



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Influencia del cadmio en la multiplicación de micorrizas arbusculares y desarrollo morfológico del arroz (*Oriza sativa* L.) en San Martín

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

AUTOR:

Avellaneda Paz, Irvin Aaron (orcid.org/0000-0002-6552-8952)

ASESOR:

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas de Gestión Ambiental

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TARAPOTO- PERÚ

2023

DEDICATORIA

A dios, por haberme permitido haber llegado hasta este momento tan importante de mi vida, a mi madre Rocío, por ser la persona que me ha acompañado en el trayecto de mi vida corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos, a mi esposa Ana Kely, por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera universitaria, a mi Hijo Theo, que es mi soporte diario y mi motivación en mi vida personal y profesional sin él este logro no se hubiese completado y a mis dos angelitos Walter y Avelina, que desde el cielo me cuidan y me guían.

Irvin Aarón Avellaneda Paz

AGRADECIMIENTO

A dios por protegerme en todo mi camino y permitirme terminar esta etapa de mi vida.

A mi madre por estar siempre a mi lado demostrándome su amor incondicional a lo largo de toda mi vida.

A mi esposa e hijo quienes, con su cariño, ayuda y comprensión han sido una parte fundamental en mi vida.

A mis dos angelitos que desde el cielo están orgullosos de la persona en la que me he convertido.

Irvin Aarón Avellaneda Paz

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	9
II. MARCO TEÓRICO.....	13
III. METODOLOGÍA.....	19
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	19
3.2. Variables y operacionalización	19
3.3. Población, muestra y muestreo.....	21
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	21
3.6. Método de Análisis de datos.....	25
3.7. Aspectos éticos	25
IV. RESULTADOS	27
4.1. Efecto del Cd en la colonización y conteo de esporas de HMA	27
4.2. Efecto del Cd en el desarrollo morfológico del arroz en San Martín.	29
4.3. Contenido de biomasa radicular.....	30
V. DISCUSIÓN.....	33
5.1 Efecto del Cd en la colonización y conteo de esporas de HMA	33
5.2 Efecto del Cd en el desarrollo morfológico del arroz en San Martín.	33
VI. CONCLUSIONES	35
VII. RECOMENDACIONES	36
REFERENCIAS	37
ANEXOS.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variable: Concentraciones de cadmio	22
Tabla 2. Variable: Multiplicación de HMA y desarrollo morfológico del arroz.....	23
Tabla 3: Análisis de varianza para el número de esporas	27
Tabla 4. Análisis de varianza para la colonización micorrízica	28
Tabla 5. Análisis de varianza para la altura de plantas	29
Tabla 6. Análisis de varianza para la biomasa radicular	30
Tabla 7. Análisis de varianza para la biomasa aérea	31

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Prueba de Duncan para el número de esporas evaluadas en 50 gramos de suelo.	28
Figura 2. Prueba de Duncan para la colonización micorrízica en suelos contaminados con Cd.	29
Figura 3. Prueba de Duncan para la altura de plantas de arroz en suelos contaminados con Cd.	30
Figura 4. Prueba de Duncan para la biomasa radicular del arroz en suelos contaminados con Cd.	31
Figura 5. Prueba de Duncan para la biomasa aérea del arroz en suelos contaminados con Cd.	32

RESUMEN

Esta investigación evaluó el efecto del cadmio en la multiplicación de micorrizas arbusculares y desarrollo morfológico del arroz (*Oriza sativa* L.) en San Martín. El estudio se desarrolló en el vivero del Centro de innovación e investigación Agroforestal (CIIA), en Tarapoto, San Martín. Además, el estudio fue ejecutado entre abril a junio de 2023. La población considerada en este estudio estuvo conformada por 64 plantas de arroz, distribuidas en cuatro tratamientos y 16 unidades experimentales; de las cuales se establecieron 16 maceteros adicionales para evitar el efecto borde que pudo causar algún efecto externo al estudio. Los análisis emplearon el lenguaje de programación R versión 4.0.2, Para estudiar el efecto del tratamiento (cadmio); se aplicó el ANOVA y una prueba de comparación de medias de Duncan con una probabilidad de error del 5%. El mayor número de esporas y mayor colonización micorrízica se obtuvo con 0 ppm de cadmio con un promedio de 1156.5 ± 61.49 y 85 ± 1.92 % respectivamente; mientras que la mayor altura de plantas y mayor biomasa radicular se presentó sin la aplicación de cadmio con un promedio de 36.87 ± 0.83 y 101 ± 97 g respectivamente. El estudio mostró la protección de los HMA a plantas de arroz, tal es así que se presentó mayor altura de planta, biomasa radicular y aéreo en suelos sin contaminación de cadmio.

Palabras Clave: Cadmio, desarrollo morfológico, tallo, biomasa, colonización, HMA.

ABSTRACT

This research evaluated the effect of cadmium on the multiplication of arbuscular mycorrhizae and morphological development of rice (*Oriza sativa* L.) in San Martín. The study was carried out in the nursery of the Agroforestry Innovation and Research Center (CIIA), in Tarapoto, San Martín. In addition, the study was carried out between April and June 2023. The population considered in this study consisted of 64 rice plants, distributed in four treatments and 16 experimental units; of which 16 additional flowerpots were established to avoid the edge effect that could cause some external effect to the study. The analyzes used the programming language R version 4.0.2, to study the effect of the treatment (cadmium); ANOVA and a Duncan mean comparison test were applied with a probability of error of 5%. The highest number of spores and the highest mycorrhizal colonization was obtained with 0 ppm cadmium with an average of 1156.5 ± 61.49 and 85 ± 1.92 % respectively; while the highest plant height and root biomass occurred without the application of cadmium with an average of 36.87 ± 0.83 and 101 ± 97 g respectively. The study showed the protection of AMF to rice plants, such is the case that there was a higher height of silver, root and aerial biomass in soils without cadmium contamination.

Keywords: Cadmium, morphological development, stem, biomass, colonization, AMF.

I. INTRODUCCIÓN

El cadmio (Cd) posee una mayor movilidad y toxicidad para los organismos que otros metales pesados (Song et al., 2015). El Cd podría detectarse en cultivos que imponen graves problemas de salud (Norton et al., 2015). El arroz (*Oryza sativa* L.) es un cereal básico importante en todo el mundo, especialmente en Asia (Liu et al., 2014). Desafortunadamente, el arroz es eficiente en la absorción de Cd. Los factores de bioconcentración suelo-grano del arroz son 0,300–1,112 (Song et al., 2015). El nivel de Cd en el grano de arroz es de hasta $0,062 \pm 0,128$ mg/kg (Song et al., 2017). El cadmio del arroz es absorbido principalmente por las raíces del suelo, luego tiene que atravesar la epidermis, la exodermis, la corteza y la endodermis antes de llegar al xilema de la raíz (Schreiber y Franke, 2001). El arroz toma Cd por la corteza de la raíz y lo traslada al xilema, posteriormente se distribuye a las hojas y los granos (Uraguchi et al., 2009; Li et al., 2017). Por lo tanto, la movilidad de Cd en el suelo es esencial en el primer paso durante la absorción de Cd.

Los microorganismos del suelo desempeñan un papel importante al afectar las propiedades del suelo y el crecimiento de las plantas, lo genera alta significancia en la absorción de metales pesados (MP). Las micorrizas arbusculares (MA) son el tipo de micorrizas más comunes y forman una asociación simbiótica obligada con el 80-90% de las plantas terrestres (Smith y Read, 2008). Desempeñan un papel importante al afectar el crecimiento de las plantas (Smith y Read, 2008), no solo mediante la adquisición de nutrientes (Ma et al., 2006; Barrett et al., 2011), sino también resistir a estreses bióticos y abióticos (por ejemplo, metales pesados) para las plantas (Pozo et al., 2010).

En un estudio publicado por Chen et al. (2019) indicaron que las MA reducen moderadamente los niveles en cadmio (Cd) en raíces y brotes de plantas de arroz;

asimismo, observaron una tasa de colonización del 32 al 35 % en los inoculados con esporas de *Funneliformis mosseae* (Fm). Los autores concluyeron que los HMA lograron reducir toda la absorción de cadmio por plantas de arroz en vivero bajo condiciones controladas. Tal es así que la toxicidad del Cd afecta la formación del rendimiento del arroz y la calidad del grano al alterar la productividad (número de panículas, espiguillas por panículas y fraguado de las espiguillas (Kanu *et al.*, 2017).

Una combinación de HMA + compost (CP) presentaron el mayor crecimiento vegetal. El tratamiento HMA + CP redujo el contenido de Cd en los tallos de la planta de cacao. Los autores concluyeron que la adición de compost con HMA disminuyó la colonización de raíces por HMA y el micelio extraradical en la misma medida que los tratamientos con adición de Cd (Vallejos-Torres *et al.*, 2022). Asimismo, Vallejos-Torres *et al.* (2022) evidenciaron que el arroz actúa como un huésped adecuado al multiplica un mayor número de esporas de HMA. El tratamiento a base del inóculo de micorrizas de Mariscal Cáceres multiplicado con plantas de arroz a los 220 días, presentó la mayor población de esporas. Los autores concluyeron que el arroz podría utilizarse como planta trampa para la producción de HMA en función a su reproducción.

En conjunto, sugiere que la asociación de plantas y hongos micorrízicos arbusculares (MA), además del pH del suelo, son los dos factores principales en la determinación de las comunidades bacterianas. La interacción de plantas, bacterias, hongos MA y propiedades del suelo afecta esencialmente la acumulación final de Cd en las plantas. Sin embargo, aún no está claro si la absorción reducida de Cd es causada por el cambio de los transportadores de Cd en el arroz con micorrizas, o por la reducción de la disponibilidad de Cd en el suelo mediada por hongos MA.

Se ha planteado como formulación del problema de investigación principal lo siguiente: ¿Cuál es el efecto del cadmio en la multiplicación de micorrizas arbusculares y desarrollo morfológico del arroz (*Oriza sativa* L.) en San Martín?

Siendo los problemas específicos lo siguiente:

PE1: ¿Cuál es el efecto del Cd en la colonización y conteo de esporas de hongos micorrízicos arbusculares en San Martín?

PE2: ¿Cuál es el efecto del Cd en el crecimiento morfológico del arroz en San Martín?

Se ha establecido como Justificación social el efecto potencial de las micorrizas arbusculares en la retención del Cd en plantas de arroz evitando que este elemento toxico suba del suelo a las plantas y granos de arroz que podrían generar. El riesgo de cáncer de endometrio se asocia significativamente con la ingesta de Cd y el riesgo aumenta consumiendo >15 µg/día de Cd, principalmente de cereales y verduras (Åkesson et al., 2008). Seguido la Justificación metodológica, se justifica debido a que existe mucha información sobre el impacto potencial de las micorrizas en reducir el Cd en suelos y raíces de plantas; existen metodologías, recursos científicos, tales como artículos y documentos científicos, congresos, etc publicadas en diferentes bases de datos de alto factor de impacto como SCOPUS, Web of Science, etc.

Por eso la Justificación económica es viable debido al poco costo que requiere al usar esporas de micorrizas arbusculares, a parte que beneficia el crecimiento morfológico ya que los HMA son considerados biofertilizantes y biorremediadores de suelos; otras de las razones se deben a que fácilmente el productor podría tener sus bancos de micorrizas y generar una producción masiva para diversos cultivares de arroz y tener disponibilidad de esporas de HMA al alcance de los productores de arroz. Esta investigación planteó el objetivo general sustentada, OG: Evaluar el efecto del cadmio en la multiplicación de micorrizas arbusculares y desarrollo morfológico del arroz (*Oryza sativa* L.) en San Martín. Así mismo, se plantearon como objetivos específicos lo siguiente:

Se formularon los siguientes objetivos específicos: OE1: Determinar el efecto del Cd en la colonización y conteo de esporas de hongos micorrízicos arbusculares en San Martín, OE2: Determinar el efecto del Cd en el desarrollo morfológico del arroz en San Martín.

Se ha planteado como hipótesis de investigación principal a: La multiplicación de micorrizas arbusculares y el desarrollo morfológico del arroz (*Oriza sativa* L.) se ven mediadas por el contenido de cadmio en San Martín. Siendo las hipótesis específicas lo siguiente: 1) La colonización y conteo de esporas de hongos micorrízicos arbusculares se ven mediadas por el contenido de cadmio en San Martín y 2) El desarrollo morfológico del arroz se ven mediadas por el contenido de cadmio en San Martín

II. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo muestra los resúmenes de los antecedentes nacionales e internacionales y el fundamento teórico del tema.

Zhunaula et al. (2021) en el estudio “Estimación del contenido de arsénico en arroz comprado en los mercados peruanos y estimación de la ingesta dietética de los peruanos a través del consumo de arroz” en Perú; tuvieron como objetivo cuantificar el arsénico total (tAs) en 31 arroces domésticos (arroz blanco, n=19; arroz integral, n=7; arroz sancochado, n=5) de diferentes marcas comprados en mercados peruanos. La metodología consistió en comparar el tAs con los límites máximos prescritos por las agencias reguladoras. Los autores compararon la ingesta dietética (DI), la exposición dietética (DE) y el margen de exposición (MOE). Las concentraciones de tAs en arroz blanco, integral y sancochado fueron $0,292 \pm 0,106 \text{ mg kg}^{-1}$, $0,401 \pm 0,081 \text{ mg kg}^{-1}$, $0,229 \pm 0,03 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. En el estudio emplearon el ANOVA unidireccional y aplicaron la prueba post hoc de Tukey para determinar diferencias significativas. Los análisis estadísticos fueron analizados por el software gratuito CRAN R versión 3.2.6. En los resultados encontraron que el volumen de arsénico en arroz blanco superó los límites recomendados por la FAO/OMS ($0,20 \text{ mg kg}^{-1}$) y la legislación europea ($0,25 \text{ mg kg}^{-1}$), pero no los límites del Mercosur ($0,3 \text{ mg kg}^{-1}$). La DE mostró que, en promedio, los peruanos consumen semanalmente $5,60 \mu\text{g As kg}^{-1}$ PC. El valor de MOE fue superior a 1 en el nivel medio de exposición dietética. De los hallazgos concluyeron que el riesgo de la exposición al arsénico para la salud en la dieta es bajo para la población peruana. Sin embargo, se necesitan más estudios para reducir la exposición al arsénico en la dieta en Perú.

Vallejos-Torres et al. (2022) en el estudio “El efecto combinado de HMA y compost mejora el crecimiento, los parámetros del suelo y disminuye la absorción de cadmio en plantas de cacao desarrollado en Tarapoto, San Martín. Tuvieron como objetivo investigar el efecto sinérgico de los HMA y la enmienda orgánica en plantas de cacao

que crecen en suelos contaminados con Cd. El estudio fue desarrollado en macetas para investigar la influencia de la inoculación de HMA, la aplicación de compost (CP) y la adición de cadmio (Cd) en el desarrollo de las plantas de cacao. El experimento estuvo constituido por un diseño trifactorial $2 \times 2 \times 2$ con aplicación de Cd (0 y 5 mg kg⁻¹), adición de compost (0 y 200 g/plantas) e inoculación con HMA, dispuestos en un diseño completamente al azar con tres repeticiones. El inóculo estuvo compuesto por una mezcla de esporas de las siguientes especies de HMA: *Glomus hoi*, *Rhizoglomus* sp., *Diversispora aurantia* y *Acaulospora* sp. Los resultados mostraron que con una combinación de HMA + CP se presentaron el mayor crecimiento vegetal. El tratamiento HMA + CP redujo el contenido de Cd en los tallos de la planta de cacao. El tratamiento combinado HMA+ CP, fue el más efectivo para aumentar el pH, la materia orgánica y el contenido de fósforo disponible en el suelo. Los autores concluyeron que la adición de compost con HMA disminuyó la colonización de raíces por HMA y el micelio extraradical en la misma medida que los tratamientos con adición de Cd.

Lien et al. (2021) en el estudio “Niveles de cadmio de metales pesados en arroz (*Oryza sativa* L.) producido en Taiwán”; tuvieron como objetivo evaluar los niveles de Cd en el arroz para determinar los riesgos que podría causar este MP en la salud de la población que consume dicho cereal; distribuidos en varios subgrupos de edad y género en Taiwán. La metodología consistió en utilizar 1 581 muestras de arroz doméstico de las asociaciones de agricultores locales en las áreas de producción y a su vez recolectaron muestras al azar de los mercados locales. Las muestras fueron sellaron en bolsas plásticas, de al menos 600 g por muestra. La distribución de la concentración de Cd, la dosis diaria promedio de por vida (LADD) y el índice de riesgo (HI) fueron estimados mediante simulación de Monte Carlo. La información fue analizada por el software SPSS versión 10.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). A su vez calcularon los valores medio, mínimo y máximo y las desviaciones estándar para describir el contenido de Cd en las muestras de arroz, mediante un diseño no experimental. Los resultados mostrados indicaron que los hombres entre las edades de 19 y 65 años consumen arroz con un valor promedio de 0,06 µg/kg de peso corporal por día, y el índice de riesgo (IR) 50, 90, y los percentiles 95 fueron 0,16, 0,69 y 1,54

respectivamente. Los autores concluyeron que la exposición más alta a Cd se observó en el área de Yilan (IR 0,64). Por lo tanto, los niveles actuales de Cd en el arroz consumido en la dieta taiwanesa no constituyen un problema de seguridad y salud pública.

Chen et al. (2019) en el estudio “Los hongos micorrízicos arbusculares y la comunidad bacteriana asociada influyen en la absorción de cadmio en el arroz” desarrollado en China; tuvieron como objetivo estudiar los mecanismos sobre cómo la gestión del agua puede minimizar los niveles de metales pesados en los granos de arroz. La metodología consistió en tomar semillas de Hanyou 3, obtenidas de Shanghai Academia de Ciencias Agrícolas, China, lo desinfectaron con un 10 % de agua oxigenada (H₂O₂) durante 15 min y lo lavaron con abundante agua destilada por dos veces. Las semillas fueron germinadas en un invernadero, bajo temperaturas día/noche de 28/22 °C y humedad relativa de 80–85 %. En el estudio inocularon con *Funneliformis mosseae* (Fm) o *Rhizophagus intraradices* (Ri) al arroz cultivado en suelos enriquecidos con 0 Cd y 10 µM. El estudio empleó un diseño experimental de 3x2 con seis tratamientos; cuyos análisis estadísticos fueron realizados con SPSS v22 y ejecutaron la prueba t de Student para comparar las medias derivadas de los diferentes tratamientos. Evaluaron la colonización por HMA, biomasa vegetal, contenido de Cd y propiedades del suelo en plantas de arroz. Los resultados encontrados indicaron que Los HMA disminuyeron significativamente (P<0,05) las concentraciones de Cd en raíces y brotes, especialmente para el tratamiento de Ri. La mayor abundancia relativa de Actinobacteria (principalmente del género *Arthrobacter*) observado en el tratamiento con RiA, probablemente absorbió Cd en la superficie y, por tanto, disminuyó la disponibilidad del metal pesado para el arroz; asimismo, observaron una tasa de colonización del 32 al 35 % en los inoculados con Fm. Los autores concluyeron que los hongos micorrízicos lograron reducir toda la absorción de cadmio por plantas de arroz en vivero bajo condiciones controladas.

Pérez et al. (2019) evaluaron la absorción de Cd en plántulas de cacao (IMC 67) inoculada con micorrizas arbusculares para determinar su impacto significativo en la retención del Cd como inmovilización en el sistema radicular en Colombia. Plantearon un diseño de bloques completos al azar con tres réplicas y 20 tratamientos en arreglo bifactorial 4 × 5, un testigo; con aplicación de dos especies de HMA (*Glomus macrocarpum*, *Rhizoglomus intraradices* y una cepa de HMA nativo con cinco niveles de Cd (0, 6, 12, 18 y 24 mg kg⁻¹). Como parte de las variables de estudio midieron el crecimiento de la planta y biomasa seca de tallos, hojas y raíces; asimismo, niveles de Cd en la biomasa morfológica de las plantas. Los autores obtuvieron valores muy importantes en la cual demostraron que las plantas de cacao inmovilizaban el Cd con facilidad a todos los órganos (tallos, hojas y raíces), es decir, pueden vivir en estas condiciones; mientras que las plantas inoculadas con HMA nativos, redujeron severamente la acumulación de Cd en los tejidos vegetales. Los autores concluyeron que los HMA muestran gran importancia en la mitigación del estrés que presentan las plantas en la translocación de del Cd como metal pesado.

Kanu et al. (2017) en el estudio “Absorción y distribución de Cd en arroz fragante y consecuencias relacionadas en características de rendimiento y calidad del grano” desarrollado en China; tuvieron como objetivo de analizar el desarrollo de plantas y el efecto del Cd en un invernadero de China entre los años 2015 y 2016. En la metodología utilizaron diseños al azar que comprendió cinco cultivares de arroz fragantes diferentes (Meixiangzhan 2, Xiangyaxiangzhan, Guixiangzhan, Basmati y Nongxiang 18) y cuatro fases de Cd (0; 50; 100 y 150 mg.kg⁻¹ de suelo). Establecieron un diseño experimental en condiciones controladas con diferentes tratamientos de cadmio; los datos obtenidos en este estudio fueron analizado usando Microsoft Excel 2007 y sujeto a un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y las diferencias de medias fueron comparados por LSD de Fisher. Los resultados encontrados indicaron que con aplicaciones de CdCl₂ en el suelo lograron incrementar el Cd en el sistema radicular y tejidos vegetales, Mostrando mayores concentraciones de Cd en las raíces a comparación de los brotes, con la mayor absorción tanto en las raíces como en los brotes observados, debido al aumento de la toxicidad del Cd. Los autores concluyeron

que la toxicidad del Cd afectó la formación del rendimiento del arroz y la calidad del grano al alterar la productividad (número de panículas, espiguillas por panículas y fraguado de las espiguillas (%)).

Fundamento teórico de la problemática de investigación

La propagación de esporas de micorrizas arbusculares como biorremediación aun es incipiente; pues no se ha producido esporas de HMA a gran escala o medianamente para fines de retención de Cd en los suelos, por lo tanto, en este estudio se pretende determinar tratamientos con potencial para retener cadmio con HMA, de tal manera se logre un desarrollo de plantas de arroz libre o con baja disminución de Cd. Se conoce que la producción masiva de nivel comercial aún está en proceso de estudio y este trabajo podría contribuir enormemente la explotación comercial que está en investigación inicial (Kadian et al., 2013). La producción de esporas de HMA en grandes y pequeñas cantidades están mediados por el hábitat, tipo de hospedero, cultivo, procedencia, tipos de suelos, condiciones ambientales, sustratos entre otros (Kadian et al., 2018).

Diferentes investigaciones han mencionado que la simbiosis entre HMA y los vegetales pueden disminuir la translocación de metales pesados (MP) en diferentes cultivos agrícolas como el cacao y el arroz; por lo tanto, desarrollar herramientas que permitan aplicar HMA eficientemente como biorremediadores podrían generar un gran impacto ambiental, libre de contaminantes por MP (Li et al., 2016; Merlos et al., 2016). Los HMA presentan estructuras como las vesículas e hifas capaces de generar una microproteína conocido como glomalina que contraresta los MP mediante las hifas (Hildebrandt et al., 2007). La glomalina generada por los HMA han demostrado su gran impacto en establecer enlaces con moléculas de alta toxicidad, a pesar de que se puede inmovilizar < 1% del Cd total presente en el suelo, constituyendo una barrera eficiente en la remediación de Cd (Shahabivand et al., 2012; Lopes et al., 2016).

En conjunto, sugiere que la asociación de plantas y hongos MA, además del pH del suelo, son los dos factores principales en la determinación de las comunidades bacterianas. La interacción de plantas, bacterias, hongos MA y propiedades del suelo afecta esencialmente la acumulación final de Cd en las plantas. Sin embargo, aún no está claro si la absorción reducida de Cd es causada por el cambio de los transportadores de Cd en el arroz con micorrizas, o por la reducción de la disponibilidad de Cd en el suelo debido a la comunidad bacteriana esculpida por hongos MA. Se plantea la hipótesis de que los HMA pueden cambiar la comunidad bacteriana del suelo, pero no los transportadores de Cd (Chen et al., 2019).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El estudio planteó evaluar el efecto del cadmio en la multiplicación de micorrizas arbusculares y desarrollo morfológico del arroz (*Oriza sativa* L.) en San Martín., aplicando métodos numéricos y la estadística para generar conocimientos científicos (Hernández, et al., 2014, p.152).

3.1.2. Diseño de investigación

Se estableció un análisis experimental; debido a que se manipularon las variables a medir y se consideró tal como se encontró distribuido en sus tratamientos estudiados. Asimismo, es de carácter descriptivo como lo plantea (Hernández, et al., 2014, p.152).

El estudio fue realizado en el Centro de innovación e investigación Agroforestal (CIIA), en el distrito de Tarapoto, región San Martín. Además, el estudio fue ejecutado entre abril a junio de 2023. La ciudad de Tarapoto presenta una altitud de 875 m. s. n. m. con una temperatura promedio de 24 °C; ubicada a una altitud de 230 m. s.n.m, con una temperatura promedio de 24,6 °C con una precipitación promedio de 119 mm por mes y una humedad relativa superior al 80 %.

3.2. Variables y operacionalización

Variable Independiente: Concentraciones de cadmio. Según la tabla de operacionalización de variables se detalla a continuación lo siguiente:

Definición conceptual: Las plantas absorben Cd del aire, el agua, el suelo y los sedimentos. El cadmio retarda la fotosíntesis de la hoja, lo que afecta el crecimiento y

desarrollo del arroz, como el tamaño de la hoja, la altura de la planta, el desarrollo y la biomasa de la planta (Liu et al., 2015).

Definición operacional: Se hizo uso de información sustancial, correspondiente a metodologías validados y publicados en artículos de alto factor de impacto; por tal motivo, se planteó como objetivos determinar el efecto del Cd en la colonización y conteo de esporas de hongos micorrízicos arbusculares y determinar el efecto del Cd en el desarrollo morfológico del arroz en San Martín. Se establecieron cuatro tratamientos con 4 repeticiones; es decir 16 unidades experimentales (UE) considerados en función a un macetero de 3 kg de suelos conteniendo 4 plantas de arroz en cada macetero; distribuidos en cuatro concentraciones de Cd (0, 1, 3 y 5 ppm).

Escala de medición: ppm, %.

Variable Dependiente: Colonización micorrízica, conteo de esporas de HMA, altura de planta de arroz, biomasa radicular y aéreo.

Definición conceptual:

Los altos niveles de contaminación por Cd pueden afectar negativamente la germinación de esporas de HMA, el crecimiento de micelio extraradical y la colonización de micorrizas (Chan et al. 2013). Los metales pesados inhiben la germinación de esporas de HMA y la propagación de hifas en condiciones controladas, se ha descubierto que estos contaminantes reducen o suprimen el crecimiento de las raíces de las plantas y la colonización de HMA (Riaz et al. 2021). Con concentraciones de Cd en el suelo aplicando los HMA mejoran el desarrollo de las plantas comparados con tratamientos sin HMA.

Definición operacional: En los cuatro tratamientos se evaluaron la colonización micorrízica, conteo de esporas de HMA, altura de planta de arroz y biomasa radicular y aérea.

Escala de medición: %, contadas, cm, m² y g.

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población

La población considerada en este estudio estuvo conformada por 64 plantas de arroz, distribuidas en cuatro tratamientos y 16 unidades experimentales; de las cuales se establecieron 16 maceteros adicionales para evitar el efecto borde que pudo causar algún efecto externo al estudio.

Criterios de inclusión

Para la evaluación de la altura de planta se consideró al promedio de las cuatro plantas de arroz; es decir un valor por cada macetero.

Criterios de exclusión

Se excluyeron aquellas plantas que no lograron un desarrollo morfológico normal tanto en el crecimiento y sistema radicular.

3.3.2 Muestra

La muestra considerada en este estudio estuvo conformada por 64 plantas de arroz, distribuidas en cuatro tratamientos y 16 unidades experimentales.

3.3.3. Muestreo

Tanto para la Colonización micorrízica, conteo de esporas de HMA, altura de planta de arroz, biomasa radicular y aérea, se consideraron los valores de 16 plantas de arroz considerados dentro de ellos cuatro tratamientos y cuatro repeticiones.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Para la toma de datos, se hizo uso de técnicas de observación participativa y la toma de datos realizado en el vivero logrado por efecto de los tratamientos. Para la presente investigación, se aplicó el instrumento de formato de base de datos donde estuvo distribuida por tratamientos y repeticiones en función a 16 unidades experimentales,

donde se registró de los datos recopilados, que se obtuvieron a los 70 días de instalados el estudio (Arias, 2020).

Instrumento de recolección de datos

La metodología se sustenta en el uso de formatos para toma de datos en base al planteamiento de publicaciones científicas publicados en diversas bases de datos como Scopus, Web of Science, Scielo, etc siendo estos los autores: Sun et al., 2018; Fengge et al., 2019 y Vallejos-Torres et al., 2022. Asimismo, los formatos de base de datos fueron distribuidas por variable de estudio teniendo en cuenta a los objetivos específicos y la matriz de evaluación por juicio de expertos. Las unidades experimentales; asimismo, estuvo sustentada por cuatro repeticiones para cada tratamiento (4 tratamientos: 0, 1, 3 y 5 ppm de Cd).

Validez de los instrumentos

Los formatos y herramientas empleados en este estudio fueron analizados y validados por expertos en el tema tratado; siendo los expertos profesionales de las carreras de ingeniería ambiental y agrícola (Ver Anexo 2). Se adjunta la lista de expertos indicados que validaron los instrumentos:

Tabla 1. Variable: Concentraciones de cadmio

Nº	Especialista	Especialidad	Calificación
1	Dr. Andi Lozano Chung	Ambiental	44
2	M.Sc. Harry Saavedra Alva	Agrónomo	44
3	Dr. Karla Mendoza López	Ambiental	42

Tabla 2. Variable: Multiplicación de HMA y desarrollo morfológico del arroz

Nº	Especialista	Especialidad	Calificación
1	Dr. Andi Lozano Chung	Ambiental	44
2	M.Sc. Harry Saavedra Alva	Agrónomo	44
3	Dr. Karla Mendoza López	Ambiental	42

De acuerdo a la firma y validación de los instrumentos se procedió a realizar el estudio experimental con las 16 unidades experimentales planteados para determinar la influencia del cadmio en la multiplicación de HMA y desarrollo morfológico del arroz.

Confiabilidad

La confiabilidad de la base de datos fue revisada por el asesor y eprofesionales expertos en el tema; al mismo tiempo que se comprobó la distribución normal d ellos datos realizados a través del software R Studio, cuyo fin fue aceptar los formatos e instrumentos del estudio.

3.5. Procedimientos

Efecto del Cd en la colonización y conteo de esporas de HMA

Las plántulas de arroz fueron germinadas en sustratos estériles por un periodo de 20 días y cuando tuvieron un promedio de 10 a 12 cm de longitud, fueron trasplantadas a maceteros de plásticos con 3 kg de sustrato conteniendo concentraciones de cadmio de acuerdo a las concentraciones establecidas (0, 1, 3 y 5 ppm). Previo al estudio para ayudar a estabilizar el contaminante, el suelo contaminado con cadmio se expuso al viento 30 días antes de instalado el estudio, agitándose tres veces cada 10 días (Li et al. 2016). Los HMA que se utilizaron en este análisis estuvieron compuestos por un consorcio constituido por las especies de *Rhizoglo mus* sp, *Diversispora aurantia*, *Microkamienskia* sp. y *Microkamienskia peruviana*.

Evaluación de la colonización micorrízica en la raíz

La colonización de micorrizas se evaluó a partir de la obtención de raíces finas terciarias y/o secundarias de plántones de arroz colectados desde maceteros al culminar el ensayo; estas fueron teñidas con tinta Parker color azul, siguiendo la metodología de Phillips y Hayman, (1970). El proceso consistió en extraer las raíces y depositarlas en placas con abundante agua para facilitar el desglose de las partículas de tierra adheridas a las raíces. Las raíces lavadas se depositaron en tubos de ensayo de 16 x 150 mm con una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10 % sumergiendo por 180 minutos, con el propósito de hidratar las raíces.

Todos los tubos de ensayo se depositaron en el baño maría a 90 °C por 45 minutos facilitando el movimiento del contenido citoplasmático y aclarar las estructuras del tejido cortical de las raíces. Concluido el tiempo se desechó el excedente de tinta de los tubos y se lavó nuevamente en tres repeticiones las raíces con lactoglicerol. Finalmente, estas muestras se dejaron a temperatura ambiente hasta el momento de su cuantificación.

Teniendo listo las raíces teñidas con la tinta Parker, estas fueron montadas en láminas porta objeto, para ello se depositaron en una placa todas las raíces teñidas de arroz; a partir de allí y con una pinza metálica se colocó en dos campos un total de 20 raíces (10 raíces por cada campo). La evaluación se ejecutó con la ayuda de un microscopio a 10x, 20x y 40x de aumento, observándose la presencia y ausencia de estructuras micorrízicas de los HMA mediante la metodología de Brundrett *et al.* (1996).

Para determinar la colonización micorrízica en raíces de arroz se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ CM} = (n/N) \times 100$$

Dónde:

% CM= Colonización micorrízica.

n= número total de zonas con presencia de estructuras micorrízicas.

N= Número total de segmentos evaluados.

Evaluación del número de esporas de HMA

Se realizó en base al aislamiento de esporas de HMA, propuesta por León, (2006), consistente en el tamizado húmedo y decantación, metodología de Gerdemann y Nicolson, (1963) y con solución de sacarosa (Jenkins, 1964). Para ello se emplearon placas petri a razón de 20 g de suelo, al cual se adiciono agua al ras de la placa; suficientemente como para humedecer y suavizar la muestra; esto se reposó por dos minutos, esto se vació en un tamiz de 38 μm Finalmente se precedió a observar las esporas haciendo uso de un microscopio estereoscópico a 2X de aumento.

Determinar el efecto del Cd en el desarrollo morfológico del arroz en San Martín

La altura de la planta se midió desde la base hasta la punta más alta de la hoja a los 70 días de instalado el estudio. Finalmente se realizó la destrucción de los maceteros; donde las raíces se enjuagaron brevemente, se secaron rápidamente sobre papel y se sometieron a análisis morfológico; es decir ingresó a la estufa a 105 °C por 24 horas; el peso se realizó antes y después de ingresar a la estufa.

3.6. Método de Análisis de datos

Previo al análisis, se comprobó la normalidad de los datos utilizando la prueba de Shapiro Wilk y los datos de porcentaje fueron transformados por arcoseno. Para estudiar el efecto del tratamiento (cadmio), los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Duncan con una probabilidad de error del 5%. Adicionalmente se evaluó la relación entre los datos mediante el coeficiente de correlación de Pearson. La sistematización fue analizada en el programa R versión 4.0.2

3.7. Aspectos éticos

Para esta investigación empleamos informaciones de gran impacto publicados en fuentes indizados en la base de datos de SCOPUS; extraído a partir de reportes científicos publicados y teniendo en cuenta las NORMAS ISO y los lineamientos

estructurados por la Universidad César Vallejo y RVI N°062-2023-VI-UCV - articulación líneas investigación UCV – RSU.

IV. RESULTADOS

4.1. Efecto del Cd en la colonización y conteo de esporas de HMA

Número de esporas de HMA

El análisis de varianza para el número de esporas de HMA evidencia diferencia significativa, debido al efecto de los tratamientos de cadmio (Tabla 3).

Tabla 3: Análisis de varianza para el número de esporas

	GL	SC	CM	Fc	p-value
Concent. de Cd	3	974705	324968	68.178	<0.001*
Residuo	8	38132	4766		
Total	11	1013036			

Interpretación de p: *= Significativo; n.s.= No Significativo

La prueba de Duncan, muestra el mayor número de esporas en 0 ppm de cadmio con un promedio de 1156.5 ± 61.49 ; mientras que el menor número lo presentó la concentración de 3 ppm con un valor de 398 ± 16.74 (Figura 1). Extiendo diferencias significativas para las esporas en todas las concentraciones de cadmio.

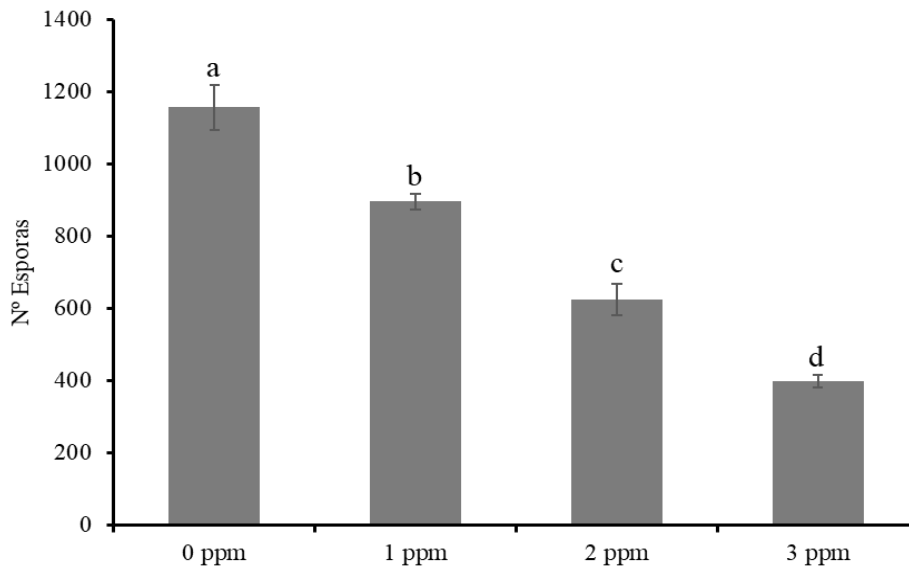


Figura 1. Prueba de Duncan para el número de esporas evaluadas en 50 gramos de suelo.

Colonización micorrízica

El análisis de varianza para la colonización micorrízica de HMA evidencia diferencia significativa, debido al efecto de los tratamientos de cadmio (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de varianza para la colonización micorrízica

	GL	SC	CM	Fc	p-value
Concent. Cd	3	1.22105	0.40702	157.62	<0.001*
Residuo	8	0.02066	0.00258		
Total	11	1.24171			

Interpretación de p: *= Significativo; n.s.= No Significativo

La prueba de Duncan, muestra la mayor colonización micorrízica en 0 ppm de cadmio con un promedio de 85 ± 1.92 %; mientras que la menor colonización lo presentó la concentración de 3 ppm con un valor de 25.03 ± 1.54 % (Figura 2). Extiende diferencias significativas para las esporas en todas las concentraciones de cadmio.

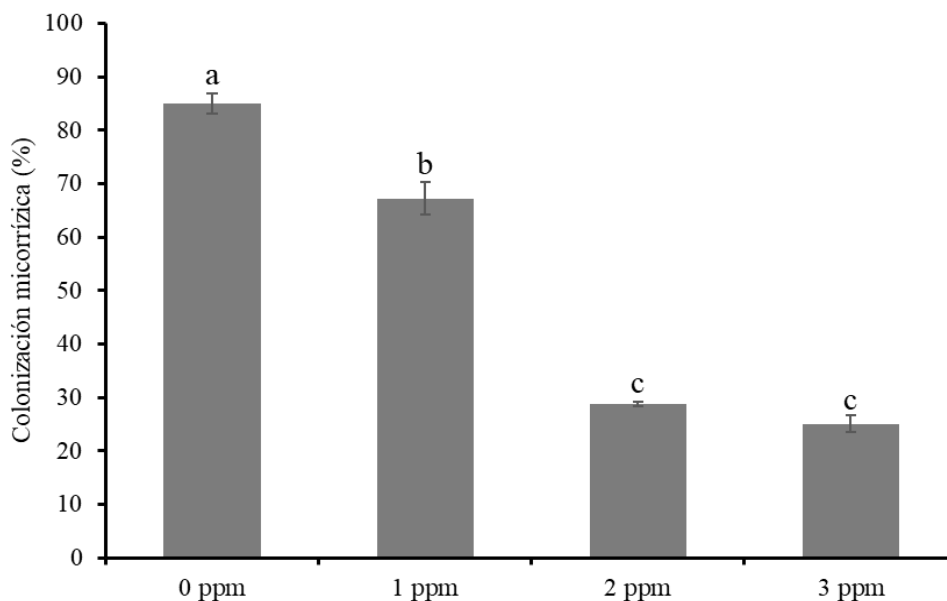


Figura 2. Prueba de Duncan para la colonización micorrízica en suelos contaminados con Cd.

4.2. Efecto del Cd en el desarrollo morfológico del arroz en San Martín.

Altura de plantas de arroz

El análisis de varianza para la altura en plantas de arroz evidencia diferencia significativa en la en los tratamientos con cadmio (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de varianza para la altura de plantas

	GL	SC	CM	Fc	p-value
Concent. Cd	3	522	174	64.604	<0.001*
Residuo	8	21.55	2.693		
Total	11	543.55			

Interpretación de p: *= Significativo; n.s.= No Significativo

La prueba de Duncan, muestra la mayor altura de plantas sin la aplicación de cadmio con un promedio de 36.87 ± 0.83 cm; mientras que la menor altura lo presentó la concentración de 3 ppm con un valor de 20.93 ± 0.56 cm (Figura 3). Extiendo diferencias significativas en la altura del arroz en concentraciones de 0, 1 y los tratamientos 2 y 3 ppm de Cd.

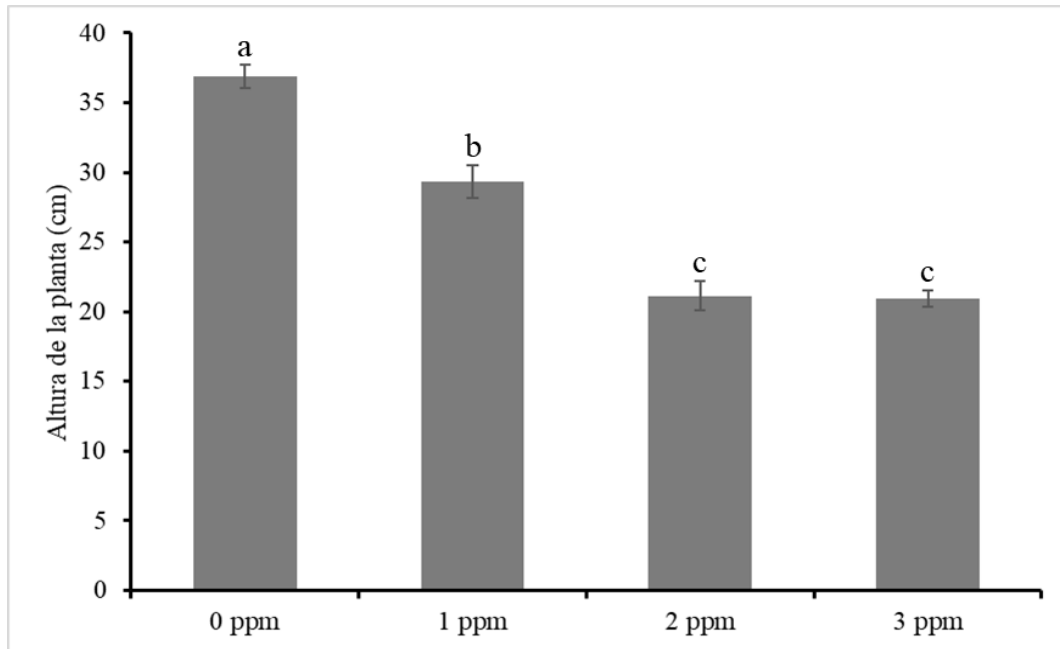


Figura 3. Prueba de Duncan para la altura de plantas de arroz en suelos contaminados con Cd.

4.3. Contenido de biomasa radicular

El análisis de varianza para la biomasa radicular en plantas de arroz evidencia diferencia significativa en la en los tratamientos con cadmio (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de varianza para la biomasa radicular

	GL	SC	CM	Fc	p-value
Concent. Cd	3	675.67	225.223	8.3254	0.007*
Residuo	8	216.42	27.053		
Total	11	892.09			

Interpretación de p: *= Significativo; n.s.= No Significativo

La prueba de Duncan, muestra la mayor biomasa radicular sin la aplicación de cadmio con un promedio de 120.83 ± 1.67 g; mientras que la menor biomasa lo presentó la concentración de 3 ppm con un valor de 101 ± 97 g (Figura 4). Extiende diferencias

significativas en la biomasa radicular del arroz en concentraciones de 0, 1 y los tratamientos 2 y 3 ppm de Cd.

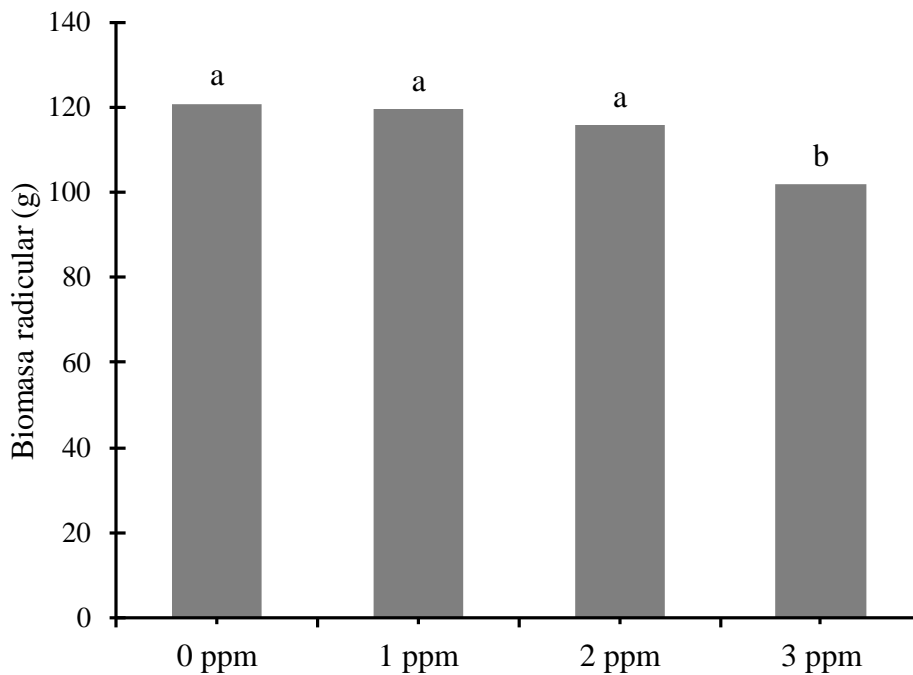


Figura 4 Prueba de Duncan para la biomasa radicular del arroz en suelos contaminados con Cd.

Contenido de biomasa aérea

El análisis de varianza para la biomasa aérea en plantas de arroz evidencia diferencia significativa en la en los tratamientos con cadmio (Tabla 7)

Tabla 7. Análisis de varianza para la biomasa aérea

	GL	SC	CM	Fc	p-value
Concent. Cd	3	140.02	46.773	11.444	0.003*
Residuo	8	32.627	4.078		
Total	11	172.647			

Interpretación de p: *= Significativo; n.s.= No Significativo

La prueba de Duncan, muestra la mayor biomasa aérea sin aplicación de cadmio con un promedio de 45.97 ± 0.97 g; mientras que la menor biomasa lo presentó la concentración de 3 ppm con un valor de 37.76 ± 1.45 g (Figura 5). Extiendo diferencias significativas entre tratamientos.

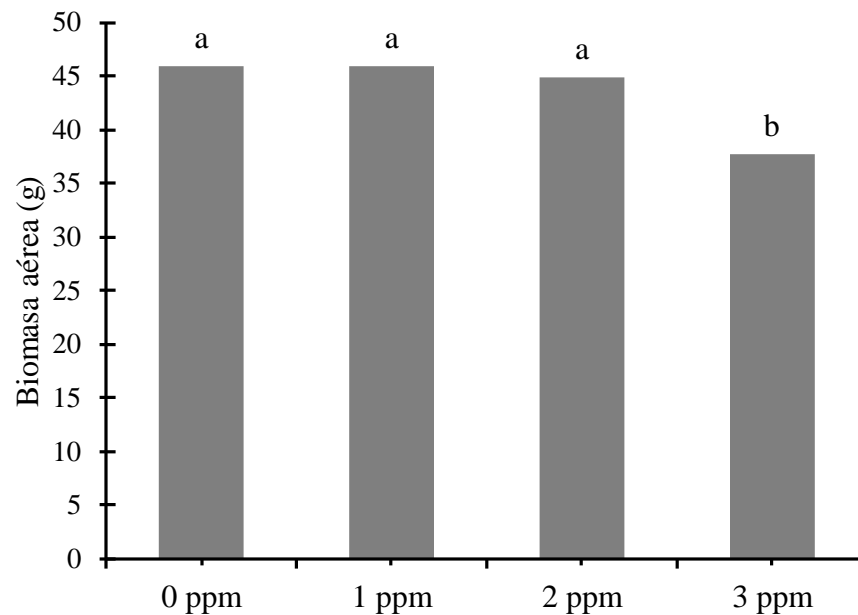


Figura 5. Prueba de Duncan para la biomasa aérea del arroz en suelos contaminados con Cd.

V. DISCUSIÓN

5.1 Efecto del Cd en la colonización y conteo de esporas de HMA

El estudio mostró el mayor número de esporas y colonización logrados sin la aplicación de esporas y el menor número obtenido con 3 ppm de Cd. Es sabido que los metales pesados inhiben la germinación de esporas de HMA y la propagación de hifas y, en condiciones controladas, se ha descubierto que estos contaminantes reducen o suprimen el crecimiento de las raíces de las plantas y la colonización de HMA (Riaz et al. 2021). En suelos cacaoteros, naturalmente ricos en Cd, Sandoval-Pineda et al. (2020) encontraron menos abundancia, riqueza y diversidad de HMA que en suelos con bajos niveles de Cd

Los hongos MA tienen la capacidad potencial de reducir la acumulación de Cd y las consecuencias beneficiosas de las asociaciones de micorrizas en el crecimiento de las plantas en suelos contaminados con metales pesados. Las altas concentraciones de Cd fueron tóxicas para las plantas de alfalfa que carecían de hongos AM, lo que disminuyó significativamente la biomasa. Sin embargo, la inoculación de hongos AM aumentó significativamente la biomasa de raíces y brotes en comparación con las plantas no tratadas y no hubo diferencias significativas en la biomasa con la inoculación de hongos MA con tratamientos de 0,5 mg kg⁻¹ y 5 mg kg⁻¹ de Cd (Wang et al., 2022). Klara et al. (2019) evidenció el impacto potencial de los HMA en la reducción de Cd; asimismo evidencia una protección tan eficaz, que la concentración de Cd en los brotes se reduce a un nivel mucho menos dañino.

5.2 Efecto del Cd en el desarrollo morfológico del arroz en San Martín.

El presente estudio muestra la mayor altura de plantas, mayor biomasa radicular y aéreo lograda sin la aplicación de cadmio; mientras que todo lo contrario se presentó con la aplicación de 3 ppm de Cd. Resultados similares obtuvo Mohamed et al. (2012)

quienes encontraron que, bajo condiciones de estrés por Cd, la biomasa fresca y seca de *Brassica juncea* en la etapa de plántula se redujeron significativamente, y la longitud de la raíz y el área foliar también se vieron afectados. Hallazgos similares también se muestra para la especie *Brassica napus* durante (Wu et al., 2015: Yan et al., 2016)

Asimismo, Waheed et al. (2022) encontraron que el estrés por Cd afectó negativamente el crecimiento y el metabolismo de *Eruca sativa*. Asimismo, observaron una disminución en la longitud de los brotes y de las raíces con niveles crecientes de estrés por Cd.

La absorción y acumulación de Cd puede afectar el crecimiento normal de las plantas. El estrés por Cd conduce a una disminución en la biomasa y la tasa fotosintética de las plantas, también causa daño oxidativo y desequilibrio en la absorción de nutrientes (Zou et al., 2017). El cadmio (Cd) es muy móvil en los tejidos vegetales y afecta el crecimiento fisiológico de las plantas. La disminución del crecimiento neto en altura y biomasa de la planta puede deberse a la toxicidad del Cd para los órganos fotosintéticos y la estructura de la planta (Fuzhong et al., 2010)

Vallejos-Torres et al. (2022) encontraron que el Cd reprimió el crecimiento vegetativo tanto a nivel de sistema radicular como de los regidos vegetales llámense tallos, altura de la planta y el área foliar respecto a plantas establecidas en suelos contaminados con Cd en *T. cacao*. Por lo tanto, los HMA muestran potenciales biorremediadores de cultivos de cacao mejorando el crecimiento de la planta con un buen sistema radicular (Garg y Kaur 2013) y Aguilera et al. 2017).

VI. CONCLUSIONES

El estudio mostró la protección de los HMA a plantas de arroz, tal es así que se presentó mayor altura de planta, biomasa radicular y aérea en suelos sin contaminación de cadmio.

El crecimiento de plantas, biomasa radicular y biomasa aérea de los tallos de arroz se vio afectado por las concentraciones de cadmio, reduciendo el desarrollo morfológico.

La protección inducida por micorrizas, es generalmente más importante que otras características de plantas, como una vigorosa producción radicular y sustancias protectoras. Así, la combinación de especies de plantas y la colonización de micorrizas arbusculares determinan la absorción de Cd en las plantas, y debe tenerse en cuenta al cultivar plantas en suelos contaminados con Cd.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar análisis de cadmio en el sistema radicular, plantas y granos de arroz desarrolladas en suelos contaminados con cadmio; de tal manera se pueda observar la distribución de este metal del suelo a la planta entera.

Considerar en el estudio análisis de granos de arroz tomado de plantaciones establecidos en campo, con a la finalidad de determinar la proporción de cadmio presente en los cultivares establecidos en San Martín.

Realizar estudios de biorremediación en cultivares de arroz bajo diferentes macroorganismos benéficos como trichodermas, bacterias y especies de micorrizas arbusculares.

Realizar taller y capacitaciones sobre el potencial de las micorrizas arbusculares en la biorremediación de metales pesados en diferentes cultivos agrícolas en la amazonia peruana.

REFERENCIAS

ANDRÉS RASK Klara, LIENGAARD JOHANSEN Jesper, KJØLLER Rasmus, EKELUND Flemming, et al (2019). “*Differences in arbuscular mycorrhizal colonisation influence cadmium uptake in plants*”, *Environmental and Experimental Botany*, 162, 223-229, disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.022>.

AGUILERA P, MARÍN C, OEHL F, GODOY R, BORIE F, Cornejo P, et al (2017). “*Selection of aluminum tolerant cereal genotypes strongly influences the arbuscular mycorrhizal fungal communities in an acidic Andosol*”. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 246: 86-93 disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.031>

ANDRADE Hernán J, MUHAMMAD-IBRAHIM Andrade, (2003). *¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?* *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):109-116. Disponible en https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6950/Como_monitorear_el_secuestro.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ARÉVALO L, ALEGRE J, PALM CH, (2003). “*Manual de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú*”. Ministerio de Agricultura Pucallpa Perú. 24 p. disponible en <https://www.worldcat.org/es/title/manual-determinacion-de-las-reservas-totales-de-carbono-en-los-diferentes-sistemas-de-uso-de-la-tierra-en-peru/oclc/417781291>.

AYALA F, MAYA Y, TROYO E, et al (2018). “*Almacenamiento y flujo de carbono en suelos áridos como servicio ambiental: Un ejemplo en el noroeste de México*”. Chapingo Mexico. *Terra Latinoamericana* (en línea). Disponible en <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.334>

BONAN Gordon B, (2008). *Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests*. [Los bosques y el cambio climático: forzamientos, retroalimentaciones y los beneficios climáticos de los bosques]. *Science*. 320, 1444–1449. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18556546/>.

CLEMENTE-ARENAS Edith R (2021). “*Captura de carbono en sistemas agroforestales en el Perú*”. *Revista Forestal del Perú*, 36 (2): 180 – 196. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.21704/rfp.v36i2.1797>

CHAVE J, RÉJOU-MÉCHAIN M, BÚRQUEZ A, CHIDUMAYO E, COLGAN MC, DELITTI WBC, DUQUE A, EID T, FEARNside PM, GOODMAN RC, M-HENRY, MARTÍNEZ-YRÍZAR A, MUGASHA WA, MULLER-LANDAU HC, MENCUCCINI M, NELSON BW, NGOMANDA A, NOGUEIRA EM, ORTIZ-MALAVASSI E, PÉLISSIER R, PLOTON P, RYAN CM, SALDARRIAGA JG AND VIEILLEDENT G, et al (2014) “*Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees*”. *Global Change Biology* 20, 3177–3190 disponible en <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>.

COOK-PATTON Susan C, LEAVITT Sara, et al (2020). “*Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth*”. *Nature* 585, 545–550. Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2686-x>.

DILAS-JIMÉNEZ, J. O. Y HUAMÁN, A. O. (2020). “*Captura de carbono por un bosque montano de neblina del Perú*”. *Alpha centauri*, 1, 13–25. <https://doi.org/10.47422/ac.v1i3.16>.

DOCAMPO Roberto, (2010). “*La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola*”. Serie Actividades de Difusión Nº 687. Las Brujas: INIA -Estación Experimental “Wilson Ferreira Aldunate”. 81 - 88p. disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>.

EISFELDER C, KLEIN Igor, BEKKULIYEVA Aruzhan, KUENZER Claudia, BUCHROITHNER Manfred F, DECH Stefan, et al (2017). “Above-ground biomass estimation based on NPP time-series ” A novel approach for biomass estimation in semi-arid Kazakhstan”. *Ecological Indicators*, vol. 72, pp. 13-22. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.042>

FRANCOIS-BASTIN Jean, CLAUDE-GARCIA Yelena Finegold, MOLLICONE Danilo , REZENDE Marcelo , ROUTH Devin , M. ZOHNER Constantin, W CROWTHER Thomas, et al (2019). “The global tree restoration potential”. [El potencial global de restauración de árboles]. *Science* 365, 76–79. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aax0848>

FRIEDLINGSTEIN, P., et al. 2019. “Presupuesto global de carbono 2019”. *Earth Syst. ciencia Datos* 11, 1783–1838. Disponible en <https://essd.copernicus.org/articles/11/1783/2019/>.

FU-ZHONG Wu, WAN-QIN Yang, ZHANG Jian, ZHOU Li-Qiang. et al (2010). “Effects of cadmium stress on growth and nutrient accumulation, distribution and utilization in *Osmanthus fragrans* var. *Thunbergii*”. *Planta Ecol.* 34 (10), 1220–1226 disponible en <https://www.plant-ecology.com/ENY2010/V34/I10/1220>

GARG Neera, HARMANJIT Kaur, (2013). “Impact of cadmium-zinc interactions on metal uptake, translocation and yield in pigeonpea genotypes colonized by arbuscular mycorrhizal fungi”. *Journal of Plant Nutrition.* 36(1):67-90. Disponible en <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.733051>.

JANDL Robert, Ledermann Thomas, Kindermann Georg, Weiss Peter et al (2021). “Soil Organic Carbon Stocks in Mixed-Deciduous and Coniferous Forests in Austria”. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4. Disponible en <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2021.688851/full>.

LAL, R. (2004). "Soil carbon sequestration to mitigate climate change". *Geoderma*, vol. 123, no. 1-2, pp. 1–22 disponible en <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>.

LEWIS SL, MITCHARD ETA, PRENTICE C, MASLIN M, POULTER B, et al (2019). "Comment on *The global tree restoration potential*". *Science*, 366. Disponible en: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.aaz0388>.

LIU Yan, LI Suyan, SUN Xiangyang , YU Xin et al. (2016). Variations of forest soil organic carbon and its influencing factors in east China. *Annals of Forest Science* 73, 501–511 (2016). Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0543-8>.

MEDINA, César E; MEDINA, Yasmy K, BOCARDO, Edwin F. (2020). "Valoración económica del secuestro y almacenamiento de carbono en la puna seca del suroeste del Perú". *Bosque (Valdivia)* [online], 41,2, pp.165-172. Available from: ISSN 0717-9200. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002020000200165>.

MISHRA, S. CHAUDHARY, L. B. y JAIN, M. K. et al (2019). "Interaction of abiotic factor on soil CO₂ efflux in three forest communities in tropical deciduous forest from India," *Environmental Monitoring Assessment*, vol. 191, p. 796. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7689-4>

MILDREXLER D, T BERNER Logan, LAW Beverly E, et al (2020). "Large Trees Dominate Carbon Storage in Forests East of the Cascade Crest in the United States Pacific Northwest". *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 594274. Disponible en <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.594274>.

MOHAMED AA, CASTAGNA A, RANIERI A, TOPPI LSD (2012) La tolerancia al cadmio en raíces y brotes de *Brassica juncea* se ve afectada por el estado antioxidante y la biosíntesis de fitoquelatina. *Planta Physiol Biochem* 57: 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.05.002>.

MOOMAW William R, MASINO, S. A., y FAISON, E. K. et al (2019). “*Intact forests in the United States: proforestation mitigates climate change and serves the greatest Good*”. *Front. For. Glob. Change* 2:27. Disponible en <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00027> .

MOORE Sam, ADU-BREDU Stephen , DUAH-GYAMFI Akwasi , D ADDO-DANSO Shalom, IBRAHIM Forzia , et al. (2018). “*Forest biomass, productivity and carbon cycling along a rainfall gradient in West Africa*”. *Global Change Biology* , 24(2), e496-e510 disponible en <https://doi.org/10.1111/gcb.13907>.

NASCIMENTO HE, LAURANCE WF, (2002). “*Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape-scale study*”. *Forest Ecology and Management* 168, 311–321. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00749-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00749-6).

NAUTIYAL P RAJPUT Richa, PANDEY Deepshikha, ARUNACHALAM Kusum, ARUNACHALAM Ayyanadar et al. (2019). “*Role of glomalin in soil carbon storage and its variation across land uses in temperate Himalayan regime*”. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, ISSN 1878-8181, Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101311>.

PAN Yude, A. BIRDSEY Richard , FANG Jingyun, et al. (2011). “*A large and persistent carbon sink in the World’s forests*”. *Science* 333, 988–993. Disponible en <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1201609>.

PUGH Thomas A, LINDESKOG M, SMITH B, POULTER B, ARNETH A, HAVERD V CALLEW L et al (2019). “*Role of forest regrowth in global carbon sink dynamics*”. [El papel de la regeneración de los bosques en la dinámica global de los sumideros de carbono]. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116, 4382–4387. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1810512116>.

SARCCA Huisa, YASMELI Ruth (2017). “*Valoración Económica del Servicio Ecosistémico de Secuestro y Almacenamiento de Carbono en el Bosque de*

Polylepis del Pichu Pichu". Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Disponible en <https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/1918?mode=simple>.

SAYER, E. J. LOPEZ-SANGIL, L. y CRAWFORD, J. A. (2019). *Tropical forest soil carbon stocks do not increase despite 15 years of doubled litter inputs*," Scientific Reports, vol. 9, Article ID 18030. Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41598-019-54487-2>.

SCHARLEMANN J P, et al. (2014). *Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool*," Carbon Management, vol. 5, no. 1, pp. 81–91. Disponible en <https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>.

SHUKLA, G., y CHAKRAVARTY, S. (2018). *Biomass, primary nutrient and carbon stock in a Sub-Himalayan Forest of West Bengal, India*. Ournal of Forest and Environmental Science 34(1), 12-23. Disponible en, <https://doi.org/10.7747/JFES.2018.34.1.12>

SOLIS R, VALLEJOS-TORRES Geomar, et al. (2020). "*Carbon stocks and the use of shade trees in different coffee growing systems in the Peruvian Amazon*". The Journal of Agricultural Science, 158(6), 450-460. Disponible en <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/carbon-stocks-and-the-use-of-shade-trees-in-different-coffee-growing-systems-in-the-peruvian-amazon/EFBC4767DB3C355403F162F6286E2373>.

TORRES Bolier, VASSEUR Liette, LOPEZ Rolando et al. (2019). "*Structure and above ground biomass along an elevation small-scale gradient: case study in an Evergreen Andean Amazon forest, Ecuador*". Agroforestry Systems [en línea], [Consulta: 28/05/2020]. ISSN 1572-9680. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-018-00342-8>.

VALLEJOS-TORRES, G., RUÍZ-VALLES, R., CHAPPA-SANTA María, CE, GAONA-JIMÉNEZ N, MARÍN, C. (2021). “*La alta diversidad genética en los hongos micorrízicos arbusculares influye en la absorción de cadmio y el crecimiento de las plantas de cacao*”. *Bioagro* , 34 (1), 75-84. <https://doi.org/10.51372/bioagro341.7>.

VALLEJOS-TORRES, Geomar, et al. (2021). “*Vegetative propagation of Manilkara bidentata (A.DC.) A.Chev. using mini-tunnels in the Peruvian Amazon región*”. *Forest Systems*, Volume 30, Issue 2, eRC01. <https://doi.org/10.5424/fs/2021302-17971>.

VESTERDAL, L., y LEIFELD, J. (2007). “*Land-use change and management effects on soil carbon sequestration: forestry and agriculture*”. *Greenhouse-gas budget of soils under changing climate and land use (burnout)*, COST Action, vol. 639, pp. 25–32 disponible en https://bfw.ac.at/010/pdf/Act_639/L-VESTERDAL.pdf.

WAHEED A, HAXIM Y, ISLAM W, AHMAD M, ALI S, WEN X, KHAN K A, GHRAHMH H A, ZHANG Z, ZHANG, D. et al (2022). “*Impact of Cadmium Stress on Growth and Physio-Biochemical Attributes of Eruca sativa Mill*”. *Plants (Basel, Switzerland)*, 11(21), 2981. <https://doi.org/10.3390/plants11212981>.

WALKLEY, A., y BLACK. I.A. (1934). “*An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method*”. *Soil Sci.* 37 (1): 29-37. Disponible en https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1934/01000/AN_EXAMINATION_OF_THE_DEGTJAREFF_METHOD_FOR.3.aspx .

WANG Y, HUANG J, GAO Y (2012) “*Arbuscular Mycorrhizal Colonization Alters Subcellular Distribution and Chemical Forms of Cadmium in Medicago sativa L. and Resists Cadmium Toxicity*” *PLoS ONE* 7(11): e48669. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048669>.

WU Z, ZHAO X, SUN X ET AL (2015) “*Antioxidant enzyme systems and the ascorbate-glutathione cycle as contributing factors to cadmium accumulation and*

tolerance in two oilseed rape cultivars (Brassica napus L.) under moderate cadmium stress". Chemosphere 138:526–536.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.06.080>.

YAN H, FILARDO F, HU X, ZHAO X, FU DH et al (2016) Cadmium stress alters the redox reaction and hormone balance in oilseed rape (*Brassica napus L.*) leaves. Environ Sci Pollut Res 23:3758–3769. Disponible en

<https://doi.org/10.1007/s11356-015-5640-y>.

ZHANG, J., et al. (2022).” *Accumulation of glomalin-related soil protein benefits soil carbon sequestration: Tropical coastal forest restoration experiences*”

<https://doi.org/10.1002/ldr.4192>

ANEXOS



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

I. ASPECTOS DE VALIDACION

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

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

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

II. OPINION DE APLICABILIDAD

El instrumento es valido

Promedio de valoración: 44

Tarapoto 04 de Abril del 2023



Dr. A. *[Firma]*
INGENIERO AMBIENTAL
C.V. 199414

Activar Windows

Ve a Configuración para activar Wir



Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

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

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

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

II. OPINION DE APLICABILIDAD

El instrumento es valido

Promedio de valoración 44

Tarapoto 04 de Abril del 2023

El instrumento es válido

M. Sc. Harry Saavedra Alva

D.N.I: 43248273



Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

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

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.				X	
ACTUALIDAD	instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación ilegal inherente a la variable: contenido de cadmio					X
ORGANIZACIÓN	los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respeto a la variable, de manera que permitan hacer inferencia en la función de la hipótesis, problema y objetivos e la investigación.					X
SUFICIENTE	los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde a la variable, dimensiones y indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos hipótesis y variable de estudio contenido de cadmio					X
CONSISTENCIA	la información que se recoja a través de los ítems del instrumento permitirá analizar describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.				X	
COHERENCIA	los ítems del instrumentó expresa la relación con los indicadores de cada dimensión de la variable contenido de cadmio					X
METODOLOGIA	la relación entre la técnica y el instrumento propuesto, responde al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.				X	
PERTINECIA	la redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
PUNTAJE TOTAL					42	

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

II. OPINION DE APLICABILIDAD

El instrumento es valido

Promedio de valoración:

Tarapoto 04 de Abril del 2023

El instrumento es válido


 Dra. Karla L. Mendoza López
 D.N.I: 445918700

Anexo 2

Matriz de operacionalización de variables

	VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Cloruro de cadmio	Las plantas absorben Cd del aire, el agua, el suelo y los sedimentos. El cadmio retarda la fotosíntesis de la hoja, lo que afecta el crecimiento y desarrollo del arroz, como el tamaño de la hoja, la altura de la planta, el desarrollo y la biomasa de la planta (Liu et al., 2015).	Se establecieron cuatro tratamientos con 4 repeticiones; es decir 16 unidades experimentales (UE) considerados en función a un mecetero de 3 kg de suelos conteniendo 4 plantas de arroz en cada macetero; distribuidos en cuatro concentraciones de Cd (0, 1, 3 y 5 ppm).	Concentraciones de cadmio	0 1 3 5	ppm
DEPENDIENTE	Micorrización	Los metales pesados inhiben la germinación de esporas de HMA y la propagación de hifas y, en condiciones controladas, se ha descubierto que estos contaminantes reducen o suprimen el crecimiento de las raíces de las plantas y la colonización de HMA (Riaz et al. 2021).	Se evaluaron la colonización micorrízica, conteo de esporas de HMA, altura de planta de arroz, área foliar y biomasa radicular.	Micorrización	Conteo de esporas Colonización micorrízica	%
	Desarrollo morfológico de la planta			Morfología de la planta de arroz	Altura de planta Biomasa radicular y aérea	cm, g

Anexo 3.

Promedio de datos del contenido de cadmio en la colonización y conteo de esporas de HMA

Tratamientos	Cadmio en suelos (ppm)	Conteo de esporas	Colonización (%)
T1	0	-	-
T2	1	-	-
T3	3	-	-
T4	5	-	-

Anexo 4.

Promedio de datos del contenido de cadmio en el desarrollo morfológico del arroz

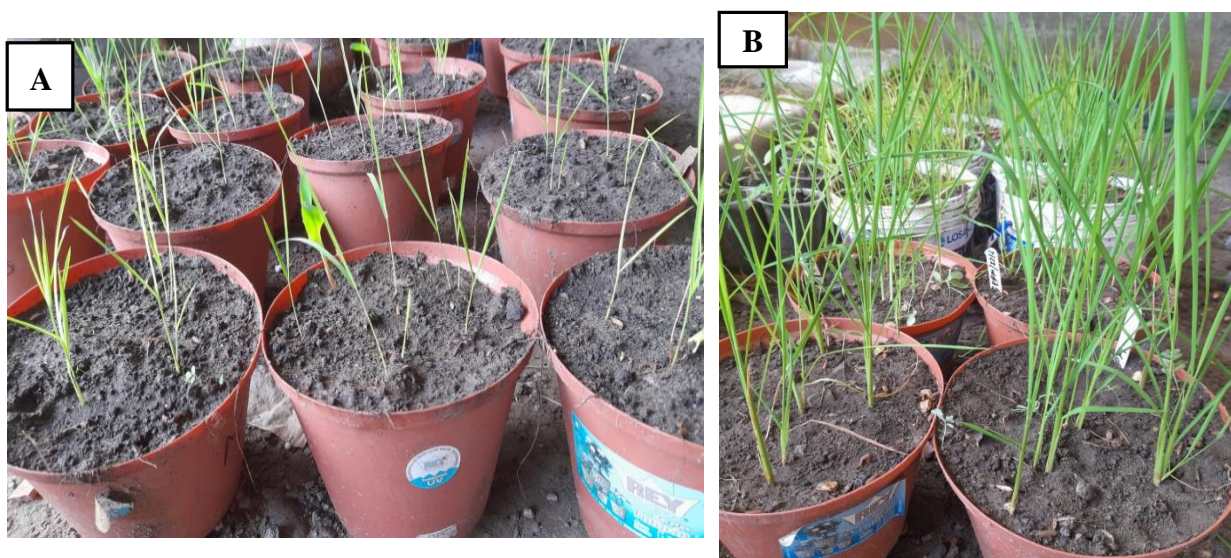
Tratamientos	Altura de planta (cm)	Biomasa aérea	Biomasa radicular (cm)
T1	-	-	-
T2	-	-	-
T3	-	-	-
T4	-	-	-

Anexo 4. Establecimiento de plántulas de arroz



Nota. (A) Semillas de arroz para el estudio y (B) Desarrollo de plantas con aplicación de cadmio.

Anexo 5. Desarrollo morfológico de plantas de arroz con aplicación de cadmio



Nota. (A) Repique de plántulas de arroz en suelos con cadmio y (B) Plantas en desarrollo a los 38 días



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, GEOMAR VALLEJOS TORRES, 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: "Influencia del cadmio en la multiplicación de micorrizas arbusculares y desarrollo morfológico del arroz (*Oriza sativa* L.) en San Martín", cuyo autor es AVELLANEDA PAZ IRVIN AARON, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 23.00%, 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, 18 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
GEOMAR VALLEJOS TORRES DNI: 01162440 ORCID: 0000-0001-7084-977X	Firmado electrónicamente por: GVALLEJOST el 18- 07-2023 19:49:47

Código documento Trilce: TRI - 0599693