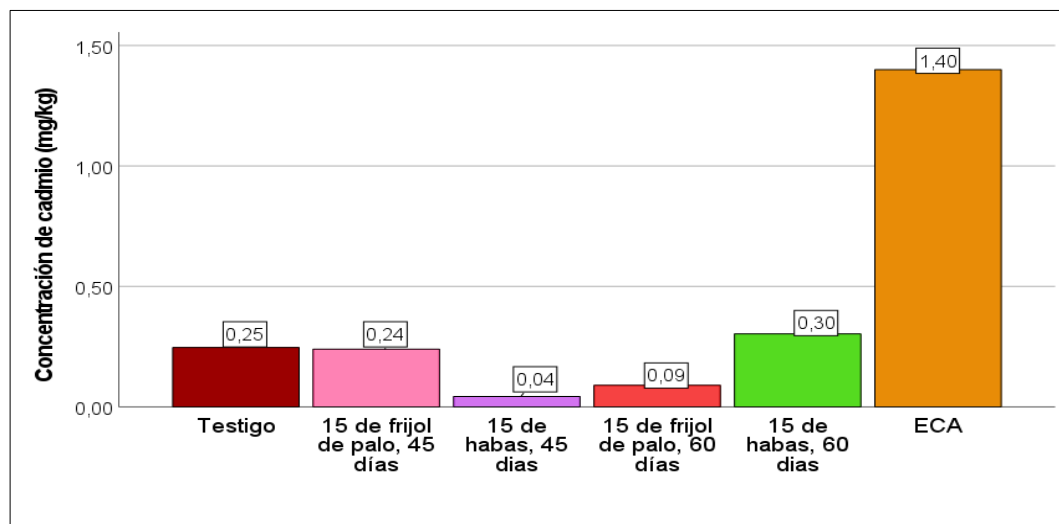
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cadmio	3,842	5	0,768	631,621	0,000
	0,015	12	0,001		
	3,857	17			
Plomo	9319,376	5	1863,875	2765,758	0,000
	8,087	12	0,674		
	9327,463	17			

Nota. Análisis de varianza ANOVA en SPSS25.

4.3. La prueba Post Hoc de las medias se realizó en Tukey, determinando las concentraciones más bajas de cadmio en el tratamiento con 15 plantas de frijol a los 45 días con $0,04 \text{ mg.kg}^{-1}$ y la concentración más alta de $0,30 \text{ mg.kg}^{-1}$ en comparación con los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelos agrícolas de $1,40 \text{ mg.kg}^{-1}$. (figura 8)

Figura 8

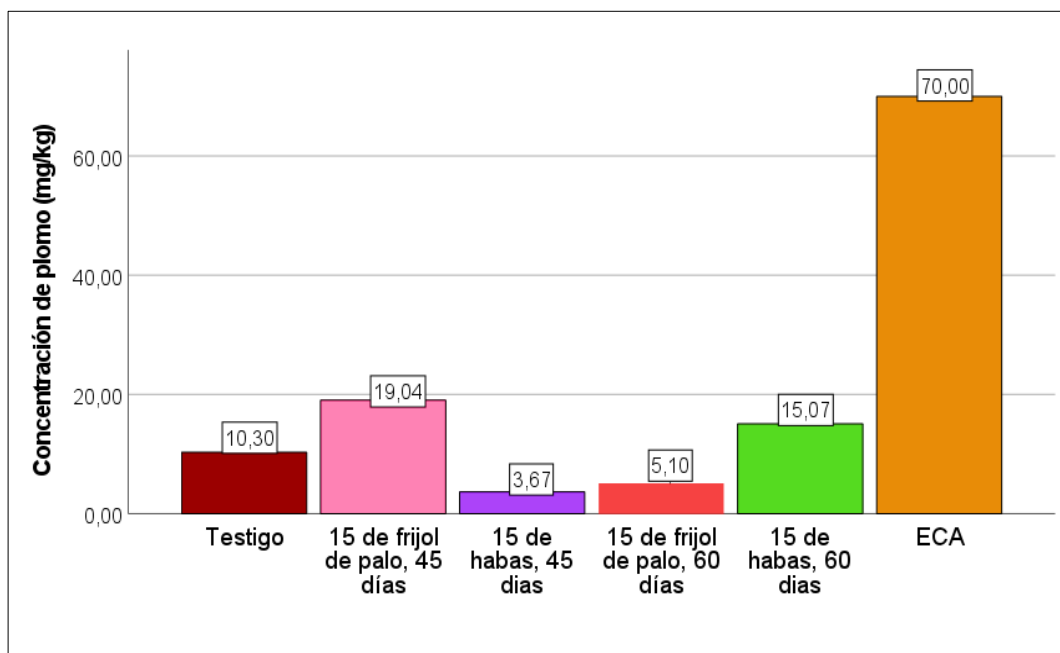
Análisis de medias en Tukey del cadmio utilizando frijol de palo y habas.



4.4. La prueba Post Hoc de las medias se realizó en Tukey, determinando las concentraciones más bajas de plomo en el tratamiento con 15 plantas de habas a los 45 días con $3,67 \text{ mg.kg}^{-1}$ y la concentración más alta en el tratamiento con 15 plantas de frijol a los 45 días de $19,04 \text{ mg.kg}^{-1}$ en comparación con los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelos agrícolas de 70 mg.kg^{-1} . (figura 9)

Figura 9

Análisis de medias en Tukey del plomo utilizando frijol de palo y habas.



Desarrollo vegetativo del *Cajanus cajan* y *Vicia faba* post tratamiento, Tarapoto 2023.

4.5. Las 15 plantas del frijol de palo, a los 15 días de vida fenológica, presentan una altura promedio de 16,6 cm; el número de hojas promedio es 4; el diámetro promedio del tallo es 0,2 cm. A los 30 días de vida vegetal, obtuvieron una altura promedio de 23,4 cm; el número de hojas promedio es 6; el diámetro promedio del tallo es 0,21 cm. A los 45 días de desarrollo, lograron una la altura promedio de 26,2 cm; el número de hojas promedio es 7; el diámetro promedio del tallo es 0,23 cm y la longitud de la raíz promedio es 10,13 cm. (tabla 5 y figura 10)

Tabla 5

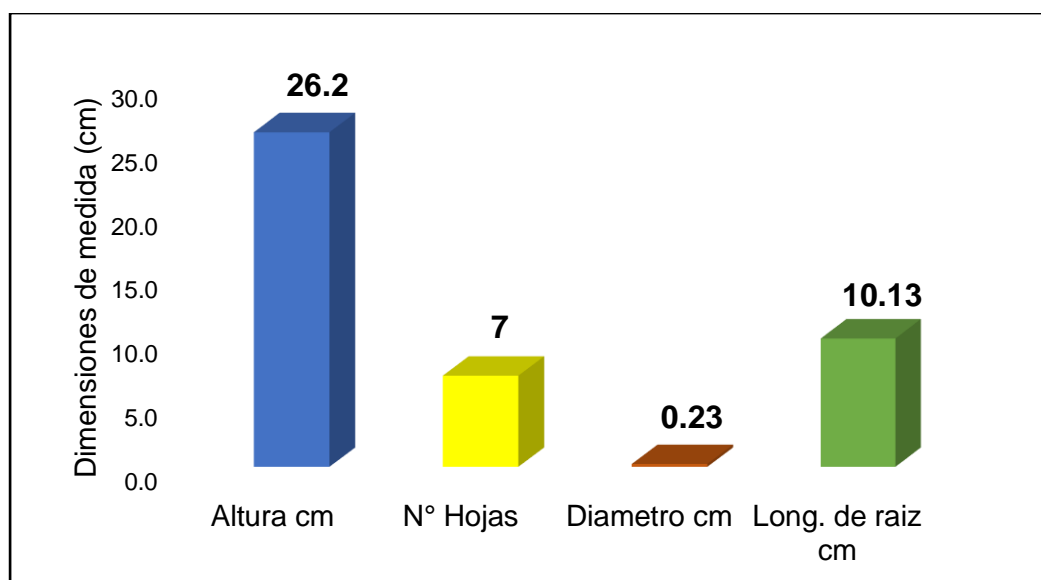
Desarrollo vegetativo del Cajanus cajan (Frijol de palo) en 45 días, tratamiento 1, 15 plantas.

Días	Altura (cm)	N° Hojas	Diámetro (cm)	Long. de raíz (cm)
15	16,6	4	0,20	0,00
30	23,4	6	0,21	0,00
45	26,2	7	0,23	10,13
Promedio	22,05	6	0,21	3,38

Nota. Ficha técnica de campo del crecimiento vegetativo de las plantas.

Figura 10

Tratamiento 1 con 15 plantas de frijol de palo.



4.6. Las 15 plantas de habas, a los 15 días de vida fenológica, poseen una altura promedio de 6,8 cm; el número de hojas promedio es 1; el diámetro promedio del tallo es 0,22 cm. A los 30 días de vida fenológica, presentaron una altura promedio de 12,8 cm; el número de hojas promedio es 3; el diámetro promedio del tallo es 0,25 cm. A los 45 días de vida fenológica, registraron una altura promedio de 15 cm; el número de hojas promedio es 4; el diámetro promedio del tallo 0,27 cm y la longitud de raíz promedio es 10,04 cm. (tabla 6 y figura 11)

Tabla 6

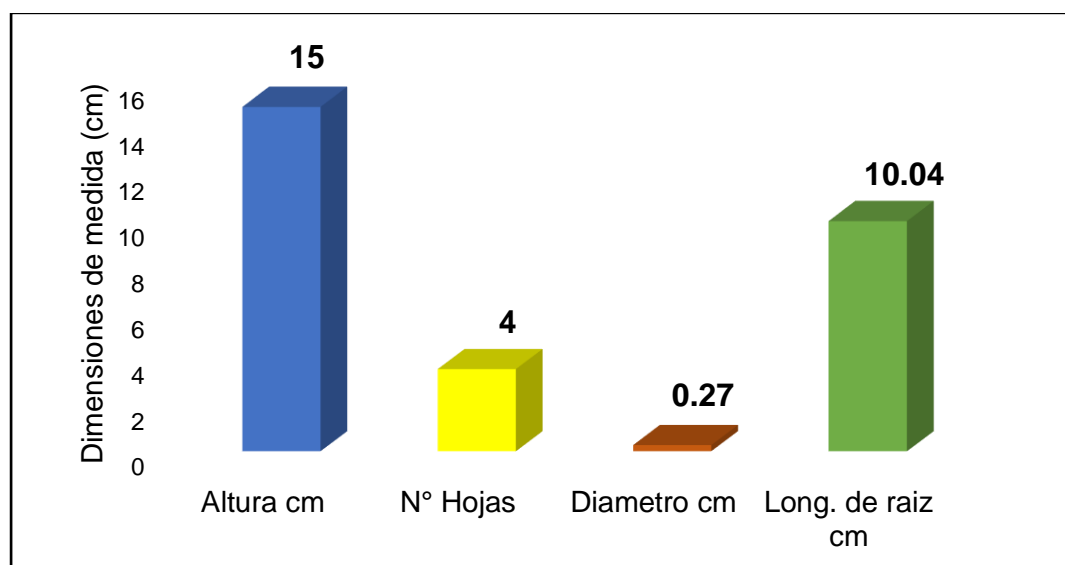
Desarrollo vegetativo del Vicia faba (Habas) en 45 días, tratamiento 2, 15 plantas.

Días	Altura (cm)	N° Hojas	Diámetro (cm)	Long. de raíz (cm)
15	6,8	1	0,22	0,00
30	12,8	3	0,25	0,00
45	15	4	0,27	10,04
Promedio	11,53	2	0,25	3,35

Nota. Registro del desarrollo vegetativo de la planta por ficha técnica de campo.

Figura 11

Tratamiento 2 con 15 plantas de habas.



4.7. Las 15 plantas del frijol de palo, a los 15 días de crecimiento, lograron una altura promedio de 19,1 cm; el número de hojas promedio es 4; el diámetro promedio del tallo es 0,2 cm. A los 30 días de vida fenológica, obtuvieron una altura promedio de 25,6 cm; el número de hojas promedio es 7; el diámetro promedio del tallo es 0,24 cm. A los 45 días de desarrollo vegetativo, obtuvieron una altura promedio de 28,3 cm; el número de hojas promedio es 7; el diámetro promedio del tallo es 0,25 cm. A los 60 días de edad, obtuvieron una altura promedio de 30,3 cm; el número de hojas

promedio es 8; el diámetro promedio del tallo es 0,25 cm y la longitud de la raíz promedio es 10,41 cm post tratamiento. (tabla 7 y figura 12)

Tabla 7

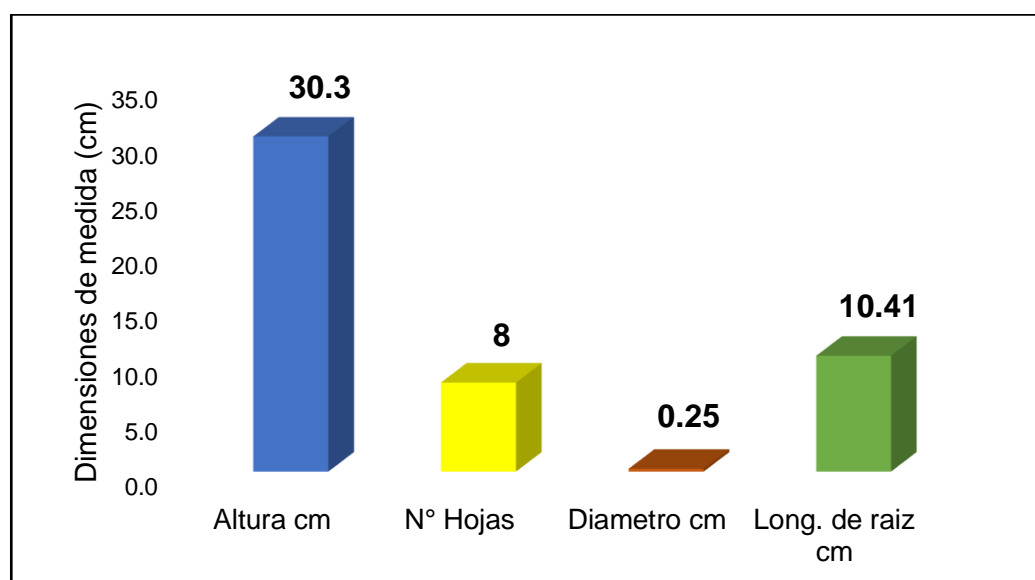
Desarrollo vegetativo del Cajanus cajan (Frijol de palo) en 60 días, tratamiento 3, 15 plantas.

Días	Altura cm	Nº Hojas	Diámetro cm	Long. de raíz cm
15	19,1	4	0,20	0,00
30	25,6	7	0,24	0,00
45	28,3	7	0,25	0,00
60	30,3	8	0,25	10,41
Promedio	25,8	6	0,24	2,60

Nota. Ficha técnica de campo del crecimiento vegetativo de las plantas.

Figura 12

Tratamiento 3 con 15 plantas del frijol de palo.



4.8. Las 15 plantas de habas, a los 15 días de vida fenológica, obtuvieron una altura promedio de 7,2 cm; el número de hojas promedio es 1; el diámetro promedio del tallo es 0,22 cm. A los 30 días de vida fenológica, obtuvieron

una altura promedio de 12,7 cm; el número de hojas promedio es 3; el diámetro del tallo promedio es 0,24 cm. A los 45 días de vida fenológica, obtuvieron una altura promedio de 15,8 cm; el número de hojas promedio es 4; el diámetro promedio del tallo 0,25 cm. A los 60 días de vida fenológica, obtuvieron una altura promedio de 16,6 cm; el número de hojas promedio es 4; el diámetro promedio del tallo es 0,27 cm y la longitud de raíz promedio es 10,28 cm post tratamiento. (tabla 8 y figura 13)

Tabla 8

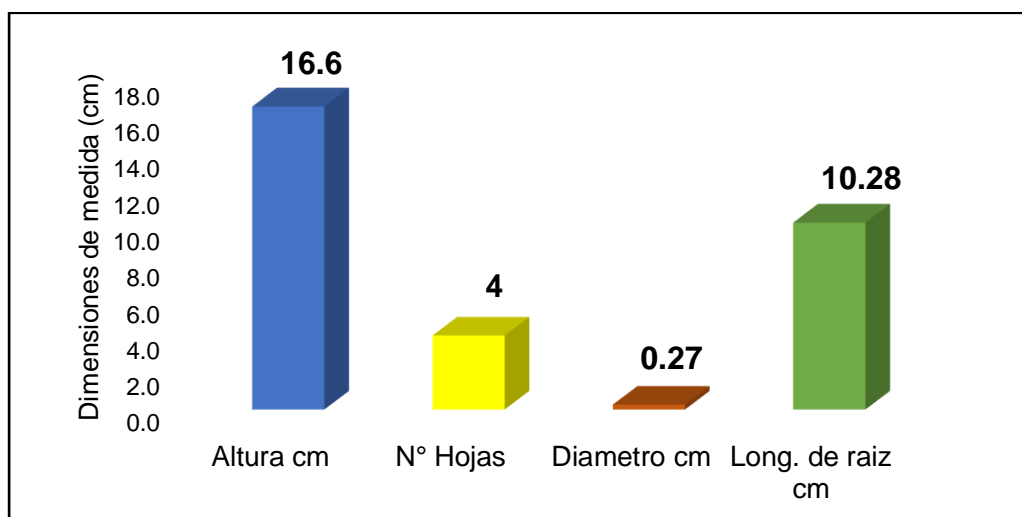
Desarrollo vegetativo del Vicia faba (Habas) en 60 días, tratamiento 4, 15 plantas.

Días	Altura cm	Nº Hojas	Diámetro cm	Long. de raíz cm
15	7,2	1	0,22	0,00
30	12,7	3	0,24	0,00
45	15,8	4	0,25	0,00
60	16,6	4	0,27	10,28
Promedio	13,1	3	0,24	2,57

Nota. Registro del desarrollo vegetativo de la planta por ficha técnica de campo.

Figura 13

Tratamiento 4 con 15 plantas de habas.



Estudio óptimo de remoción de Cd y Pb con *Cajanus cajan* y *Vicia faba*.

4.9. El tratamiento en suelos agrícolas de arroz del sector Chontamuyo, que ha brindado mejor remoción en Cd y Pb fue la parcela de 0,4 m² con 15 plantas de habas en 45 días productivos, con una remoción del 80 % en cadmio y 70 % en plomo.

Remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz, con siembra del *Cajanus cajan* y *Vicia faba*, Tarapoto – 2023.

4.10. Mediante el análisis de varianza de la remoción de los metales pesados en el suelo de cultivos de arroz, se puede observar alta significación encontrando diferencias estadísticas al 1 % para la fuente de variación: en tratamientos, *Cajanus cajan* (CC), *Vicia faba* (VF), CCxVF con el valor de p menor a 0,05. Asimismo, el coeficiente de variación es 3,28 %. (tabla 9)

Tabla 9

*Análisis de varianza (ANOVA) de la remoción de plomo y cadmio con la siembra del *Cajanus cajan* y *Vicia faba*.*

F de V	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medio	F calculado	Sig
Tratamiento	4	536,01	204,09	105,42	0,00*
<i>Cajanus cajan</i> (CC)	1	756,32	404,12	98,56	0,02
<i>Vicia faba</i> (VF)	1	356,25	56,45	68,25	0,00
CCxVF	1	128,76	86,52	12,63	0,01
Error	9	22,15	1,28		
Total	12	356,07			

C.V. (%) 3,28

ns No

Significativo

** Significativo al

1 %

Nota. Coeficiente de varianza spss25.

4.11. La remoción en suelos de cultivo de arroz del sector Chontamuyo, Banda de Shilcayo; en 45 días, con 15 plantas de frijol de palo en 0,4 m², se observa una remoción del 0 % de Cd, referente al testigo, por lo tanto, las plantas obtuvieron una deficiencia en la absorción de metales pesados y en

el caso del Pb, se observa un aumento del 81 %, con respecto a la muestra testigo, indicando que las plantas absorbieron y almacenaron metales pesados en sus estructuras, pero al descomponerse, liberaron estos metales al suelo, elevando así su concentración; en 45 días, con 15 plantas de habas en 0,4 m², se observa una remoción del 80 % de Cd, referente a la muestra inicial, indicándonos que las plantas obtuvieron una remoción eficiente de metales pesados y en el caso del Pb, se deduce una remoción del 70 % referente al testigo, demostrando que las plantas lograron eliminar de manera efectiva la captación de metales pesados; en 60 días, con 15 plantas de frijol de palo en 0,4 m², se observa una remoción del 60 % de Cd, referente al testigo, mostrando que las plantas lograron eliminar de manera efectiva la absorción de metales pesados y en el caso del Pb, se observa una remoción del 49 % referente al huésped, mostrando que las plantas lograron eliminar de manera efectiva la absorción de metales pesados; en 60 días, con 15 plantas de habas en 0,4 m², se observa un aumento del 40 % de Cd, referente al testigo, lo que significa que las plantas acumularon los metales pesados en sus tejidos, pero al descomponerse la planta pudo liberar en el suelo aumentando su concentración y en el caso del Pb, se estudió un aumento del 49 %, referente a la muestra inicial, indicando que las leguminosas almacenaron metales pesados en sus estructuras; sin embargo, cuando la planta se descompuso, liberó esos metales al suelo, elevando su concentración. (tabla 9 y figura 14)

Tabla 10

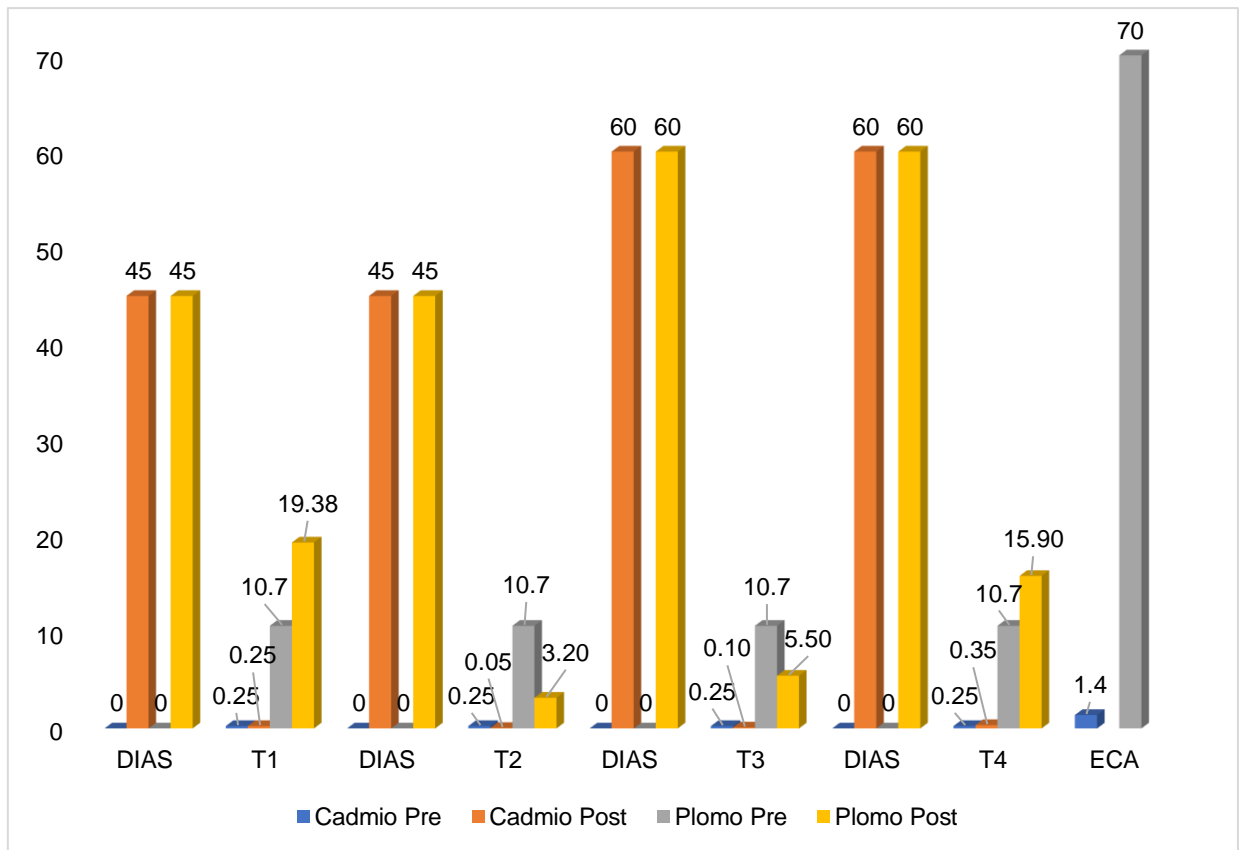
Pre y post tratamiento del Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz.

M.P	Tratam.	Días	T1		T2		T3		T4		ECA
			Días	mg.kg ⁻¹	Días	mg.kg ⁻¹	Días	mg.kg ⁻¹	Días	mg.kg ⁻¹	
Cd	Pre	0	0,25	0	0,25	0	0,25	0	0,25	1,4	
	Post	45	0,25	45	0,05	60	0,10	60	0,35		
Pb	Pre	0	10,7	0	10,7	0	10,7	0	10,7	70	
	Post	45	19,38	45	3,20	60	5,50	60	15,90		

Nota. Ficha técnica de los análisis de suelos del laboratorio ICT – San Martín.

Figura 14

Resultados de Cd y Pb pre y post tratamiento.



V. DISCUSIÓN

La investigación realizó un estudio con plantas leguminosas que sirvieron para la remoción de metales pesados para posteriormente sembrar en suelos agrícolas de arroz; en tal sentido, se evidencia los resultados obtenidos respecto al objetivo específico 1 referente a las concentraciones de cadmio y plomo del suelo antes y después del tratamiento con frijoles, reconociendo que existen diferencias significativas entre los tratamientos, teniendo una concentración de 0,25 mg.kg⁻¹ y plomo de 10,7 mg.kg⁻¹. Resultados similares se encontró en el estudio realizado por Moreno (2021) muestra que emplearon *Lolium multiflorum* para remediar Cd y Pb en suelos contaminados por relaves mineros, destacando que las concentraciones iniciales de los metales fueron 300 ppm de Pb y 15 ppm de Cd. Por otro lado, Canseco C. (2016) emplearon a la *Paulownia tomentosa* y *Dudleya gatesii* en suelos de girasol para remediar Cd y Pb, destacando que las concentraciones iniciales de cadmio fue 1746,626 ppm y 2303,49 ppm de plomo. Una investigación similar fue realiza por Huaranga et al., (2022) quien realizó la absorción de plomo y cadmio con plantas de maíz y beterraga, determinando así los valores iniciales de los metales pesados, teniendo 1359,6 ppm de Pb y 28,8 ppm de Cd. Por otra parte, el autor Alaboudi, Ahmed y Brodie (2018) utilizo al girasol para la remediación de suelos contaminados con Pb y Cd, donde muestra las concentraciones iniciales de 40,1 ppm en Pb y 65,7 ppm de Cd.

Con respecto a las concentraciones del Cd y Pb de los suelos agrícolas de arroz post tratamiento se presentan los siguientes resultados; a los 45 días, con 15 plantas de frijol de palo, la concentración de Cd fue 0,25 mg/kg y 19,38 mg.kg⁻¹ de Pb; a los 45 días, con 15 plantas de habas, la concentración del Cd fue 0,05 mg.kg⁻¹ y 3,2 mg.kg⁻¹ de Pb; a los 60 días, con 15 plantas de frijol de palo, la concentración del Cd fue de 0,1 mg/kg y 5,5 mg/kg de Pb; a los 60 días, con 15 plantas de habas, la concentración del Cd fue de 0,35 mg.kg⁻¹ y 15,9 mg.kg⁻¹ de Pb. Por otro lado, Huaranga (2022), en su investigación efectuó la absorción de

plomo y cadmio con siembra de *Zea mays* y *Beta vulgaris*, destacando que las concentraciones de Pb y Cd post tratamiento fueron; a los 65 días con plantas de maíz, la concentración del Pb fue 371,66 mg.kg⁻¹ y 14,82 mg.kg⁻¹ de Cd; en la betarraga la concentración del Pb fue 432,95 mg.kg⁻¹ y 13,88 mg.kg⁻¹ de Cd; a los 95 días, con plantas de maíz la concentración del Pb fue 301,24 mg.kg⁻¹ y 11,47 mg.kg⁻¹ de Cd; en la betarraga la concentración del Pb fue 428,17 mg.kg⁻¹ y 11,88 mg.kg⁻¹ de Cd; a los 125 días, con plantas de maíz, la concentración del Pb fue 201,32 mg.kg⁻¹ y 9,6 mg.kg⁻¹ de Cd; en la beterraga la concentración del Pb fue 408,33 mg.kg⁻¹ y 11,62 mg.kg⁻¹ de Cd.

Se evidencia los resultados obtenidos respecto al objetivo específico 2 referente a los datos biométricos que presentó la planta de frijol de palo y habas; a los 45 días, las 15 plantas del frijol de palo lograron una altura de 26,2 cm, 15 plantas de habas registraron una altura de 15 cm. El número de hojas de 15 plantas de frijol de palo presenta 7 unidades, de 15 plantas de habas logro 4 unidades. En cuanto al diámetro del tallo de las 15 plantas de frijol de palo es 0,23 cm, las 15 plantas de habas logro 0,27 cm. La longitud de la raíz de 15 plantas del frijol de palo es 10,13 cm, 15 plantas de habas registraron 10,04 cm; a los 60 días la altura de plantas de frijol de palo muestra 30,3 cm, las 15 plantas de habas registraron 16,6 cm. El número de hojas de 15 plantas del frijol de palo lograron 8 unidades, 15 plantas de habas registraron 4 unidades. En cuanto al diámetro del tallo de las 15 plantas de frijol de palo es 0,25 cm, 15 plantas de habas registraron lograron 0,27 cm. La longitud de la raíz muestra que las 15 plantas de frijol de palo es 10,41 cm y de las 15 plantas de habas tuvieron 10,28 cm. Una investigación similar fue realizada por Cerrón et al., (2018), determinaron los siguientes valores biométricos, la altura de las plantas de maíz en 40 días es de 119,67 cm, las plantas de maíz en 60 días son de 124,89 cm y en 90 días es de 108,77 cm. El número de hojas de las plantas de maíz fue 21 unidades, las plantas de maíz en 60 días son de 26 y en 90 días es de 21. En cuanto al diámetro del tallo de la planta, las plantas de maíz en 40 días tienen 50,35 cm, las plantas de maíz en 60 días son

de 53,64 cm y en 90 días es de 46,51 cm. La longitud de la raíz muestra que las plantas de maíz en 40 días tuvieron 14,19 cm, las plantas de maíz en 60 días son de 19,42 cm y en 90 días es de 12,61 cm.

Se evidencia los resultados obtenidos respecto al objetivo general referente a la remediación de suelos agrícolas de arroz con siembra del frijol de palo y habas demostró su eficacia de remoción con 15 plantas de habas; en cuanto a los metales pesados el cadmio mostró una reducción de $0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$ que representa el 80 % de remoción y en el caso del plomo registró una disminución de $3,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ lo que representa el 70 % de remoción. En la investigación de García et al., (2022), muestra que emplearon al girasol en suelos contaminados con desechos mineros para la remoción de cadmio y plomo, mostraron las siguientes concentraciones, cadmio de $0,71 \text{ mg.kg}^{-1}$ con un 83 % de remediación; en cuanto al plomo, su acumulación registró $0,41 \text{ mg.kg}^{-1}$ lo que representa el 71 % de remoción. A comparación del estudio de Samamé y Osores (2020) determinaron la capacidad del *Gynerium sagittatum* para remediar suelos de cultivos arroz con Cd y Pb, donde determinó las siguientes concentraciones de 1,51 ppm de Cd y 27,21 ppm de Pb estos valores se encuentran por encima de las normas; con remoción del 32% en Cd y 34,58% en Pb.

VI. CONCLUSIONES

Las concentraciones de Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz del sector Chontamuyo, Banda de Shilcayo, ostentan $0,25 \text{ mg/kg}^{-1}$ de Cd y $10,7 \text{ mg/kg}^{-1}$ de Pb. Mediante el análisis de varianza ANOVA se encontraron altas diferencias significativas en cuanto a cadmio de $p=0,00$ menor a $p<0,05$ y plomo con alta significancia de $p=0,00$ menor a $p<0,05$.

A través de análisis de varianza sobre la remoción de Cadmio y Plomo en suelos de cultivos de arroz donde se observó una alta significancia con diferencias estadísticas al 1 % para la fuente de variación: en tratamientos, *Cajanus cajan* (CC), *Vicia faba* (VF), CCxVF con el valor de p menor a 0,05. Asimismo, el coeficiente de variación es 3,28 %.

Las plantas de frijol de palo y haba, han permitido la remoción del Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz del sector Chontamuyo; por lo que, se coincide con la hipótesis de investigación, con una alta significancia con diferencias estadísticas al 1 % con el valor de $p < 0,05$.

VII. RECOMENDACIONES

A las autoridades locales, llevar a cabo proyectos de mejoramiento de la calidad ambiental de suelos contaminados por metales pesados de sus jurisdicciones geográficas, con plántulas de habas que tuvo mejor eficiencia de remoción con contaminantes, para disminuir los niveles de concentración del cadmio y plomo, que ahora en la actualidad vienen en incremento la polución de suelos por metales pesados.

A futuros investigadores, realizar estudios profundos a las especies leguminosas de *Cajanus cajan* (frijol de palo) y *Vicia faba* (haba) para realizar diversos tratamientos en suelos contaminados por metales pesados ya que se evidenció su eficiencia de remoción, así mismo tener en cuenta que para obtener mejores resultados en la remediación de suelos, al utilizar las especies leguminosas de *Cajanus cajan* (frijol de palo) y *Vicia faba* (haba) se debe hacer germinar las semillas de 10 días para luego seleccionar las mejores plántulas y con gran capacidad radicular.

A la población en general, que cuentan como actividades económicas el sembrío y cosecha de arroz en parcelas del sector Chontamuyo, realizar sus actividades con ciertos cuidados y seguridad ambiental de tal forma para evitar el contacto físico con las plantas que se reproducen en dicho lugar, también no consumir las plantas y aguas residuales que genera las parcelas ya que se desconoce las cantidades de metales pesados que pueden absorber el cuerpo humano y así evitar los riesgos o enfermedades para la salud.

REFERENCIAS

- 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. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0570178318300174?via%3Dihub>
- ALABOUDI, K.A., AHMED, B. y BRODIE, G., 2018. *Annals of Agricultural Sciences* Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Sciences* [en línea], no. March, pp. 0-1. ISSN 0570-1783. DOI 10.1016/j.aos.2018.05.007. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0570178318300174?via%3Dihub>
- BELTRÁN, MAYRA ELEONORA & GÓMEZ, ALIDA. Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. *Revista III3+*, [en línea]. 2015, 2 (2):82-112. [fecha de Consulta 5 de febrero de 2021]. Disponible en <http://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/reiv3/article/view/113>
- BASTIS, Consultores. 2020. Técnicas de recolección de datos para realizar un trabajo de investigación. 2020. Disponible en: <https://online-tesis.com/tecnicas-de-recoleccion-de-datos-para-realizar-un-trabajo-de-investigacion/>
- CRUZ LÓPEZ, CÉSAR AUGUSTO, RAMOS ARCOS, SEBASTIÁN ALBERTO, & LÓPEZ MARTÍNEZ, SUGEY. (2018). *Efecto de la adición de ácidos orgánicos sobre la bioacumulación de Plomo, Talio y Vanadio en *Chrysopogon zizanioides* creciendo sobre suelos contaminados de un relleno sanitario*. *Nova scientia*, León, 2018, vol. 10, n. 21, pp. 403-422, ISSN 2007-0705. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052018000200403&lang=es
- DELGADILLO LÓPEZ, ANGÉLICA EVELIN, [et al.]. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical*

- agroecosystems, 2011, vol. 14, no 2, p. 597-612. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- ESQUINCA CANSECO, CARLOS ADULFO (2016). *Capacidad de la Fitoextracción de plomo, cromo y cadmio empleando paulonia imperial, Paulownia tomentosa, y succulenta, Dudleya gatesii*. Maestría en Ciencias e Ingeniería Ambientales. México. pp. 1-107. Disponible en: <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/6902?show=full>
- FAO (Organización de las naciones Unidas para la Agricultura), RODRIGUEZ, N., MICHAEL, & PENNOCK, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. In *Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura* FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- GONZÁLEZ PÉREZ, LILIA ESTHER, [et al.]. Fitorremediación a escala piloto de suelos contaminados con mercurio y cobre usando *jatropha curcas* L. en zona minera el Alacrán. 2020. Disponible en: https://repositorio.unicordoba.edu.co/xmlui/handle/ucordoba/3405/restricted_resource?bitstreamId=c7d83f1e-d7da-4b0e-aaff-220a0fa75c13
- GONZÁLEZ CHÁVEZ, MARIA DEL CARMEN. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos Rizosféricos. *Terra Latinoamericana* [en línea]. 2005, 23 (1), 29-37 [fecha de Consulta 3 de 56 febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57323104>
- HUARANGA MORENO, FÉLIX, MÉNDEZ GARCÍA, EDUARDO, QUILCAT LEÓN, VITO, BERNUI PAREDES, FELICIANO, COSTILLA SÁNCHEZ, NOÉ, & HUARANGA ARÉVALO, FÉLIX. (2022). *Cuantificación de Cu, Pb, As y Cd absorbidos por el "girasol" Helianthus annuus L. (Asteraceae) presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros*. SCIELO. vol. 29, n. 1, pp. 119-136. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S24133299202200010019&lang=es#B2
- HUARANGA MORENO, FÉLIX, MÉNDEZ GARCÍA, EDUARDO, QUILCAT LEÓN, VITO, BERNUI PAREDES, FELICIANO, COSTILLA SÁNCHEZ, NOÉ, & HUARANGA ARÉVALO, FÉLIX. (2021). *Fitoextracción de Pb y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por metales pesados por el*

rabo de zorro *Lolium multiflorum* L. (Poaceae). SCIELO (artículo científico). Trujillo, 2021, vol. 28, n. 1, pp. 149-162. ISSN 1815-8242.

Disponible en:

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992021000100149

HUARANGA MORENO, FÉLIX, MÉNDEZ GARCÍA, EDUARDO, BERNUI PAREDES, FELICIANO, COSTILLA SÁNCHEZ, NOÉ, & HUARANGA ARÉVALO, FÉLIX. (2022). *Fitoextracción de Pb, As y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros por el “maíz” (Zea mays L.) y “beterraga” (Beta vulgaris L.)*. SCIELO (artículo científico). Trujillo, 2022, vol. 29, n. 1, pp. 99-118, ISSN 1815-8242. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992022000100099&lang=es

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. & BAPTISTA, M. (2016). Metodología de la investigación científica (8ta ed.). México: McGraw Hill. Disponible en: https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf

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. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/article/view/6019>

JIMENEZ, RAUL. Introducción a la contaminación de suelos [en línea]. España: Ediciones Mundi Prensa, 2017. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2020]. ISBN 9788484767893. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=iZg6DwAAQBAJ>

LONDOÑO, FRANCO LUIS; LONDOÑO MUÑOZ, PAULA. & MUÑOZ, FABIAN. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, [en línea]. 2016, 14 (2): 145-153. [fecha de Consulta 15 de febrero de 2021]. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

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

https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf

MADERA, CARLOS & PEÑA, ENRIQUE. Phytoremediation of Landfill Leachate with *Colocasia esculenta*, *Gynerum sagittatum* and *Heliconia psittacorum* in Constructed Wetlands. *Revista internacional de fitorremediación* [en línea]. Febrero - junio 2015, N° 1 [fecha de consulta: 28 de mayo de 2020]. ISSN 1522-6514. Disponible en:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2013.828014>

MÉNDEZ, JUDITH; RAMÍREZ, ALMA & GUTIÉRREZ, ROMÁN. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Revista tropical and Subtropical Agroecosystems* [en línea]. Mayo-julio, 2009, N° 4. [Fecha de consulta: 30 de mayo de 2020]. ISSN: 1870-0462. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>

MUNIVE, R., GAMARRA, G., MUNIVE, Y., PUERTAS, F., VALDIVIEZO, L., & CABELLO, R. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado y remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177-186. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/2918>

OTZEN, T & MANTEROLA, CARLOS. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol.* [online]. 2017, volumen. 35, n. 1 [citado 2021-06-29], pp. 227-232. ISSN 0717-9502. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022017000100037&lng=en&nrm=iso&tlng=en

PEÑA, FLOR & BELTRAN, MOISÉS. (2017) *Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando Helianthus annuus L. en la estación experimental el Mantaro*. ResearchGate 2017, p. 32. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/320750258>

RAMÍREZ PISCO, RAMIRO; GIRALDO JIMÉNEZ, DANIELA & BARRERA CRUZ, DAIRO. (2018). Fitoextracción de cadmio con hierba mora (*Solanum nigrum* L.) en suelos cultivados con cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agron*, Colombia, 2018, vol. 67, n. 3, pp. 420-424, ISSN 0120-2812. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v67n3/0120-2812-acag-67-03-00420.pdf>

RED AGRÍCOLA. La tecnología se abre paso en el cultivo de arroz [en línea]. Junio

2018. [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://redagricola.com/la-tecnologia-se-abre-paso-en-el-cultivo-de-arroz/>
- RAMIREZ, RICARDO. [et al.]. Potencial fitorremediador de la chicura (Ambrosia Ambrosioides) en suelos contaminados con metales pesados. ResearchGate 2019. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/337091068>
- RAMÍREZ, G. et al., (2019). *Potencial fitorremediador de la chicura (Ambrosia ambrosioides) en suelos contaminados por metales pesados.* (artículo científico) SCIELO. México: Revista Mexicana de ciencias agrícolas, vol. 10, no 7, ISSN 2007-0934. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007->
- SOUHIR ABDELKRIM, SALWA HARZALLI JEBARA, OMAR SAADANI, GHASSEN ABID, WAEL TAAMALLI, HASSÈNE ZEMNI, KHEDIRI MANNAI & FATEN LOUATI, MOEZ JEBARA. (2020). *Efectos in situ de Lathyrus sativus - PGPR para remediar y restaurar la calidad y fertilidad de suelos contaminados con Pb y Cd.* Ecotoxicología y Seguridad Ambiental. Túnez Volumen 192, 1 de abril del 2020, 110260. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651320300993>
- SHEHATA S., BADAUWY R. & ABOULSOUD Y. (2019). Phytoremediation of some heavy metals in contaminated soil. *Springer Open*, 1-15. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/37612613Fitorremediaciondesueloscontaminadosconmetalespesados>
- SHAH, V., & DAVEREY, A. (2020). Environmental Technology & Innovation Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation*, 18, 100774. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186419308107?via%3Dihub>
- SAMAMÉ SABOYA, F. E. & OSORES TELLO, B. A. (2020); Capacidad del *Gynerium sagittatum* para la fitorremediación de suelos de cultivos arroz con metales pesados bajo condiciones controladas, Moyobamba, 2020 [online] (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Moyobamba Perú. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55489>

- SINGH KANWAR V., SHARMA A., LAL SRIVASTAV A. & RANI L. (2020). Phytoremediation of toxic metals present in soil and water environment: a critical review. Springer, 44835–44860. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10713-3>
- XIAOQING ZHANG, YUANJIE ZHUA, ZHUANGZHUANG LIA, JIONG LI, SHAN WEI, WANGSHENG CHEN, DAJUN REN & SHUQIN ZHANG. (2023). *Evaluación de la toxicidad del cadmio y el cobre en el suelo sobre el crecimiento de la cebada y la influencia de las propiedades del suelo en suelos agrícolas subtropicales*. Investigación ambiental. China. Volumen 217, 15 de enero del 2023, 114968. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935122022952>
- 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). Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/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. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651319311881?via%3Dihub>

ANEXOS

Anexo 1:

Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Escala de medición
<p>Variable dependiente:</p> <p>Remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz</p>	<p>La remediación de los suelos utilizados para el cultivo de arroz se refiere a un proceso o acciones destinadas a restaurar la calidad del suelo subyacente que ha sido contaminado, con el propósito de volver a utilizarlo para el cultivo de arroz de manera mejorada (Hongtao et al, 2021).</p>	<p>Se determinó la concentración de cadmio y plomo existentes en el terreno agrícola de arroz antes y posterior al tratamiento. Así mismo, se evaluará su remoción.</p>	<p>Concentración de metales pesados</p>	<p>Cadmio</p> <hr/> <p>Plomo</p>	<p>mg/kg</p>	<p>Intervalo</p>
<p>Variable independiente:</p> <p>Siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i></p>	<p>Las plantas leguminosas se utilizan para inmovilizar la contaminación por metales pesados en un ambiente particular. En este proceso, la planta no producirá la absorción necesaria del contaminante, pero por precipitación del metal lo inactivará a través de este proceso biológico (Ibrahim et al., 2021).</p>	<p>Se empleó 60 plantas entre ambas especies divididas en 4 tratamientos donde se determinará la capacidad fitorremediadora.</p>	<p>Características morfológicas</p>	<p>Altura</p> <hr/> <p>N° de hojas</p> <hr/> <p>Diámetro</p> <hr/> <p>Longitud de raíz</p>	<p>cm</p>	<p>Intervalo</p>

Anexo 2:

Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Técnica e Instrumentos						
<p>Problema general ¿Cuál es la remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz, con siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i>, Tarapoto - 2023?</p> <p>Problemas específicos: PE1: ¿Cuáles son las concentraciones del Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz pre y post del tratamiento, Tarapoto 2023? PE2: ¿Cuál es el desarrollo vegetativo del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i> post tratamiento, Tarapoto 2023? PE3: ¿Cuál es el estudio óptimo de remoción de Cd y Pb con <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i>, Tarapoto 2023?</p>	<p>Objetivo general Evaluar la remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz, con siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i>, Tarapoto – 2023.</p> <p>Objetivos específicos OE1: Determinar las concentraciones del Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz pre y post tratamiento, Tarapoto 2023. OE2: Evaluar el desarrollo vegetativo del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i> post tratamiento, Tarapoto 2023. OE3: Determinar el estudio óptimo de remoción de Cd y Pb con <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i>.</p>	<p>H1: Las plantas del frijol de palo y de haba permitirán la remoción de Cd y Pb en suelos agrícolas de arroz, Tarapoto – 2023.</p>	<p>Técnica -Observación: -Análisis documental</p> <p>Instrumentos -Ficha de observación. -Cadena de custodia.</p>						
Diseño de investigación	Población y muestra	Variables y dimensiones							
<p>Diseño: Experimental</p> <p>Tipo: Aplicada</p>	<p>Población -60 plantas leguminosas -60 kilogramos de suelo agrícola de arroz</p> <p>Muestra -60 plantas, 30 de cada especie -60 kg de suelos agrícolas de arroz</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variables</th> <th>Dimensiones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dependiente: Remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz</td> <td>Concentración de metales pesados</td> </tr> <tr> <td>Independiente: Siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i></td> <td>Características morfológicas.</td> </tr> </tbody> </table>	Variables	Dimensiones	Dependiente: Remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz	Concentración de metales pesados	Independiente: Siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i>	Características morfológicas.	
Variables	Dimensiones								
Dependiente: Remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz	Concentración de metales pesados								
Independiente: Siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i>	Características morfológicas.								

Anexo 3:

Instrumentos de recolección de datos: Ficha de observación.

			DATOS GENERALES						
Nombre del sitio de estudio:					Responsable:				
Departamento:					Observaciones:				
Provincia:									
Distrito:									
Temperatura:									
Tratamientos	Coordenadas		Altura	Fecha	Periodo (días)	Características morfológicas			
	X	Y	m.s.n.m			Altura	N° de hojas	Diámetro	Long. de raíz
T1: <i>Cajanus cajan</i>									
T2: <i>Vicia faba</i>									
T3: <i>Cajanus cajan</i>									
T4: <i>Vicia faba</i>									

Instrumentos de recolección de datos: Cadena de custodia.

		DATOS GENERALES							
		Nombre del sitio de estudio:		Operador:					
Departamento:				Responsable:					
Provincia:				Observaciones:					
Distrito:									
Uso del suelo:									
Tratamientos	Coordenadas		Altura	Fecha	Periodo (días)	Concentración de metales pesados		Muestra testigo	
	X	Y	m.s.n.m			Cadmio	Plomo	Cd	Pb
T1: <i>Cajanus cajan</i>									
T2: <i>Vicia faba</i>									
T3: <i>Cajanus cajan</i>									
T4: <i>Vicia faba</i>									

Anexo 4: Validaciones de Instrumentos

Validación de especialista N° 1 – Ficha de observación



INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: Msc. Cesar Oswaldo Arévalo Hernández
 Institución donde labora : Instituto de Cultivos Tropicales
 Especialidad : Suelos
 Instrumento de evaluación : Ficha de observación
 Autor (s) del instrumento (s) : Gatica Córdova Gilberto Waldir

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

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	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación legal inherente a la variable: <i>Siembra del Cajanus cajan y Vicia faba</i>					X	
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respeto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X	
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X	
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio: <i>siembra del Cajanus cajan y Vicia faba</i>				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 expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: <i>siembra del Cajanus cajan y Vicia faba</i>					X	
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X	
PERTINENCIA	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 menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

El instrumento es aplicable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 43



Tarapoto, 19 de octubre del 2023

Validación de especialista N° 2 – Ficha de observación



INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: Dr. Andi Lozano Chung
 Institución donde labora : Universidad Nacional de San Martín Tarapoto
 Especialidad : Docente Temático
 Instrumento de evaluación : Ficha de observación
 Autor (s) del instrumento (s) : Gatica Córdova Gilberto Waldir

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

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

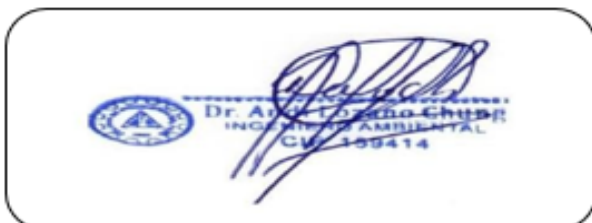
CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación legal inherente a la variable: Siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i>				X	
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.				X	
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio: siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i>					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 expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i>					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.				X	
PUNTAJE TOTAL		42				

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41 "Excelente"; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

El instrumento es aplicable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 42



Tarapoto, 20 de octubre del 2023

Validación de especialista N° 3 – Ficha de observación



INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: Ing. MSc. José Máximo Díaz Pinto

Institución donde labora : FUCOMA IES

Especialidad : Calidad Ambiental

Instrumento de evaluación : Ficha de observación

Autor (s) del instrumento (s) : Gatica Córdova Gilberto Waldir

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

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

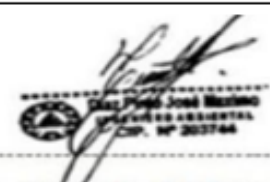
CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación legal inherente a la variable: Siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i>					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respeto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio: siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i>					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 expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: siembra del <i>Cajanus cajan</i> y <i>Vicia faba</i>					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.				X	
PERTINENCIA	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 menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

El instrumento es aplicable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:


 Ing. MSc. José Máximo Díaz Pinto

Tarapoto, 23 de octubre del 2023



INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: Msc. Cesar Oswaldo Arévalo Hernández
 Institución donde labora : Instituto de Cultivos Tropicales
 Especialidad : Suelos
 Instrumento de evaluación : Cadena de custodia
 Autor (s) del instrumento (s) : Gatica Córdova Gilberto Waldir

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

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	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación legal inherente a la variable: Remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENTE	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio: remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz					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 expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz				X	
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
PUNTAJE TOTAL		44				

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41 "Excelente"; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

El instrumento es aplicable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 44



Tarapoto, 19 de octubre del 2023



INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: Dr. Andi Lozano Chung
 Institución donde labora : Universidad Nacional de San Martín Tarapoto
 Especialidad : Docente Temático
 Instrumento de evaluación : Cadena de custodia
 Autor (s) del instrumento (s) : Gatica Córdova Gilberto Waldir

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

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	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación legal inherente a la variable: Remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.				X	
SUFICIENTE	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.				X	
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio: remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz					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 expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
PERTINENCIA	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 menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

El instrumento es aplicable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 43



Tarapoto, 20 de octubre del 2023



INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: Ing. MSc. José Máximo Díaz Pinto

Institución donde labora : FUCOMA IES

Especialidad : Calidad Ambiental

Instrumento de evaluación : Cadena de custodia

Autor (s) del instrumento (s) : Gatica Córdova Gilberto Waldir

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

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	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación legal inherente a la variable: Remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respeto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENTE	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio: remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz					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 expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: remoción del cadmio y plomo en suelos agrícolas de arroz				X	
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.				X	
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
PUNTAJE TOTAL		42				

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41 "Excelente"; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable)

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

El instrumento es aplicable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 42

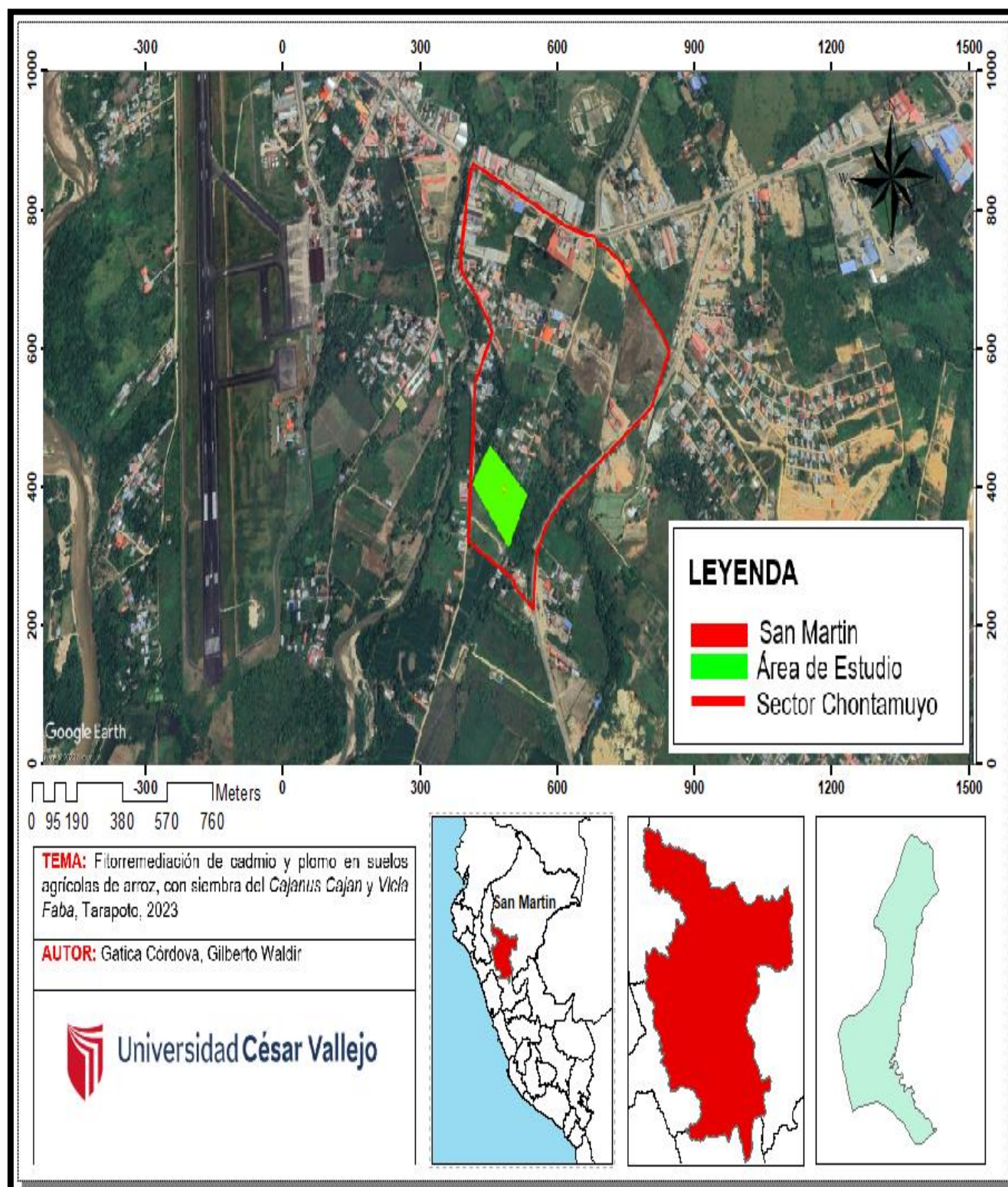


Ing. MSc. José Máximo Díaz Pinto

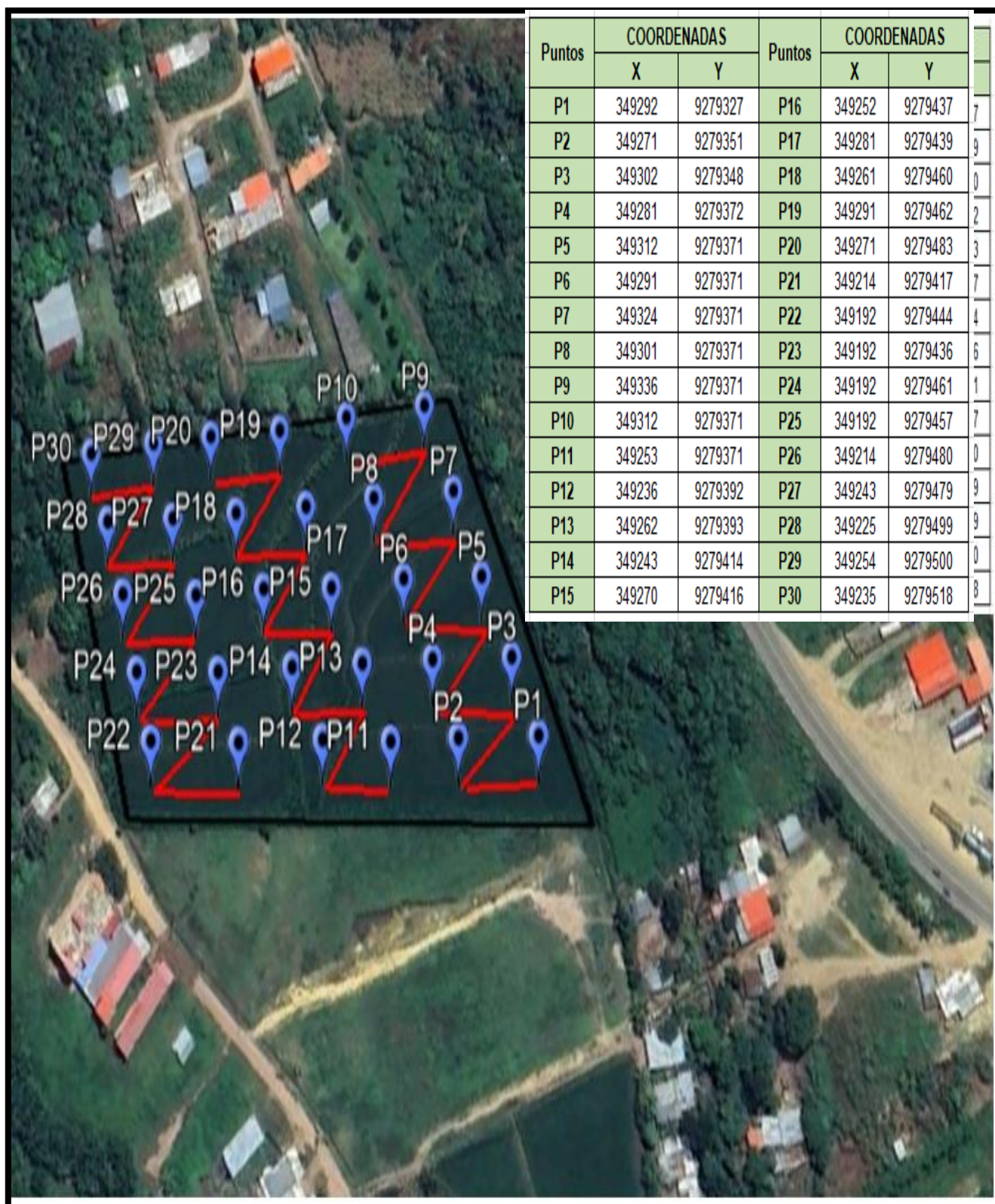
Tarapoto, 23 de octubre del 2023

Anexo 5: Mapas de ubicación

Mapa de ubicación del área de estudio – sector Chontamuyo.



Mapa de ubicación de los puntos de muestreo – sector Chontamuyo.



Anexo 6:

Reporte del análisis de suelo de la muestra testigo en el laboratorio del ICT



INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES

Investigación y Extensión agrícola para el desarrollo de la Amazonía peruana
CERTIFICADO INDECOPI N° 00072183

LABORATORIO AGRÍCOLA

INFORME DE ENSAYO N° 266-2023

Fecha de ensayo: 15/11/2023

N° Item	Codigo de laboratorio	Codigo usuario	Profundidad	Peso de muestra	N° de perforaciones	Cd	Pb	Cr	Ni
						mg/kg			
1	1056	T0- TESTIGO	20-30cm	0.582	N.E.	0.25	10.7	--	--

Nota: 1- Los resultados presentados pertenecen al ítem ensayado tal como se recibió por parte del cliente.

Nota: 2- Este informe no se puede reproducir sin la aprobación del laboratorio excepto cuando se reproduce en su totalidad.

INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES
TARAPOTO - PERU

Cesar O. Arzúo Hernández, MSc
JEFE DE DPTO. DE SUELOS

Reporte del análisis de suelo del T1 y T2 en el laboratorio del ICT



INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES

Investigación y Extensión agrícola para el desarrollo de la Amazonía peruana
CERTIFICADO INDECOPI N° 00072183

LABORATORIO AGRÍCOLA

INFORME DE ENSAYO N° 295-2023

Fecha de ensayo: 15/11/2023

N° Item	Codigo de laboratorio	Codigo usuario	Profundidad	Peso de muestra	N° de perforaciones	Cd	Pb	Cr	Ni
						mg/kg			
1	1349	T1- CAJANUS CAJAN	0-20cm	0.55	2	0.25	19.38	--	--
2	1350	T2 - VICIA JABA	0-20cm	0.67	2	0.05	3.20	--	--

Nota: 1- Los resultados presentados pertenecen al ítem ensayado tal como se recibió por parte del cliente.

Nota: 2- Este informe no se puede reproducir sin la aprobación del laboratorio excepto cuando se reproduce en su totalidad.

INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES
TARAPOTO - PERU

Cesar O. Arzola Hernandez, MSc
JEFE DE DPTO. DE SUELOS

Reporte del análisis de suelo del T3 y T4 en el laboratorio del ICT



INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES

Investigación y Extensión agrícola para el desarrollo de la Amazonía peruana
CERTIFICADO INDECOPI N° 00072183

LABORATORIO AGRÍCOLA


INFORME DE ENSAYO N° 296-2023

Fecha de ensayo: 15/11/2023

N° Item	Codigo de laboratorio	Codigo usuario	Profundidad	Peso de muestra	N° de perforaciones				
						Cd	Pb	Cr	Ni
						mg/kg			
1	1565	T3- CAJANUS CAJAN	0-20cm	0.51	1	0.10	5.50	--	--
2	1566	T4 - VICIA JABA	0-20cm	0.59	1	0.35	15.90	--	--

Nota: 1- Los resultados presentados pertenecen al ítem ensayado tal como se recibió por parte del cliente.

Nota: 2- Este informe no se puede reproducir sin la aprobación del laboratorio excepto cuando se reproduce en su totalidad.

INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES
TARAPOTO - PERU

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

20/11/2023

Página 2 de 3

Anexo 7:
Evidencias fotograficas



Elaboración de las bandejas de tratamientos con medidas de 40 cm de largo, 40 cm de ancho y 25 cm de altura.

Muestreo de suelos en la parcela agrícola de arroz del sector Chontamuyo.





Sembrado de las semillas de frijol de palo y habas en tratamientos de estudio.

Primeras 15 días de germinación del frijol de palo y habas en los tratamientos con suelos agrícolas de arroz.





Primeras 30 días de germinación del frijol de palo y habas en los tratamientos con suelo agrícola de arroz.

Primeras 45 días de germinación del frijol de palo y habas en los tratamientos con suelos agrícolas de arroz.





Primeras 60 días de germinación del frijol de palo y habas en los tratamientos con suelos agrícolas de arroz

Recolección de la muestra testigo de suelos agrícolas de arroz pre tratamiento.





Recolección de la muestra del suelo, parcela 1 con 15 plantas de frijol de palo en 0,4 m² post tratamiento.

Recolección de la muestra del suelo, parcela 2 con 15 plantas de habas en 0,4 m² post tratamiento.





Recolección de la muestra del suelo, parcela 3 con 15 plantas de frijol de palo en 0,4 m² post tratamiento.

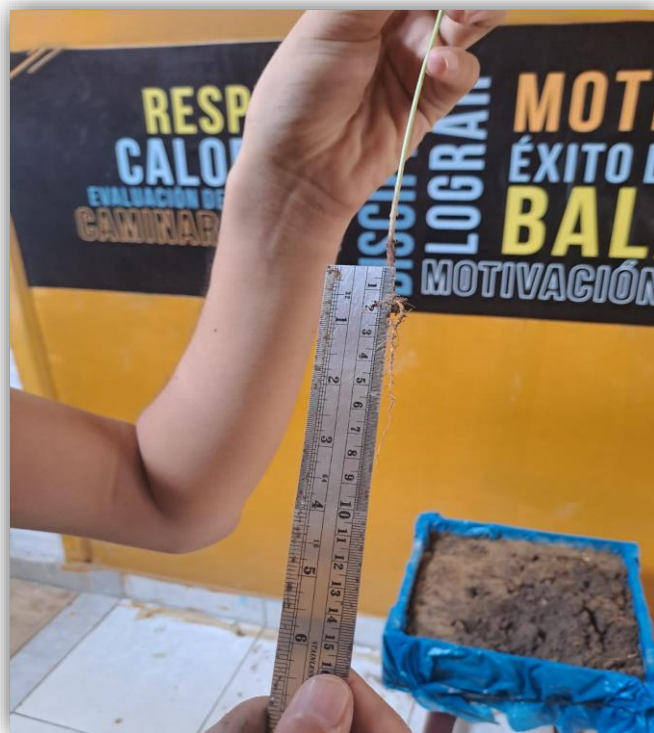
Recolección de la muestra del suelo, parcela 4 con 15 plantas de habas en 0,4 m² post tratamiento.





Registrando el conteo de hojas de las plantas de frijol de palo y habas.

Registrando la longitud de la raíz de las plantas de frijol de palo y habas.





Registrando la longitud de las plantas de frijol de palo y habas.