

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**

**DETERMINACIÓN DEL METAL PESADO CADMIO EN
FERTILIZANTE PARA CULTIVO ARROCERO DEL
CASERÍO SAN AGUSTÍN, BELLAVISTA, JAÉN, 2024**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
FORESTAL Y AMBIENTAL**

**Autores: Bach. Disban Yarli, Carranza Herrera.
Bach. Duber Anthony Parihuaman Abad.**

Asesor: Dr. Juan Manuel Garay Román

**Línea de investigación: Tecnología para la gestión sostenible del territorio y los
recursos naturales.**

JAÉN – 2025

Disban Y. Carranza Herrera; Duber A. Parihuaman A...

DETERMINACIÓN DEL METAL PESADO CADMIO EN FERTILIZANTE PARA CULTIVO ARROCERO DEL CASERÍO SAN...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3241446500

42 Páginas

Fecha de entrega

6 may 2025, 11:00 a.m. GMT-5

8012 Palabras

Fecha de descarga

6 may 2025, 11:05 a.m. GMT-5

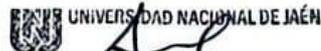
43.584 Caracteres

Nombre de archivo

NY_PARIHUAMAN_ABAD__INFORME_-_DISBAN_YARLL_CARRANZA_HERRERA.pdf

Tamaño de archivo

993.4 KB



Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

6% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Small Matches (less than 15 words)

Top Sources

- 6%  Internet sources
- 1%  Publications
- 3%  Submitted works (Student Papers)

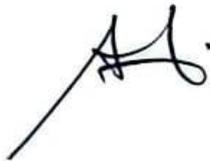
Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.





ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el 21 de mayo del 2025, siendo las 17:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado Evaluador designados con Resolución N° 351-2025-UNJ/FI

Presidente, Mg. María Marleni Torres Cruz

Secretario, Dr. Wagner Colmenares Mayanga

Vocal, Dra. Irma Rumela Aguirre Zaquinaula

para evaluar la sustentación del Informe Final de Tesis titulado: "DETERMINACIÓN DEL METAL PESADO CADMIO EN FERTILIZANTE PARA CULTIVO ARROCERO DEL CASERÍO SAN AGUSTÍN, BELLAVISTA, JAÉN, 2024", cuyos autores son Bach. Disban Yarli Carranza Herrera y el Bach. Duber Anthony Parihuaman Abad, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, teniendo como asesor al Dr. Juan Manuel Garay Román;

Después de la sustentación y defensa, el Jurado Evaluador acuerda:

() Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	()
Muy bueno	16, 17	(16)
Bueno	14, 15	()
Regular	13	()
Desaprobado	12 o menos	()

Siendo las 17:50 horas, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Mg. María Marleni Torres Cruz
Presidente Jurado Evaluador


Dr. Wagner Colmenares Mayanga
Secretario Jurado Evaluador


Dra. Irma Rumela Aguirre Zaquinaula
Vocal Jurado Evaluador

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, **Parihuaman Abad, Duber Anthony**, con Bachiller en la carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI N° 75618955.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“DETERMINACIÓN DEL METAL PESADO CADMIO EN FERTILIZANTE PARA CULTIVO ARROCERO DEL CASERÍO SAN AGUSTÍN, BELLAVISTA, JAÉN, 2024.”

Asesorado por el Dr. Juan Manuel Garay Román. El mismo que presento bajo la modalidad de informe final de tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 01 de julio del 2025

Duber Anthony Parihuaman Abad

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, **Carranza Herrera, Disban Yarli**, con Bachiller en la carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI N° 75316709.

Declaro bajo juramento que:

7. Soy Autor del trabajo titulado:

“DETERMINACIÓN DEL METAL PESADO CADMIO EN FERTILIZANTE PARA CULTIVO ARROCERO DEL CASERÍO SAN AGUSTÍN, BELLAVISTA, JAÉN, 2024.”

Asesorado por el Dr. Juan Manuel Garay Román. El mismo que presento bajo la modalidad de informe final de tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental.

8. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
9. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
10. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
11. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
12. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 01 de julio del 2025



Disban Yarli Carranza Herrera

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	07
II. MATERIAL Y MÉTODOS	11
2.1 Población, muestra y muestreo	11
2.1.1 Población	11
2.1.2 Muestra	11
2.1.3 Muestreo	13
2.1.4 Materiales	15
2.2 Metodología	15
2.2.1 Método	15
III. RESULTADOS	23
IV. DISCUSIÓN	32
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
AGRADECIMIENTO	37
DEDICATORIA	38
ANEXOS	40

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1. <i>Puntos de muestreo de suelo en terreno arrocero</i>	13
Tabla 2. <i>Característica de la acidez de una muestra de suelo</i>	18
Tabla 3. <i>Característica física de la muestra salina</i>	19
Tabla 4. <i>Factores de conversión de la conductividad eléctrica</i>	19
Tabla 5. <i>Estandarización del cadmio en el fertilizante superfosfato triple</i>	20
Tabla 6. <i>Niveles de cadmio en el fertilizante superfosfato triple</i>	21
Tabla 7. <i>Estandarización del cadmio en el fertilizante suelo arrocero</i>	21
Tabla 8. <i>Categoría de cadmio en el suelo arrocero</i>	22
Tabla 9. <i>Resultado del pH del fertilizante superfosfato triple</i>	23
Tabla 10. <i>Resultado de la conductividad eléctrica del fertilizante superfosfato triple</i>	23
Tabla 11. <i>Resultado del pH del suelo arrocero</i>	25
Tabla 12. <i>Resultado de la conductividad eléctrica del suelo arrocero</i>	25
Tabla 13. <i>Resultado de concentración de cadmio en fertilizante superfosfato triple ..</i>	27
Tabla 14. <i>Análisis estadístico de los coeficientes</i>	28
Tabla 15. <i>Análisis de varianza</i>	28
Tabla 16. <i>Resultado de la concentración de cadmio en su suelo arrocero</i>	30
Tabla 17. <i>Análisis estadístico de los coeficientes</i>	30
Tabla 18. <i>Análisis de varianza</i>	31

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1. <i>Fertilizante de superfosfato triple</i>	11
Figura 2. <i>Ubicación de la zona de investigación, caserío San Agustín</i>	12
Figura 3. <i>Muestreo de fertilizante Superfosfato triple (SFT)</i>	13
Figura 4. <i>Muestreo de suelo arrocero</i>	14
Figura 5. <i>Representación de la metodología experimental</i>	15
Figura 6. <i>Preparación del fertilizante hasta desmenuzar los sólidos</i>	16
Figura 7. <i>Evaluación del pH del superfosfato triple</i>	16
Figura 8. <i>Evaluación del suelo arrocero</i>	17
Figura 9. <i>Evaluación del pH del suelo arrocero</i>	17
Figura 10. <i>Evaluación de la conductividad eléctrica</i>	18
Figura 11. <i>Evaluación del pH del fertilizante superfosfato triple</i>	24
Figura 12. <i>Evaluación de la conductividad eléctrica del fertilizante superfosfato</i>	24
Figura 13. <i>Evaluación del pH del suelo arrocero</i>	26
Figura 14. <i>Evaluación de la conductividad eléctrica del suelo arrocero</i>	26
Figura 15. <i>Curva de calibración del cadmio en el fertilizante superfosfato triple</i>	27
Figura 16. <i>Evaluación del cadmio en fertilizante superfosfato triple</i>	29
Figura 17. <i>Curva de calibración del cadmio en suelo arrocero</i>	29
Figura 18. <i>Evaluación del cadmio en suelo arrocero</i>	31
Figura 19. <i>D.S. N° 011-2017-MINAM</i>	40
Figura 20. <i>Análisis químico de Cd en superfosfato triple</i>	41
Figura 21. <i>Análisis químico de Cd en suelo agrícola</i>	42

RESUMEN

La investigación evaluó la presencia de cadmio (Cd) en suelos arroceros y en superfosfato triple (SFT), incluyendo pH y conductividad eléctrica. Se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados indicaron que el SFT presentó un pH promedio de 6.60, mínimo 6.45 y máximo 6.75. La conductividad eléctrica promedio fue de 5.04 mS/cm, con valores entre 4.3 mS/cm y 5.5 mS/cm. Además, el suelo arrocero arrojó un pH promedio de 5.95, con valores entre 5.82 y 6.10, y una conductividad eléctrica promedio de 1.98 mS/cm, con un rango de 1.81 mS/cm a 2.2 mS/cm. El análisis espectrofotométrico del cadmio en el SFT reveló un promedio de 0.38 ppm Cd en el SFT y 0.54 ppm Cd en suelo arrocero. Se validaron muestras patrón Cd de 0.2 ppm, 0.6 ppm y 1.0 ppm para el SFT, y de 0.12 ppm, 0.54 ppm y 1.0 ppm para el suelo. Los hallazgos evidencian cadmio en el fertilizante superfosfato triple, lo que podría influir en la acumulación de este metal pesado en los suelos arroceros. Se recomienda realizar un monitoreo de los insumos agrícolas y del suelo para mitigar los riesgos asociados a la contaminación por cadmio y preservar la calidad del cultivo.

Palabras claves: Metales pesados, espectrofotometría, bioacumulación.

ABSTRACT

The research evaluated the presence of cadmium (Cd) in rice soils and triple superphosphate (TSP), including pH and electrical conductivity. The atomic absorption spectrophotometry method was used. The results indicated that the TSP had an average pH of 6.60, a minimum of 6.45, and a maximum of 6.75. The average electrical conductivity was 5.04 mS/cm, with values between 4.3 mS/cm and 5.5 mS/cm. In addition, the rice soil had an average pH of 5.95, with values between 5.82 and 6.10, and an average electrical conductivity of 1.98 mS/cm, with a range of 1.81 mS/cm to 2.2 mS/cm. Spectrophotometric analysis of cadmium in the TSP revealed an average of 0.38 ppm Cd in the TSP and 0.54 ppm Cd in the rice soil. Standard Cd samples of 0.2 ppm, 0.6 ppm, and 1.0 ppm were validated for the TFS, and 0.12 ppm, 0.54 ppm, and 1.0 ppm for the soil. The findings indicate cadmium in triple superphosphate fertilizer, which could influence the accumulation of this heavy metal in rice soils. Monitoring of agricultural inputs and soil is recommended to mitigate the risks associated with cadmium contamination and preserve crop quality.

Keywords: Heavy metals, spectrophotometry, bioaccumulation.

I. INTRODUCCIÓN

El impacto al medio ambiente por el uso de fertilizantes o pesticidas en cultivos agrícolas genera la contaminación de metales pesados como el cromo y cadmio (Uday *et al.*, 2023). De acuerdo a la información que expresó MINAGRI (2012) el superfosfato triple es uno de los fertilizantes que acompaña a la urea para el cultivo de arroz. Y como todos los fertilizantes son minerales triturados tienen el potencial de contener partículas de metales pesados que se pueden absorber a las plantas a través de sus raíces e incorporarse al organismo de la población pudiendo ocasionar lesiones graves a la salud (Silva *et al.*, 2019). La investigación se desarrolló sobre un terreno arrocero en el distrito Bellavista, por cuanto Servicio Nacional de Sanidad Agraria – Jaén señaló como parte de su tarea de vigilancia en Bellavista, que este distrito cuenta con 14470 hectáreas de tierra de cultivo y una producción de 81856.5 toneladas de arroz al año, que asciende al 40 % del total de la producción arrocera de la provincia de Jaén, lo cual permite proyectar el elevado consumo de toneladas de fertilizantes fosfatados y nitrogenados (Uddin *et al.*, 2021), sobre los cuales no existe actualmente un análisis químico claro y determinante sobre la concentración iónica de metales pesados como el Cr y el Cd en este tipo de producto. La gravedad de esta problemática es que dichos fertilizantes están asociados a un producto de primera necesidad como es el arroz. Además, Jaén ocupa el segundo cultivo de importancia económica en toda la región Cajamarca al poseer un total de 19729.5 hectáreas de este cultivo, siendo Bellavista el de mayor producción arrocera. En tal sentido, se hará uso del apoyo de don Miguel Villalobos Cardena, quien cultiva su parcela de 9.5 hectáreas en el caserío San Agustín, en el distrito de Bellavista, Jaén. Quien brindó las facilidades para la obtención de las muestras correspondientes. La problemática evaluada es materia de actualidad, al ser una materia de estudio relacionada a la contaminación ambiental con afectación a la salud humana (Wang *et al.*, 2022). Es importante recalcar que los análisis de laboratorio fueron ejecutados entre los laboratorios de la Universidad Nacional de Jaén y un Laboratorio especializado. Esta investigación aportó evidencias sobre la existencia de metales (cadmio) en los fertilizantes frecuentes en el cultivo de arroz, sobre el cual existe un riesgo de bio acumulación.

En el mismo contexto, según Gülçiçek & Demirel (2018) este tipo de fertilizante (superfosfato triple) tiene una asociación con distintos metales pesados como: Fe, Cu, Cr, Mn, Ni, Zn, Cd y Pb, convirtiéndose en fuente primaria de contaminación de suelos y plantaciones fertilizadas, inclusive con riesgos cancerígeno según Tasleem *et al.* (2023), por cuanto productos como el arroz pueden insertar fácilmente sustancias tóxicas en las cadenas alimenticias de la población consumidora de este cereal. En el mismo sentido, Silva *et al.* (2019) sostuvieron que metales como el cadmio, se libera al medio ambiente mediante la minería y fertilizantes, sobre todo este último, cuando es depositado sobre el suelo, ejerce toxicidad, poca movilidad y fácil acumulación en el suelo y es muy tóxico incluso a niveles bajos de exposición. Al respecto la investigación contrastó la concentración metálica en el fertilizante superfosfato triple y la concentración metálica del suelo arrocero en Bellavista, con sede específica en el caserío San Agustín de esta provincia. Tasleem *et al.* (2023) investigaron el impacto de los fertilizantes en tierras agrícolas y estanques de peces al provocar contaminación con metales pesados que se insertan en la cadena alimentaria y plantean gravísimos problemas de salud. La investigación incidió en la presencia de metales en los fertilizantes de uso común. Recogieron muestras de suelo donde la aplicación de fertilizantes fue recurrente. El análisis se realizó con espectrofotometría. Los resultados arrojaron concentraciones más altas de Cd y Cr en superfosfato triple, Cu y Pb en (NPK), mientras que encontraron concentraciones más bajas en yeso. La concentración de Cd en las patatas y el nivel de Pb en todas las hortalizas obtenidas de los sitios fueron superiores al límite estándar de la OMS/FAO.

Gülçiçek & Demirel (2018) investigaron fertilizantes químicos utilizados en aplicaciones agrícolas generando contaminación del medio ambiente. Sostuvieron que los fertilizantes afectan negativamente la calidad del agua superficial y subterránea, debido a la geología, estructura, características del suelo y condiciones climáticas. La calidad del agua subterránea se ve afectada muy fácilmente por las actividades en superficie del suelo. Entre ellos, el uso de fertilizantes y pesticidas que contienen no sólo compuestos de N y P sino también algunos metales nocivos. Analizaron el fertilizante nitrato de amonio y agua. Las muestras que fueron tomadas en la temporada de lluvias, con efecto de infiltración detectaron niveles elevados de metales pesados concentraciones. Uday *et al.* (2023) evaluaron a los fertilizantes químicos como fuentes de contaminación por metales pesados en agro ecosistemas. Afirieron que el uso excesivo de fertilizante aumenta estos iones en el suelo, es decir se

acumulan en el suelo y no pueden ser fácilmente degradados por microbios o cualquier otro agente como si sucede con abonos orgánicos. Algunos metales son nutrientes esenciales para el crecimiento, pero se vuelven tóxicos en cantidades excesivas, lo que resulta en un desequilibrio del proceso fisiológico de metabolismo vegetal y posterior acumulación en la cadena alimentaria, lo que supone un riesgo tanto para los animales como para salud humana. Silva *et al.* (2019) investigaron niveles de Cd, Mn, Cu, Pb, Ni y Zn disponibles en el suelo de cinco áreas agrícolas en comparación con el suelo de bosques nativos adyacentes. Recogieron un total de 180 muestras de suelo agrícola a dos profundidades (0,00 – 0,10 y 0,10 – 0,30 m), y se recolectaron muestras de suelo comestibles. Los resultados mostraron que los fertilizantes intensivos incrementaron los niveles de Mn, Cu, Ni y Zn en suelos agrícolas y forestales. En tanto, los niveles de Pb y Ni superaron los valores máximos permitido para todas las muestras de plantas examinadas. El pimiento y acelgas presentaron los mayores niveles de Pb y Ni. Finalmente, recomendaron realizar un seguimiento preventivo para las aplicaciones de fertilizantes, con el fin de evitar fertilizar el suelo cerca de la temporada de lluvias. Naz *et al.* (2022) evaluaron metales pesados en los cultivos: trigo, arroz y pescado (carpa común) y su riesgo para la salud humana. Los resultados revelaron tendencia irregular de metales pesados como Pb>Cr>Cd>Mn en suelos y cultivos. Un análisis estadístico sugiere fuerte correlación positiva entre metales pesados del suelo y el agua con los cultivos y los músculos de los peces. El cadmio fue altamente bio-acumulado en los cultivos y músculos de peces de diferentes sitios. Recomendaron utilizar los fertilizantes con cuidado para que las poblaciones humanas y los animales puedan consumir de forma segura alimentos libres de metales pesados.

Soleimani *et al.* (2023) investigaron muestras de agua de riego contaminada y su incidencia en el aumento de trazas metálicas en suelo agrícola. Evaluaron tres tipos de fuentes de agua de riego: Efluentes de aguas residuales tratadas, agua del río Gharasoo y agua de pozo con fertilizantes químicos, sobre la acumulación de metales en suelos agrícolas. Analizaron As, Ni, Cd, Fe, Cr, Zn, Pb, Cu y Mn. La acumulación de Cr, Ni y Cd fue más elevado que otros metales. Uddin *et al.* (2021) investigaron al arroz, en el sentido que pueden bio-acumular metales pesados cuando crecen en ambientes acuáticos contaminados. Estos metales pueden ingresar al cuerpo humano a través de las cadenas alimentarias y la presencia de metales pesados en los alimentos puede tener numerosas consecuencias para la salud humana. Pueden afectar las funciones fisicoquímicas, el crecimiento y el rendimiento de los cultivos.

Recomendaron adoptar enfoques de gestión sostenible y mecanismos de mitigación. Wang *et al.* (2022) evaluaron la contaminación del suelo por metales por ser un problema ecológico y ambiental. Los fertilizantes orgánicos no sólo pueden mejorar la calidad del suelo y proporcionar nutrientes para las plantas, sino que también pueden reducir el daño de los iones de metales pesados. Utilizaron un diseño experimental completamente combinado para comparar cinco fertilizantes orgánicos (fertilizante orgánico de cáscara de nuez, fertilizante orgánico de estiércol de cerdo, fertilizante orgánico de lodos, fertilizante orgánico de suelo con humus y fertilizante orgánico de lombriz de tierra) sobre el Cd disponible en el suelo con diferentes niveles de contaminación en diferentes dosis. Liu *et al.* (2022) realizaron una investigación comparando los efectos de los fertilizantes líquidos y granulares con respecto a la acumulación de Selenio y metales pesados en granos de arroz de cuatro variedades diferentes en el campo. Los resultados mostraron que la acumulación de Selenio se vio afectada por la forma de los fertilizantes. El fertilizante líquido mostró una eficiencia de transferencia significativamente mayor que el fertilizante granular, mientras que el fertilizante granular tuvo un efecto ligeramente mayor sobre la acumulación de selenio.

Por lo tanto, la problemática de investigación se centró en determinar la relación entre la presencia de cadmio presente en el fertilizante superfosfato triple y su concentración en los suelos arroceros del caserío San Agustín, Bellavista, Jaén. En consecuencia dada la importancia de resolver la relación entre metales y el cultivo de arroz, se ha planteado como objetivo general: Determinar la concentración del metal pesado cadmio (Cd) en fertilizante y en suelo de cultivo arrocero del caserío San Agustín, Bellavista, Jaén, 2024; y como objetivos específicos: Caracterizar el pH, conductividad eléctrica del superfosfato triple y suelo arrocero, aplicar el método estándar 3111 A-B para determinar cadmio en el superfosfato triple y aplicar el método estándar 3111 A-B para determinar cadmio en una muestra de suelo arrocero.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Población, muestra y muestreo

2.1.1 Población

la población objeto de estudio estuvo conformada por dos componentes fundamentales: de una parte, el fertilizante Superfosfato Triple (SFT), empleado de manera recurrente en las prácticas agrícolas asociadas al cultivo de arroz; y de la otra parte, el suelo agrícola sobre el cual se aplica dicho insumo, correspondiente a un terreno arrocero localizado en la zona de Bellavista, provincia de Jaén.

2.1.2 Muestra

Muestra del SFT:

La muestra del fertilizante Superfosfato triple (SFT), fue aquel del tipo comercial que fue adquirido con toda facilidad en centros de venta de fertilizantes. La muestra extraída de este producto tuvo un peso aproximado de 1500 gramos, distribuidos en pequeñas muestras de 300 gramos cada una.

Suelo arrocero:

El suelo consignado para la investigación fue prestado por el señor Miguel Villalobos Cardena, perteneciente al caserío San Agustín, en el distrito de Bellavista, Jaén. Se extrajo un peso aproximado de 1500 gramos. De forma similar al caso anterior, se tomaron cinco muestras de 300 gramos de suelo, con una profundidad máxima de hasta 10 centímetros desde la superficie.

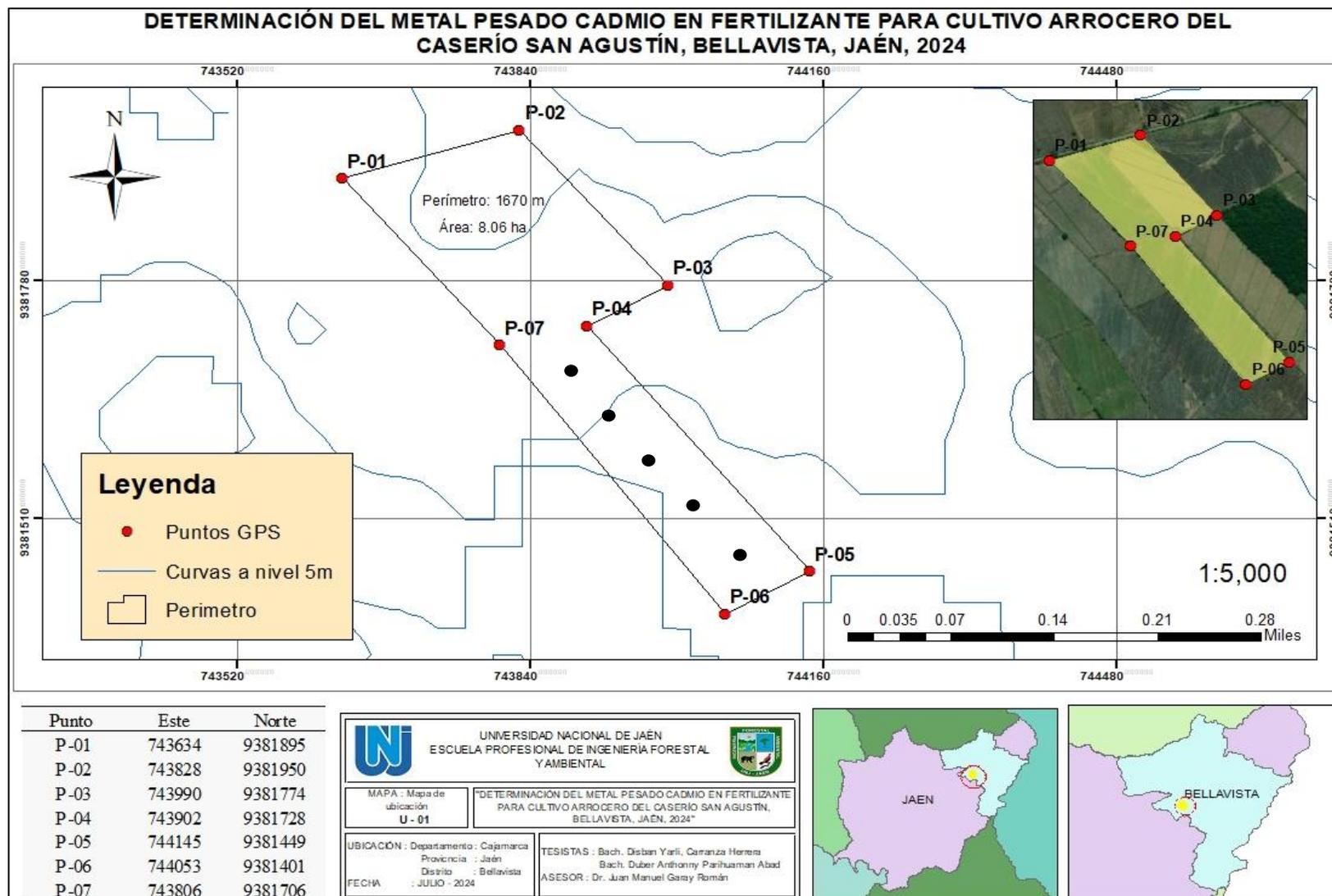
Figura 1

Fertilizante de superfosfato triple



Figura 2

Ubicación de la zona de investigación, caserío San Agustín



2.1.3 Muestreo

Se realizó un muestreo de identificación el cual tuvo por objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo mediante la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el fertilizante superfosfato triple o suelo arrocero superó o no los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM, refrendado por el D.S. N° 011-2017-MINAM

Muestreo de fertilizante:

Para el muestreo del SFT se tomó precaución de utilizar guantes de látex. Se tomaron cinco muestras de 300 gramos cada una. La muestra fue extraída en una bolsa etiquetada debidamente sellada y transportada al laboratorio especializado para su análisis metálico.

Figura 3

Muestreo de fertilizante Superfosfato triple (SFT)

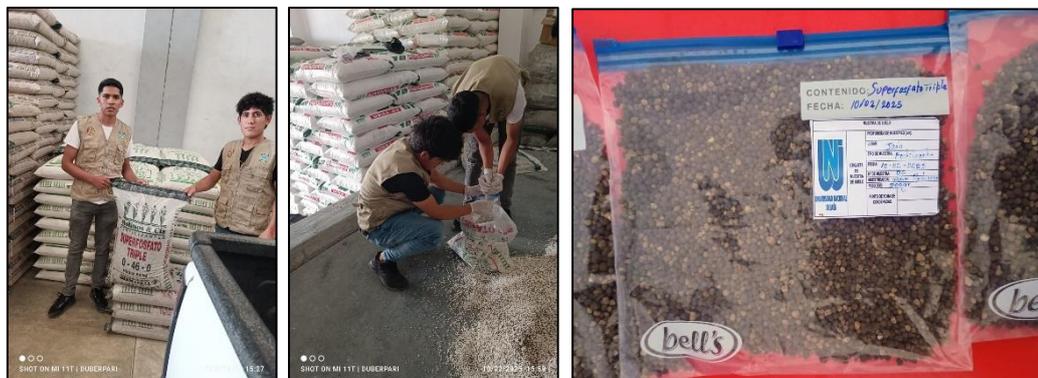


Tabla 1

Puntos de muestreo de suelo en terreno arrocero

Punto muestreo	UTM		Altitud msnm
	Este	Norte	
P1	743889	9381532	432
P2	743124	9381621	428
P3	744824	9381524	430
P4	744648	9381347	427
P5	743921	9381054	429

Fuente: Adaptación de los tesis.

Muestreo de suelo arrocero:

El muestreo se realizó sobre cuatro pozas de arroz en estado de post cosecha, es decir en suelo seco cuya área promedio fue 800 metros cuadrados. Las muestras representativas fueron cinco lo cual es concordante con el decreto supremo referido, para suelos menores a 1000 m². La técnica empleada para extracción de suelo fue adaptada de Gülçiçek & Demirel (2018).

Tipo de muestreo: Aleatorio

Materiales:

- Pala y una barreta de fierro.
- Bolsas de plástico con cierre hermético.
- GPS.
- Cuaderno de campo y etiquetas.
- Guantes de látex.

Identificación de la etiqueta:

- Cada etiqueta tuvo registrado su ubicación, peso y fecha.

Toma de muestra de suelo arrocero:

- Se retiró de la capa superficial los residuos vegetales sin remover el suelo.
- Se realizó una calicata de 30 cm por lado con la pala y con profundidad de 10 cm.
- Se extrajo suelo y se colocó en una bolsa previamente etiquetada.
- Se repitió este procedimiento en cada uno de los cinco puntos de muestreo.
- Se tomó 300 gramos por cada punto de muestreo.

Concluido el muestreo se sellaron las bolsas para su traslado al Laboratorio especializado Rivelab SAC. Similares muestras se extrajeron para su evaluación de acidez y conductividad eléctrica en el Laboratorio UNJ.

Figura 4

Muestreo de suelo arrocero



2.1.4 Materiales

Materiales para la investigación:

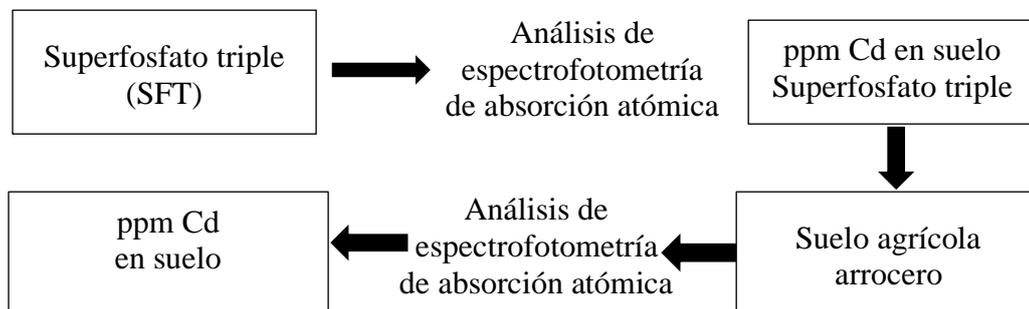
Balanza analítica (precisión de 0.0001 g), digestor de muestras (placa calefactora, bloque digestor o microondas de digestión), mufla, espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) con lámpara de cátodo hueco de Cd y flama de aire-acetileno, pipetas automáticas y micropipetas, matraces aforados, vasos de precipitados, tubos de ensayo, fiolas, filtros de membrana (0.45 μm) para eliminar partículas antes del análisis, ácido nítrico (HNO_3), ácido perclórico (HClO_4), ácido clorhídrico (HCl), agua destilada, solución estándar de cadmio (Cd^{2+}), modificadores de matriz, gas acetileno y aire comprimido, ditizona en solución, solvente orgánico (cloroformo o tolueno, si la ditizona se usa en extracción líquido-líquido), tampón de ajuste de pH (para optimizar la formación del complejo coloreado).

2.2 Metodología

Se aplicó una metodología que se basó en la absorción atómica de iones provenientes de los metales pesados disueltos en la solución madre que contenían los fertilizantes y el suelo dedicado al cultivo de arroz.

Figura 5

Representación de la metodología experimental



2.2.1 Método

Procedimiento:

Primer objetivo: Caracterizar el pH, conductividad eléctrica del superfosfato triple y suelo arrocerero.

Análisis del pH

La evaluación del pH para la muestra de fertilizante superfosfato triple y el suelo arrocero fue resultado de aplicar el mismo procedimiento. El mismo que se detalla a continuación:

pH de fertilizante superfosfato triple:

- Con un mortero se trituró la muestra de fertilizante hasta que se obtuvo una harina fina, y se diluyó en agua destilada de acuerdo a las proporciones correspondientes.

Figura 6

Preparación del fertilizante hasta desmenuzar los sólidos



- Preparación de la suspensión fertilizante superfosfato triple-agua (Relación 1:2.5).
- Se pesó 10 g de superfosfato triple y se tamizó (<2 mm) en un vaso de precipitados de 100 mL.
- Se añadió 25 mL de agua destilada (proporción 1:2.5).
- Se mezcló cada vaso en un Test de Jarras para la homogeneidad por 10 minutos.
- Se dejó en reposo por 30 minutos, luego se midió el pH con el pH metro digital.

Figura 7

Evaluación del pH del superfosfato triple



pH de suelo arrocero:

- Con un mortero se trituro 20 gramos de muestra de suelo arrocero hasta que se obtuvo una muestra de grano fino para su disolución.

Figura 8

Evaluación del suelo arrocero



Entre los materiales utilizados fueron similares al caso anterior, esto es un pH-metro digital, soluciones buffer de calibración (pH 4.0, 7.0 y 10.0), agua destilada, vasos de precipitación de 100 mL y suelo seco tamizado a 2 mm.

Procedimiento: Se mezcló 20 gramos de suelo arrocero con agua destilada y se procedió a realizar su mezclado en el Test de Jarras, ésta operación duró 10 minutos y un reposo de 30 minutos. Sobre el nadante se introdujo el pH digital tomándose la lectura respectiva para cada vaso de suelo diluido.

Figura 9

Evaluación del pH del suelo arrocero



Tabla 2

Característica de la acidez de una muestra de suelo

Valores de acidez	Característica química
< 4.60	Extremadamente ácido
4.60 – 5.19	Muy fuertemente ácido
5.20 – 6.19	Fuertemente ácido
6.20 – 6.79	Ligeramente ácido
6.80 – 7.19	Neutralidad
7.20 – 7.79	Ligeramente alcalino
7.80 – 8.79	Fuertemente alcalino
> 9.40	Extremadamente alcalino

Fuente: Conklin (2014).

Análisis conductividad eléctrica del fertilizante y suelo arrocero

Método: Potenciometría con electrodo de vidrio

Se aplicó el mismo método y procedimiento para la determinación de la conductividad eléctrica, tanto del fertilizante como para la muestra de suelo arrocero. Es decir, sobre cada vaso del procedimiento anterior, se realizó la lectura de la conductividad eléctrica. No hubo necesidad de volver a diluir por cuanto las características químicas fueron únicas en cada caso fertilizante superfostato triple y suelo por separado. Se aplicó el método estándar recomendado para la conductividad eléctrica, esto fue mediante la ayuda de un Conductímetro (rango típico 0-20 mS/cm o dS/m), agua destilada, balanza de precisión, agitador de Jarras y vasos de precipitación 100 mL.

Figura 10

Evaluación de la conductividad eléctrica



Tabla 3*Característica física de la muestra salina*

Valores de conductividad eléctrica	Característica física
<1 dS/m	Suelo no salino
1-2 dS/m	Ligeramente salino
2-4 dS/m	Moderadamente salino
>4 dS/m	Suelo salino

Fuente: Uday *et al.* (2023)**Tabla 4***Factores de conversión de la conductividad eléctrica*

Unidades	Conductividad eléctrica (mS/m)
1 mS/m	10 μ S/cm
	10 μ mhos/cm
	0.01 dS/m
	0.01 mS/cm
	0.01 mmhos/cm

Fuente: Soleimani *et al.* (2023)

Segundo objetivo: Aplicar el método estándar 3111 A-B para determinar cadmio en el superfosfato triple.

El método se basó en la absorción de radiación de longitud de onda específica por los átomos de cadmio en estado gaseoso dentro de una llama. La intensidad de la absorción es proporcional a la concentración del cadmio en la muestra del superfosfato triple.

Parte A: Consideraciones generales de la absorción atómica

- Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica equipado con una lámpara de cátodo hueco de cadmio.
- Se estableció la longitud de onda óptima para la determinación del cadmio (228.8 nm).
- Se seleccionó el tipo de llama adecuado, normalmente una mezcla de aire-acetileno.
- Se realizaron las calibraciones con soluciones patrón del metal cadmio.

Técnica para medir la concentración de hierro

- Se preparó la solución estándar de 50 ppm.
- Se prepararon tres soluciones de 50 ml de 1, 2,5 y 5,0 ppm.

Tabla 5

Estandarización del cadmio en el fertilizante superfosfato triple

N° Fiola	ppm Cd
1	0.2
2	0.6
5	1.0

- Se aplicó la ley de diluciones:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

C₁: Concentración conocida ppm.

V₁: Volumen desconocido mL.

C₂: Concentración conocida ppm.

V₂: Volumen conocido mL.

Parte B: Determinación específica de cadmio

Reactivos y soluciones:

- Solución estándar de cadmio: Preparada a partir de una solución madre de Cd(NO₃)₂.
- Ácido nítrico (HNO₃) y ácido clorhídrico (HCl): Para digestión y ajuste de pH.
- Agua destilada o desionizada: Para preparar soluciones y diluciones.

Preparación de la muestra:

Digestión ácida:

- Se pesó una cantidad representativa de suelo de 1 g de superfosfato triple.
- Se añadió una mezcla de HNO₃-HCl para disolver el cadmio presente en la matriz.
- Se calentó la muestra en un bloque digestor hasta evaporar los ácidos en exceso.
- Se diluyó la muestra de superfosfato triple con agua destilada hasta un volumen conocido.

Filtración y ajuste de pH:

- Se filtró la muestra para eliminar residuos sólidos.
- Se ajustó el pH según el protocolo recomendado para la determinación por AAS.

Análisis por espectrofotometría de absorción atómica:

- Se calibró el equipo utilizando soluciones estándar de cadmio en concentraciones conocidas.
- Se tomó lectura de la absorbancia de la muestra a 228.8 nm.
- Se comparó con la curva de calibración para la concentración de cadmio en el SPT.

Expresión de los resultados:

La concentración de cadmio se expresó en mg/kg de superfosfato triple seco.

Precisión y consideraciones:

- El límite de detección depende del equipo utilizado, pero generalmente está en el rango de 0.01 mg/L o menor.

Tabla 6

Niveles de cadmio en el fertilizante superfosfato triple

Nivel	ppm Cd
Bajo	0.1 - 0.2
Moderado	0.3 - 0.5
Alto	0.6 – 1.0

Fuente: Gülçiçek & Demirel (2018).

Tercer objetivo: Aplicar el método estándar 3111 A-B para determinar cadmio en una muestra de suelo arrocero.

Parte A: Consideraciones generales de la absorción atómica

- Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica equipado con una lámpara de cátodo hueco de cadmio.
- Se estableció la longitud de onda óptima para la determinación del cadmio (228.8 nm).
- Se seleccionó el tipo de llama adecuado, normalmente una mezcla de aire-acetileno.
- Se realizaron las calibraciones con soluciones patrón del metal cadmio.

Se aplicó la misma metodología que para el cálculo de cadmio en el procedimiento anterior, excepto que para el presente caso se utilizó como muestra suelo arrocero.

Tabla 7

Estandarización del cadmio en el fertilizante suelo arrocero

N° Fiola	ppm Cd
1	0.12
2	0.54
5	1.00

Parte B: Determinación específica de cadmio

Reactivos y soluciones:

- Solución estándar de cadmio: Preparada a partir de una solución madre de $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$.
- Ácido nítrico (HNO_3) y ácido clorhídrico (HCl): Para digestión y ajuste de pH.
- Agua destilada o desionizada: Para preparar soluciones y diluciones.

Preparación de la muestra:

Digestión ácida:

- Se pesó una cantidad representativa de suelo de 1 g de suelo arrocero.
- Se añadió una mezcla de HNO_3 - HCl para disolver el cadmio presente en la matriz.
- Se calentó la muestra en un bloque digestor hasta evaporar los ácidos en exceso.
- Se diluyó la muestra de suelo arrocero con agua destilada hasta un volumen conocido.

Filtración y ajuste de pH:

- Se filtró la muestra para eliminar residuos sólidos.
- Se ajustó el pH según el protocolo recomendado para la determinación por AAS.

Análisis por espectrofotometría de absorción atómica:

- Se calibró el equipo utilizando soluciones estándar de cadmio en concentraciones conocidas.
- Se tomó lectura de la absorbancia de la muestra a 228.8 nm.
- Se comparó con la curva de calibración para determinar la concentración de cadmio en el suelo arrocero.

Expresión de los resultados:

La concentración de cadmio se expresó en mg/kg de suelo arrocero seco.

Precisión y consideraciones:

- El límite de detección depende del equipo utilizado, pero generalmente está en el rango de 0.01 mg/L o menor.

Tabla 8

Categoría de cadmio en el suelo arrocero

Categoría	ppm Cd
Suelo agrícola	1.4
Suelo residencial, parques	10
Suelo comercial, industrial, extractivo	22

Fuente: Soleimani *et al.* (2023)

III. RESULTADOS

3.1 Primer objetivo: Caracterizar el pH, conductividad eléctrica del superfosfato triple y suelo arrocero.

Tabla 9

Resultado del pH del fertilizante superfosfato triple

N° de muestra	Peso de muestra (gr)	pH
P1	20	6.45
P2	20	6.61
P3	20	6.75
P4	20	6.54
P5	20	6.67
pH promedio		6.60

Fuente: Cálculo de los tesisistas.

Interpretación:

Las muestras del fertilizante superfosfato triple fueron disueltas en una proporción de 20 gramos en un volumen de 100 mL de agua. Los datos de acidez, indicaron que el pH tuvo carácter ligeramente ácido.

Tabla 10

Resultado de la conductividad eléctrica del fertilizante superfosfato triple

N° de muestra	Peso de muestra (gr)	CE mS/cm
P1	300	4.8
P2	300	5.4
P3	300	5.2
P4	300	4.3
P5	300	5.5
Conductividad eléctrica promedio SFT		5.04

Fuente: Cálculo de los tesisistas.

Interpretación:

los resultados de la conductividad eléctrica, mostraron valores de alta carga iónica, debido a las sales disueltas en agua, por tanto de alto contenido salino.

Figura 11

Evaluación del pH del fertilizante superfosfato triple

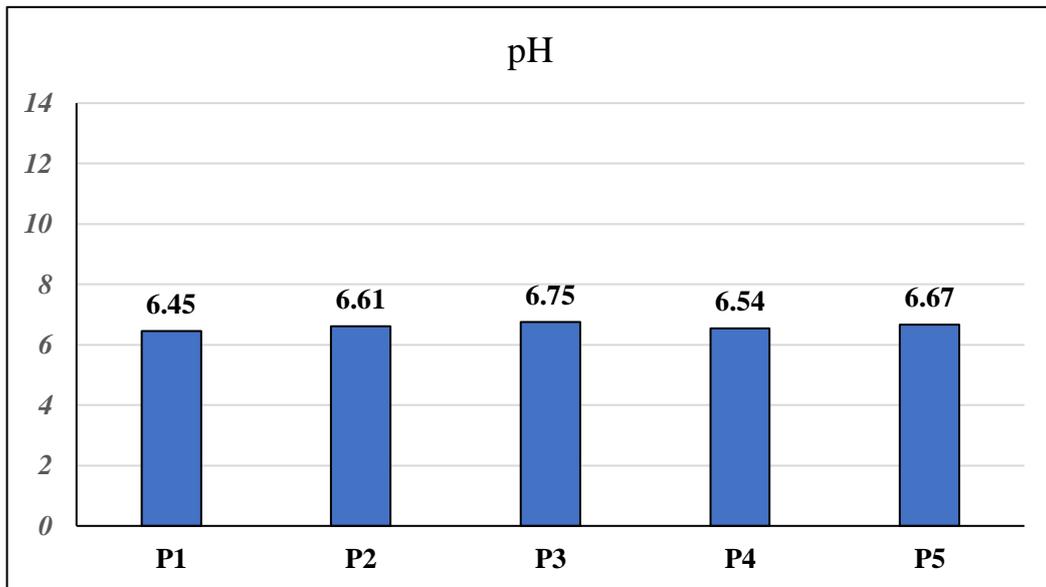


Figura 12

Evaluación de la conductividad eléctrica del fertilizante superfosfato

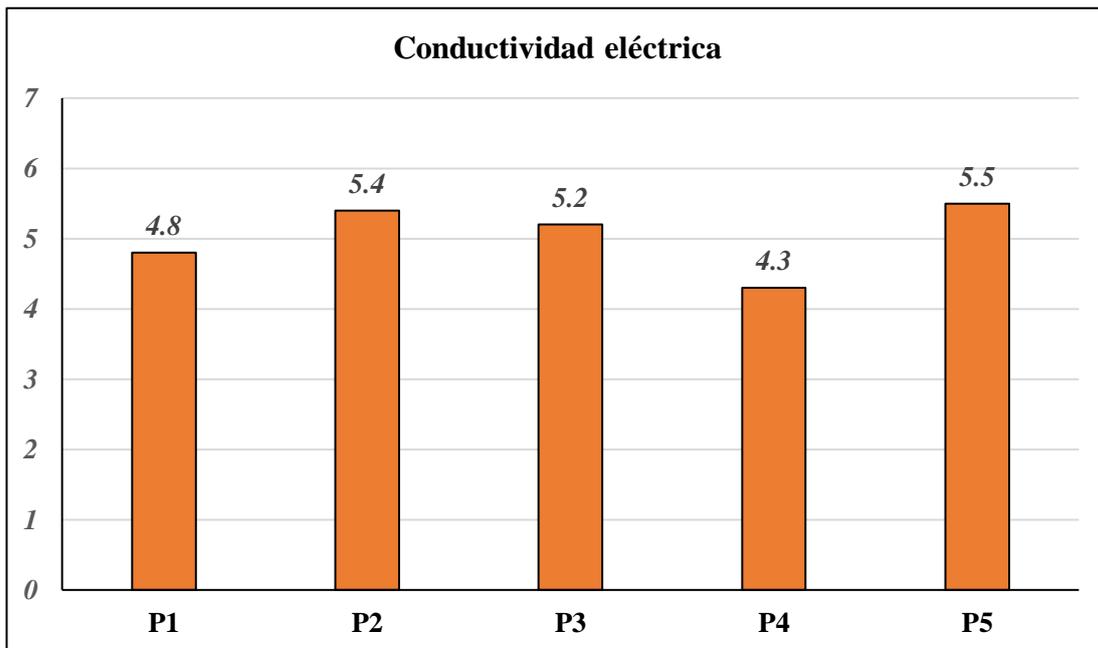


Tabla 11*Resultado del pH del suelo arrocero*

N° de muestra	UTM Este	UTM Norte	Peso de muestra (gr)	pH
P1	743889	9381532	20	5.82
P2	743124	9381621	20	5.91
P3	744824	9381524	20	6.05
P4	744648	9381347	20	6.10
P5	743921	9381054	20	5.89
pH promedio de suelo arrocero				5.95

Fuente: Cálculo de los tesisistas.

Interpretación:

Los resultados indicaron marcada característica: Fuertemente ácido (Conklin, 2014) del terreno arrocero, el cual es explicado por la recurrente fertilización con superfosfato de triple y urea.

Tabla 12*Resultado de la conductividad eléctrica del suelo arrocero*

N° de muestra	UTM Este	UTM Norte	Peso de muestra (gr)	CE mS/cm
P1	743889	9381532	20	1.81
P2	743124	9381621	20	2.11
P3	744824	9381524	20	1.87
P4	744648	9381347	20	2.20
P5	743921	9381054	20	1.92
Conductividad eléctrica promedio suelo				1.98

Fuente: Cálculo de los tesisistas.

Interpretación:

EL suelo arrocero evidenció una conductividad eléctrica catalogada por Uday *et al.* (2023) como Ligeramente salino. Lo cual se explica por los continuos drenajes que involucran al cultivo de arroz.

Figura 13

Evaluación del pH del suelo arrocero

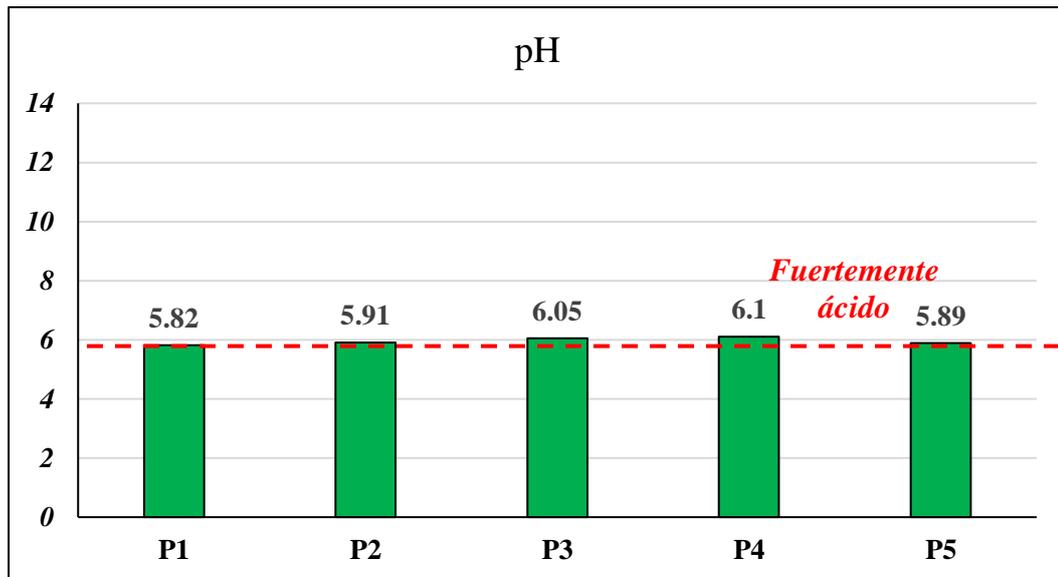
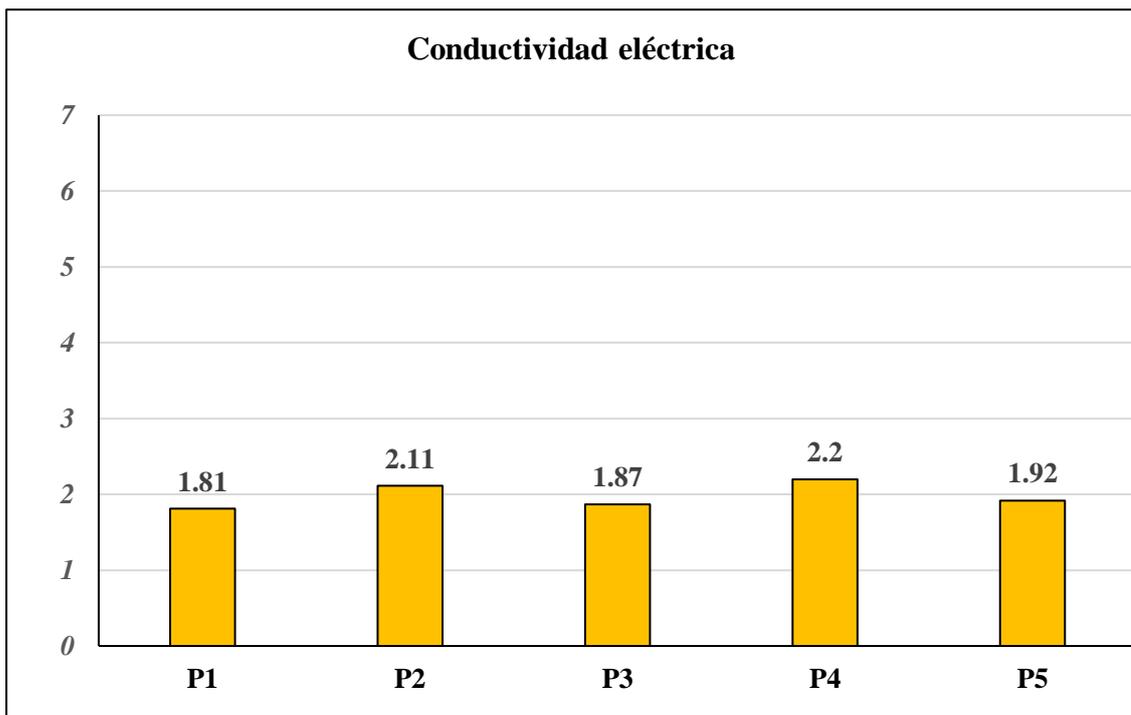


Figura 14

Evaluación de la conductividad eléctrica del suelo arrocero



3.2 Segundo objetivo: Aplicar el método estándar 3111 A-B para determinar cadmio en el superfosfato triple.

Figura 15

Curva de calibración del cadmio en el fertilizante superfosfato triple

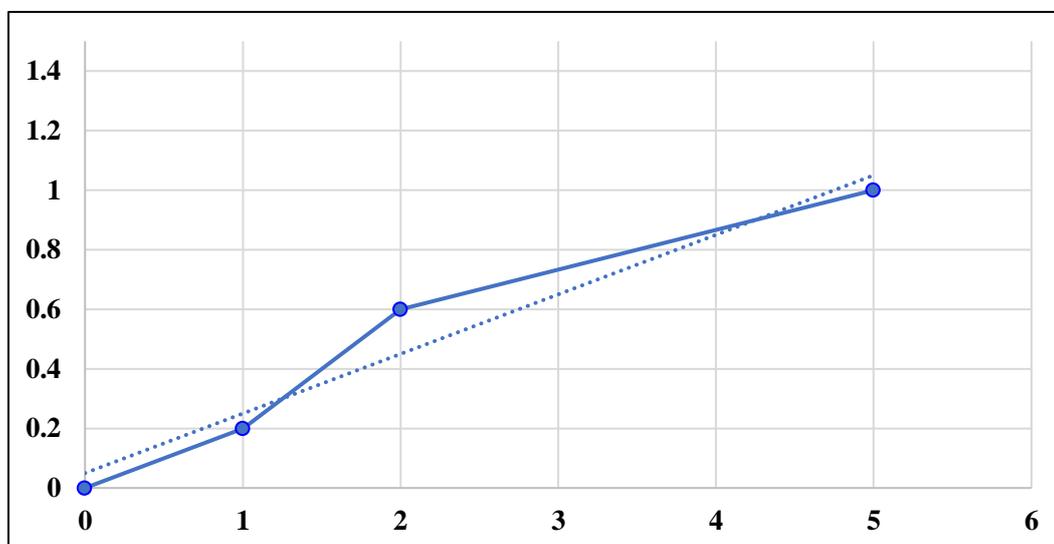


Tabla 13

Resultado de la concentración de cadmio en fertilizante superfosfato triple

N° de muestra	ppm Cd
P1	0.30
P2	0.35
P3	0.40
P4	0.40
P5	0.45
Promedio Cd fertilizante	0.38 ppm Cd SFT

Fuente: Laboratorio Rivelab SAC.

Interpretación:

Según Naz *et al.* (2022) el contenido de cadmio en el fertilizante superfosfato triple es moderado al hallarse una presencia de 0.38 ppm Cd, por debajo del límite: ≤ 0.5 ppm Cd.

Análisis estadístico:

Regresión Simple

N° de muestra vs. ppm Cadmio

Variable dependiente: N° de muestra

Variable independiente: ppm Cadmio

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Tabla 14

Análisis estadístico de los coeficientes

Parámetro	Estimado mínimos cuadrados	Error estándar	T estadístico	Valor-P
Intercepto	-7.23077	1.47464	-4.90342	0.0162
Pendiente	26.9231	3.84615	7.0	0.0060

Tabla 15

Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	9.42308	1	9.42308	49.00	0.0060
Residuo	0.576923	3	0.192308		
Total (Corr.)	10.0	4			

Coefficiente de Correlación = 0.970725

R-cuadrada = 94.2308 %

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 92.3077 %

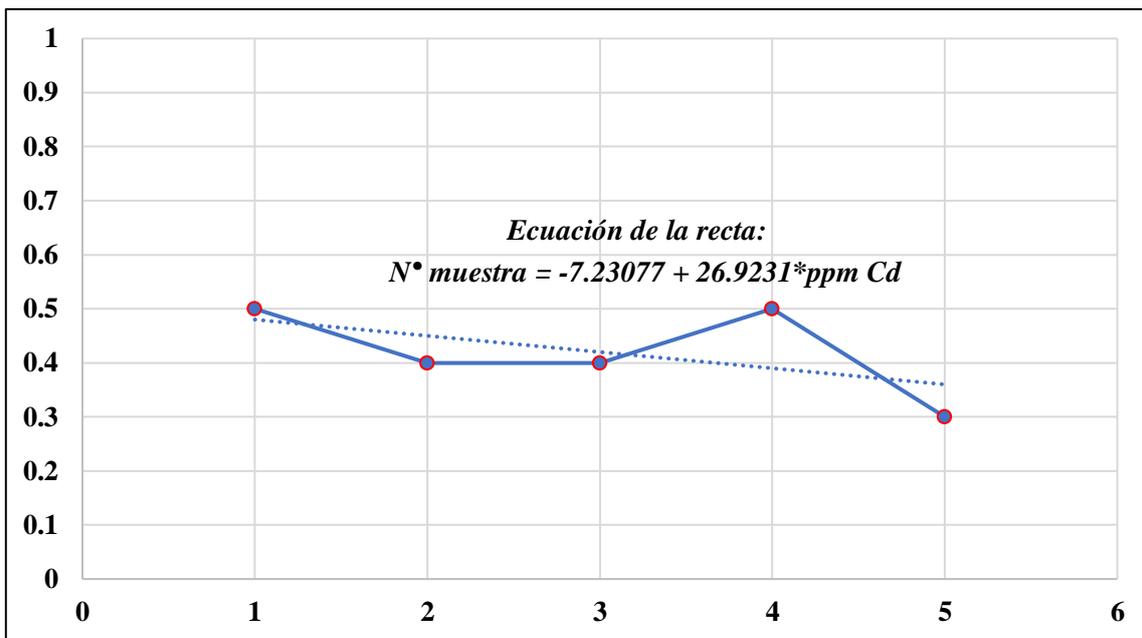
Error estándar del est. = 0.438529

Error absoluto medio = 0.292308

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre N° de muestra y ppm Cadmio con un nivel de confianza del 95.0%.

Figura 16

Evaluación del cadmio en fertilizante superfosfato triple



Tercer objetivo: Aplicar el método estándar 3111 A-B para determinar cadmio en una muestra de suelo arrocero.

Figura 17

Curva de calibración del cadmio en suelo arrocero

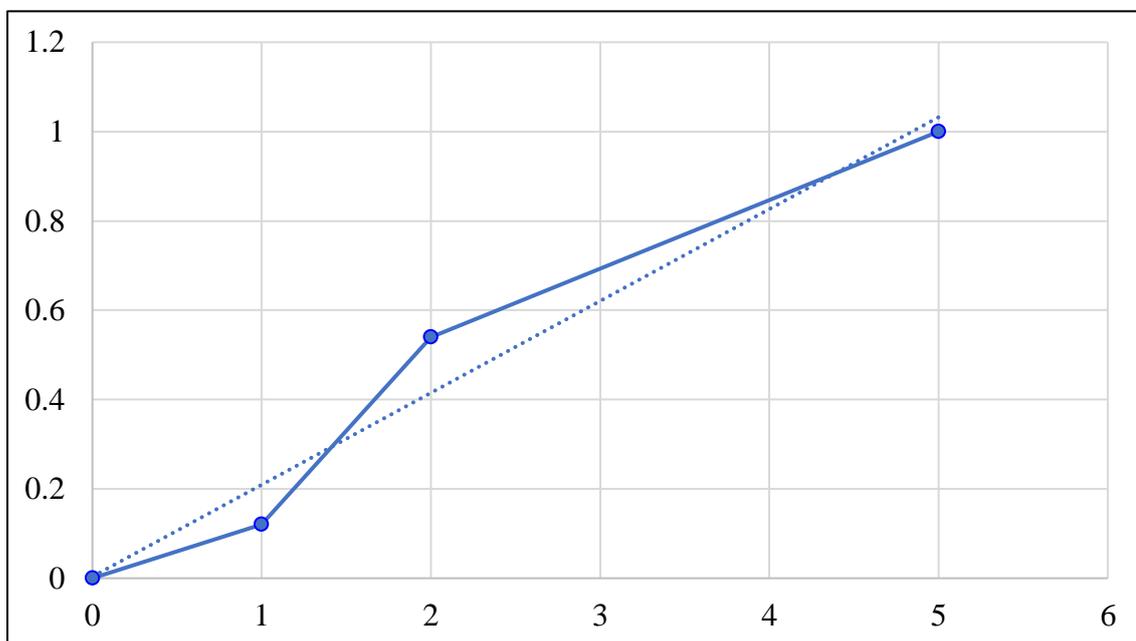


Tabla 16*Resultado de la concentración de cadmio en su suelo arrocero*

N° de muestra	UTM Este	UTM Norte	ppm Cd
P1	743889	9381532	0.18
P2	743124	9381621	0.34
P3	744824	9381524	0.54
P4	744648	9381347	0.68
P5	743921	9381054	0.99
Promedio Cd Suelo arrocero			0.54 ppm Cd

Fuente: Laboratorio Rivelab SAC.

Interpretación:

Por la cantidad de cadmio encontrada en el suelo arrocero de 0.54 ppm Cd, se puede concluir que se categoriza al suelo arrocero como suelo agrícola según el DS N° 011-2017-MINAM, que tiene como límite máximo permisible de 1.4 ppm Cd para un suelo agrícola

Análisis estadístico:**Regresión Simple**

N° muestra vs. ppm cadmio

Variable dependiente: N° muestra.

Variable independiente: ppm cadmio

Lineal: $Y = a + b \cdot X$ **Tabla 17***Análisis estadístico de los coeficientes*

Parámetro	Estimado mínimos cuadrados	Error estándar	T estadístico	Valor-P
Intercepto	0.266653	0.245449	1.08639	0.3568
Pendiente	5.00613	0.400059	12.5135	0.0011

Tabla 18

Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	9.81201	1	9.81201	156.59	0.0011
Residuo	0.187985	3	0.0626618		
Total (Corr.)	10.0	4			

Coefficiente de Correlación = 0.990556

R-cuadrada = 98.1201 %.

R-cuadrado (ajustado para Gl.) = 97.4935 %.

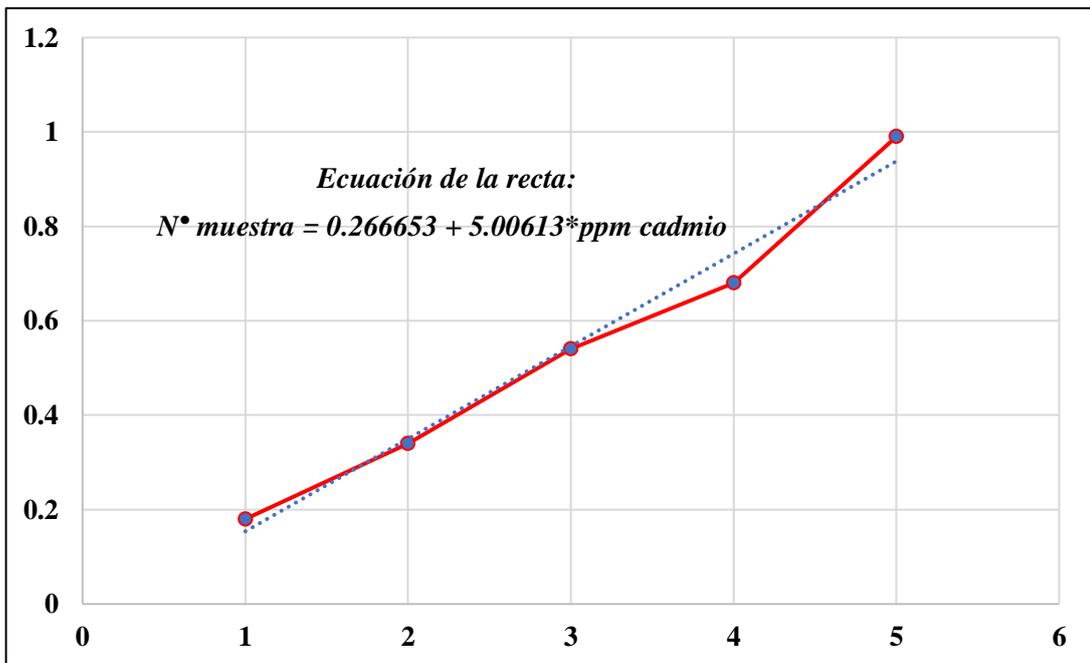
Error estándar del est. = 0.250323

Error absoluto medio = 0.156191

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre n° muestra y análisis cadmio suelos con un nivel de confianza del 95.0%.

Figura 18

Evaluación del cadmio en suelo arrocero



IV. DISCUSIÓN

La presente investigación evaluó la presencia de cadmio (Cd) en el fertilizante Superfosfato Triple (SFT) y en suelos arroceros del caserío San Agustín, distrito de Bellavista, provincia de Jaén. Los resultados obtenidos proporcionaron evidencia sobre la contaminación por metales pesados en fertilizantes de uso común como el superfosfato triple (SFT) y su posible impacto en la bioacumulación del cadmio en suelos dedicados al cultivo de arroz y la salud humana (Wang *et al.*, 2022). Los valores de pH obtenidos para el SFT oscilaron entre 6.45 y 6.75, con un promedio de 6.60, indicando su marcada acidez (Silva *et al.*, 2019). Por otro lado, el pH del suelo arrocero tuvo un promedio de 5.95, lo que sugiere condiciones fuertemente ácidas según Conklin (2014) situación común en suelos dedicados al cultivo de arroz. Según Conklin (2014) la acidez del fertilizante puede influir en la solubilidad de los metales pesados, facilitando su disponibilidad para las plantas. En cuanto a la conductividad eléctrica (CE), se registraron valores promedios de 5.04 mS/cm para el SFT y de 1.98 mS/cm para el suelo. Estos valores indicaron que el fertilizante SFT presentó una alta concentración de sales solubles, lo que puede alterar la estructura y la microbiota del suelo (Gülçiçek & Demirel, 2018). Dichas condiciones pueden influir además en la liberación de metales pesados, como el cadmio, aumentando el riesgo de contaminación del cultivo (Tasleem *et al.*, 2023). Los análisis mostraron que el SFT contenía un promedio de 0.38 ppm de Cd, con valores individuales que variaron entre 0.30 y 0.45 ppm. Estos valores coinciden con estudios previos que han reportado la presencia de cadmio en fertilizantes fosfatados, derivado de su origen en rocas sedimentarias ricas en impurezas metálicas (Naz *et al.*, 2022). Este hallazgo es preocupante debido a la aplicación recurrente de fertilizantes en cultivos de alta rotación, lo que podría favorecer la acumulación progresiva de Cd en los suelos (Soleimani *et al.*, 2023). En el suelo arrocero, la concentración promedio de Cd fue de 0.54 ppm, con valores individuales entre 0.18 y 0.99 ppm. La variabilidad observada podría explicarse por diferencias en la aplicación de fertilizantes, las condiciones ambientales y la dinámica de retención del metal en el suelo (Uddin *et al.*, 2021). El hecho de que algunas muestras se hallen cerca de 1 ppm es relevante, pues la normativa nacional DS N° 011-2017-MINAM establece como límite permitido para suelos agrícolas valores inferiores a 1.4 ppm. Este resultado sugiere que, en algunas áreas, el suelo podría estar alcanzando niveles críticos de contaminación (Soleimani *et al.*, 2023). La presencia de cadmio en suelos arroceros representa un riesgo potencial de bioacumulación en el arroz, lo que podría comprometer la

inocuidad del alimento y la salud de los consumidores (Wang *et al.*, 2022). Diversos estudios han reportado que el Cd puede ser absorbido por las plantas a través de sus raíces y almacenado en los granos de arroz, incrementando la exposición humana a este metal tóxico (Liu *et al.*, 2022). Además, la aplicación continua de fertilizantes fosfatados podría contribuir a un aumento sostenido de Cd en los suelos, afectando su fertilidad y productividad a largo plazo (Uday *et al.*, 2023). La actual investigación resalta la necesidad de regular y monitorear la calidad de los fertilizantes utilizados en la región, así como de implementar estrategias agronómicas para minimizar la absorción de Cd por las plantas (Gülçiçek & Demirel, 2018). Entre estas estrategias, se podría considerar el uso de fertilizantes con menor contenido de metales pesados, la aplicación de enmiendas orgánicas para reducir la biodisponibilidad del Cd y el monitoreo periódico de suelos y cultivos. Los resultados obtenidos confirman la presencia de cadmio en el fertilizante superfosfato triple y en suelos arroceros del caserío San Agustín. Los niveles detectados en algunas muestras de suelo colindan muy cerca con los límites recomendados, lo que sugiere un riesgo potencial de contaminación en el cultivo de arroz (Conklin, 2014) Es fundamental promover el uso responsable de fertilizantes y realizar estudios complementarios para evaluar la acumulación de Cd en los granos de arroz y su impacto en la salud humana.

Otra preocupación importante es el posible efecto de la acumulación de cadmio en la microbiota del suelo y su impacto en el ciclo de nutrientes (Uddin *et al.*, 2021). Algunos estudios han sugerido que el Cd puede alterar la actividad microbiana, reduciendo la capacidad de fijación de nitrógeno y la descomposición de materia orgánica, lo que podría comprometer la fertilidad del suelo en el tiempo (Silva *et al.*, 2019). Con esta investigación se demuestra la necesidad de regular y monitorear la calidad de los fertilizantes utilizados en el cultivo de arroz, independiente de la región, así como de implementar estrategias agronómicas para minimizar la absorción de Cd por las plantas. Entre estas estrategias, se podría considerar el uso de fertilizantes con menor contenido de metales pesados, la aplicación de enmiendas orgánicas para reducir la biodisponibilidad del Cd y el monitoreo periódico de suelos y cultivos (Wang *et al.*, 2022). Además, el uso de cultivos fitorremediadores podría ayudar a reducir las concentraciones de Cd en suelos contaminados, mejorando la sostenibilidad del sistema agrícola.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- El fertilizante superfosfato triple tuvo un pH promedio 6.60, alcanzó un pH mínimo 6.45 y un pH máximo 6.75; respecto a su conductividad eléctrica tuvo un promedio de 5.04 mS/cm y una conductividad mínima 4.3 mS/cm y una conductividad máxima 5.5 mS/cm. El suelo arrocero arrojó un pH promedio 5.95 y pH mínimo 5.82 y un pH máximo 6.10, respecto a su conductividad eléctrica tuvo un promedio de 1.98 mS/cm y una conductividad mínima 1.81 mS/cm y una conductividad máxima 2.2 mS/cm.
- Aplicado el método de análisis por espectrofotometría 3111 A-B, se obtuvo para el superfosfato triple un promedio de 0.38 ppm Cd (P1: 0.30 ppm Cd; P2: 0.35 ppm Cd; P3: 0.40 ppm Cd; P4: 0.40 ppm Cd y P5: 0.45 ppm Cd). La muestra se estandarizó para tres muestras patrón con los valores: Fiola 1: 0.2 ppm Cd, Fiola 2: 0.6 ppm Cd y Fiola 3: 1.0 ppm Cd.
- Aplicado el método de análisis por espectrofotometría 3111 A-B, se obtuvo para el superfosfato triple un promedio de 0.54 ppm Cd (P1: 0.18 ppm Cd; P2: 0.34 ppm Cd; P3: 0.54 ppm Cd; P4: 0.68 ppm Cd y P5: 0.99 ppm Cd). La muestra se estandarizó para tres muestras patrón con los valores: Fiola 1: 0.12 ppm Cd, Fiola 2: 0.54 ppm Cd y Fiola 3: 1.0 ppm Cd.

Recomendaciones:

- A las autoridades de la Agencia Agraria sede Jaén promover junto a la Universidad Nacional de Jaén un control periódico de los niveles de cadmio en los suelos dedicados a cultivos del tradicionales y fertilizantes utilizados en los cultivos arroceros, a fin de prevenir la acumulación progresiva de este metal pesado y minimizar su impacto en la producción agrícola.
- Es necesario promover el uso de fertilizantes fosfatados con bajos niveles de cadmio o explorar alternativas como los fertilizantes orgánicos, que podrían reducir la introducción de metales pesados en los suelos de cultivo. Por ejemplo, la adición de materia orgánica, biochar o compuestos a base de calcio y fósforo puede contribuir a inmovilizar el cadmio en el suelo, reduciendo su absorción por las plantas y minimizando el riesgo de contaminación del arroz.
- A los productores arroceros se recomienda implementar estrategias de rotación de cultivos y utilizar especies vegetales capaces de absorber metales pesados para la remediación de suelos contaminados. Esto ayudaría a disminuir la acumulación de cadmio en el suelo y mejoraría su fertilidad a largo plazo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Conklin, A. R. (2014). *Introduction to Soil Chemistry. Analysis and Instrumentation*. Second Edition. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Gülçiçek, O. & Demirel, Z.A. (2018). Investigation of heavy metal pollution caused by fertilizer in groundwater with a new approach: Göksu Delta, Turkey. *Eurasian Journal of Environmental Research* 1:(2)

DOI <https://www.researchgate.net/publication/326479248>.

Liu, M., Cao, W., Gao, P., Zhao, J., Muhammad, U., Zhou, Y., Wang, S., Pei, F., Zhang, Z., Yuan, L., Wang, Z., Cui, A., Chen, Z., Feng, Z., Hu, K., Chen, H., Zuo, S. (2022). Effects of two different selenium fertilizers on accumulation of selenium and heavy metals in rice grains in field trials. *Food Sci. Technol* 42.

<https://doi.org/10.1590/fst.117521>

MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). (2020).

Naz, S., Fazio, F., Habib, S. S., Nawaz, G., Attaullah, S., Ullah, M., Hayat, A., Ahmed, I. (2022). Incidence of Heavy Metals in the Application of Fertilizers to Crops (Wheat and Rice), a Fish (Common carp) Pond and a Human Health Risk Assessment. *Sustainability* 2022, 14, 13441.

<https://doi.org/10.3390/su142013441>

Tasleem. S., Masud, S., Habib, S. S., Naz, S., Fazio, F., Aslam, M., Ullah, M., Attaullah, S. (2023). Investigation of the incidence of heavy metals contamination in commonly used fertilizers applied to vegetables, fish ponds, and human health risk assessments. *Environ Sci Pollut Res Int*. Sep: 30(45): 100646-100659. DOI: 10.1007/s11356-023-29480.

SENASA (2015) Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú.

- Silv*a, L. S., De Luna, I. C., Gomes, R. P., Filla, V. A., Costa, M. C., De Freitas, L., De Oliveira, I. A., Prazeres, K. P., De Souza, E. D. & Cazzeta, J. O. (2019). Investigation of heavy metal accumulation in soil, water and plants in areas with intensive horticulture. *Australian Journal Of. AJCS* 13(02):192-198.
DOI: 10.21475/ajcs.19.13.02.p1146
- Soleimani, H., Mansouri, B., Kiani, A., Omer, A. K., Tazik, M., Ebrahimzadeh, G. & Sharafi, K. (2023). Ecological risk assessment and heavy metals accumulation in agriculture soils irrigated with treated wastewater effluent, river water, and well water combined with chemical fertilizers. *Science Direct. Heliyon*. Volume 9, Issue 3. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14580>
- Uday, S. N., Govinda, K., Bhavya, N. & Krishna Murthy, R. (2023). Heavy Metal Content In Chemical Fertilizers and its Implications on Agroecosystems and Human Health. *Recent Advances in Agricultural Sciences and Technology* 1748-1759.
- Uddin, M. M., Zakeel M. C. M., Zavahir, J. S., Marikar, F. M. M. T. & Jahan, I. (2021). Heavy Metal Accumulation in Rice and Aquatic Plants Used as Human Food: A General Review. *Toxics*. Dec; 9 (12): 360.
DOI: 10.3390/toxics9120360
- Naz M, Dai Z, Hussain S, Tariq M, Danish S, Khan IU, Qi S, Du D. The soil pH and heavy metals revealed their impact on soil microbial community. *J Environ Manage*. 2022 Nov 1;321:115770. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115770. Epub 2022 Aug 30. PMID: 36104873.
- Wang, L., Liu, S., Li, J. & Li. S. (2022). Effects of Several Organic Fertilizers on Heavy Metal Passivation in Cd-Contaminated Gray-Purple Soil. *Toxicology, Pollution and the Environment*. Volume 10. Julio.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.895646>

DEDICATORIA

A Dios por darme la fuerza necesaria para no desistir de lograr este objetivo.

A mis padres, María y Aníbal, por su amor y apoyo incondicional, que me brindaron cada día.

DUBER

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme guiado, y dado fuerza para salir adelante, a mi familia por su comprensión, apoyo moral que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

Gracias, Dr, Juan Manuel garay Román por su guía y orientación experta en nuestra investigación.

DUBER

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

A Dios y a mis padres por su amor y apoyo incondicional durante este proceso, sin ellos no habría llegado hasta aquí.

A mi mismo por mi perseverancia y dedicación. Este logro es fruto de mi esfuerzo y compromiso.

Disban

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios a mi familia y a todos aquellos que han creído en mí y me han apoyado en este proceso.

Gracias, Dr., Juan Manuel garay Román por su guía y orientación experta en nuestra investigación.

Disban

ANEXOS

Figura 19. D.S. N° 011-2017-MINAM

14 NORMAS LEGALES Sábado 24 de diciembre de 2017 / El Peruano				
ANEXO				
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO				
Parámetros en mg/kg PS ⁽¹⁾	Usos del Suelo ⁽⁴⁾			Métodos de ensayo ⁽⁵⁾
	Suelo Agrícola ⁽¹⁾	Suelo Residencial/Parques ⁽²⁾	Suelo Comercial/ ⁽³⁾ Industrial/ ⁽³⁾ Extractivo ⁽³⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁶⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xileno ⁽⁷⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos policíclicos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Freción de hidrocarburos F1 ⁽⁸⁾ (C6-C10)	200	250	500	EPA 8015
Freción de hidrocarburos F2 ⁽⁸⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Freción de hidrocarburos F3 ⁽⁸⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Orgánicos				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽⁹⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Térbacloetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Titrocloetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Sodio total ⁽¹⁰⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060 ⁽¹¹⁾ EPA 7100 ó DIN EN 15162 ⁽¹²⁾
Mercurio	0,0	0,0	24	EPA 7471 EPA 8020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,0	0,0	8	EPA 8013 SEMUN-ANMA-NEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17000:2015

Notas:

(*) Este símbolo dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el uso de suelo agrícola.

(1) Suelo: Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

(2) PS: Peso seco.

(3) Suelo agrícola: Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de bosques y áreas raras, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

(4) Suelo residencial/parques: Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.

(5) Suelo comercial: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

(6) Suelo industrial/extractivo: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la explotación, transformación o construcción de bienes.

(7) Métodos de ensayo estandarizados vigentes o métodos validados y que cuentan con la acreditación nacional e internacional correspondiente, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la Organización Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). Los métodos de ensayo deben contar con límites de cuantificación que estén por debajo del ECA.

Figura 20. Análisis químico de Cd en superfosfato triple



INFORME DE ENSAYO N°198-2025 RIVELAB

Emérito en Trujillo, 28 de febrero de 2025 Pág. 1 de 1

1. DATOS DEL SOLICITANTE

N° ORDEN DE TRABAJO : 18-1362255A
 SOLICITANTES : DUBER PARHUAMAN ABAD
 DNI : -

2. DATOS DEL SERVICIO

TIPO DE MUESTRA : Fertilizante (Superfosfato triple - TSP)
 ENSAYO SOLICITADO : Determinación de Cadmio (FQ-Cd)
 NUMERO DE MUESTRAS : 05
 CODIGOS DE MUESTRAS : F1, F2, F3, F4, F5
 CANTIDAD DE MUESTRA : 300 g de c/u

3. DATOS DEL MUESTREO Y/O RECEPCIÓN DE MUESTRA

LUGAR DE ORIGEN DE MUESTRA : Muestra proporcionada por el solicitante (Casero San Agustín, Bellavista)
 LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN : Av. Bosadilla 524 Urb. Monserrate - Trujillo, 13 de febrero del 2025
 FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS : 13-02-2025
 FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS : 28-02-2025

4. RESULTADOS

ENSAYOS QUIMICO

Cod. Muestra	UNIDADES	L.M.D	L.M.C	RESULTADOS
F1	mg/kg	0.005	0.02	0.30
F2	mg/kg	0.005	0.02	0.35
F3	mg/kg	0.005	0.02	0.40
F4	mg/kg	0.005	0.02	0.40
F5	mg/kg	0.005	0.02	0.45

L.M.D.: Límite de detección
 L.M.C.: Límite de cuantificación

5. METODOS DE ENSAYO

ENSAYOS	REFERENCIA O NORMA
Cadmio	EPA Method 8008, Revision 2, 1999/ EPA Method 7008, Revision 2, 2007 Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils of Trace Metals; Absorption Spectrophotometry



Dr. José RIVERO CORCUERA
 Ingeniero Químico
 R. CIP 138819

Este documento y la información contenida en él es propiedad y propiedad de LABORATORIO RIVERO SAC - RIVELAB SAC. No debe ser distribuido sin autorización, queda prohibida su reproducción, impresión de pantalla y/o web.

☎ 052103730
 ✉ info@rivero.com.pe
 📍 Av. Bosadilla 524 Urb. Monserrate - Trujillo

Figura 21. Análisis químico de Cd en suelo agrícola



INFORME DE ENSAYO N°199-2025 RIVELAB

Pág. 1 de 1

Emitido en Trujillo, 28 de febrero de 2025

- DATOS DEL SOLICITANTE**

N° ORDEN DE TRABAJO : 18-1302256A
 SOLICITANTES : DUBER PARHUMAM ABAO
 DNI : —
- DATOS DEL SERVICIO**

TIPO DE MUESTRA : Suelo agrícola
 ENSAYO SOLICITADO : Determinación de Cadmio (Pb-Cd)
 NUMERO DE MUESTRAS : 05
 CODIGOS DE MUESTRAS : S1, S2, S3, S4, S5
 CANTIDAD DE MUESTRA : 300 g de clo
- DATOS DEL MUESTREO Y/O RECEPCIÓN DE MUESTRA**

LUGAR DE ORIGEN DE MUESTRA : Muestra proporcionada por el solicitante (Caserío San Agustín, Bellavista)
 LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN : Av. Bobadilla 524 Urb. Mirasolense – Trujillo, 13 de febrero del 2025
 FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS : 13-02-2025
 FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS : 28-02-2025
- RESULTADOS**

ENSAYOS QUÍMICO

Cod. Muestra	UNIDADES	L.M.D	L.M.C	RESULTADOS
S1	mg/kg	0.005	0.02	0.18
S2	mg/kg	0.005	0.02	0.34
S3	mg/kg	0.005	0.02	0.54
S4	mg/kg	0.005	0.02	0.68
S5	mg/kg	0.005	0.02	0.86
- MÉTODOS DE ENSAYO**

ENSAYOS	REFERENCIA O NORMA
Cadmio	EPA Method 2005E, Revision 2, 1996/EPA Method 1631E, Revision 2, 2007 Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils of Flame Atomic Absorption Spectrophotometry



Dr. JOSÉ RIVERO CONCUERA
 Ingeniero Químico
 R. CIP. 130519



© RIVELAB

Este documento y la información contenida en él es confidencial y propiedad de RIVELAB S.A.C. No debe ser distribuido sin autorización, queda prohibida su reproducción, transformación o cualquier otro uso no autorizado.

T. San. Bobadilla 4933 Urb. Mirasolense – Trujillo