UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÈN

FACULTAD DE INGENIERÌA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÌA FORESTAL Y AMBIENTAL

"INFLUENCIA DE FERTILIZANTES SINTÉTICOS EN LA ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA (Cadmio y Plomo) EN UN SUELO ARROCERO DEL SECTOR YANUYACU BAJO, JAÉN"

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERIO FORESTAL Y AMBIENTAL

Autor (a): Bach. Mercedes Castillo Chasquero
Bach. Diana Rosalia Merino Abad

Asesor (a): Dr. James Tirado Lara

Línea de Investigación: Conservación, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales

JAÈN - PERÙ 2026

Castillo Chasquero Mercedes Y Merino Abad Diana R.

INFLUENCIA DE FERTILIZANTES SINTÉTICOS EN LA ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA (Cadmio y Plomo) EN ...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3672357683

Fecha de entrega
7 oct 2026, 2:54 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
9 oct 2026, 9:08 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
Imprimir_informe_final_-_mercedes_castillo_chasquero.pdf

Tamaño del archivo
5.1 MB

91 páginas

14.136 palabras

79.745 caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

4% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

ACTA DE SUSTENTACIÓN

El día 24 de julio del año 2026, siendo las 10:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado evaluador de manera presencial, en la sala de docentes de la escuela de Ingeniería Forestal y Ambiental.

Presidente: Dr. Segundo Sánchez Tello
Secretario: Mg. Noly Cristobal Vílchez Parra
Vocal: Dr. Víctor Hugo Gómez Ramírez, para evaluar la sustentación del:
(X) Informe final de tesis
( ) Proyecto de tesis
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:
"INFLUENCIA DE FERTILIZANTES SINTÉTICOS EN LA ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA (Cd y Pb) EN UN SUELO ARROCERO DEL SECTOR YANUYACU BAJO, JAÉN", presentado por las **Bach. Mercedes Castillo Chasquero y Bach. Diana Rosalia Merino Abad** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:
(X) Aprobar ( ) Desaprobar (X) Unanimidad ( ) Mayoría
Con la siguiente mención:

a)	Excelente	18, 19, 20	( )
b)	Muy bueno	16, 17	( )
c)	Bueno	14, 15	(14)
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 ò menos	( )

Siendo las _____ horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 24 de julio del 2026

Dr. Segundo Sánchez Tello
Presidente

Mg. Noly Cristobal Vílchez Parra
Secretario

Dr. Víctor Hugo Gómez Ramírez
Vocal

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Mercedes Castillo Chasquero, bachiller de la carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la facultad de Ingeniería de Universidad Nacional de Jaén, identificado con DNI 72123732.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

   "INFLUENCIA DE FERTILIZANTES SINTÉTICOS EN LA ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA (Cadmio y Plomo) EN UN SUELO ARROCERO DEL SECTOR YANUYACU BAJO, JAÉN"
   Asesorado por Dr. James Tirado Lara.
   El mismo que presento bajo la modalidad 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.

Jaén, 16 de octubre del 2026



Mercedes Castillo Chasquero

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Diana Rosalia Merino Abad, bachiller de la carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la facultad de Ingeniería de Universidad Nacional de Jaén, identificado con DNI 75408201.

Declaro bajo juramento que:

7. Soy Autor del trabajo titulado:

   "INFLUENCIA DE FERTILIZANTES SINTÉTICOS EN LA ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA (Cadmio y Plomo) EN UN SUELO ARROCERO DEL SECTOR YANUYACU BAJO, JAÉN"
   Asesorado por Dr. James Tirado Lara.
   El mismo que presento bajo la modalidad 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.

Jaén, 16 de octubre del 2026



Diana Rosalia Merino Abad

ÍNDICE

ÍNDICE ..... **ii**
Índice de tablas ..... **iv**
Índice de figuras ..... **vi**
RESUMEN ..... **viii**
ABSTRACT ..... **ix**
I. INTRODUCCIÓN 10
II. MATERIALES Y MÉTODOS 13
2.1. Localización del área de estudio 13
2.2. Materiales, equipos e insumos 13
2.2.1. Materiales e insumos de Campo 13
2.2.2. Materiales, equipos e insumos de laboratorio 13
2.3. Muestra y Muestreo 14
2.3.1. Muestra 14
2.3.2. Muestreo 14
2.4. Tipo y Diseño de Investigación 15
2.4.1. Diseño Experimental 15
2.4.2. Características del diseño experimental 15
2.4.3. Variable de estudio 17
2.4.4. Tratamientos experimentales 17
2.5. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos 19
2.5.1. Métodos y técnicas 19
2.5.2. Procedimiento 19
2.6. Hipótesis 22
2.7. Análisis de datos 22
III. RESULTADOS 23
3.1. Cuantificar las concentraciones de Cadmio y plomo en un suelo arrocero sometido a la aplicación de fertilizantes sintéticos 23
3.1.1. Primera etapa: Antes de la fertilización 23
3.1.2. Segunda etapa: Primera Fertilización 26
3.1.3. Tercera etapa: Segunda fertilización 28
3.1.4. Cuarta Etapa: Tercera fertilización 32

3.1.5. Quinta Etapa: Después de la Cosecha 34
3.2. Prueba de hipótesis 37
3.3. Determinar el pH en un suelo arrocero para analizar su influencia en la acumulación de cadmio y plomo 38
3.3.1. Correlación de Pearson pH - cadmio 38
3.3.2. Correlación de Pearson pH – plomo 39
3.4. Comparar las concentraciones de Cadmio y Plomo en un suelo arrocero fertilizado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo establecidos por MINAM. 41
IV. DISCUSIÓN 43
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 46
5.1. Conclusiones 46
5.2. Recomendaciones 47
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 48
AGRADECIMIENTO 52
DEDICATORIA 53
ANEXOS 54

Índice de tablas

Tabla 1 Tratamientos experimentales empleados.....17
Tabla 2 Composición nutricional de los fertilizantes sintéticos empleados.....18
Tabla 3 Composición nutricional de los fertilizantes sintéticos empleados.....19
Tabla 4 Análisis de varianza (ANOVA) contenido de cadmio antes de la fertilización 23
Tabla 5 Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para cadmio.....24
Tabla 6 Análisis de varianza (ANOVA) contenido de plomo antes de la fertilización . 25
Tabla 7 ANOVA contenido de cadmio primera de la fertilización.....26
Tabla 8 Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para cadmio.....27
Tabla 9 ANOVA contenido de plomo primera de la fertilización 28
Tabla 10 ANOVA contenido de cadmio segunda fertilización.....29
Tabla 11 Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para cadmio.....30
Tabla 12 ANOVA contenido de plomo segunda fertilización 31
Tabla 13 Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para plomo 31
Tabla 14 ANOVA contenido de cadmio tercera fertilización.....32
Tabla 15 ANOVA contenido de plomo tercera fertilización.....34
Tabla 16 ANOVA contenido de Cd después de la cosecha.....35
Tabla 17 ANOVA contenido de plomo después de la cosecha.....36
Tabla 18 Correlación pH - cadmio en las cinco etapas 38
Tabla 19 Correlación pH – plomo en las cinco etapas 40
Tabla 20 Comparación de cadmio y plomo con los ECA en las diferentes etapas evaluación 41
Tabla 21 Concentraciones promedio de cadmio y plomo por etapa 42
Tabla 22 Base de datos para el análisis estadístico 71
Tabla 23 Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk 73
Tabla 24 Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas 74
Tabla 25 Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk 74
Tabla 26 Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas 74
Tabla 27 Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk 75
Tabla 28 Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas 75
Tabla 29 Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk 75
Tabla 30 Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas 76
Tabla 31 Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk 76
Tabla 32 Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas 77

Tabla 33 Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk 77
Tabla 34 Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas 78
Tabla 35 Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk 78
Tabla 36 Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas 79
Tabla 37 Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk 79
Tabla 38 Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas 80
Tabla 39 Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk 80
Tabla 40 Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas 81
Tabla 41 Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk 81
Tabla 42 Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas 82
Tabla 43 Matriz de correlación antes de la fertilización 83
Tabla 44 Matriz de correlación primera fertilización 83
Tabla 45 Matriz de correlación segunda fertilización 84
Tabla 46 Matriz de correlación tercera fertilización 84
Tabla 47 Matriz de correlación después de la cosecha 85

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación del área de estudio.....13
Figura 2 Croquis del diseño experimental DBCA implementado 16
Figura 3 Concentración de cadmio en el suelo obtenido por cada tratamiento 24
Figura 4 Concentración de plomo en el suelo obtenido por cada tratamiento.....25
Figura 5 Concentración de cadmio en el suelo obtenido por cada tratamiento 27
Figura 6 Concentración de plomo en el suelo obtenido por cada tratamiento.....28
Figura 7 Concentración de cadmio en el suelo obtenido por cada tratamiento 30
Figura 8 Concentración de plomo en el suelo obtenido por cada tratamiento.....32
Figura 9 Concentración de cadmio en el suelo obtenido por cada tratamiento 33
Figura 10 Concentración de plomo en el suelo obtenido por cada tratamiento.....34
Figura 11 Concentración de cadmio en el suelo obtenido por cada tratamiento 35
Figura 12 Concentración de plomo en el suelo obtenido por cada tratamiento..... 36
Figura 13 Correlación de Pearson entre pH-cadmio en las diferentes etapas del cultivo de arroz 39
Figura 14 Correlación de Pearson entre pH-plomo en las diferentes etapas del cultivo de arroz 40
Figura 15 Comparación de las concentraciones de Cadmio y plomo con los ECA 42
Figura 16 Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Cd antes de la fertilización73
Figura 17 Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Pb antes de la fertilización 74
Figura 18 Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Cd primera fertilización 75
Figura 19 Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Pb primera fertilización 76
Figura 20 Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Cd segunda fertilización 77
Figura 21 *Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Pb segunda fertilización* 78
Figura 22 Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Cd tercera fertilización 79
Figura 23 *Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Pb tercera fertilización* 80
Figura 24 Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Cd después de la cosecha . 81
Figura 25 *Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Pb Después de la cosecha* 82
Figura 26 Instalación del Diseño experimental 86
Figura 27 Recolección de muestras 86
Figura 28 Secado de muestras 87
Figura 29 Etiquetado de las muestras para llevar al laboratorio 87
Figura 30 Peso de muestras para digestión 88

Figura 31 Preparación y digestión de las muestras.....88
Figura 32 Análisis de Cd y Pb 89
Figura 33 Preparación de las muestras para analizar el pH 89
Figura 34 Análisis del pH 90

RESUMEN

La acumulación de elementos traza en suelos agrícolas por el uso de fertilizantes sintéticos representa un potencial riesgo ambiental. El objetivo de este estudio fue evaluar las concentraciones de cadmio y plomo en un suelo arrocero sometido a diferentes programas de fertilización sintética, analizar su relación con el pH y compararlas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cinco bloques. Las concentraciones de Cd y Pb se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica con atomización por flama, previa digestión de las muestras mediante el método USEPA 3051A. Los datos se analizaron mediante ANOVA, prueba de Tukey y correlación de Pearson. El Cadmio presentó diferencias significativas entre tratamientos antes de la fertilización y durante la primera y segunda fertilización, mientras que el plomo solo mostró diferencias durante la segunda fertilización. La correlación entre el pH y el cadmio fue negativa y significativa únicamente en la primera fertilización; para el plomo no se observaron correlaciones significativas. Las concentraciones de Cadmio y plomo permanecieron por debajo de los ECA para suelo agrícola. Se concluye que los programas de fertilización estuvieron asociados con variaciones en las concentraciones de cadmio y plomo, sin superar los estándares ambientales establecidos.

Palabras clave: cadmio, plomo, pH, fertilizantes sintéticos, suelo arrocero.

ABSTRACT

The accumulation of trace elements in agricultural soils due to the use of synthetic fertilizers represents a potential environmental risk. The objective of this study was to evaluate the concentrations of cadmium (Cd) and lead (Pb) in a paddy soil subjected to different synthetic fertilization programs, analyze their relationship with soil pH, and compare them with the Peruvian Environmental Quality Standards (EQS) for soil. A randomized complete block design (RCBD) with four treatments and five blocks was used. Cadmium and lead concentrations were determined by flame atomic absorption spectrophotometry (FAAS) after sample digestion using the USEPA 3051A method. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), Tukey's test, and Pearson's correlation. Cadmium showed significant differences among treatments before fertilization and during the first and second fertilization stages, whereas lead showed significant differences only during the second fertilization stage. The correlation between soil pH and Cd was negative and significant only during the first fertilization stage, while no significant correlations were observed for Pb. Cadmium and lead concentrations remained below the Peruvian Environmental Quality Standards for agricultural soils. It is concluded that the fertilization programs were associated with variations in Cd and Pb concentrations without exceeding the established environmental standards.

Keywords: cadmium, lead, pH, synthetic fertilizers, paddy soil

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el uso de fertilizantes sintéticos se ha incrementado significativamente como respuesta a la creciente demanda de alimentos y a la necesidad de mejorar la productividad agrícola (Xu et al., 2022). Sin embargo, diversos estudios han evidenciado que estos insumos, especialmente los fertilizantes fosfatados, pueden contener elementos traza como cadmio (Cd) y plomo (Pb), los cuales se incorporan progresivamente en el suelo agrícola (Gómez et al., 2023). En este sentido, la aplicación continua de fertilizantes sintéticos constituye una fuente importante de ingreso de estos elementos traza al suelo, favoreciendo su acumulación debido a su persistencia y baja degradabilidad en el ambiente (Amjad et al., 2024).

La acumulación de cadmio y plomo en el suelo no sólo depende de su aporte externo, sino también de las condiciones fisicoquímicas del mismo. Entre estos factores, el pH, la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico juegan un papel determinante en su comportamiento (Wan et al., 2024). En particular, el pH influye directamente en la movilidad y biodisponibilidad de los elementos traza, ya que en suelos ácidos estos tienden a ser más solubles y, por tanto, más disponibles para las plantas (Gupta et al., 2019). Asimismo, variaciones en el pH pueden modificar los procesos de adsorción y desorción, favoreciendo la retención o liberación de cadmio y plomo en el suelo. Por ello, el análisis del pH resulta fundamental para comprender la dinámica de estos elementos en sistemas agrícolas (Yu et al., 2023).

En los sistemas agrícolas intensivos, la acumulación de elementos traza adquiere mayor relevancia debido a su interacción directa con los cultivos y su posible incorporación a la cadena alimentaria (Liu et al., 2023). En este contexto, el uso continuo de fertilizantes sintéticos ha sido identificado como un factor clave en el incremento de cadmio y plomo en suelos cultivados, lo que plantea la necesidad de evaluar su influencia bajo condiciones específicas de manejo agrícola (Wang et al., 2023).

Particularmente, en los sistemas de cultivo de arroz, las condiciones de inundación generan cambios en el potencial redox del suelo, lo que modifica la disponibilidad de los elementos traza y puede incrementar su absorción por las plantas (Gupta et al., 2019). Estas condiciones favorecen la movilización del cadmio, incrementando su transferencia hacia el cultivo (Sun et al., 2021). El arroz presenta una alta capacidad de absorción y acumulación de cadmio, especialmente en suelos inundados, lo que incrementa su translocación hacia el grano y representa un riesgo para la seguridad alimentaria debido a la exposición humana por su

consumo (Liu et al., 2023). En el caso del plomo, aunque presenta menor movilidad, puede acumularse en el suelo durante largos periodos; sin embargo, cambios en el pH y en la materia orgánica pueden favorecer su liberación y disponibilidad (Wu et al., 2021).

A nivel internacional, diversos estudios han reportado la presencia de cadmio y plomo en suelos agrícolas asociados al uso continuo de fertilizantes (Zhao et al., 2024). Asimismo, Ochoa et al. (2020) encontraron concentraciones de cadmio cercanas a los límites permisibles en suelos arroceros, así como niveles elevados de plomo en las muestras analizadas. Por su parte, Liu et al. (2023) evidenciaron que la acumulación de estos elementos está directamente relacionada con prácticas agrícolas intensivas. Asimismo, investigaciones recientes han confirmado que la contaminación por elementos traza en suelos agrícolas constituye un problema creciente a nivel global (Zhang y Li, 2022).

Astonitas et al. (2021), reportaron concentraciones de Cadmio que superan los estándares establecidos por la normativa peruana los cuales permiten evaluar el nivel de contaminación y el riesgo ambiental en suelos agrícolas (Ministerio del Ambiente, 2017). En ese sentido, investigaciones evidenciaron concentraciones de cadmio superiores a 1.4 mg/kg en suelos agrícolas influenciados por actividades mineras (Ortega, 2018). A su vez, estudios en zonas agrícolas como el valle de Ica reportaron valores de cadmio de hasta 3.4 mg/kg, superando el límite permisible (Allccaco, 2024).

En la región Cajamarca, específicamente en la provincia de Jaén, el cultivo de arroz representa una actividad económica relevante. No obstante, en el sector Yanuyacu Bajo existe escasa información sobre la acumulación de cadmio y plomo en suelos arroceros asociada al uso de fertilizantes sintéticos. Esta situación se ve agravada por el uso frecuente de estos insumos sin un adecuado manejo técnico y el limitado cumplimiento de normativas ambientales lo que podría favorecer la acumulación progresiva de estos elementos en el suelo. La ausencia de estudios específicos en esta zona dificulta la evaluación de riesgos ambientales y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles (Wan et al., 2024).

Cabe destacar que los elementos trazan como cadmio y plomo son elementos no biodegradables que pueden permanecer en el ambiente durante largos periodos, facilitando su ingreso a la cadena alimentaria. La exposición prolongada a estos elementos se ha asociado con efectos adversos en la salud humana, incluyendo daños renales, hepáticos y neurológicos (Soto-Benavente et al., 2020).

Bajo este enfoque, la presente investigación se justifica por la necesidad de evaluar la influencia de los fertilizantes sintéticos en la acumulación de cadmio y plomo en suelos arroceros del sector Yanuyacu Bajo, provincia de Jaén, integrando además el análisis del pH

como factor determinante en la disponibilidad de estos elementos. La generación de esta información permitirá contribuir al desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles y a la protección de la salud ambiental.

Por lo tanto, el objetivo general de la investigación fue evaluar la influencia de los fertilizantes sintéticos en la acumulación de cadmio y plomo en un suelo arrocero del sector Yanuyacu Bajo, provincia de Jaén. Como objetivos específicos se plantearon: (i) cuantificar las concentraciones de cadmio y plomo en el suelo sometido a la aplicación de fertilizantes sintéticos, (ii) determinar el pH del suelo para analizar su influencia en la acumulación de estos elementos y (iii) comparar los niveles obtenidos con los Estándares de calidad ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM).

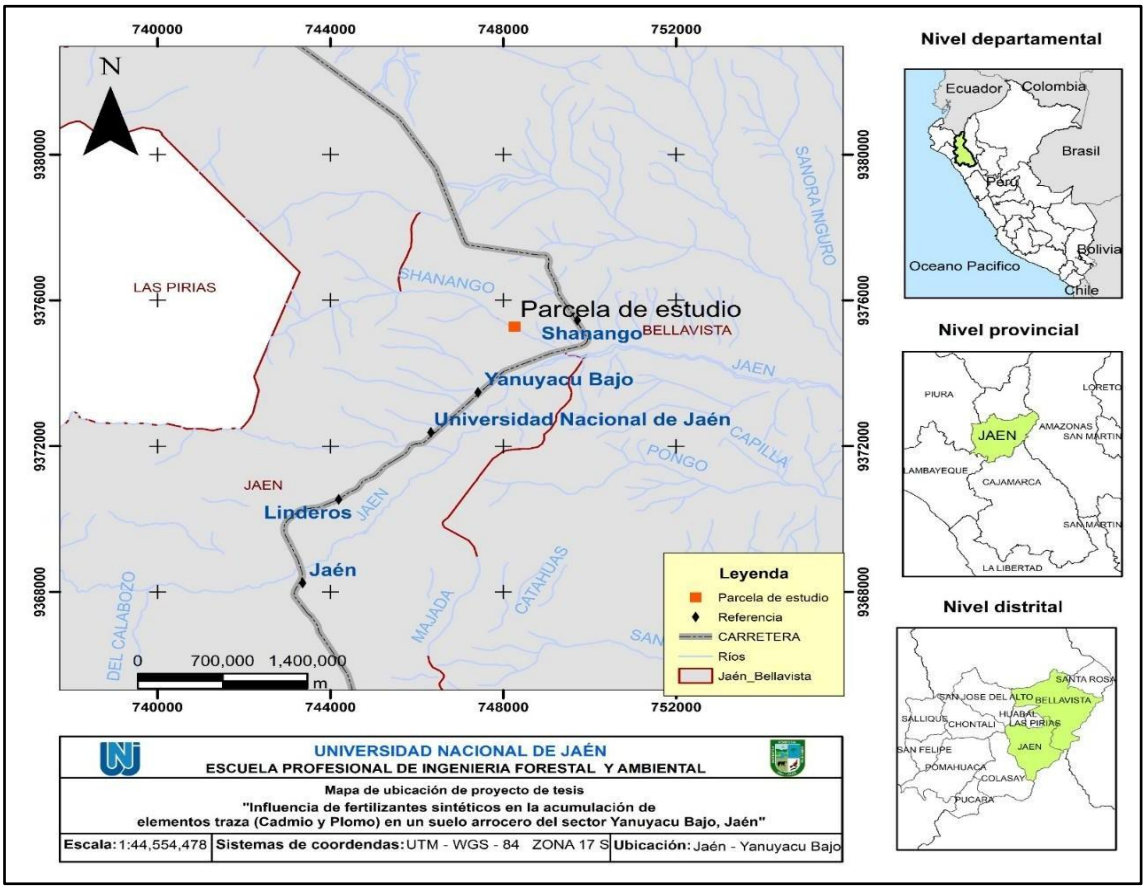
II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización del área de estudio

El experimento se ejecutó en la parcela del señor Juan Elera, ubicada en el Sector Yanuyacu Bajo de la Provincia de Jaén, Cajamarca, situado en coordenadas 5°38′51″ Sur y 78°45′31″ Oeste, correspondiente a un suelo arrocero (Figura 1).

Figura 1

Mapa de ubicación del área de estudio



2.2. Materiales, equipos e insumos

2.2.1. Materiales e insumos de Campo

Cinta métrica, estacas, pita rafia, palana, bolsas de polietileno, cinta masking, machete, marcador impermeable, bloqueador, guantes, botas de campo, espátula y fertilizantes sintéticos.

2.2.2. Materiales, equipos e insumos de laboratorio

Equipos

- Estufa Esterilizada 256 L, marca binder, modelo ED260
- EAA Espectrofotómetro, marca agilen technologies, modelo 280FS AA,

- Digestor por microondas, marca anton para, modelo multiwave Pro
- Agitador magnético, marca IKA, modelo C-MAGHS7
- pH-Digital de mesa, marca WTW, modelo Inolab PH 7110
- Balanza analítica, marca BOECO, modelo BAS31 PLUS
- Vitrina extractora de gases, marca topAir, modelo FH-180-PP-ACT

Materiales

- Mortero
- Tamiz
- Papel toalla
- Papel filtro
- Mascarillas
- Guantes de nitrilo
- Guantes de látex
- Fiolas de 25 ml
- Bandejas de aluminio
- Envases transparentes
- Varilla de a agitación
- Viales de vidrio
- Embudo de filtración
- Pastillas de agitado
- Cuaderno de apuntes
- Marcador

Insumos

- Agua destilada
- HNO_3 y HCl.

2.3. Muestra y Muestreo

2.3.1. Muestra

La muestra estuvo conformada por 20 unidades experimentales, correspondientes a porciones de suelo obtenidas de manera aleatoria. De cada parcela experimental se extrajeron aproximadamente 100 g de suelo, cantidad suficiente para la determinación de elementos traza, considerando los requerimientos del método USEPA 3051A (2007).

2.3.2. Muestreo

El muestreo fue de tipo probabilístico. En cada parcela experimental se seleccionaron aleatoriamente los puntos de muestreo para la obtención de una

muestra compuesta representativa. Los instrumentos utilizados fueron limpiados entre cada parcela con la finalidad de evitar contaminación cruzada y garantizar la calidad de las muestras.

2.4. Tipo y Diseño de Investigación

2.4.1. Diseño Experimental

La investigación corresponde a un estudio de tipo experimental, desarrollado bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), en el que se investigó la influencia de fertilizantes sintéticos en la acumulación de elementos traza cadmio y plomo. El área de estudio se estableció en una parcela de cultivo de arroz con una extensión total de 100 m², donde se implementó el diseño experimental conformado por 4 tratamientos y 5 bloques (repeticiones). Los tratamientos fueron distribuidos de forma aleatoria manual dentro de cada bloque, asignando los tratamientos T1, T2, T3 y T4 sin repetición, de manera que cada uno estuvo representado una sola vez por bloque. La distribución en campo se presenta en la **Figura 2**.

2.4.2. Características del diseño experimental

Bloques

- Número total de bloques: 5
- Dimensiones de cada bloque: 7m x 1m
- Área total por bloque: 7 m2
- Área neta total de los bloques: 35 m^2

Parcelas

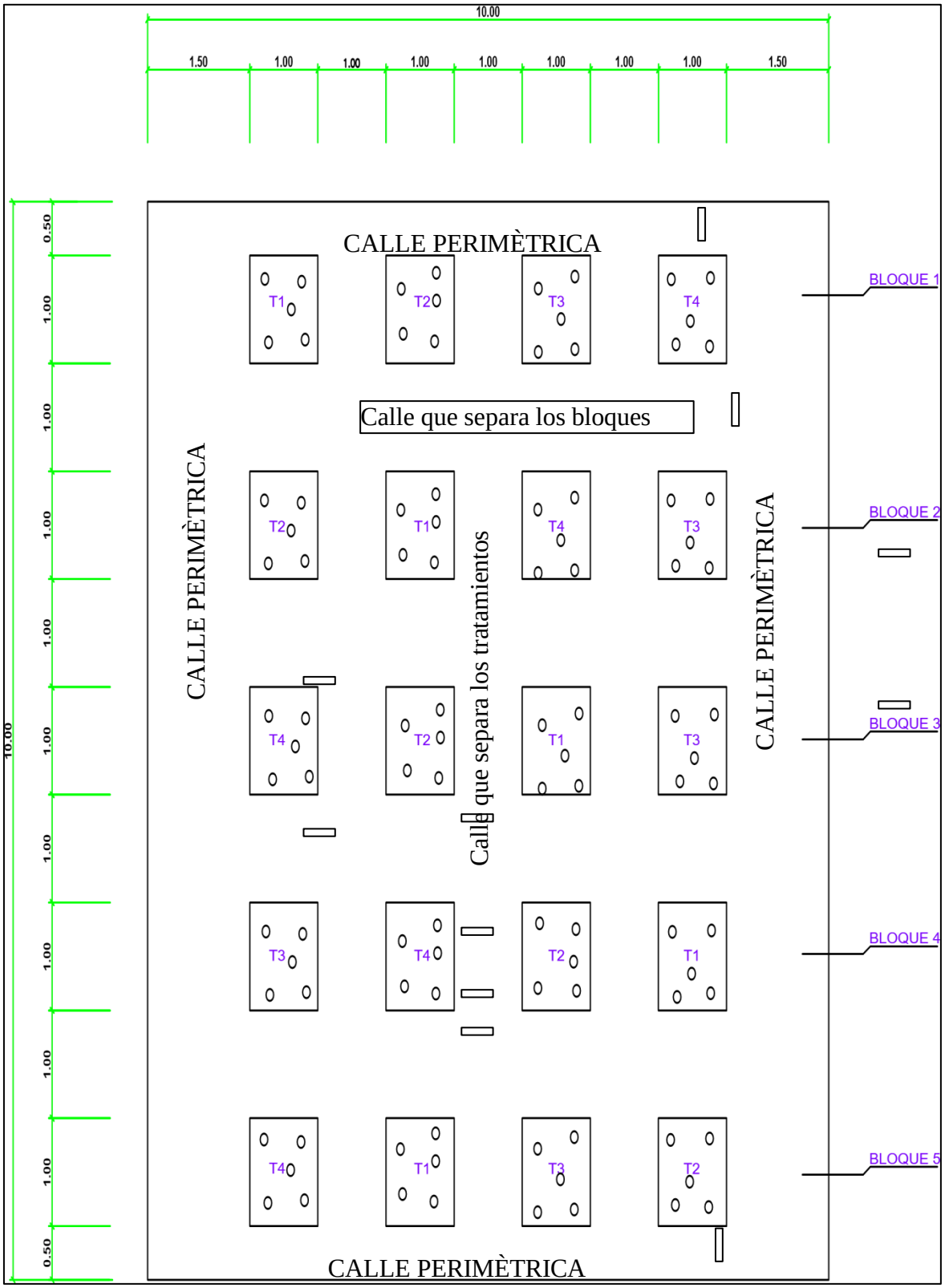
- Número total de parcelas: 20
- Número de parcelas por tratamiento: 5
- Número de parcelas por tratamiento: 5
- Área de parcela: 1 m2
- Área total de parcelas: 20 m^2

Calles

- Número de calles: 11
- Número de calles que separa tratamientos: 3
- Área de calle que separa tratamientos: 27 m^2
- Número de calles que separan bloques: 4
- Área de calle que separa bloques: 28 m^2
- Número de calles perimétricas: 4
- Área de calles perimétricas: 99 m^2

Figura 2

Croquis del diseño experimental DBCA implementado



2.4.3. Variable de estudio

- **Variable dependiente**
  - Contenido de cadmio en el suelo
  - Contenido de plomo en el suelo
  - pH del suelo
- **Variable independiente**
  - Fertilizantes sintéticos

2.4.4. Tratamientos experimentales

Los tratamientos experimentales fueron definidos como programas de fertilización aplicados durante todo el ciclo del cultivo de arroz. Cada tratamiento estuvo conformado por una secuencia de fertilizantes distribuida en tres etapas de fertilización, mientras que el tratamiento T4 correspondió al testigo sin aplicación de fertilizantes. La **Tabla 1** presenta los programas de fertilización y las dosis aplicadas en cada etapa. Asimismo, la **Tabla 2** muestra la composición nutricional de los fertilizantes sintéticos empleados en los tratamientos experimentales. Los nombres comerciales fueron reemplazados por denominaciones genéricas con fines de presentación y para mantener el enfoque técnico de la investigación.

Tabla 1

Tratamientos experimentales empleados

Tratamiento	Primera fertilización	Segunda fertilización	Tercera fertilización
T1	Urea	Sulfato de amonio	Fertilizante potásico
T2	Fosfato diamónico	Fertilizante nitrogenado	Sulfato de potasio
T3	Fertilizante fosforado 1	Fertilizante compuesto	Fertilizante potásico
T4	Testigo	Testigo	Testigo

Tabla 2

Composición nutricional de los fertilizantes sintéticos empleados

Fertilizante	**Composición nutricional**
Urea	46 % N
Fosfato diamónico (DAP)	18 % N – 46 % P_2O_5
Fertilizante fosforado 1	10-20-20 N - P_2O_5-K_2O
Sulfato de amonio	21 % N – 24 % S
Fertilizante nitrogenado 1	32% N - 1% P_2O_5 -2% K_2O -11% S
Fertilizante compuesto 1	22 % K_2O – 11 % Mg – 22 % S
Fertilizante potásico 1	22 % K_2O – 18 % MgO – 22 % S
Sulfato de potasio	50 % K_2O – 18 % S
Fertilizante potásico 2	CaO 4–8 %, MgO 5–8 %, SO_4 28–34 %

Las dosis de fertilización se establecieron a partir de la información obtenida mediante encuestas realizadas a agricultores del sector Yanuyacu Bajo, quienes indicaron las cantidades de fertilizantes sintéticos utilizadas habitualmente por hectárea en el cultivo de arroz. Para determinar la cantidad de fertilizante aplicada en cada unidad experimental, se realizó la conversión de la dosis por hectárea a gramos por metro cuadrado mediante la siguiente expresión:

$$Dosis\ (\frac{g}{m^2}) = \frac{N°\ de\ bolsas\ x\ 50\ 000\ g}{10000\ m^2}$$

N° de bolsas: Cantidad de bolsas de fertilizante aplicada por hectárea

50 000 g: Peso aproximado de una bolsa (50 kg)

10 000 m^2: superficie de una hectárea

Tabla 3

Composición nutricional de los fertilizantes sintéticos empleados

Fertilizantes	Bolsas por hectárea	Peso de la bolsa (Kg)	Dosis aplicada (g/m2)
Urea	5	50	25
Fosfato diamónico (DAP)	5	50	25
Fertilizante fosforado 1	5	50	25
Sulfato de amonio 1	5	50	25
Fertilizante nitrogenado 1	4	50	20
Fertilizante compuesto 1	5	50	25
Fertilizante potásico 1	4	50	20
Sulfato de potasio1	4	50	20
Fertilizante potásico 2	5	50	25

Nota. Cada parcela experimental tuvo un área de 1 m²

2.5. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos

2.5.1. Métodos y técnicas

Se empleó un enfoque cuantitativo, basado en la medición de las concentraciones de Cadmio y Plomo en muestras de suelo. La técnica utilizada fue el muestreo directo de suelo para la obtención de muestras representativas en cada parcela experimental y el análisis químico de laboratorio, mediante los cuales se evaluó la acumulación de elementos traza asociados a la aplicación de fertilizantes sintéticos. Los resultados obtenidos a partir de los reportes de laboratorio fueron organizados para su posterior análisis estadístico.

2.5.2. Procedimiento

Etapa de campo

a. Instalación del diseño experimental

El área experimental fue delimitada mediante el uso de cinta métrica, estableciendo la distribución de bloques y tratamientos. Los puntos fueron señalizados con estacas y se utilizó pita rafia para la demarcación y diferenciación de cada parcela experimental, garantizando su correcta identificación durante el desarrollo del ensayo.

b. Toma de muestras

La toma de muestra de suelo se realizó en cinco etapas de evaluación: una etapa inicial antes de la aplicación de fertilizantes, considerada como línea base para determinar las concentraciones iniciales de elementos traza cadmio y plomo, tres etapas posteriores a cada fertilización y una etapa final después de la cosecha.

Las muestras fueron obtenidas utilizando una pala a una profundidad de 0 – 15 cm. En cada parcela experimental se realizaron cinco puntos de muestreo, los cuales fueron integrados para conformar una muestra compuesta de aproximadamente 100 g de suelo. Asimismo, las muestras fueron colocadas en bolsas herméticas debidamente rotuladas y trasladadas al Centro Espectrofotómetrico de la Dirección de Producción de Bienes y Servicios de la Universidad Nacional de Jaén para su análisis correspondiente.

c. Aplicación de tratamientos

La aplicación de los tratamientos se realizó durante las tres etapas de fertilización del cultivo de arroz, en coordinación con el agricultor responsable de la parcela. Debido a que el cultivo se manejó bajo condiciones de inundación, antes de cada fertilización se retiró el agua del área experimental, conforme al manejo agronómico tradicional del cultivo, con el fin de aplicar los fertilizantes directamente sobre el suelo y reducir su pérdida por el movimiento del agua.

Los fertilizantes correspondientes a cada tratamiento fueron aplicados manualmente mediante la técnica del voleo empleando una dosis de 20 a 25 g por parcela experimental, según el tratamiento correspondiente. Posteriormente, las parcelas experimentales permanecieron sin inundación durante cuatro días para favorecer la incorporación de los fertilizantes al suelo. Transcurrido este periodo, se restableció el riego de acuerdo con el manejo tradicional del cultivo. Este procedimiento se repitió en cada una de las etapas de fertilización establecidas en el ensayo.

Etapa de laboratorio

a. Secado de muestras

Las muestras de suelo fueron secadas en una estufa de laboratorio a una temperatura de 105 °C durante aproximadamente 48 horas, hasta alcanzar peso constante, con el propósito de eliminar la humedad presente y acondicionar las muestras para los análisis posteriores. El procedimiento de preparación y

acondicionamiento de las muestras se realizó considerando las recomendaciones establecidas por la norma ISO 11464:2006.

b. Trituración de muestras

Una vez secadas las muestras fueron trituradas manualmente en un mortero y tamizadas para obtener un material homogéneo adecuado para el análisis químico.

Determinación de propiedades químicas

a. pH

La determinación del pH del suelo se realizó siguiendo la metodología propuesta por (López Párraga y Zamora Mera, 2016) y el método EPA 9045D. Para ello, una vez secadas, trituradas y tamizadas las muestras de suelo, se pesaron 20 g utilizando una balanza analítica y se preparó una suspensión suelo en relación 1:2, adicionando 40 mL de agua destilada en un vaso de precipitados. Posteriormente, la mezcla fue agitada mediante un agitador magnético durante 5 minutos y se dejó en reposo durante 30 minutos para permitir la sedimentación de las partículas. Finalmente, el pH se determinó utilizando un multiparámetro marca WTW, modelo 3630 IDS, previamente calibrado.

b. Determinación de elementos traza

La determinación de las concentraciones de cadmio y plomo se realizó siguiendo la metodología descrita por Andrade et al. (2020). Para la digestión de las muestras se empleó el método USEPA 3051A (2007), aplicable a matrices sólidas como suelos. Para el proceso de digestión, se colocó una muestra representativa de hasta 0.5 g en un recipiente de digestión de de fluoropolímero. Posteriormente, se adicionaron 9 mL de ácido nítrico (HNO_3) y 3 mL de ácido clorhídrico (HCl) concentrados, formando una solución tipo agua regia para la extracción de los elementos traza presentes en la matriz del suelo.

El recipiente fue sellado herméticamente y sometido a calentamiento de una temperatura de 200 °C durante 25 minutos para favorecer la digestión ácida de la muestra. Finalizado el proceso, las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente, luego fueron filtradas y aforadas con agua desionizada. Finalmente, se obtuvieron los resultados mediante espectrometría de emisión óptica.

b. Lectura de muestras

La lectura de las muestras se realizó mediante un espectrofotométrico de absorción atómica con atomización por flama (FAAS). Previamente al análisis, se seleccionó la lámpara de cátodo hueco correspondiente al elemento a determinar (cadmio o plomo) y se configuraron la longitud de onda y las condiciones de operación del equipo, de acuerdo con las especificaciones del fabricante (Agilent Technologies, 2017). Posteriormente, las muestras fueron aspiradas al sistema de atomización por flama, donde se efectuó la medición de la absorbancia para la cuantificación de las concentraciones de cadmio y plomo. El análisis instrumental se llevó a cabo en el Centro de Análisis Espectrofotométrico de la Universidad Nacional de Jaén.

2.6. Hipótesis

Hipótesis de investigación:

La aplicación de fertilizantes sintéticos influye de manera diferenciada en la concentración de cadmio y plomo en el suelo arrocero del sector Yanuyacu Bajo.

2.7. Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron organizados en una base de datos para su análisis estadístico. Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación múltiple de Tukey mediante el software estadístico Jamovi, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, con la finalidad de determinar diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados. Asimismo, se verificaron los supuestos del ANOVA mediante las pruebas de normalidad de residuos (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene). Los gráficos de representación de resultados fueron elaborados mediante RStudio. Finalmente, las concentraciones de cadmio y plomo fueron comparadas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo de uso agrícola establecidos en el D.S. N.° 011-2017-MINAM.

El análisis de la relación entre el pH y las concentraciones de cadmio y plomo se realizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson utilizando Jamovi, evaluando su significancia estadística mediante un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

III. RESULTADOS

3.1. Cuantificar las concentraciones de Cadmio y plomo en un suelo arrocero sometido a la aplicación de fertilizantes sintéticos.

3.1.1. Primera etapa: Antes de la fertilización

El análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de cadmio en el suelo antes de la aplicación del tratamiento evidenció diferencias significativas entre los tratamientos $F = 4.130$; $p = 0.032$; $\eta^2p = 0.508$, mientras que el efecto de los bloques no fue significativo ($F = 0.435$; $p = 0.781$; $\eta^2p = 0.127$) (Tabla 4).

Tabla 5 presentó los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Se evidenciaron diferencias significativas únicamente entre los tratamientos T2 y T4 ($p = 0.034$). Las demás comparaciones entre tratamientos no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

Las concentraciones de cadmio registradas antes de la aplicación de los tratamientos se presentan en la Figura 3. Las letras correspondieron a la agrupación de las medias obtenida mediante la prueba de Tukey, donde T2 y T4 pertenecieron a grupos estadísticos diferentes, mientras que T1 y T3 compartieron agrupaciones con ambos tratamientos.

Tabla 4

Análisis de varianza (ANOVA) contenido de cadmio antes de la fertilización

FV	SC	GL	CM	F	p	η^2p
Bloques	0.000032	4	0.0000079	0.435	0.781	0.127
Tratamientos	0.000226	3	0.0000753	4.130	0.032	0.508
Residuos	0.000219	12	0.0000182	-	-	-

Contraste de hipótesis estadísticas: Debido a que el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 4.130$; $p = 0.032 < 0.05$), se rechazó la hipótesis nula (H_0), que establece la igualdad de las concentraciones medias de cadmio entre los tratamientos, y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1), concluyéndose que al menos un tratamiento presentó una concentración media de

cadmio significativamente diferente antes de la aplicación de los programas de fertilización

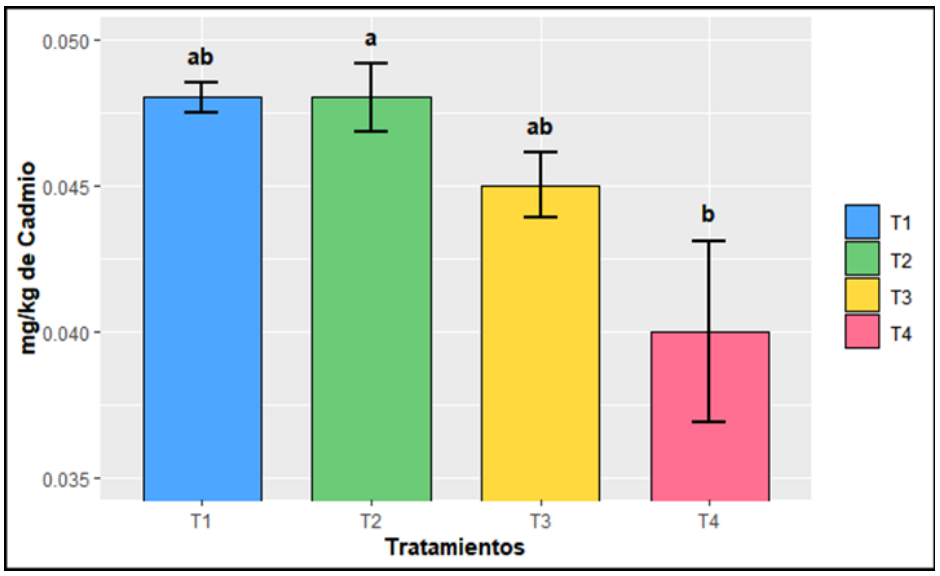
Tabla 5

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para cadmio

Comparación	DM	EE	GL	t	p (Tukey)
T1 - T2	-0.0008	0.00270	12	-0.296	0.990
T1 - T3	0.0022	0.00270	12	0.815	0.846
T1 - T4	0.0078	0.00270	12	2.889	0.057
T2 - T3	0.0030	0.00270	12	1.111	0.690
T2 - T4	**0.0086**	**0.00270**	**12**	**3.185**	**0.034**
T3 - T4	0.0056	0.00270	12	2.074	0.216

Figura 3

Concentración de cadmio en el suelo obtenido por cada tratamiento



El análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de plomo en el suelo antes de la aplicación de los tratamientos mostró que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 1.679$; $p = 0.224$; $\eta^2p = 0.296$). Asimismo, el efecto de los bloques no fue significativo ($F = 0.183$; $p = 0.943$; $\eta^2p = 0.058$) (Tabla 6).

Las concentraciones de plomo registradas antes de la aplicación de los tratamientos se presentan en la Figura 4. Se observaron variaciones numéricas entre los

tratamientos; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas según el análisis de varianza realizado.

Tabla 6

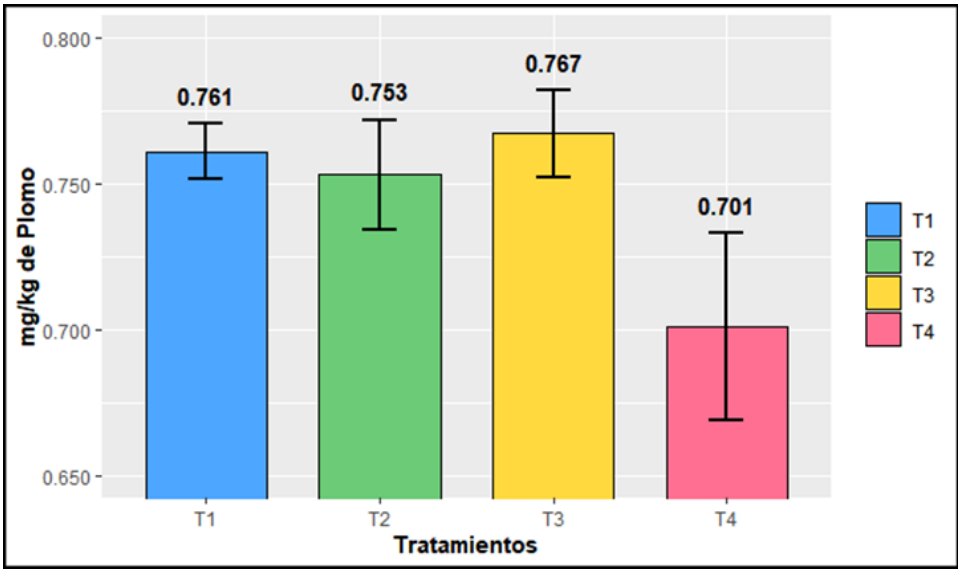
Análisis de varianza (ANOVA) contenido de plomo antes de la fertilización

FV	S	GL	CM	F	p	η^2p
Bloque	0.00194	4	0.00049	0.183	0.943	0.058
Tratamiento	0.01334	3	0.00445	1.679	0.224	0.296
Residuos	0.03179	12	0.00265	-	-	-

Contraste de hipótesis estadísticas: Debido a que el análisis de varianza no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.224 > 0.05$), no se rechazó la hipótesis nula (H_0), que establece la igualdad de las concentraciones medias de plomo entre los tratamientos, concluyéndose que no existieron diferencias significativas en las concentraciones medias de plomo antes de la aplicación de los programas de fertilización.

Figura 4

Concentración de plomo en el suelo obtenido por cada tratamiento



3.1.2. Segunda etapa: Primera Fertilización

El ANOVA para la concentración de cadmio en el suelo durante la primera aplicación de los tratamientos evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 4.184$; $p = 0.030$; $\eta^2p = 0.511$), mientras que el efecto de los bloques no fue significativo ($F = 0.232$; $p = 0.915$; $\eta^2p = 0.072$) (Tabla 7).

La Tabla 8 mostró los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Se evidenciaron diferencias significativas únicamente entre los tratamientos T2 y T4 ($p = 0.030$), mientras que las demás comparaciones por pares no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

Las concentraciones medias de cadmio en el suelo durante la primera aplicación de los tratamientos se presentan en la Figura 5. Las letras correspondieron a la agrupación de las medias obtenida mediante la prueba de Tukey, donde T2 y T4 pertenecieron a grupos estadísticos diferentes, mientras que T1 y T3 compartieron agrupaciones con ambos tratamientos.

Tabla 7

ANOVA contenido de cadmio primera de la fertilización

FV	SC	GL	CM	F	p	η^2p
Bloque	0.000019	4	0.0000048	0.232	0.915	0.072
Tratamiento	0.000261	3	0.0000870	4.184	0.030	0.511
Residuos	0.000250	12	0.0000208	-	-	-

Contraste de hipótesis estadísticas: Debido a que el análisis de varianza evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.030 < 0.05$), se rechazó la hipótesis nula (H_0), que establece la igualdad de las concentraciones medias de cadmio entre los tratamientos, y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1), concluyéndose que existieron diferencias significativas entre los tratamientos.

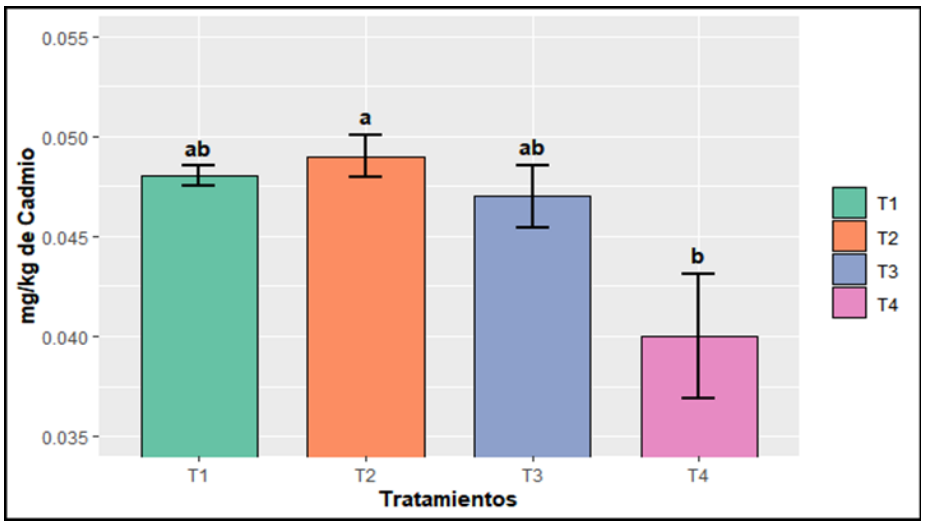
Tabla 8

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para cadmio

Comparación	DM	EE	GL	t	p (Tukey)
T1 – T2	-0.0016	0.00288	12	-0.555	0.943
T1 – T3	0.0006	0.00288	12	0.208	0.997
T1 – T4	0.0078	0.00288	12	2.705	0.079
T2 – T3	0.0022	0.00288	12	0.763	0.869
T2 – T4	**0.0094**	**0.00288**	**12**	**3.26**	**0.030**
T3 – T4	0.0072	0.00288	12	2.497	0.111

Figura 5

Concentración de cadmio en el suelo obtenido por cada tratamiento



El ANOVA para la concentración de plomo en el suelo durante la primera aplicación de los tratamientos no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 1.792$; $p = 0.202$; $\eta^2p = 0.309$). Asimismo, el efecto de los bloques no presentó diferencias significativas ($F = 0.191$; $p = 0.939$; $\eta^2p = 0.060$) (Tabla 9).

Las concentraciones medias de plomo registradas durante la primera aplicación de los tratamientos de fertilización se presentan en la Figura 6. Se observaron variaciones numéricas entre los tratamientos; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas según el análisis de varianza realizado.

Tabla 9

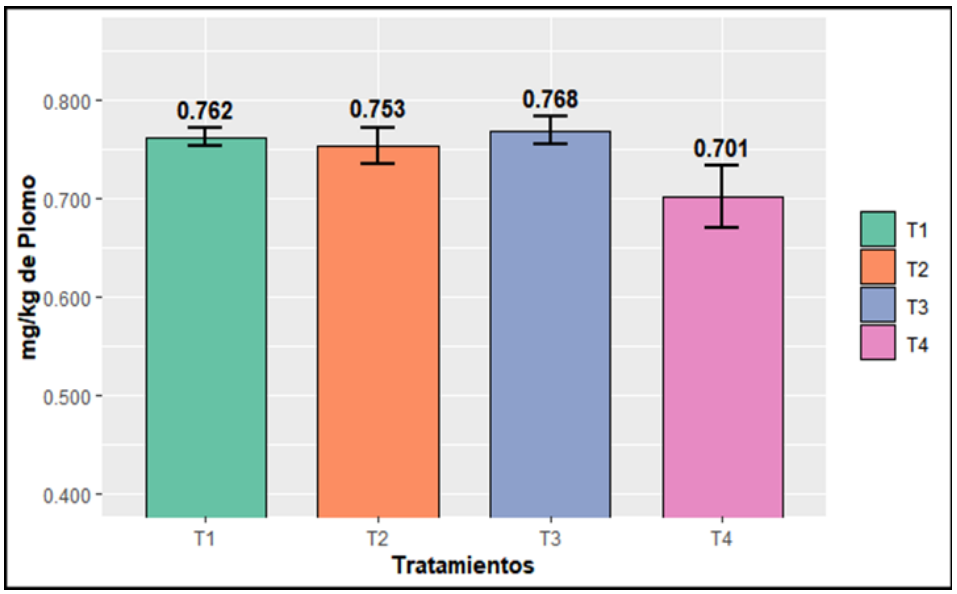
ANOVA contenido de plomo primera de la fertilización

FV	SC	GL	CM	F	p	η^2p
Bloque	0.00200	4	5.00e-4	0.191	0.939	0.060
Tratamiento	0.01407	3	0.00469	1.792	0.202	0.309
Residuos	0.03141	12	0.00262	-	-	-

Contraste de hipótesis estadísticas: Debido a que el análisis de varianza no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.202 > 0.05$), no se rechazó la hipótesis nula (H_0), que establece la igualdad de las concentraciones medias de plomo entre los tratamientos, concluyéndose que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos durante la primera etapa de fertilización.

Figura 6

Concentración de plomo en el suelo obtenido por cada tratamiento



3.1.3. Tercera etapa: Segunda fertilización

Respecto a la etapa de la primera fertilización, el ANOVA para la concentración de cadmio en el suelo durante la segunda aplicación de los tratamientos evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 4.224$; $p = 0.030$; $\eta^2p = 0.514$),

mientras que el efecto de los bloques no presentó diferencias significativas ($F = 0.238$; $p = 0.911$; $\eta^2p = 0.074$) (Tabla 10).

La Tabla 11 mostró los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Se evidenciaron diferencias significativas únicamente entre los tratamientos T2 y T4 ($p = 0.028$), mientras que las demás comparaciones por pares no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

Las concentraciones medias de cadmio en el suelo durante la primera aplicación de los tratamientos se presentan en la Figura 7. Las letras correspondieron a la agrupación de las medias obtenida mediante la prueba de Tukey, donde T2 y T4 pertenecieron a grupos estadísticos diferentes, mientras que T1 y T3 compartieron agrupaciones con ambos tratamientos.

Tabla 10

ANOVA contenido de cadmio segunda fertilización

FV	SC	GL	CM	F	p	η^2p
Bloque	0.000023	4	0.000006	0.238	0.911	0.074
Tratamiento	0.000302	3	0.000101	4.224	0.030	0.514
Residuos	0.000286	12	0.000024	-	-	-

Contraste de hipótesis estadísticas: Debido a que el análisis de varianza evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.030 < 0.05$), se rechazó la hipótesis nula (H_0), que establece la igualdad de las concentraciones medias de cadmio entre los tratamientos, y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1), concluyéndose que existieron diferencias significativas entre los tratamientos durante la segunda etapa de fertilización.

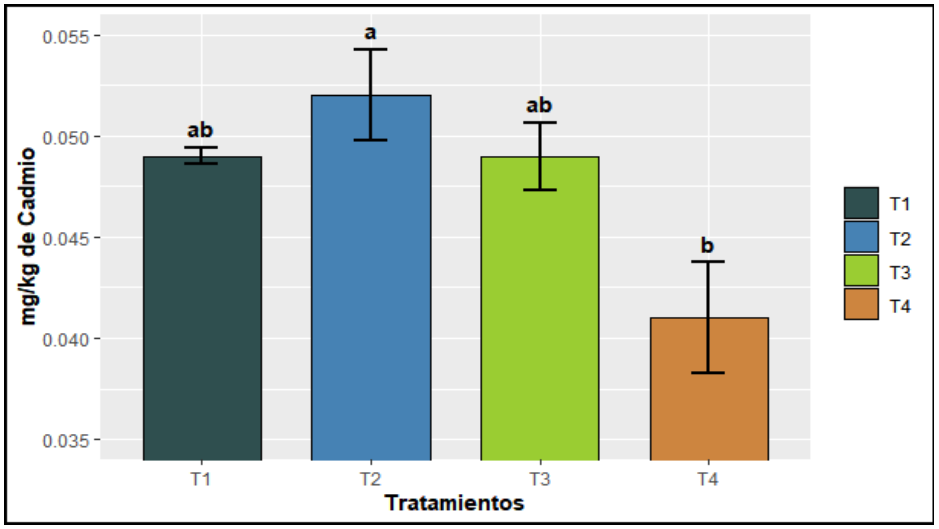
Tabla 11

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para cadmio

Comparación	DM	EE	GL	t	p (Tukey)
T1 – T2	-0.00220	0.00309	12	-0.712	0.890
T1 – T3	0.00000	0.00309	12	0.000	1.000
T1 – T4	0.00800	0.00309	12	2.591	0.095
T2 – T3	0.00220	0.00309	12	0.712	0.890
T2 – T4	**0.01020**	**0.00309**	**12**	**3.303**	**0.028**
T3 – T4	0.00800	0.00309	12	2.591	0.095

Figura 7

Concentración de cadmio en el suelo obtenido por cada tratamiento



ANOVA para la concentración de plomo en el suelo durante la segunda aplicación evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 4.090$; $p = 0.032$; $\eta^2p = 0.506$), mientras que el efecto de los bloques no presentó diferencias significativas ($F = 0.870$; $p = 0.510$; $\eta^2p = 0.225$) (Tabla 12).

La Tabla 13 mostró los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Se evidenciaron diferencias significativas únicamente entre los tratamientos T3 y T4 ($p = 0.024$), mientras que las demás comparaciones por pares no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

Las concentraciones medias de plomo en el suelo durante la segunda aplicación se presentan en la Figura 8. Las letras correspondieron a la agrupación de las medias obtenida mediante la prueba de Tukey, donde T3 y T4 pertenecieron a grupos

estadísticos diferentes, mientras que los demás tratamientos compartieron agrupaciones estadísticas.

Tabla 12

ANOVA contenido de plomo segunda fertilización

FV	SC	GL	CM	F	p	η^2p
Bloque	0.00975	4	0.00244	0.870	0.510	0.225
Tratamiento	0.03439	3	0.01146	4.090	0.032	0.506
Residuos	0.03363	12	0.00280	-	-	-

Contraste de hipótesis estadísticas: Debido a que el análisis de varianza evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.032 < 0.05$), se rechazó la hipótesis nula (H_0), que establece la igualdad de las concentraciones medias de plomo entre los tratamientos, y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1), concluyéndose que existieron diferencias significativas entre los tratamientos durante la segunda etapa de fertilización.

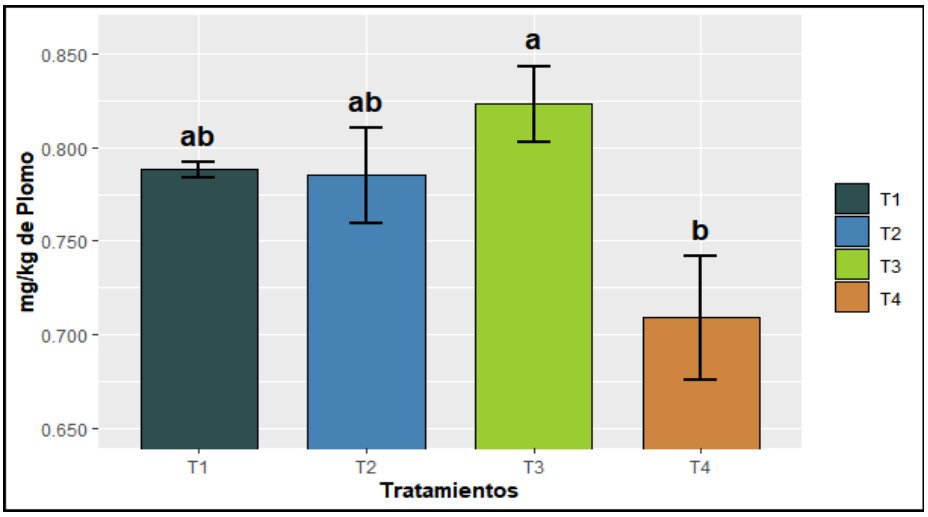
Tabla 13

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para plomo

Comparación	**DM**	**EE**	**GL**	**t**	**p (Tukey)**
T1 – T2	0.00300	0.0335	12	0.0896	1.000
T1 – T3	-0.03480	0.0335	12	-1.0394	0.731
T1 – T4	0.07880	0.0335	12	2.3537	0.140
T2 – T3	-0.03780	0.0335	12	-1.1290	0.680
T2 – T4	0.07580	0.0335	12	2.2640	0.161
T3 – T4	**0.11360**	**0.0335**	**12**	**3.3931**	**0.024**

Figura 8

Concentración de plomo en el suelo obtenido por cada tratamiento



3.1.4. Cuarta Etapa: Tercera fertilización

Siguiendo la tendencia observada en la etapa anterior, el ANOVA para la concentración de cadmio en el suelo durante la tercera aplicación de los tratamientos de fertilización no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 1.398$; $p = 0.291$; $\eta^2p = 0.259$). Asimismo, el efecto de los bloques no presentó diferencias significativas ($F = 0.675$; $p = 0.622$; $\eta^2p = 0.184$) (Tabla 14).

Las concentraciones medias de cadmio en el suelo durante la tercera aplicación de los tratamientos de fertilización se presentan en la Figura 9. Se observaron variaciones numéricas entre los tratamientos; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas según el análisis de varianza realizado.

Tabla 14

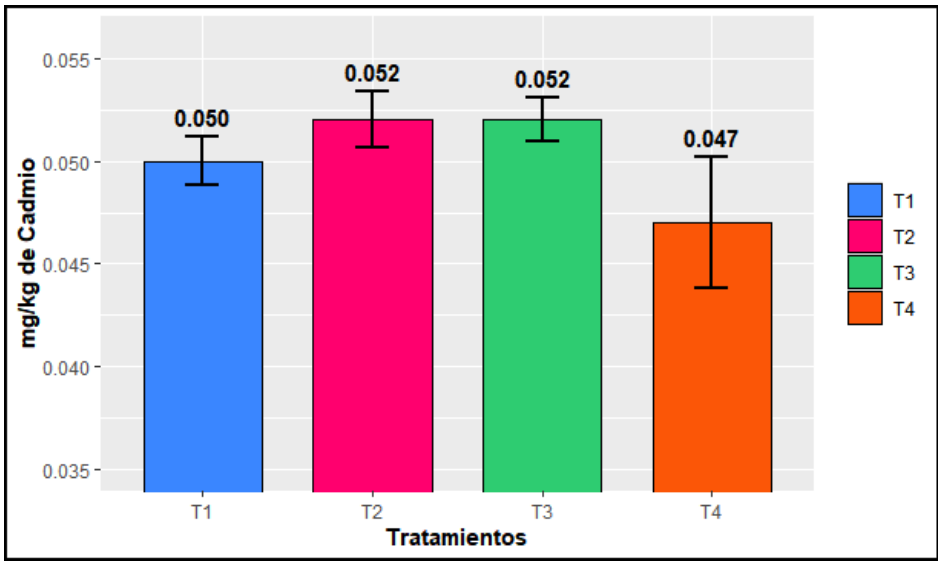
ANOVA contenido de cadmio tercera fertilización

FV	SC	GL	CM	F	p	η^2p
Bloque	0.000053	4	0.000013	0.675	0.622	0.184
Tratamiento	0.000083	3	0.000028	1.398	0.291	0.259
Residuos	0.000236	12	0.000019	-	-	-

Contraste de hipótesis estadísticas: Debido a que el ANOVA no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.291 > 0.05$), no se rechazó la hipótesis nula (H_0), que establece la igualdad de las concentraciones medias de cadmio entre los tratamientos, concluyéndose que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos durante la tercera etapa de fertilización.

Figura 9

Concentración de cadmio en el suelo obtenido por cada tratamiento



El ANOVA para la concentración de plomo en el suelo durante la tercera aplicación de los tratamientos no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 2.229$; $p = 0.137$; $\eta^2p = 0.358$). Asimismo, el efecto de los bloques no presentó diferencias significativas ($F = 0.549$; $p = 0.703$; $\eta^2p = 0.155$) (Tabla 15).

Las concentraciones medias de plomo en el suelo durante la tercera aplicación de los tratamientos de fertilización se presentan en la Figura 10. Se observaron variaciones numéricas entre los tratamientos; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas según el análisis de varianza realizado.

Tabla 15

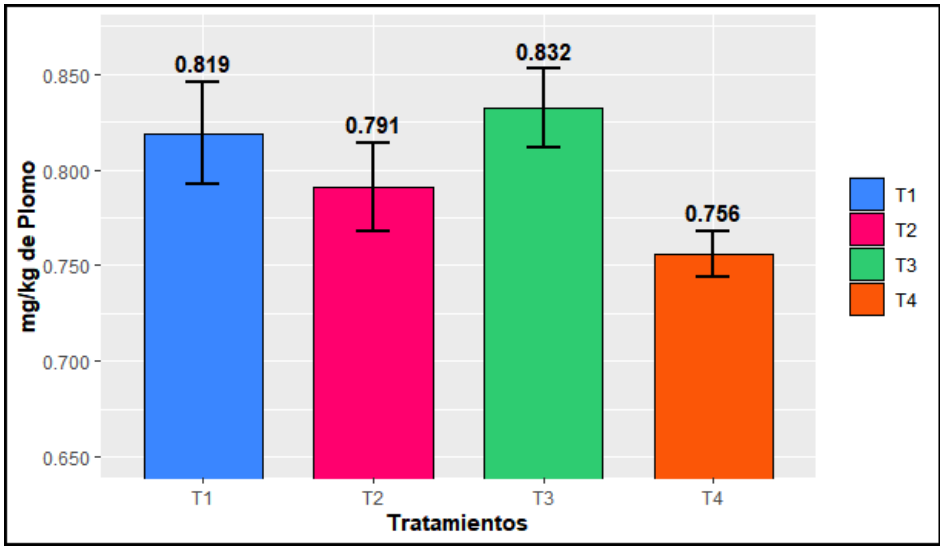
ANOVA contenido de plomo tercera fertilización

FV	SC	GL	CM	F	p	η^2p
Bloque	0.00567	4	0.00142	0.549	0.703	0.155
Tratamiento	0.01724	3	0.00575	2.229	0.137	0.358
Residuos	0.03094	12	0.00258	-	-	-

Contraste de hipótesis estadísticas: Debido a que el ANOVA no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.137 > 0.05$), no se rechazó la hipótesis nula (H_0), que establece la igualdad de las concentraciones medias de plomo entre los tratamientos, concluyéndose que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos durante la tercera etapa de fertilización.

Figura 10

Concentración de plomo en el suelo obtenido por cada tratamiento



3.1.5. Quinta Etapa: Después de la Cosecha

El ANOVA para la concentración de cadmio en el suelo después de la cosecha evidenció que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 2.600$; $p = 0.100$; $\eta^2p = 0.394$). Asimismo, el efecto de los bloques no presentó diferencias significativas ($F = 1.290$; $p = 0.328$; $\eta^2p = 0.301$) (Tabla 16).

Las concentraciones medias de cadmio en el suelo después de la cosecha se presentan en la Figura 11. Se observaron variaciones numéricas entre los tratamientos; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas de acuerdo con el análisis de varianza realizado.

Tabla 16

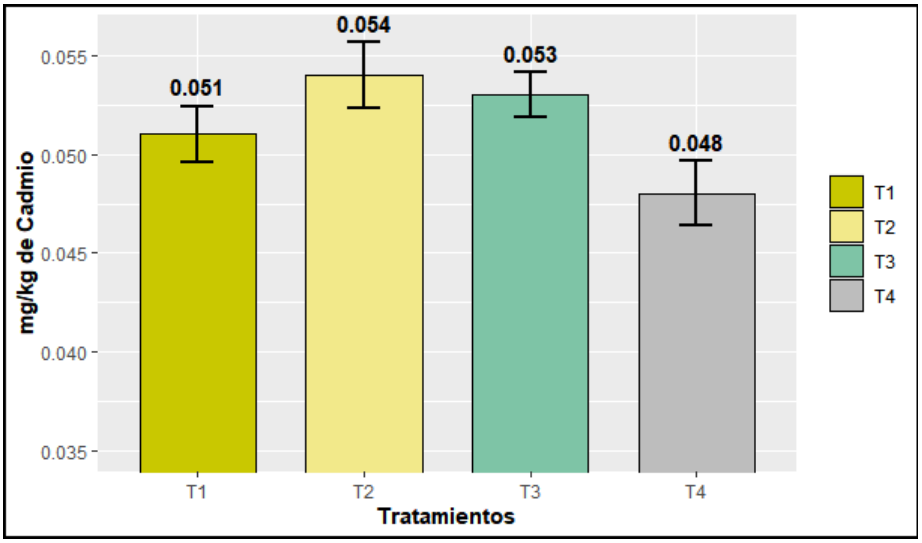
ANOVA contenido de Cd después de la cosecha

FV	SC	GL	CM	F	p	η^2p
Bloque	0.000054	4	0.000014	1.290	0.328	0.301
Tratamiento	0.000081	3	0.000027	2.600	0.100	0.394
Residuos	0.000125	12	0.000010	-	-	-

Contraste de hipótesis estadísticas: Debido a que el ANOVA no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.100 > 0.05$), no se rechazó la hipótesis nula (H_0), que establece la igualdad de las concentraciones medias de cadmio entre los tratamientos, concluyéndose que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos después de la cosecha.

Figura 11

Concentración de cadmio en el suelo obtenido por cada tratamiento



El ANOVA para la concentración de plomo en el suelo después de la cosecha no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 2.386$; $p = 0.120$; $\eta^2p = 0.374$). Asimismo, el efecto de los bloques no presentó diferencias significativas ($F = 0.534$; $p = 0.714$; $\eta^2p = 0.151$) (Tabla 17).

Las concentraciones medias de plomo en el suelo después de la cosecha se presentan en la Figura 12. Se observaron variaciones numéricas entre los tratamientos; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas según el análisis de varianza realizado.

Tabla 17

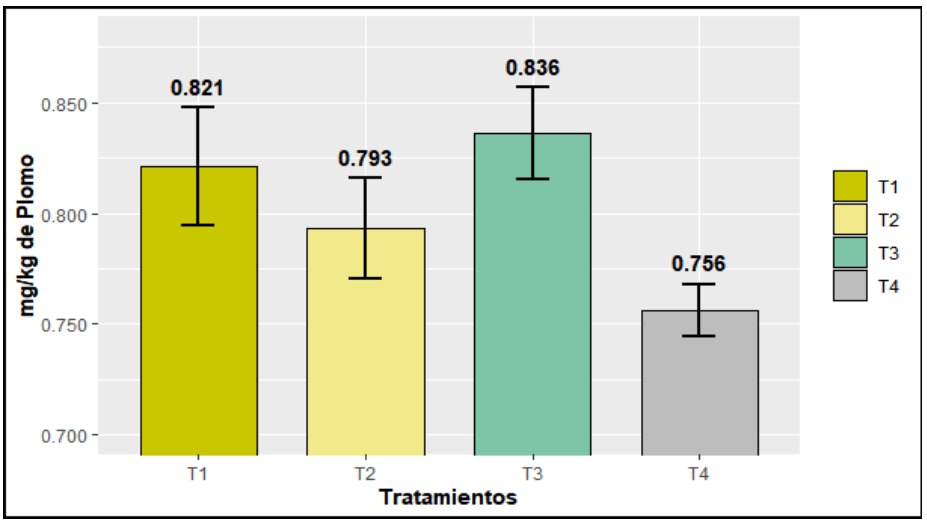
ANOVA contenido de plomo después de la cosecha

FV	SC	GL	CM	F	p	η^2p
Bloque	0.00546	4	0.00136	0.534	0.714	0.151
Tratamiento	0.01830	3	0.00610	2.386	0.120	0.374
Residuos	0.03068	12	0.00256	-	-	-

Contraste de hipótesis estadísticas: Debido a que el ANOVA no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.120 > 0.05$), no se rechazó la hipótesis nula (H_0), que establece la igualdad de las concentraciones medias de plomo entre los tratamientos, concluyéndose que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos después de la cosecha.

Figura 12

Concentración de plomo en el suelo obtenido por cada tratamiento



3.2. Prueba de hipótesis

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) evidenciaron que, para el cadmio, se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos antes de la fertilización y durante la primera y segunda fertilización, mientras que en la tercera fertilización y después de la cosecha no se observaron diferencias significativas. Estos resultados indican que las diferencias en las concentraciones de cadmio estuvieron asociadas a los tratamientos evaluados únicamente en determinadas etapas del cultivo.

En el caso del plomo, no se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos antes de la fertilización, durante la primera y tercera fertilización ni después de la cosecha. Solo en la segunda fertilización se registraron diferencias significativas entre los tratamientos, lo que evidencia que las diferencias en las concentraciones de plomo fueron puntuales y no se mantuvieron durante todo el ciclo del cultivo.

En consecuencia, la hipótesis de investigación se acepta parcialmente, debido a que las concentraciones de cadmio y plomo presentaron diferencias entre los tratamientos únicamente en algunas etapas de evaluación y no durante todo el ciclo del cultivo.

3.3. Determinar el pH en un suelo arrocero para analizar su influencia en la acumulación de cadmio y plomo.

3.3.1. Correlación de Pearson pH - cadmio

En la Tabla 18 y la Figura 13 se presentan los resultados del análisis de correlación de Pearson entre el pH del suelo y la concentración de cadmio en las diferentes etapas del cultivo de arroz. Antes de la aplicación de los tratamientos (Figura 13A), se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de r = -0.328 y un valor de p = 0.157. Durante la primera aplicación de los tratamientos de fertilización (Figura 13B), se registró r = -0.498 y p = 0.025. En la segunda aplicación (Figura 13C), se obtuvo r = 0.321 y p = 0.168. En la tercera aplicación (Figura 13D), se registró r = -0.081 y p = 0.735. Finalmente, después de la cosecha (Figura 13E), se obtuvo r = 0.161 y p = 0.498.

Tabla 18

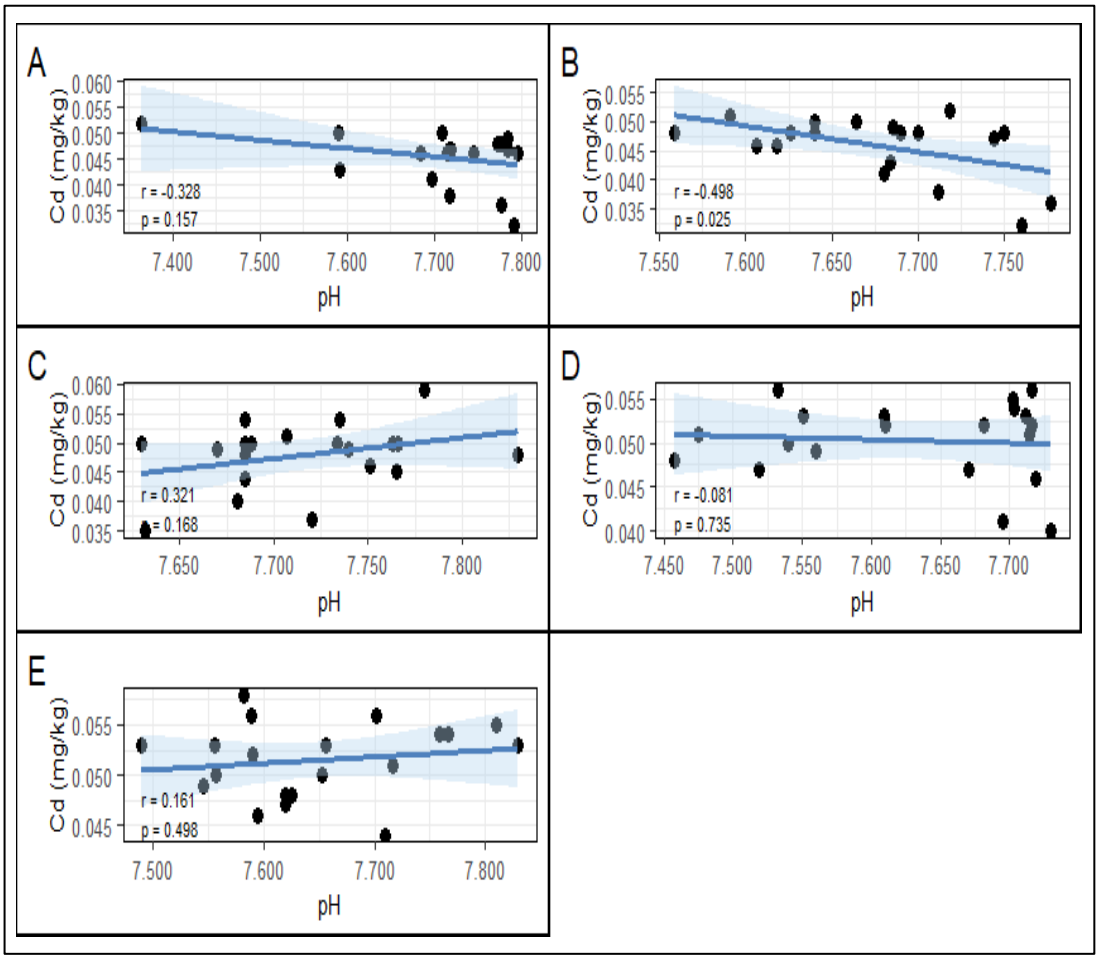
Correlación pH - cadmio en las cinco etapas

Etapa	r de Pearson	p
Antes de la aplicación	-0.328	0.157
Primera fertilización	-0.498	0.025
Segunda fertilización	0.321	0.168
Tercera fertilización	-0.081	0.735
Después de la cosecha	0.161	0.498

Contraste de hipótesis estadísticas: El análisis de correlación de Pearson evidenció una correlación lineal significativa entre el pH del suelo y la concentración de cadmio únicamente durante la primera etapa de fertilización ($r = -0.498$; $p = 0.025 < 0.05$); por ello, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1) para dicha etapa. En las demás etapas evaluadas ($p > 0.05$), no se rechazó la hipótesis nula, concluyéndose que no existió una correlación lineal significativa entre ambas variables.

Figura 13

Correlación de Pearson entre pH-cadmio en las diferentes etapas del cultivo de arroz



3.3.2. Correlación de Pearson pH – plomo

En la Tabla 19 y la Figura 14 se presentan los resultados del análisis de correlación de Pearson entre el pH del suelo y la concentración de plomo en las diferentes etapas del cultivo de arroz. Antes de la aplicación de los tratamientos (Figura 14A), se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de r = -0.261 y un valor de p = 0.266. Durante la primera aplicación de los tratamientos de fertilización (Figura 14B), se registró r = -0.319 y p = 0.171. En la segunda aplicación (Figura 14C), se obtuvo r = 0.316 y p = 0.175. En la tercera aplicación (Figura 14D), se registró r = 0.097 y p = 0.684. Finalmente, después de la cosecha (Figura 14E), se obtuvo r = -0.075 y p = 0.753.

Tabla 19

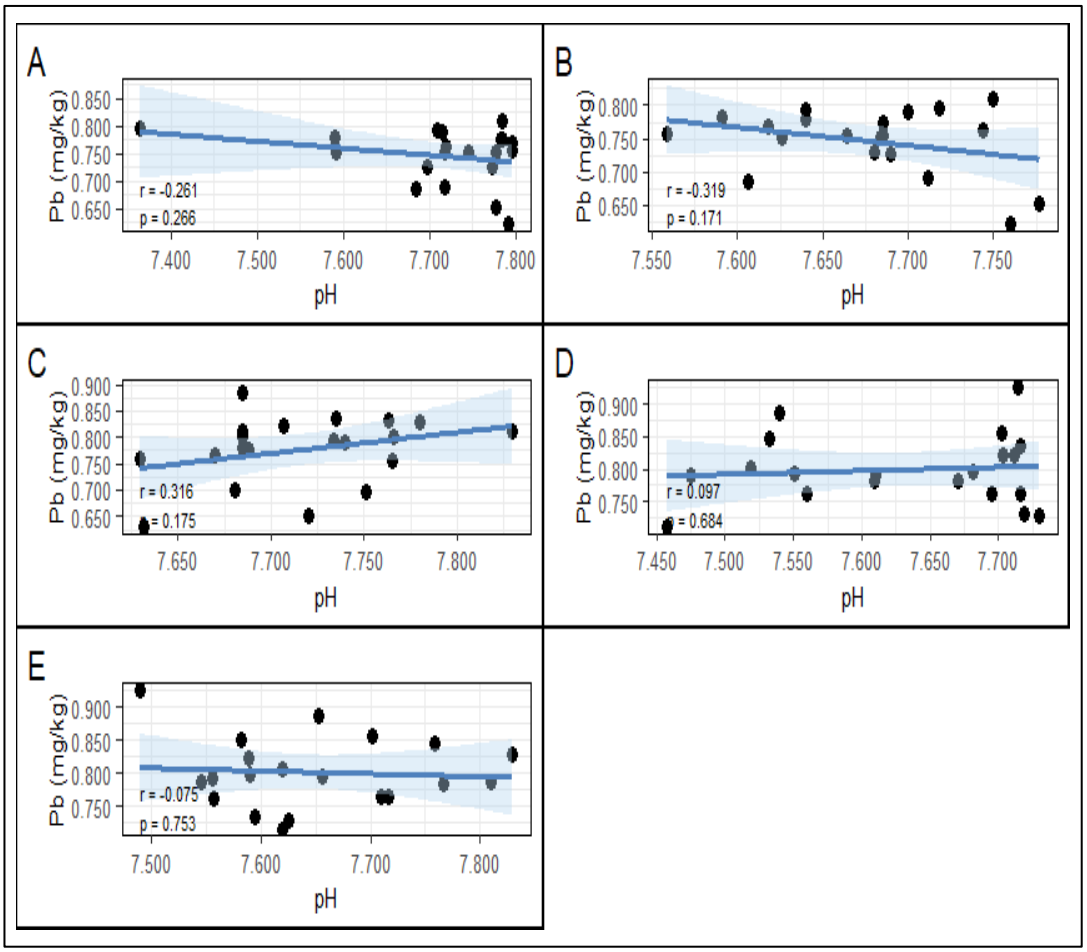
Correlación pH – plomo en las cinco etapas

Etapa	r de Pearson	p
Antes de la aplicación	-0.261	0.266
Primera fertilización	-0.319	0.171
Segunda fertilización	0.316	0.175
Tercera fertilización	0.097	0.684
Después de la cosecha	-0.075	0.753

Contraste de hipótesis estadísticas: El análisis de correlación de Pearson no evidenció correlaciones lineales significativas entre el pH del suelo y la concentración de plomo en ninguna de las etapas evaluadas ($p > 0.05$); por ello, no se rechazó la hipótesis nula (H_0), concluyéndose que no existió una correlación lineal significativa entre ambas variables durante el periodo de estudio.

Figura 14

Correlación de Pearson entre pH-plomo en las diferentes etapas del cultivo de arroz



3.4. Comparar las concentraciones de Cadmio y Plomo en un suelo arrocero fertilizado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo establecidos por MINAM.

En la Tabla 20 y Figura 15 se presentan las concentraciones de cadmio y plomo en el suelo arrocero durante las diferentes etapas de evaluación, así como su comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el MINAM. Para el cadmio, los valores oscilaron entre 0.045 y 0.052 mg/kg, mientras que para el plomo se registraron concentraciones entre 0.745 y 0.802 mg/kg. Al compararlos con los límites permisibles establecidos (1.4 mg/kg para Cd y 70 mg/kg para Pb), los valores obtenidos en todas las etapas se encuentran por debajo de dichos límites. Asimismo, en la Figura 16 se muestra la comparación gráfica de las concentraciones de cadmio y plomo respecto a los ECA en las diferentes etapas de evaluación, donde se aprecia que los valores de ambos elementos se mantienen por debajo de los límites establecidos.

Tabla 20

Comparación de cadmio y plomo con los ECA en las diferentes etapas evaluación

Etapa	Cd (mg/kg)	ECA Cd	Pb (mg/kg)	ECA Pb	Cumple
Antes de la Aplicación	0.045	1.4	0.745	70	Sí
Primera fertilización	0.046	1.4	0.746	70	Sí
Segunda fertilización	0.048	1.4	0.776	70	Sí
Tercera fertilización	0.050	1.4	0.800	70	Sí
Después de la cosecha	0.052	1.4	0.802	70	Sí

Figura 15

Comparación de las concentraciones de Cadmio y plomo con los ECA

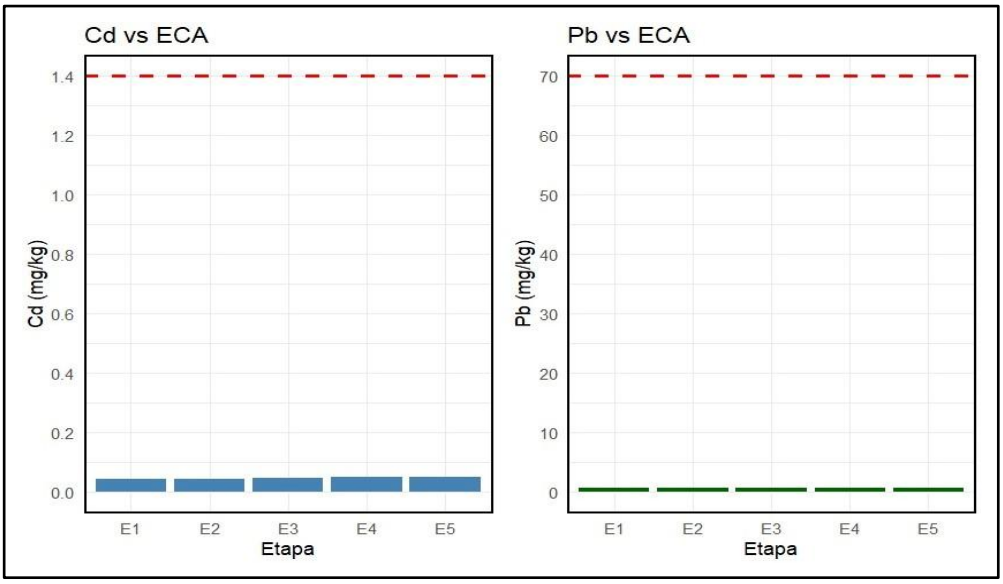


Tabla 21

Concentraciones promedio de cadmio y plomo por etapa

Etapa de evaluación	Cadmio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)
Antes de la fertilización	0.045	0.745
Primera fertilización	0.046	0.746
Segunda fertilización	0.048	0.776
Tercera fertilización	0.050	0.800
Después de la cosecha	0.052	0.802

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidenciaron un comportamiento diferenciado de las concentraciones de cadmio y plomo entre los tratamientos evaluados en el suelo arrocero del sector Yanuyacu Bajo. El cadmio presentó diferencias significativas entre tratamientos antes de la aplicación de los fertilizantes y durante la primera y segunda fertilización, mientras que en la tercera fertilización y después de la cosecha dichas diferencias no fueron significativas. En contraste, el plomo únicamente presentó diferencias significativas durante la segunda fertilización. Estos resultados indican que la respuesta de ambos elementos no fue uniforme durante el periodo evaluado. Sin embargo, es importante considerar que las diferencias significativas observadas para el cadmio desde la evaluación inicial evidenciaron que las condiciones de partida no fueron completamente homogéneas entre los tratamientos. Esta variabilidad inicial puede estar relacionada con la distribución espacial de los elementos traza en el suelo, debido a que las concentraciones de cadmio y plomo pueden presentar variaciones asociadas a las propiedades fisicoquímicas del suelo, características del paisaje y procesos naturales o antrópicos previos al establecimiento del cultivo (Kodikara et al., 2019). Asimismo, debe considerarse que el estudio se desarrolló en un suelo arrocero con historial de cultivo continuo, condición que pudo contribuir a la variabilidad espacial de las concentraciones iniciales de los elementos traza. No obstante, este aspecto no fue evaluado como una variable específica de la investigación, por lo que constituye únicamente un posible factor explicativo de las diferencias iniciales observadas. Además, el incremento registrado en el tratamiento testigo durante el desarrollo del cultivo indica que las variaciones de cadmio y plomo estuvieron influenciadas no solo por los tratamientos evaluados, sino también por factores propios del suelo y por la dinámica natural de estos elementos, tal como señalan Guo et al. (2023). Por ello, los resultados permiten interpretar cambios asociados a los programas de fertilización evaluados, aunque no permiten establecer una relación causal exclusiva con la aplicación de fertilizantes sintéticos.

En relación con el cadmio, las diferencias significativas registradas antes de la aplicación de los fertilizantes, así como durante la primera y segunda fertilización, muestran que este elemento presentó un comportamiento diferencial entre los tratamientos evaluados durante el ciclo del cultivo. Este resultado puede estar relacionado con la mayor movilidad y biodisponibilidad del cadmio en comparación con otros elementos traza, especialmente bajo condiciones que favorecen su solubilidad en el suelo. Diversos estudios han reportado

que algunos fertilizantes fosfatados pueden contener cadmio como impureza debido al origen de la roca fosfórica utilizada en su fabricación (Gómez et al., 2023). Asimismo, Ochoa et al. (2020) señalan que el cadmio presenta elevada persistencia y capacidad de acumulación en los suelos agrícolas. Sin embargo, debido a que en el presente estudio no se determinó el contenido de cadmio en los fertilizantes aplicados, no es posible atribuir directamente a estos insumos las concentraciones detectadas en el suelo. En consecuencia, los resultados deben interpretarse considerando la interacción entre los programas de fertilización, las condiciones iniciales del suelo y la dinámica propia del cadmio.

Por otro lado, el comportamiento del plomo fue diferente al del cadmio, debido a que únicamente durante la segunda fertilización se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que en las demás etapas no se observaron diferencias estadísticas. Este comportamiento sugiere una respuesta menos marcada del plomo durante el periodo evaluado, lo cual puede estar relacionado con su menor movilidad en el suelo debido a su fuerte adsorción a las fracciones minerales y a la materia orgánica, así como a su tendencia a formar compuestos poco solubles (Díaz et al., 2023). En este sentido, Zhang y Li (2022) señalan que el plomo presenta menor biodisponibilidad y tiende a permanecer retenido en las fracciones más estables del suelo, limitando su transferencia hacia las plantas en comparación con otros elementos traza como el cadmio. Aunque se observó una ligera tendencia al incremento de las concentraciones de plomo durante el periodo evaluado, este comportamiento también estuvo presente en el tratamiento testigo, lo que indica que su dinámica pudo estar influenciada por factores adicionales a la fertilización. Dado que el contenido de plomo en los fertilizantes no fue evaluado, no es posible atribuir directamente a estos insumos las concentraciones observadas en el suelo. Este comportamiento coincide con lo señalado por Sinchi (2019), quien indica que el plomo presenta una elevada persistencia ambiental debido a su baja movilidad.

Respecto a la dinámica del pH, los resultados del análisis de correlación evidenciaron una relación variable con las concentraciones de cadmio y plomo durante las diferentes etapas del cultivo. En el caso del cadmio, únicamente durante la primera fertilización se observó una correlación negativa moderada y significativa ($r = -0.498$; $p = 0.025$), indicando que, bajo las condiciones evaluadas, menores valores de pH estuvieron asociados con mayores concentraciones de este elemento en el suelo. Este comportamiento coincide con lo reportado por (Yu et al., 2023), quien señala que condiciones más ácidas favorecen la solubilidad y biodisponibilidad del cadmio. Sin embargo, en las demás etapas no se

evidenciaron correlaciones significativas, lo que indica que la dinámica del cadmio no depende únicamente del pH, sino también de otros factores del sistema suelo-arroz, como el potencial redox en condiciones de inundación, la materia orgánica y las características fisicoquímicas del suelo, tal como indican Sun et al. (2021). En el caso del plomo, las correlaciones con el pH fueron débiles y no significativas en todas las etapas evaluadas, lo que evidencia que este parámetro no mostró una asociación significativa con su comportamiento en el suelo. Este resultado es consistente con la menor movilidad del plomo y su tendencia a permanecer adsorbido en las partículas del suelo, tal como reporta Mahmud et al. (2021).

Al comparar las concentraciones de cadmio y plomo obtenidas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo de uso agrícola establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017), se observó que los valores registrados durante todas las etapas de evaluación se mantuvieron por debajo de los límites establecidos para ambos elementos. Estos resultados indican que, durante el periodo evaluado, las concentraciones de cadmio y plomo cumplieron con los ECA para suelo agrícola. Sin embargo, el cumplimiento de estos estándares no implica necesariamente la ausencia absoluta de riesgo ambiental, debido a que la acumulación de elementos traza puede ocurrir progresivamente bajo condiciones de exposición prolongada y uso continuo de insumos agrícolas. Por ello, la tendencia de incremento observada, principalmente para el cadmio, resalta la importancia del monitoreo continuo, considerando que este elemento puede acumularse en el suelo y representar un riesgo potencial para cultivos como el arroz, debido a su capacidad de absorción de cadmio (Liu et al., 2023).

En términos generales, los resultados obtenidos son consistentes con estudios previos que señalan que la intensificación agrícola y el uso continuo de fertilizantes han sido asociados con la acumulación de elementos traza en suelos agrícolas (Wang et al., 2023; Zhang y Li, 2022). No obstante, a diferencia de otros estudios donde se reportan concentraciones elevadas, en el presente estudio los niveles de cadmio y plomo permanecieron bajos, lo que podría estar relacionado con factores como las características del suelo, las condiciones de manejo y el tiempo de exposición a los fertilizantes.

Finalmente, una limitación del presente estudio fue no haber determinado el contenido de cadmio y plomo en los fertilizantes utilizados, lo que impidió confirmar si estos insumos constituyeron una fuente directa de los elementos detectados en el suelo. En futuras investigaciones se recomienda incorporar el análisis de los fertilizantes para fortalecer la interpretación de los resultados.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los tratamientos de fertilización evaluados se asociaron con variaciones en las concentraciones de cadmio y plomo en el suelo arrocero del sector Yanuyacu Bajo. Para el cadmio se encontraron diferencias significativas entre tratamientos antes de la aplicación de los fertilizantes y durante la primera y segunda fertilización; mientras que para el plomo únicamente se evidenciaron diferencias significativas durante la segunda fertilización. En consecuencia, la hipótesis de investigación fue aceptada parcialmente, debido a que las diferencias observadas no permiten atribuir exclusivamente las variaciones a la aplicación de fertilizantes sintéticos.
- Las concentraciones de cadmio presentaron diferencias significativas entre tratamientos durante determinadas etapas del cultivo; sin embargo, debido a que las concentraciones iniciales ya presentaban diferencias antes de la aplicación de los fertilizantes y se observó un incremento en el tratamiento testigo durante el periodo evaluado, las variaciones registradas no pueden atribuirse exclusivamente a la aplicación de fertilizantes sintéticos, sino que deben interpretarse considerando la interacción entre los programas de fertilización evaluados, las condiciones iniciales del suelo y la dinámica propia del elemento.
- Las concentraciones de plomo mostraron un comportamiento menos variable durante el periodo de estudio, debido a que solo se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos durante la segunda fertilización. En las demás etapas no se encontraron diferencias estadísticas, lo que indica una menor respuesta del plomo a los programas de fertilización evaluados bajo las condiciones del estudio.
- El pH del suelo presentó una relación parcial con la dinámica del cadmio, evidenciándose una correlación negativa significativa durante la primera fertilización; mientras que para el plomo no se encontraron correlaciones significativas en ninguna de las etapas evaluadas, indicando que el pH no mostró una relación significativa con la variación de este elemento bajo las condiciones del estudio.
- Las concentraciones de cadmio y plomo registradas durante todas las etapas de evaluación se mantuvieron por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

para suelo agrícola establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), indicando que los valores obtenidos no superaron los límites establecidos durante el periodo evaluado.

5.2. Recomendaciones

- Realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de cadmio y plomo en suelos arroceros del sector Yanuyacu Bajo, con la finalidad de evaluar su comportamiento y posibles procesos de acumulación a largo plazo bajo condiciones de manejo agrícola continuo.
- Evaluar las concentraciones de cadmio y plomo en tejido vegetal y principalmente en el grano de arroz, debido a que el presente estudio estuvo limitado al análisis del suelo y no permitió determinar la transferencia de estos elementos hacia la cadena alimentaria.
- Determinar las concentraciones de cadmio y plomo presentes en los fertilizantes empleados, especialmente en aquellos de origen fosfatado, con el propósito de establecer su posible contribución como fuente de incorporación de elementos traza al suelo.
- Desarrollar investigaciones a largo plazo que permitan analizar el comportamiento acumulativo de cadmio y plomo bajo aplicaciones continuas de fertilizantes sintéticos en sistemas agrícolas.
- Incorporar en futuros estudios variables adicionales del suelo como materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, textura, conductividad eléctrica y potencial redox, con el fin de comprender integralmente los factores que regulan la movilidad y disponibilidad de los elementos traza en suelos arroceros.
- Promover prácticas de manejo sostenible del suelo mediante la capacitación a los agricultores sobre el uso adecuado de fertilizantes, considerando dosis apropiadas y estrategias que permitan reducir la incorporación innecesaria de elementos traza al suelo.
- Se recomienda al Centro de Análisis Espectrofotométrico (CAE) de la Universidad Nacional de Jaén brindar información detallada sobre los procedimientos de control de calidad analítica empleados en los informes de ensayo, con el fin de fortalecer la confiabilidad e interpretación de los resultados de las investigaciones.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allccaco, J. L. (2024). *Comprobar la contaminación del suelo y el cultivo de esparrago (Asparagus officinalis L.), híbrido UC 115 F1, por los elementos tóxicos cadmio y níquel en la zona baja del valle de Ica - 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga. https://hdl.handle.net/20.500.13028/6382

Andrade, K., Castillo, I., y Quispe, R. (2020). Determinación de metales pesados en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum* de la Bahía Interior de Puno. *Investigación & Desarrollo*, *20*(1), 147–153. https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-11i

Amjad, M., Khan, Z. I., Nadeem, M., Ahmad, K., Shah, A. A., Gatasheh, M. K., Shaffique, S., y Abbas, T. (2024). Accumulation and translocation of lead in vegetables through intensive use of organic manure and mineral fertilizers with wastewater. *Scientific Reports*, *14*(1), 12641. https://doi.org/10.1038/s41598-024-63076-x

Astonitas, L. J., Pariente, E., y Milla, M. E. (2021). Evaluación del contenido de metales pesados en suelos periurbanos a partir de parámetros fisicoquímicos. *Revista de la Universidad del Zulia*, *12*(33), 50–69. https://doi.org/10.46925/rdluz.33.05

Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM. (2017). *Ministerio del Ambiente*. https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-011-2017-minam/

Díaz, J. R., Chávez, G. E., Quipuscoa, L. J., Rabanal, J. F., Pereyra, T. de J., y Campo, J. Y. (2023). Evaluación del contenido de metales pesados en suelos agrícolas del distrito de Jesús – Cajamarca. *Caxamarca*, *22*(1-2), 1–12. https://revistas.unc.edu.pe/index.php/caxamarcae/article/view/62

Gómez, V., Molina-Roco, M., Chichipe, E., y Morales, E. M. (2023). Trace Elements in Fertilizers Used in Peru. OnLine Journal of Biological Sciences, 23(2), 219-225. https://doi.org/10.3844/ojbsci.2023.219.225

Guo, Y., Yang, Y., Li, R., Liao, X., y Li, Y. (2023). Distribution of cadmium and lead in soil–rice systems and their environmental driving factors at the island scale. Ecotoxicology and Environmental Safety, 265, 115530. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115530

Gupta, N., Yadav, K. K., Kumar, V., Kumar, S., Chadd, R. P., y Kumar, A. (2019). Trace elements in soil-vegetables interface: Translocation, bioaccumulation, toxicity and amelioration - A review. The Science of the Total Environment, 651(Pt 2), 2927-2942. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.047

International Organization for Standardization. (2006). *ISO 11464:2006 Soil quality — Pretreatment of samples for physico-chemical analysis*. International Organization for Standardization.

Kodikara, A. G. K. S., Attanayake, C. P., y Vitharana, U. W. A. (2019). Spatial variability of cadmium and lead in surface soils in relation to land use and topography. *Proceedings of the International Forestry and Environment Symposium, 24*. https://doi.org/10.31357/fesympo.v24i0.4349

Llatance, W. G. (2019). Caracterización de la respuesta fisiológica de Salvinia sp. frente a la exposición a metales pesados y su relación con la eficiencia del proceso de fitorremediación. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica Argentina]. Repositorio institucional. https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/9634

Liu, Z., Bai, Y., Gao, J., y Li, J. (2023). Driving factors on accumulation of cadmium, lead, copper, zinc in agricultural soil and products of the North China Plain. Scientific Reports, 13(1), 7429. https://doi.org/10.1038/s41598-023-34688-6

López, G. M., y Zamora, A. R. (2016). *Diagnóstico de la fertilidad del suelo en el área de Investigación, Innovación y Desarrollo de la ESPAM-MFL* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio institucional de la ESPAM-MFL. http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/270

Mahmud, U., Salam, Md. T. B., Khan, A. S., y Rahman, Md. M. (2021). Ecological risk of heavy metal in agricultural soil and transfer to rice grains. Discover Materials, 1(1), 10. https://doi.org/10.1007/s43939-021-00010-2

Ochoa, M., Tierra, W., Tupuna-Yerovi, D. S., Guanoluisa, D., Otero, X. L., y Ruales, J. (2020). Assessment of cadmium and lead contamination in rice farming soils and rice (*Oryza sativa* L.) from Guayas province in Ecuador. *Environmental Pollution, 260,* 114050. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114050

Ortega, G. S. (2018). *Metales pesados (As, Cd, Hg, Pb) en la capa arable del ámbito de influencia de la relavera Chahuapampa en San Miguel de Utcuyacu,*

Cátac, Ancash, 2016 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Latinoamericano. https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6592547

Sinchi, I. G. (2019). *Determinación de plomo en suelo y arroz (Oryza sativa L.) en dos cantones de la provincia del Guayas* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional de la Universidad de Guayaquil. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39730

Soto-Benavente, M., Rodriguez-Achata, L., Olivera, M., Arostegui Sanchez, V., Colina Nano, C., & Garate Quispe, J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria, 11*(1), 49–59. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06

Sun, L., Song, K., Shi, L., Duan, D., Zhang, H., Sun, Y., Qin, Q., y Xue, Y. (2021). Influence of elemental sulfur on cadmium bioavailability, microbial community in paddy soil and Cd accumulation in rice plants. *Scientific Reports, 11,* Article 11468. https://doi.org/10.1038/s41598-021-91003-x

United States Environmental Protection Agency. (2007). *Method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils*. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/esam/epa-method-3051a-microwave-assisted-acid-digestion-sediments-sludges-soils-and-oils

Wan, Y., Liu, J., Zhuang, Z., Wang, Q., y Li, H. (2024). Heavy Metals in Agricultural Soils: Sources, Influencing Factors, and Remediation Strategies. *Toxics*, *12*(1), 63. https://doi.org/10.3390/toxics12010063

Wang, C.-C., Zhang, Q.-C., Yan, C.-A., Tang, G.-Y., Zhang, M.-Y., Ma, L. Q., Gu, R.-H., y Xiang, P. (2023). Heavy metal(loid)s in agriculture soils, rice, and wheat across China: Status assessment and spatiotemporal analysis. *Science of The Total Environment*, *882*, 163361. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163361

Wu, W., Li, Y., Yan, M., Yang, L., Lei, J., y Liu, H.-B. (2021). Surface soil metal elements variability affected by environmental and soil properties. *PLOS ONE, 16*(7), e0254928. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254928

Xu, Y., Elbakidze, L., Yen, H., Arnold, J. G., Gassman, P. W., Hubbart, J., y Strager, M. P. (2022). Integrated assessment of nitrogen runoff to the Gulf of Mexico.

Resource and Energy Economics, *67*, 101279. https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2021.101279

Yu, H., Li, C., Yan, J., Ma, Y., Zhou, X., Yu, W., Kan, H., Meng, Q., Xie, R., y Dong, P. (2023). A review on adsorption characteristics and influencing mechanism of heavy metals in farmland soil. *RSC Advances*, *13*(6), 3505-3519. https://doi.org/10.1039/D2RA07095

Zhang, F., y Li, H. (2022). Effects of landscape restoration on migration of lead and cadmium at an abandoned mine site. *Frontiers in Environmental Science, 10*, Article 1057961. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1057961

Zhou, C., Zhu, L., Zhao, T., Dahlgren, R. A., & Xu, J. (2024). Fertilizer application alters cadmium and selenium bioavailability in soil-rice system with high geological background levels. *Environmental Pollution*, *350*, 124033. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124033

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por guiarnos con sabiduría, fortaleza y paciencia en cada etapa de este proceso académico. A nuestros padres, por ser el pilar fundamental de nuestra formación, por su amor incondicional, sus valores y su constante apoyo.

A nuestros hermanos, por acompañarnos con cariño, comprensión y aliento en los momentos más exigentes.

Expresamos nuestra gratitud a la Universidad Nacional de Jaén, por brindarnos las herramientas necesarias para crecer como profesionales comprometidos con el desarrollo de nuestra región.

Agradecemos especialmente a nuestro asesor, Dr. James Tirado Lara, por su orientación, exigencia y confianza en nuestro trabajo. Asimismo, extendemos un especial reconocimiento al Laboratorio Centro de Análisis Espectrofotométrico, por el apoyo técnico y las facilidades brindadas para el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, agradecemos a todos los docentes, compañeros y personas que, de una u otra forma, contribuyeron con su apoyo, consejos y palabras de aliento. Cada gesto dejó una huella importante en este camino, y este trabajo también es reflejo de ese respaldo.

DEDICATORIA

A mis queridos padres Carmen Abad Abad y José Victorino Merino Campoverde, por su amor incondicional, su esfuerzo constante y por ser el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mis hermanos, por su apoyo, compañía y por brindarme siempre ánimo para seguir adelante.

A mis amigos, quienes me acompañaron durante este proceso, brindándome su apoyo, motivación y palabras de aliento en cada etapa.

Este logro también es de ustedes.

Bach. Diana Rosalia Merino Abad

Dedico esta tesis a mis padres, Manuel Castillo Cruz y Gertrudis Chasquero Herrera, por su inmenso amor, esfuerzo contante y ejemplo de fortaleza y dedicación. A mis hermanos, por su apoyo incondicional y aliento permanente durante este camino. A quienes contribuyeron a mi formación con sus enseñanzas y orientación académica. A la perseverancia, que me permitió superar cada desafío. Y a la convicción de que los sueños, construidos con disciplina y compromiso, se transforman en grandes logros.

Bach. Mercedes Castillo Chasquero

ANEXOS

ANEXO 1: REPORTES OFICIALES DE LABORATORIO DE LAS CONCENTRACIONES DE Cd, Pb y pH DEL SUELO

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

INFORME DE ENSAYO CAE
N°00300326-AA-01

Emitido en Jaén, el 30 de marzo del 2026

Nombre del Solicitante	:	Diana Merino Abad
Servicio solicitado	:	Análisis de metales en muestras de suelo: Cd y Pb Análisis de pH
Características	:	Muestras proporcionadas por el solicitante
Condiciones de recepción	:	En aparente buen estado
Fecha de recepción de muestra	:	15 de noviembre del 2025
Fecha de inicio de Ensayo	:	19 de diciembre del 2024
Fecha de término de Ensayo	:	13 de febrero del 2026
Fines	:	Ejecución de proyecto de tesis titulado: "Influencia de fertilizantes sintéticos en la acumulación de elementos traza (Cadmio y Plomo) en un suelo arrocero del Sector Yanuyacu Bajo, Jaèn"
Tipo de muestra	:	Suelo
Cantidad de muestra	:	100 muestras x 500 g

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B1 – T1	MSU-01-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.049
		Plomo		mg/L	0.775
		pH		-	7.785
B1 – T2	MSU-02-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.046
		Plomo		mg/L	0.685
		pH		-	7.684
B1 – T3	MSU-03-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.046
		Plomo		mg/L	0.790
		pH		-	7.715
B1 – T4	MSU-04-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.043
		Plomo		mg/L	0.752
		pH		-	7.592

CONTACTO 957108553 / 946848879
EMAIL ceasa@unj.edu.pe
DIRECCION Carretera Jaén - San Ignacio Km 24 Sector Yanuyacu
REDES SOCIALES www.unj.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B2 – T1	MSU-05-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.046
		Plomo		mg/L	0.768
		pH		-	7.797
B2 – T2	MSU-06-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.046
		Plomo		mg/L	0.752
		pH		-	7.745
B2 – T3	MSU-07-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.046
		Plomo		mg/L	0.755
		pH		-	7.797
B2 – T4	MSU-08-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.036
		Plomo		mg/L	0.651
		pH		-	7.777
B3 – T1	MSU-09-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.047
		Plomo		mg/L	0.761
		pH		-	7.719
B3 – T2	MSU-10-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.752
		pH		-	7.778
B3 – T3	MSU-11-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.047
		Plomo		mg/L	0.810
		pH		-	7.785
B3 – T4	MSU-12-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.038
		Plomo		mg/L	0.690
		pH		-	7.718

CONTACTO 957108553 / 946848879
EMAIL ceasa@unj.edu.pe
DIRECCION Carretera Jaén - San Ignacio Km 24 Sector Yanuvacu
REDES SOCIALES www.unj.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B4 – T1	MSU-13-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.775
		pH		-	7.784
B4 – T2	MSU-14-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.052
		Plomo		mg/L	0.795
		pH		-	7.365
B4 – T3	MSU-15-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.047
		Plomo		mg/L	0.752
		pH		-	7.718
B4 – T4	MSU-16-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.032
		Plomo		mg/L	0.620
		pH		-	7.792
B5 – T1	MSU-17-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.724
		pH		-	7.773
B5 – T2	MSU-18-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.779
		pH		-	7.590
B5 – T3	MSU-19-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.041
		Plomo		mg/L	0.726
		pH		-	7.698
B5 – T4	MSU-20-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.794
		pH		-	7.709

CONTACTO 957108553 / 946848879
EMAIL ceasa@unj.edu.pe
DIRECCION Carretera Jaén – San Ignacio km 24 Sector Yanuyacu
REDES SOCIALES www.unj.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B1 – T1	MSU-21-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.049
		Plomo		mg/L	0.775
		pH		-	7.685
B1 – T2	MSU-22-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.046
		Plomo		mg/L	0.685
		pH		-	7.606
B1 – T3	MSU-23-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.791
		pH		-	7.700
B1 – T4	MSU-24-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.043
		Plomo		mg/L	0.752
		pH		-	7.684
B2 – T1	MSU-25-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.046
		Plomo		mg/L	0.769
		pH		-	7.618
B2 – T2	MSU-26-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.049
		Plomo		mg/L	0.753
		pH		-	7.685
B2 – T3	MSU-27-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.757
		pH		-	7.559
B2 – T4	MSU-28-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.036
		Plomo		mg/L	0.651
		pH		-	7.777

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B3 – T1	MSU-29-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.047
		Plomo		mg/L	0.763
		pH		-	7.744
B3 – T2	MSU-30-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.752
		pH		-	7.626
B3 – T3	MSU-31-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.810
		pH		-	7.750
B3 – T4	MSU-32-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.038
		Plomo		mg/L	0.690
		pH		-	7.712
B4 – T1	MSU-33-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.778
		pH		-	7.640
B4 – T2	MSU-34-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.052
		Plomo		mg/L	0.795
		pH		-	7.718
B4 – T3	MSU-35-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.754
		pH		-	7.664
B4 – T4	MSU-36-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.032
		Plomo		mg/L	0.620
		pH		-	7.760

CONTACTO 957108553 / 946848879
EMAIL ceasa@unj.edu.pe
DIRECCIÓN Carretera Jaén - San Ignacio Km 24 Sector Yanuyacu
REDES SOCIALES www.unj.edu.pe

N

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B5 – T1	MSU-37-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.727
		pH		-	7.690
B5 – T2	MSU-38-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.051
		Plomo		mg/L	0.782
		pH		-	7.591
B5 – T3	MSU-39-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.041
		Plomo		mg/L	0.730
		pH		-	7.680
B5 – T4	MSU-40-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.794
		pH		-	7.640

Acotaciones:
- Los resultados son válidos para la muestra referida en el presente informe
- El informe de ensayo tiene una validez de 365 días.

CONTACTO 957108553 / 946848879
EMAIL ceasa@unj.edu.pe
DIRECCIÓN Carretera Jaén - San Ignacio Km 24 Sector Yanuyacu
REDES SOCIALES www.unj.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B1 – T1	MSU-41-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.776
		pH		-	7.688
B1 – T2	MSU-42-CAE-2	Cadmio		mg/L	0.046
		Plomo		mg/L	0.695
		pH		-	7.751
B1 – T3	MSU-43-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.051
		Plomo		mg/L	0.822
		pH		-	7.707
B1 – T4	MSU-44-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.045
		Plomo		mg/L	0.754
		pH		-	7.765
B2 – T1	MSU-45-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.800
		pH		-	7.766
B2 – T2	MSU-46-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.832
		pH		-	7.763
B2 – T3	MSU-47-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.760
		pH		-	7.630
B2 – T4	MSU-48-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.037
		Plomo		mg/L	0.652
		pH		-	7.720

CONTACTO
957108553 / 946848879

EMAIL
ceasa@unj.edu.pe

DIRECCION
Carretera Jaen – San Ignacio Km 24 Sector Yanuyacu

REDES SOCIALES
www.unj.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B3 – T1	MSU-49-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.793
		pH		-	7.734
B3 – T2	MSU-50-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.049
		Plomo		mg/L	0.766
		pH		-	7.670
B3 – T3	MSU-51-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.811
		pH		-	7.830
B3 – T4	MSU-52-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.040
		Plomo		mg/L	0.700
		pH		-	7.681
B4 – T1	MSU-53-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.049
		Plomo		mg/L	0.790
		pH		-	7.740
B4 – T2	MSU-54-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.059
		Plomo		mg/L	0.830
		pH		-	7.780
B4 – T3	MSU-55-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.054
		Plomo		mg/L	0.835
		pH		-	7.735
B4 – T4	MSU-56-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.035
		Plomo		mg/L	0.630
		pH		-	7.632

CONTACTO 957108553 / 946848879
EMAIL ceasa@unj.edu.pe
DIRECCIÓN Carretera Jaén – San Ignacio Km 24 Sector Yanuyacu
REDES SOCIALES www.unj.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B5 – T1	MSU-57-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.781
		pH		-	7.685
B5 – T2	MSU-58-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.054
		Plomo		mg/L	0.802
		pH		-	7.685
B5 – T3	MSU-59-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.044
		Plomo		mg/L	0.886
		pH		-	7.685
B5 – T4	MSU-60-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.810
		pH		-	7.685

Acotaciones:
- Los resultados son válidos para la muestra referida en el presente informe
- El informe de ensayo tiene una validez de 365 días.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B1 – T1	MSU-61-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.052
		Plomo		mg/L	0.795
		pH		-	7.681
B1 – T2	MSU-62-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.051
		Plomo		mg/L	0.791
		pH		-	7.475
B1 – T3	MSU-63-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.053
		Plomo		mg/L	0.822
		pH		-	7.711
B1 – T4	MSU-64-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.046
		Plomo		mg/L	0.732
		pH		-	7.719
B2 – T1	MSU-65-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.047
		Plomo		mg/L	0.802
		pH		-	7.519
B2 – T2	MSU-66-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.053
		Plomo		mg/L	0.783
		pH		-	7.609
B2 – T3	MSU-67-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.049
		Plomo		mg/L	0.761
		pH		-	7.560
B2 – T4	MSU-68-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.041
		Plomo		mg/L	0.761
		pH		-	7.695

CONTACTO
957108553 / 946848879
EMAIL
ceasa@unj.edu.pe
DIRECCIÓN
Carretera Jaén - San Ignacio Km 24 Sector Yanuyacu
REDES SOCIALES
www.unj.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B3 – T1	MSU-69-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.051
		Plomo		mg/L	0.926
		pH		-	7.714
B3 – T2	MSU-70-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.711
		pH		-	7.458
B3 – T3	MSU-71-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.055
		Plomo		mg/L	0.855
		pH		-	7.702
B3 – T4	MSU-72CAE-26	Cadmio		mg/L	0.056
		Plomo		mg/L	0.763
		pH		-	7.716
B4 – T1	MSU-73-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.052
		Plomo		mg/L	0.791
		pH		-	7.610
B4 – T2	MSU-74-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.056
		Plomo		mg/L	0.848
		pH		-	7.533
B4 – T3	MSU-75-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.052
		Plomo		mg/L	0.836
		pH		-	7.716
B4 – T4	MSU-76-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.040
		Plomo		mg/L	0.728
		pH		-	7.730

CONTACTO 957108553 / 946848879
EMAIL ceasa@unj.edu.pe
DIRECCIÓN Carretera Jaén – San Ignacio Km 24 Sector Yanuyacu
REDES SOCIALES www.unj.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B5 – T1	MSU-77-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.047
		Plomo		mg/L	0.783
		pH		-	7.670
B5 – T2	MSU-78-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.054
		Plomo		mg/L	0.823
		pH		-	7.703
B5 – T3	MSU-79-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.886
		pH		-	7.540
B5 – T4	MSU-80-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.053
		Plomo		mg/L	0.794
		pH		-	7.551

Acotaciones:
- Los resultados son válidos para la muestra referida en el presente informe
- El informe de ensayo tiene una validez de 365 días.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B1 – T1	MSU-81-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.052
		Plomo		mg/L	0.797
		pH		-	7.590
B1 – T2	MSU-82-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.053
		Plomo		mg/L	0.793
		pH		-	7.556
B1 – T3	MSU-83-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.053
		Plomo		mg/L	0.828
		pH		-	7.830
B1 – T4	MSU-84-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.046
		Plomo		mg/L	0.733
		pH		-	7.595
B2 – T1	MSU-85-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.047
		Plomo		mg/L	0.806
		pH		-	7.620
B2 – T2	MSU-86-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.054
		Plomo		mg/L	0.785
		pH		-	7.767
B2 – T3	MSU-87-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.762
		pH		-	7.557
B2 – T4	MSU-88-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.044
		Plomo		mg/L	0.763
		pH		-	7.710

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B3 – T1	MSU-89-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.053
		Plomo		mg/L	0.927
		pH		-	7.490
B3 – T2	MSU-90-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.715
		pH		-	7.620
B3 – T3	MSU-91-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.056
		Plomo		mg/L	0.857
		pH		-	7.702
B3 – T4	MSU-92-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.051
		Plomo		mg/L	0.763
		pH		-	7.716
B4 – T1	MSU-93-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.055
		Plomo		mg/L	0.787
		pH		-	7.810
B4 – T2	MSU-94-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.058
		Plomo		mg/L	0.850
		pH		-	7.582
B4 – T3	MSU-95-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.054
		Plomo		mg/L	0.844
		pH		-	7.759
B4 – T4	MSU-96-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.048
		Plomo		mg/L	0.728
		pH		-	7.625

CONTACTO 957108553 / 946848879
EMAIL ceasa@unj.edu.pe
DIRECCION Carretera Jaén - San Ignacio Km 24 Sector Yanuyacu
REDES SOCIALES www.unj.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Centro de Análisis
Espectrofotométrico - CAE

Resultados de Suelo

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LABORATORIO	DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
B5 – T1	MSU-97-CAE-26	Cadmio	USEPA 2007/ Método 3051-A	mg/L	0.049
		Plomo		mg/L	0.788
		pH		-	7.545
B5 – T2	MSU-98-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.056
		Plomo		mg/L	0.824
		pH		-	7.589
B5 – T3	MSU-99-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.050
		Plomo		mg/L	0.887
		pH		-	7.653
B5 – T4	MSU-100-CAE-26	Cadmio		mg/L	0.053
		Plomo		mg/L	0.794
		pH		-	7.656

Acotaciones:
- Los resultados son válidos para la muestra referida en el presente informe
- El informe de ensayo tiene una validez de 365 días.

Acotaciones:

- Los resultados son válidos para las muestras referidas por cada fecha en el presente informe
- El informe de ensayo tiene una validez de 365 días.
- El laboratorio no se responsabiliza por el muestreo tomado por el solicitante
- La medición de pH fue realizada según el siguiente detalle:
  - MSU-01, medido a una temperatura de 24.2°C.
  - MSU-02, medido a una temperatura de 24.1 °C.
  - MSU-03, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-04, medido a una temperatura de 24.7 °C.
  - MSU-05, medido a una temperatura de 24.8 °C.
  - MSU-06, medido a una temperatura de 24.2°C.
  - MSU-07, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-08, medido a una temperatura de 24.5 °C.
  - MSU-09, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-10, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-11, medido a una temperatura de 24.4 °C.
  - MSU-12, medido a una temperatura de 24.1 °C.
  - MSU-13, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-14, medido a una temperatura de 24.5 °C.
  - MSU-15, medido a una temperatura de 24.8 °C.
  - MSU-16, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-17, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-18, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-19, medido a una temperatura de 24.5 °C.
  - MSU-20, medido a una temperatura de 24.6 °C.
  - MSU-21, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-22, medido a una temperatura de 24.1 °C.
  - MSU-23, medido a una temperatura de 23.3 °C.
  - MSU-24, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-25, medido a una temperatura de 23.5 °C.
  - MSU-26, medido a una temperatura de 24.1 °C.
  - MSU-27, medido a una temperatura de 23.3 °C.
  - MSU-28, medido a una temperatura de 23.3 °C.
  - MSU-29, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-30, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-31, medido a una temperatura de 23.3 °C.
  - MSU-32, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-33, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-34, medido a una temperatura de 22.8 °C.
  - MSU-35, medido a una temperatura de 23.8 °C.
  - MSU-36, medido a una temperatura de 23.3 °C.
  - MSU-37, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-38, medido a una temperatura de 24.1 °C.
  - MSU-39, medido a una temperatura de 23.9 °C.
  - MSU-40, medido a una temperatura de 22.8 °C.
  - MSU-41, medido a una temperatura de 23.3 °C.
  - MSU-42, medido a una temperatura de 24.5 °C.
  - MSU-43, medido a una temperatura de 22.6°C.
  - MSU-44, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-45, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-46, medido a una temperatura de 24.1 °C.
  - MSU-47, medido a una temperatura de 23.8 °C.
  - MSU-48, medido a una temperatura de 23.7 °C.

Centro de Análisis
Espectrofotométrico – CAE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Acotaciones:

- La medición de pH fue realizada según el siguiente detalle:
  - MSU-49, medido a una temperatura de 23.9 °C.
  - MSU-50, medido a una temperatura de 24.1 °C.
  - MSU-51, medido a una temperatura de 24.8 °C.
  - MSU-52, medido a una temperatura de 24.6°C.
  - MSU-53, medido a una temperatura de 23.9 °C.
  - MSU-54, medido a una temperatura de 24.4 °C.
  - MSU-55, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-56, medido a una temperatura de 24.5 °C.
  - MSU-57, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-58, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-59, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-60, medido a una temperatura de 24.7 °C.
  - MSU-61, medido a una temperatura de 24.7 °C.
  - MSU-62, medido a una temperatura de 23.8 °C.
  - MSU-63, medido a una temperatura de 24.1 °C.
  - MSU-64, medido a una temperatura de 23.5 °C.
  - MSU-65, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-66, medido a una temperatura de 24.6 °C.
  - MSU-67, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-68, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-69, medido a una temperatura de 24.1 °C.
  - MSU-70, medido a una temperatura de 24.2 °C.
  - MSU-71, medido a una temperatura de 23.3 °C.
  - MSU-72, medido a una temperatura de 23.7 °C.
  - MSU-73, medido a una temperatura de 24.4 °C.
  - MSU-74, medido a una temperatura de 24.4 °C.
  - MSU-75, medido a una temperatura de 24.5 °C.
  - MSU-76, medido a una temperatura de 24.4 °C.
  - MSU-77, medido a una temperatura de 24.4 °C.
  - MSU-78, medido a una temperatura de 24.6 °C.
  - MSU-79, medido a una temperatura de 22.9 °C.
  - MSU-80, medido a una temperatura de 24.1 °C.
  - MSU-81, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-82, medido a una temperatura de 24.5 °C.
  - MSU-83, medido a una temperatura de 24.6 °C.
  - MSU-84, medido a una temperatura de 24.5 °C.
  - MSU-85, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-86, medido a una temperatura de 24.1 °C.
  - MSU-87, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-88, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-89, medido a una temperatura de 24.5 °C.
  - MSU-90, medido a una temperatura de 22.9 °C.
  - MSU-91, medido a una temperatura de 25.0 °C.
  - MSU-92, medido a una temperatura de 25.1 °C.
  - MSU-93, medido a una temperatura de 24.4 °C.
  - MSU-94, medido a una temperatura de 24.8 °C.
  - MSU-95, medido a una temperatura de 24.3 °C.
  - MSU-96, medido a una temperatura de 25.0 °C.
  - MSU-97, medido a una temperatura de 25.2 °C.
  - MSU-98, medido a una temperatura de 24.9 °C.
  - MSU-99, medido a una temperatura de 24.8 °C.
  - MSU-100, medido a una temperatura de 24.7 °C.

ANEXO 2: BASE DE DATOS ORGANIZADOS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla 22

Base de datos para el análisis estadístico

Etapa	Bloque	Tratamiento	Cadmio	Plomo	pH
Antes de la fertilización	B1	T1	0.049	0.775	7.785
Antes de la fertilización	B1	T2	0.046	0.685	7.684
Antes de la fertilización	B1	T3	0.046	0.790	7.715
Antes de la fertilización	B1	T4	0.043	0.752	7.592
Antes de la fertilización	B2	T1	0.046	0.768	7.797
Antes de la fertilización	B2	T2	0.046	0.752	7.745
Antes de la fertilización	B2	T3	0.046	0.755	7.797
Antes de la fertilización	B2	T4	0.036	0.651	7.777
Antes de la fertilización	B3	T1	0.047	0.761	7.719
Antes de la fertilización	B3	T2	0.048	0.752	7.778
Antes de la fertilización	B3	T3	0.047	0.810	7.785
Antes de la fertilización	B3	T4	0.038	0.690	7.718
Antes de la fertilización	B4	T1	0.048	0.775	7.784
Antes de la fertilización	B4	T2	0.052	0.795	7.365
Antes de la fertilización	B4	T3	0.047	0.752	7.718
Antes de la fertilización	B4	T4	0.032	0.620	7.792
Antes de la fertilización	B5	T1	0.048	0.724	7.773
Antes de la fertilización	B5	T2	0.050	0.779	7.590
Antes de la fertilización	B5	T3	0.041	0.726	7.698
Antes de la fertilización	B5	T4	0.050	0.794	7.709
Primera fertilización	B1	T1	0.049	0.775	7.685
Primera fertilización	B1	T2	0.046	0.685	7.606
Primera fertilización	B1	T3	0.048	0.791	7.700
Primera fertilización	B1	T4	0.043	0.752	7.684
Primera fertilización	B2	T1	0.046	0.769	7.618
Primera fertilización	B2	T2	0.049	0.753	7.685
Primera fertilización	B2	T3	0.048	0.757	7.559
Primera fertilización	B2	T4	0.036	0.651	7.777
Primera fertilización	B3	T1	0.047	0.763	7.744
Primera fertilización	B3	T2	0.048	0.752	7.626
Primera fertilización	B3	T3	0.048	0.810	7.750
Primera fertilización	B3	T4	0.038	0.690	7.712
Primera fertilización	B4	T1	0.048	0.778	7.640
Primera fertilización	B4	T2	0.052	0.795	7.718
Primera fertilización	B4	T3	0.050	0.754	7.664
Primera fertilización	B4	T4	0.032	0.620	7.760
Primera fertilización	B5	T1	0.048	0.727	7.690
Primera fertilización	B5	T2	0.051	0.782	7.591
Primera fertilización	B5	T3	0.041	0.730	7.680
Primera fertilización	B5	T4	0.050	0.794	7.640
Segunda fertilización	B1	T1	0.050	0.776	7.688
Segunda fertilización	B1	T2	0.046	0.695	7.751

Segunda fertilización	B1	T3	0.051	0.822	7.707
Segunda fertilización	B1	T4	0.045	0.754	7.765
Segunda fertilización	B2	T1	0.050	0.800	7.766
Segunda fertilización	B2	T2	0.050	0.832	7.763
Segunda fertilización	B2	T3	0.050	0.760	7.630
Segunda fertilización	B2	T4	0.037	0.652	7.720
Segunda fertilización	B3	T1	0.050	0.793	7.734
Segunda fertilización	B3	T2	0.049	0.766	7.670
Segunda fertilización	B3	T3	0.048	0.811	7.830
Segunda fertilización	B3	T4	0.040	0.700	7.681
Segunda fertilización	B4	T1	0.049	0.790	7.740
Segunda fertilización	B4	T2	0.059	0.830	7.780
Segunda fertilización	B4	T3	0.054	0.835	7.735
Segunda fertilización	B4	T4	0.035	0.630	7.632
Segunda fertilización	B5	T1	0.048	0.781	7.685
Segunda fertilización	B5	T2	0.054	0.802	7.685
Segunda fertilización	B5	T3	0.044	0.886	7.685
Segunda fertilización	B5	T4	0.050	0.810	7.685
Tercera fertilización	B1	T1	0.052	0.795	7.681
Tercera fertilización	B1	T2	0.051	0.791	7.475
Tercera fertilización	B1	T3	0.053	0.822	7.711
Tercera fertilización	B1	T4	0.046	0.732	7.719
Tercera fertilización	B2	T1	0.047	0.802	7.519
Tercera fertilización	B2	T2	0.053	0.783	7.609
Tercera fertilización	B2	T3	0.049	0.761	7.560
Tercera fertilización	B2	T4	0.041	0.761	7.695
Tercera fertilización	B3	T1	0.051	0.926	7.714
Tercera fertilización	B3	T2	0.048	0.711	7.458
Tercera fertilización	B3	T3	0.055	0.855	7.702
Tercera fertilización	B3	T4	0.056	0.763	7.716
Tercera fertilización	B4	T1	0.052	0.791	7.610
Tercera fertilización	B4	T2	0.056	0.848	7.533
Tercera fertilización	B4	T3	0.052	0.836	7.716
Tercera fertilización	B4	T4	0.040	0.728	7.730
Tercera fertilización	B5	T1	0.047	0.783	7.670
Tercera fertilización	B5	T2	0.054	0.823	7.703
Tercera fertilización	B5	T3	0.050	0.886	7.540
Tercera fertilización	B5	T4	0.053	0.794	7.551
Después de la cosecha	B1	T1	0.052	0.797	7.590
Después de la cosecha	B1	T2	0.053	0.793	7.556
Después de la cosecha	B1	T3	0.053	0.828	7.830
Después de la cosecha	B1	T4	0.046	0.733	7.595
Después de la cosecha	B2	T1	0.047	0.806	7.620
Después de la cosecha	B2	T2	0.054	0.785	7.767
Después de la cosecha	B2	T3	0.050	0.762	7.557
Después de la cosecha	B2	T4	0.044	0.763	7.710
Después de la cosecha	B3	T1	0.053	0.927	7.490
Después de la cosecha	B3	T2	0.048	0.715	7.620

Después de la cosecha	B3	T3	0.056	0.857	7.702
Después de la cosecha	B3	T4	0.051	0.763	7.716
Después de la cosecha	B4	T1	0.055	0.787	7.810
Después de la cosecha	B4	T2	0.058	0.850	7.582
Después de la cosecha	B4	T3	0.054	0.844	7.759
Después de la cosecha	B4	T4	0.048	0.728	7.625
Después de la cosecha	B5	T1	0.049	0.788	7.545
Después de la cosecha	B5	T2	0.056	0.824	7.589
Después de la cosecha	B5	T3	0.050	0.887	7.653
Después de la cosecha	B5	T4	0.053	0.794	7.656

ANEXO 3: VERIFICACIÓN DE LOS SUPUESTOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

ANEXO 3.1. Antes de la fertilización – Cd

Tabla 23

Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk

Prueba	Estadístico	p
Shapiro-Wilk	0.948	0.331

Figura 16

Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Cd antes de la fertilización

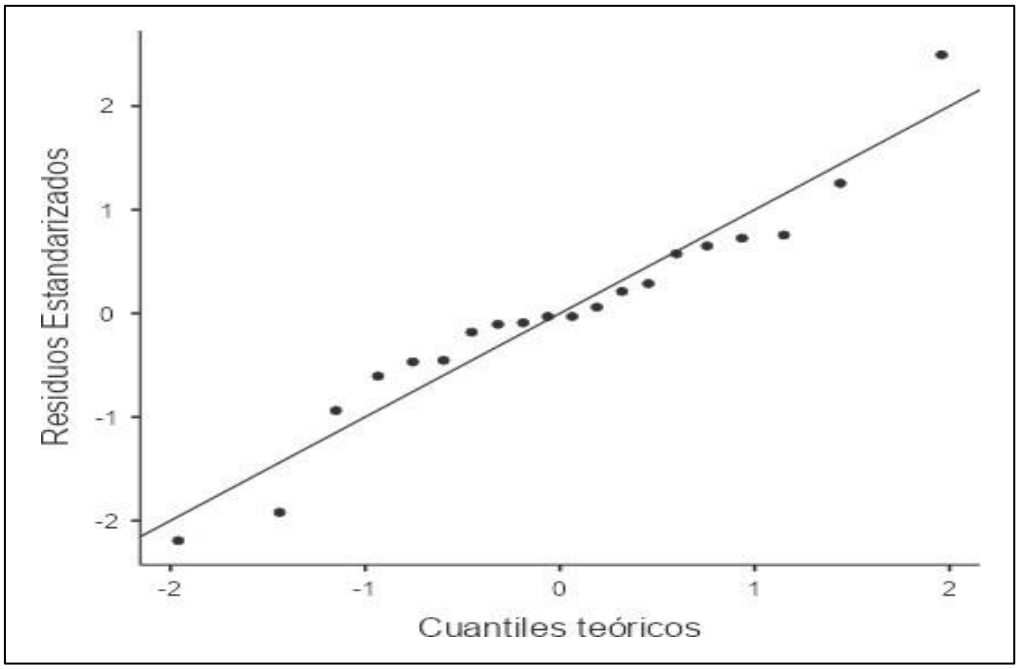


Tabla 24

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
4.67	3	16	0.016

ANEXO 3.2. Antes de la fertilización – Pb

Tabla 25

Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk

Prueba	Estadístico	p
Shapiro-Wilk	0.974	0.832

Figura 17

Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Pb antes de la fertilización

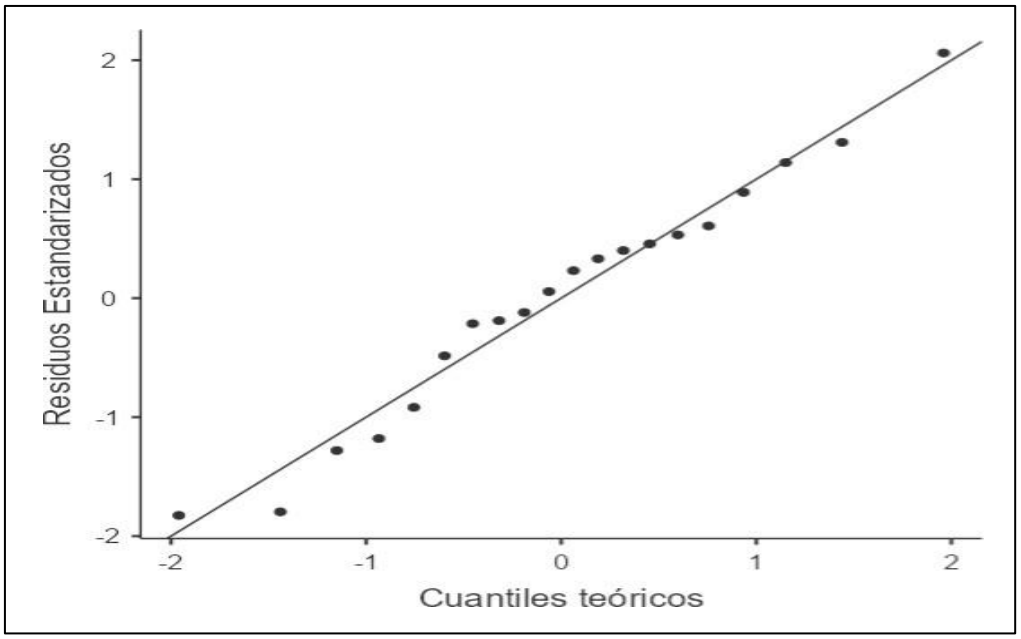


Tabla 26

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
2.96	3	16	0.064

ANEXO 3.3. Primera fertilización – Cd

Tabla 27

Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk

Prueba	Estadístico	p
Shapiro-Wilk	0.931	0.162

Figura 18

Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Cd primera fertilización

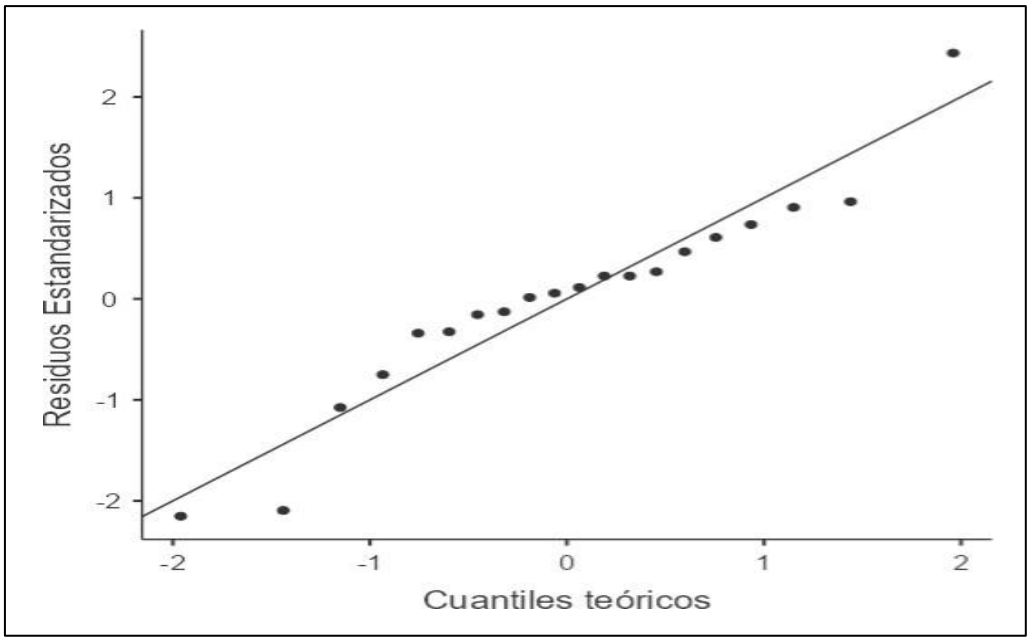


Tabla 28

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
3.95	3	16	0.028

ANEXO 3.4. Primera fertilización – Pb

Tabla 29

Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk

Prueba	Estadístico	p
Shapiro-Wilk	0.973	0.812

Figura 19

Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Pb primera fertilización

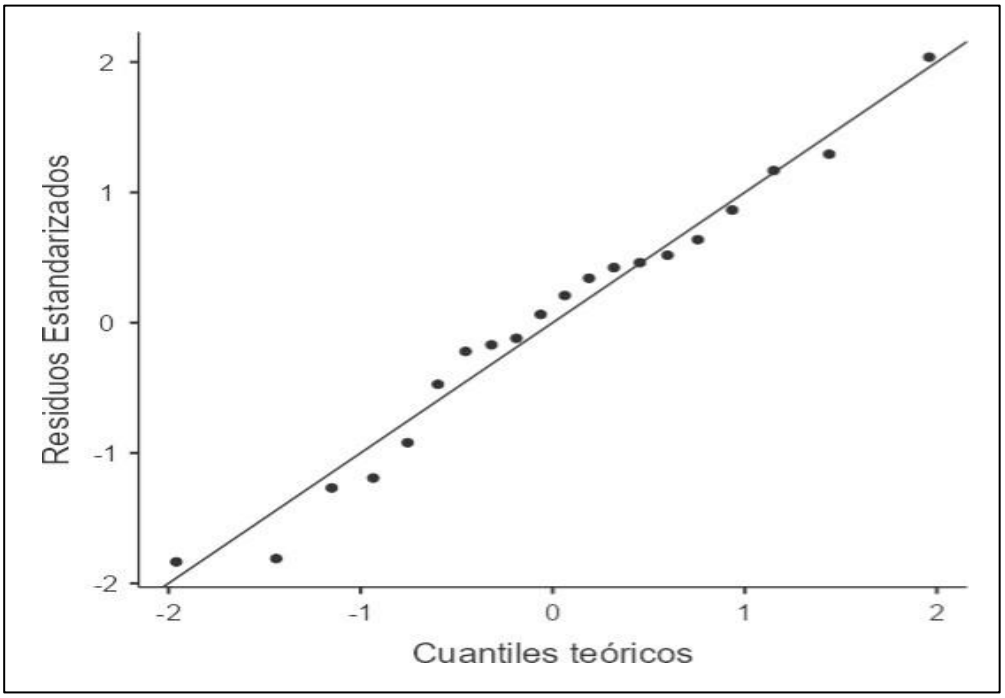


Tabla 30

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
3.07	3	16	0.058

ANEXO 3.5. Segunda fertilización – Cd

Tabla 31

Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk

Prueba	Estadístico	p
Shapiro-Wilk	0.973	0.822

Figura 20

Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Cd segunda fertilización

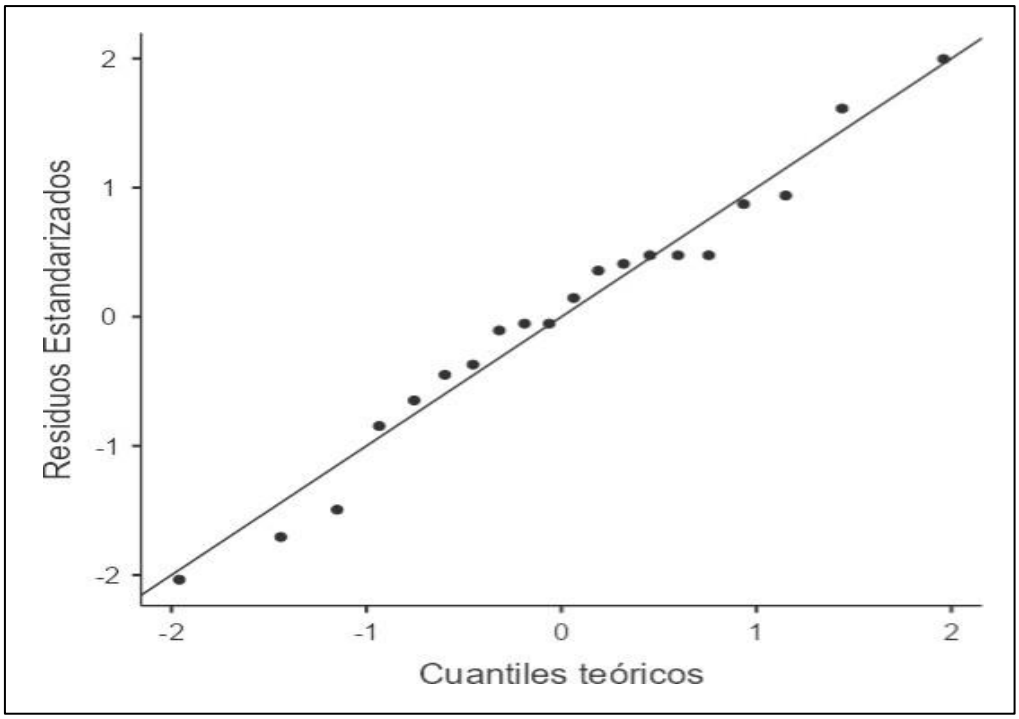


Tabla 32

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
3.51	3	16	0.040

ANEXO 3.6. Segunda fertilización – Pb

Tabla 33

Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk

Prueba	Estadístico	p
Shapiro-Wilk	0.948	0.335

Figura 21

Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Pb segunda fertilización

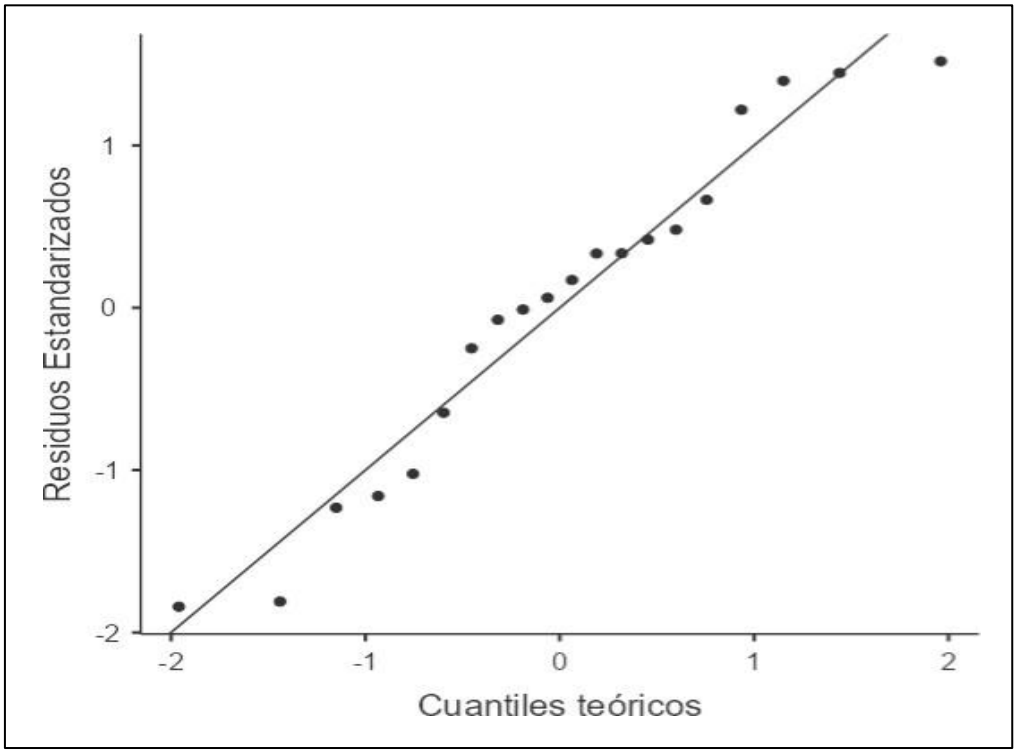


Tabla 34

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
3.07	3	16	0.058

ANEXO 3.7. Tercera fertilización – Cd

Tabla 35

Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk

Prueba	Estadístico	p
Shapiro-Wilk	0.980	0.930

Figura 22

Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Cd tercera fertilización

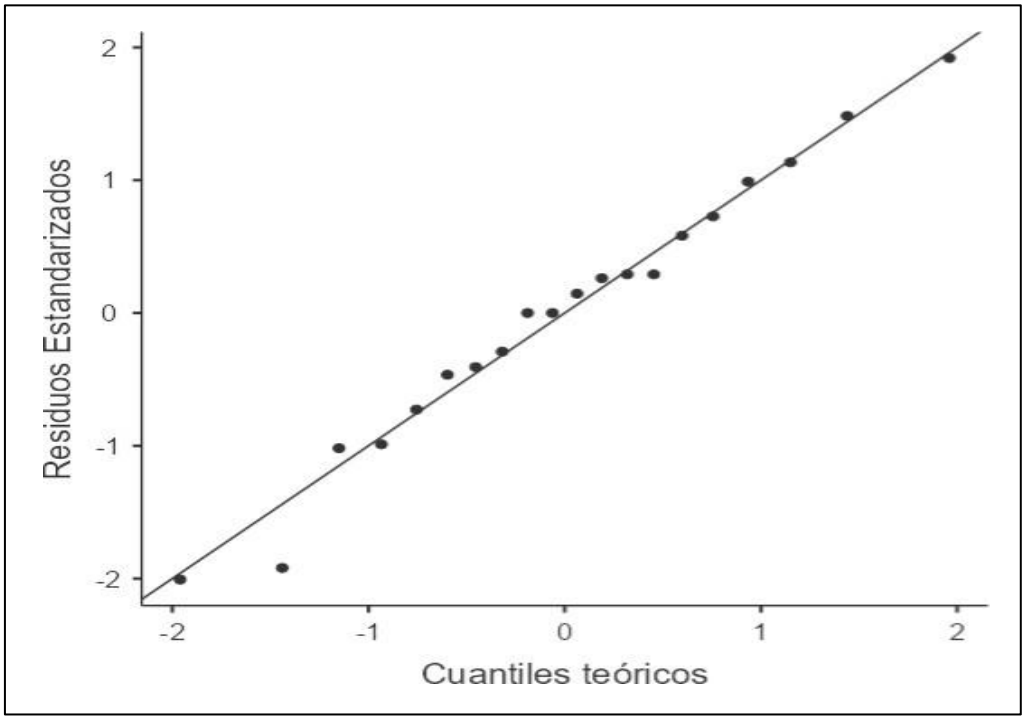


Tabla 36

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
5.55	3	16	0.008

ANEXO 3.8. Tercera fertilización – Pb

Tabla 37

Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk

Prueba	Estadístico	p
Shapiro-Wilk	0.960	0.547

Figura 23

Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Pb tercera fertilización

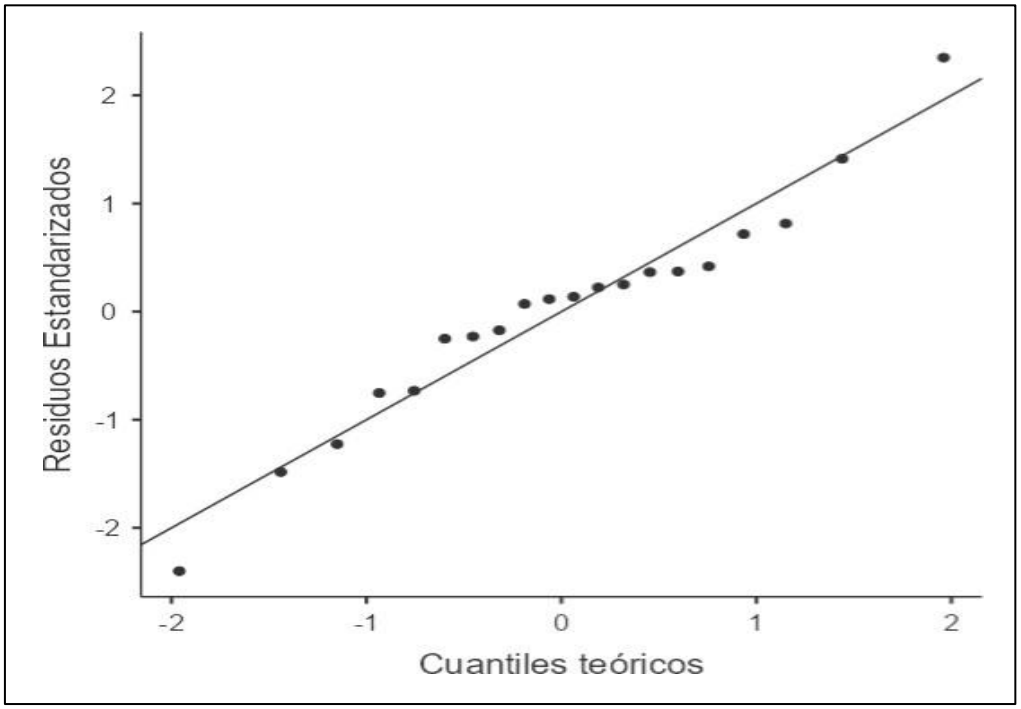


Tabla 38

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
0.491	3	16	0.694

ANEXO 3.9. Después de la cosecha – Cd

Tabla 39

Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk

Prueba	Estadístico	p
Shapiro-Wilk	0.958	0.512

Figura 24

Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Cd después de la cosecha

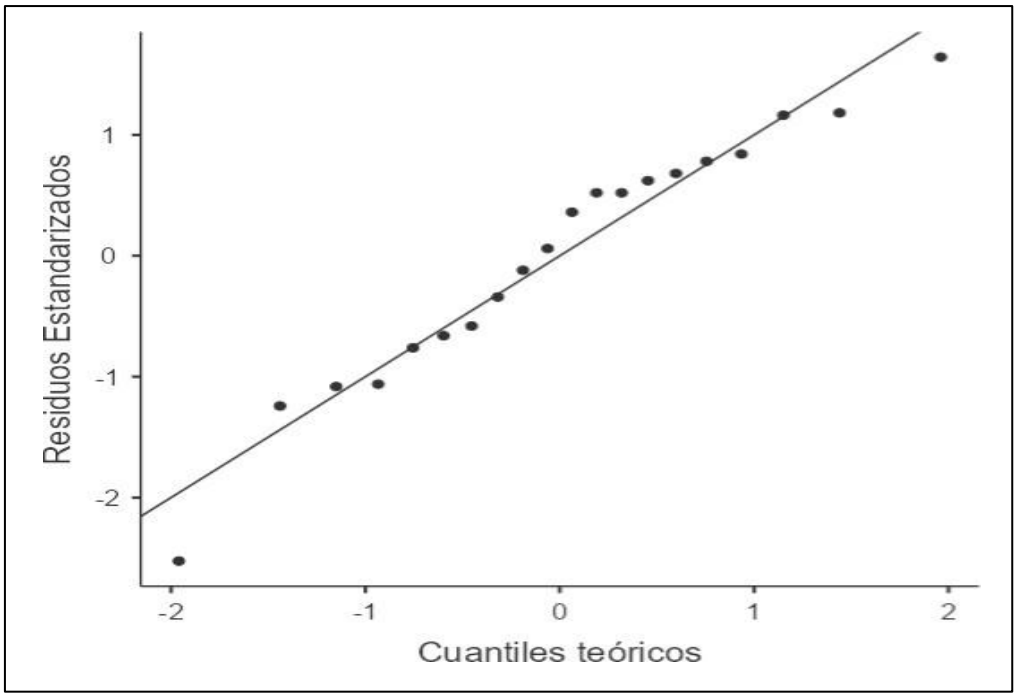


Tabla 40

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
0.190	3	16	0.901

ANEXO 3.10. Después de la cosecha – Pb

Tabla 41

Prueba de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk

Prueba	Estadístico	p
Shapiro-Wilk	0.956	0.460

Figura 25

Gráfico Q-Q residuos del modelo ANOVA para Pb Después de la cosecha

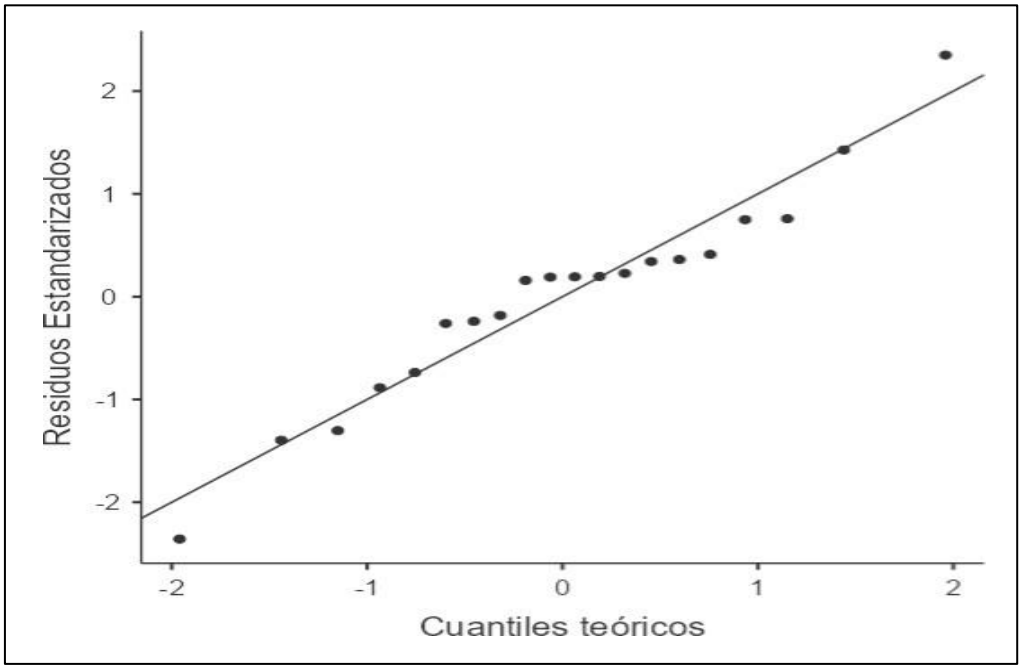


Tabla 42

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
0.480	3	16	0.701

ANEXO 4. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE EL pH Y LOS ELEMENTOS TRAZA

Anexo 4.1. Matriz de correlación de Pearson antes de la fertilización.

Tabla 43

Matriz de correlación antes de la fertilización

		Cadmio	Plomo	pH
Cadmio	r de Pearson	—		
	gl	—		
	p-valor	—		
Plomo	r de Pearson	0.855	—	
	gl	18	—	
	p-valor	<.001	—	
pH	r de Pearson	-0.328	-0.261	—
	gl	18	18	—
	p-valor	0.157	0.266	—

Anexo 4.2. Matriz de correlación de Pearson durante la primera fertilización.

Tabla 44

Matriz de correlación primera fertilización

		Cadmio	Plomo	pH
Cadmio	r de Pearson	—		
	gl	—		
	p-valor	—		
Plomo	r de Pearson	0.862	—	
	gl	18	—	
	p-valor	<.001	—	
pH	r de Pearson	-0.498	-0.319	—
	gl	18	18	—
	p-valor	0.025	0.171	—

Anexo 4.3. Matriz de correlación de Pearson durante la segunda fertilización

Tabla 45

Matriz de correlación segunda fertilización

		Cadmio	Plomo	pH
Cadmio	r de Pearson	—		
	gl	—		
	p-valor	—		
Plomo	r de Pearson	0.745	—	
	gl	18	—	
	p-valor	<.001	—	
pH	r de Pearson	0.321	0.316	—
	gl	18	18	—
	p-valor	0.168	0.175	—

Anexo 4.4. Matriz de correlación de Pearson durante la tercera fertilización.

Tabla 46

Matriz de correlación tercera fertilización

		Cadmio	Plomo	pH
Cadmio	r de Pearson	—		
	gl	—		
	p-valor	—		
Plomo	r de Pearson	0.491	—	
	gl	18	—	
	p-valor	.028	—	
pH	r de Pearson	-0.081	0.097	—
	gl	18	18	—
	p-valor	0.735	0.684	—

Anexo 4.5. Matriz de correlación de Pearson después de la cosecha.

Tabla 47

Matriz de correlación después de la cosecha

		Cadmio	Plomo	pH
Cadmio	r de Pearson	—		
	gl	—		
	p-valor	—		
Plomo	r de Pearson	0.552	—	
	gl	18	—	
	p-valor	.012	—	
pH	r de Pearson	0.161	-0.075	—
	gl	18	18	—
	p-valor	0.498	0.753	—

ANEXO 4: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 26

Instalación del Diseño experimental



Figura 27

Recolección de muestras



Figura 29

Etiquetado de las muestras para llevar al laboratorio



Figura 28

Secado de muestras

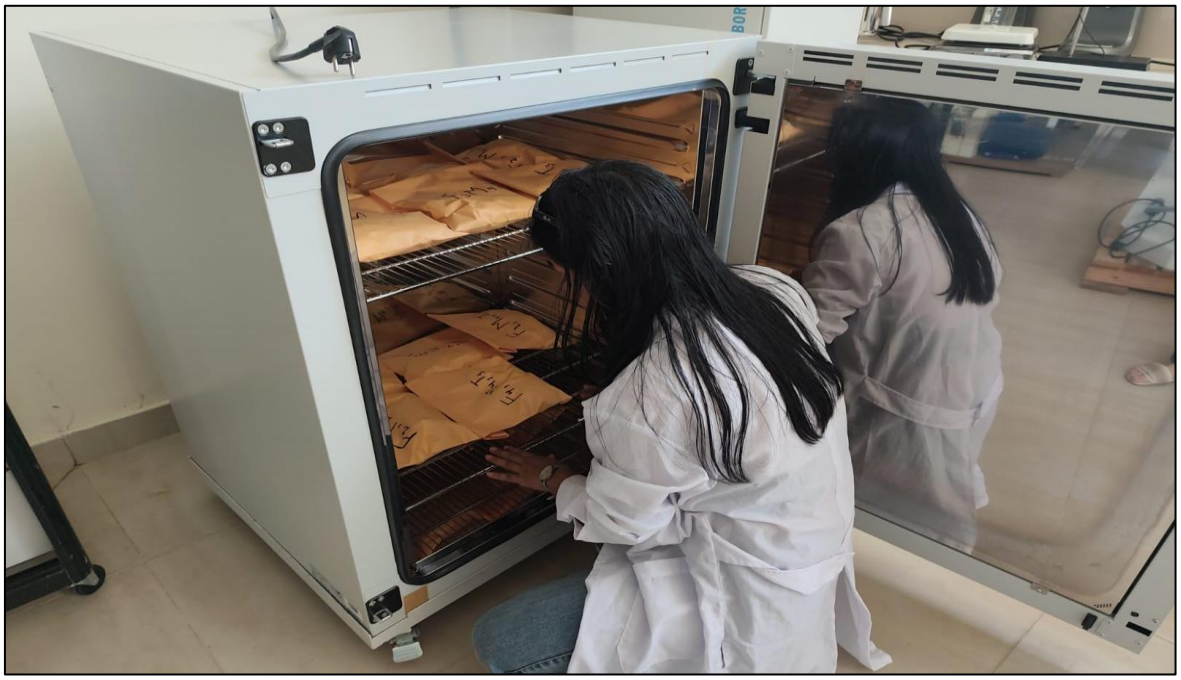


Figura 30

Peso de muestras para digestión

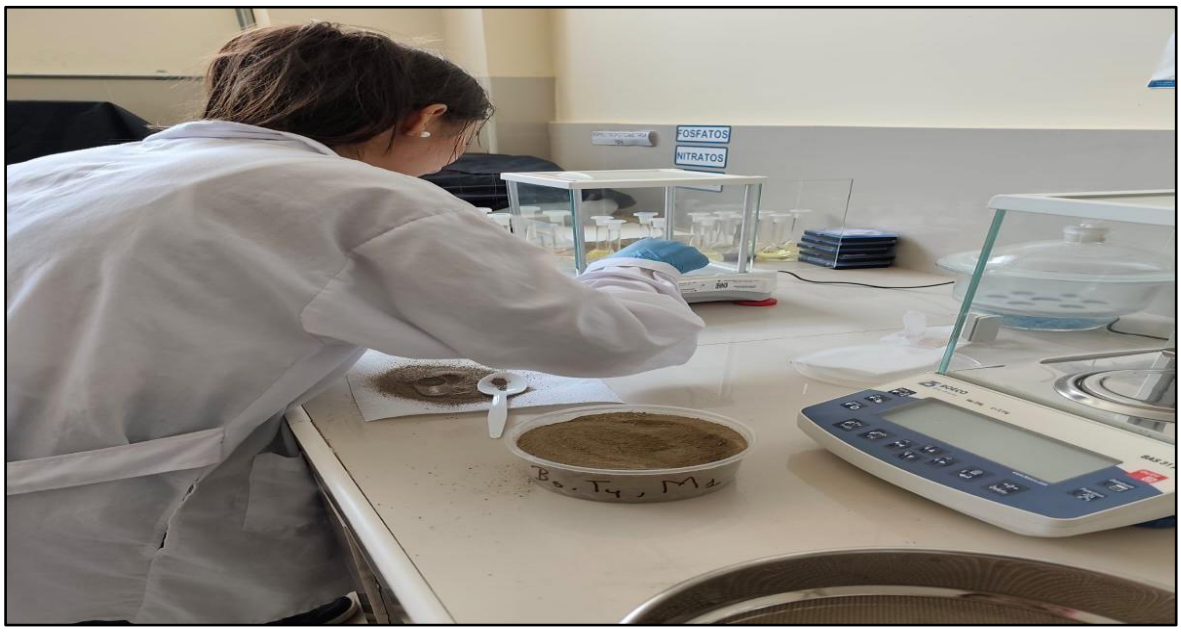


Figura 31

Preparación y digestión de las muestras



Figura 32

Análisis de Cd y Pb



Figura 33

Preparación de las muestras para analizar el pH



Figura 34

Análisis del pH

