

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EFICIENCIA DE MACRÓFITAS FLOTANTES EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS
CONTAMINADAS POR PLOMO Y CADMIO, CAJAMARCA – 2021**

T E S I S

**Para optar el título profesional de
INGENIERO AMBIENTAL**

**Presentado por el bachiller:
JHONATAN DAVID AQUINO CHILÓN**

**Asesor:
Ing. M.Cs. ADOLFO LÓPEZ AYLAS**

CAJAMARCA – PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los seis días del mes de enero del año dos mil veintitrés, se reunieron en el ambiente 2C - 202 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 310-2022-FCA-UNC, de fecha 25 de octubre del 2022**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EFICIENCIA DE MACRÓFITAS FLOTANTES EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS POR PLOMO Y CADMIO, CAJAMARCA, 2021"**, realizada por el Bachiller **JHONATAN DAVID AQUINO CHILÓN** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las diez horas y diez minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de quince (15); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las once horas y treinta minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.



 Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
 PRESIDENTE



 Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
 SECRETARIO



 Ing. M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
 VOCAL



 Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Ayias
 ASESOR

DEDICATORIA

A mis hijos, por ser el motor de mi vida y la razón de querer ser mejor cada día.

A mis abuelos por ser ejemplo de superación y los principales promotores de alcanzar mis anhelos y sueños, por apoyarme incondicionalmente y por confiar siempre en mí.

A ti papá por ser ejemplo de valentía.

AGRADECIMIENTOS

A mi padre y a mi madre por haberme, acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por apoyarme en cada decisión y proyecto, por ser un apoyo incondicional, por celebrar mis logros y brindarme la oportunidad de formarme como un profesional.

A mi familia por ser un ejemplo de moral y respeto a las personas, por su incondicional apoyo durante mi vida y mi formación profesional.

A mi asesor Ing. M. Cs. Adolfo López Aylas por su tiempo dedicado y aporte constructivo e instructivo como guía y asesoramiento en el desarrollo de esta investigación.

A todos los docentes de mi alma mater, la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental Sede Celendín - Universidad Nacional de Cajamarca, por haberme brindado los conocimientos para desempeñarme como profesional.

A mi compañera de vida y madre de mi hijo, Liliam Rossaura Pérez Malaver, por su amor incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. Introducción.....	1
Planteamiento del problema	1
Formulación del problema	2
Justificación.....	2
Objetivos	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	4
CAPÍTULO II. Revisión bibliográfica.....	4
Antecedentes de la investigación	4
Bases teóricas.....	7
Contaminación del agua	7
Metales pesados.....	8
Plomo	8
Cadmio	9
Estimación de agentes químicos vertidos a cuerpos receptores en el sector industrial minero	10
Límites Máximo Permisibles	10
Macrófitas	11
Macrófitas flotantes libres.....	13
Macrófitas enraizadas flotantes	13
Macrófitas sumergidas	13
Eichhornia crassipes (Jacinto de agua).....	14
Lemna minor (Lenteja de agua).	15

Definición de términos básicos	16
Fitoestabilización	16
Fitoestimulación	16
Fitoextracción	16
Fitorremediación	17
Fitovolatilización	17
Humedal	17
Macrófitas	17
Metales	17
Rizofiltración	18
Mecanismos bioquímicos de fitorremediación de metales pesados	18
Metal – proteínas o metalotioneínas	18
Quelación	18
Mecanismos de tolerancia a metales pesados	19
Complejos organolépticos	19
Metalotioneínas	19
CAPÍTULO III. Marco metodológico	20
Ubicación	20
Materiales	20
Material biológico y químico	20
Material y equipo de laboratorio	21
Tipo y diseño de la investigación	22
Unidad de análisis (población, muestra)	22
Población de estudio	23
Muestra	23
Trabajo de laboratorio	23

Paso 01: Descripción de las especies vegetales.	23
Paso 02: Fase de adaptación.	25
Paso 03: Condiciones del lugar.	25
Paso 04: Preparación de muestras.....	26
Paso 5: Diseño de experimentación	30
Trabajo de gabinete	35
Paso 6: Toma de datos.	35
Trabajo estadístico.....	35
Fase de tabulación y análisis de información	35
CAPÍTULO IV. Resultados y discusión	36
Prueba ANVA	51
Prueba ANOVA.....	53
CAPÍTULO V. Conclusiones	80
CAPÍTULO VI. Recomendaciones	81
CAPÍTULO VII. Bibliografía.....	81
CAPÍTULO VIII. Anexos.....	85
Álbum fotográfico	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Procesos utilizados por las plantas para asimilar contaminantes</i>	12
Tabla 2 <i>Plantas acuáticas que acumulan cuatro o más metales, incluyendo el plomo y cadmio</i>	13
Tabla 3 <i>Operacionalización de variables</i>	22
Tabla 4 <i>Descripción de especies macrófita Eichhornia crassipes</i>	23
Tabla 5 <i>Descripción de especies macrófita Lemna minor</i>	24
Tabla 6 <i>Recolección de datos de condiciones de lugar</i>	26
Tabla 7 <i>Especificaciones de contenedores de vidrio</i>	26
Tabla 8 <i>Cálculo de masa molar de acetato de plomo</i>	27
Tabla 9 <i>Cálculo de masa molar de acetato de cadmio</i>	27
Tabla 10 <i>Porcentaje de aporte para el acetato de plomo</i>	28
Tabla 11 <i>Porcentaje de aporte para el acetato de cadmio</i>	28
Tabla 12 <i>Tratamientos, simbología y combinaciones</i>	31
Tabla 13 <i>Combinaciones del trabajo experimental</i>	33
Tabla 14 <i>Resultados concentración de plomo y cadmio en agua</i>	40
Tabla 15 <i>Resultados de depuración</i>	41
Tabla 16 <i>Resultados globales de contaminante(ppm), depuración (ppm) y porcentaje de depuración (%)</i>	42
Tabla 17 <i>Resultado global por combinaciones. Luego acondicionar correctamente la numeración de las tablas</i>	43
Tabla 18 <i>Cálculos ANVA</i>	51
Tabla 19 <i>Cálculo de porcentaje</i>	52
Tabla 20 <i>Información del factor</i>	53
Tabla 21 <i>Análisis de Varianza</i>	53

Tabla 22 <i>Medias</i>	53
Tabla 23 <i>Información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%</i>	54
Tabla 24 <i>Resultado de prueba ANOVA para la depuración de plomo con Eichhornia crassipes y Lemna minor</i>	54
Tabla 25 <i>Información del factor</i>	56
Tabla 26 <i>Análisis de Varianza</i>	56
Tabla 27 <i>Medias</i>	56
Tabla 28 <i>Información del método de Tukey y una confianza de 95%</i>	57
Tabla 29 <i>Resultado de prueba ANOVA para la depuración de plomo con Eichhornia crassipes, Lemna minor y prueba en blanco</i>	57
Tabla 30 <i>Información del factor</i>	59
Tabla 31 <i>Análisis de Varianza</i>	59
Tabla 32 <i>Medias</i>	60
Tabla 33 <i>Información del método de Tukey y una confianza de 95%</i>	60
Tabla 34 <i>Resultado de prueba ANOVA para la depuración de cadmio con Eichhornia crassipes y Lemna minor</i>	60
Tabla 35 <i>Información del factor</i>	62
Tabla 36 <i>Análisis de Varianza</i>	62
Tabla 37 <i>Medias</i>	62
Tabla 38 <i>Información del método de Tukey y una confianza de 95%</i>	63
Tabla 39 <i>Resultado de prueba ANOVA para la depuración de cadmio con Eichhornia crassipes, Lemna minor y prueba en blanco</i>	63
Tabla 40 <i>Información del factor</i>	65
Tabla 41 <i>Análisis de Varianza</i>	65
Tabla 42 <i>Medias</i>	65
Tabla 43 <i>Información del método de Tukey y una confianza de 95%</i>	66

Tabla 44 <i>Resultado de prueba ANOVA para comparar la depuración de plomo con Eichhornia crassipes a los 5, 15 y 25 días</i>	66
Tabla 45 <i>Información del factor</i>	68
Tabla 46 <i>Análisis de Varianza</i>	68
Tabla 47 <i>Medias</i>	69
Tabla 48 <i>Información del método de Tukey y una confianza de 95%</i>	69
Tabla 49 <i>Resultado de prueba ANOVA para comparar la depuración de plomo con Lemna minor a los 5, 15 y 25 días</i>	69
Tabla 50 <i>Información del factor</i>	71
Tabla 51 <i>Análisis de Varianza</i>	71
Tabla 52 <i>Medias</i>	72
Tabla 53 <i>Información del método de Tukey y una confianza de 95%</i>	72
Tabla 54 <i>Resultado de prueba ANOVA para comparar la depuración de cadmio con Eichhornia crassipes a los 5, 15 y 25 días</i>	72
Tabla 55 <i>Información del factor</i>	74
Tabla 56 <i>Análisis de Varianza</i>	74
Tabla 57 <i>Medias</i>	75
Tabla 58 <i>Información del método de Tukey y una confianza de 95%</i>	75
Tabla 59 <i>Resultado de prueba ANOVA para comparar la depuración de cadmio con Lemna minor a los 5, 15 y 25 días</i>	75
Tabla 60 <i>Matriz de consistencia</i>	88
Tabla 61 <i>Presupuesto de la investigación</i>	89
Tabla 62 <i>Cronograma de la investigación</i>	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Tipos de fitorremediación, indicando en que zona de la planta es donde ocurre el proceso (Cisne y Flores 2012, p. 10).</i>	11
Figura 2 <i>Imagen de la ubicación de Av. Juan Miguel Rosell</i>	20
Figura 3 <i>Material biológico y químico</i>	21
Figura 4 <i>Área de trabajo</i>	25
Figura 5 <i>Preparación de diluciones patrón de cadmio y plomo</i>	30
Figura 6 <i>Disposición de muestras y ppm de contaminantes</i>	32
Figura 7 <i>Disposición de muestras y ppm de contaminantes</i>	34
Figura 8 <i>Gráfico de intervalos de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la depuración de plomo</i>	55
Figura 9 <i>Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes y Lemna minor utilizando método Tukey</i>	55
Figura 10 <i>Gráfico de intervalos de Eichhornia crassipes, Lemna minor y muestra en blanco en la depuración de plomo</i>	58
Figura 11 <i>Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes, Lemna minor y muestra en blanco utilizando método Tukey</i>	59
Figura 12 <i>Gráfico de intervalos de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la depuración de cadmio</i>	61
Figura 13 <i>Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes y Lemna minor en la depuración de cadmio utilizando método Tukey</i>	61
Figura 14 <i>Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes, Lemna minor y muestra en blanco en la depuración de plomo</i>	64
Figura 15 <i>Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes, Lemna minor y muestra en blanco en la depuración de plomo utilizando método Tukey</i>	64

Figura 16 <i>Gráfica de intervalos de Eichhornia crassipes en función de 5, 15 y 25 días de depuración de plomo</i>	67
Figura 17 <i>Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes en función de 5, 15 y 25 días de depuración de plomo utilizando método Tukey</i>	68
Figura 18 <i>Gráfica de intervalos de Lemna minor en función de 5, 15 y 25 días de depuración de plomo</i>	70
Figura 19 <i>Diferencia de las medias para Lemna minor en función de 5, 15 y 25 días de depuración de plomo utilizando método Tukey</i>	71
Figura 20 <i>Gráfica de intervalos de Eichhornia crassipes en función de 5, 15 y 25 días de depuración de cadmio</i>	73
Figura 21 <i>Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes en función de 5, 15 y 25 días de depuración de cadmio utilizando método Tukey</i>	74
Figura 22 <i>Gráfica de intervalos de Lemna minor en función de 5, 15 y 25 días de depuración de cadmio</i>	76
Figura 23 <i>Diferencia de las medias para Lemna minor en función de 5, 15 y 25 días de depuración de cadmio utilizando método Tukey</i>	77

RESUMEN

La presente investigación plantea el uso de macrófitas flotantes tales como *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* como técnica de depuración, tiene como objetivo general determinar la eficiencia de estas macrófitas flotantes en la depuración de aguas contaminadas por plomo y cadmio, para lo cual se empleó una metodología de tipo cuantitativo, de carácter prospectivo, longitudinal, analítico, con diseño experimental., el sistema de experimentación consistió en contenedores de vidrio con sistema de flujo continuo que garanticen el movimiento de las aguas en las cuales se introdujo agua contaminada por cadmio y plomo, se depuró utilizando *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en tiempos de 5, 15 y 25 días, se obtuvo como principales resultados que las macrófitas flotantes *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* tienen una capacidad de depuración de plomo y cadmio alta, superior a 70% comparada con muestras sin tratamiento en el que se corrobora una depuración de 0%, verificándose además que entre estos dos tratamientos no existe diferencia estadística significativa en el tratamiento de agua contaminada por plomo a diferencia del tratamiento de aguas contaminadas por cadmio, donde la *Lemna minor* tiene una capacidad máxima de depuración de 90.33% superior al 84.33% de la *Eichhornia crassipes*.

Palabras clave: Depuración, cadmio, plomo, agua. macrófitas

ABSTRACT

The present investigation proposes the use of floating macrophytes such as *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor* as a purification technique, its general objective is to determine the efficiency of these floating macrophytes in the purification of water contaminated by lead and cadmium, for which a methodology was used. quantitative type, prospective, longitudinal, analytical, with experimental design, the experimentation system consisted of glass containers with a continuous flow system that guarantee the movement of the waters into which water contaminated by cadmium and lead was introduced, was purified using *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor* at times of 5, 15 and 25 days, the main results were that the floating macrophytes *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor* have a high lead and cadmium purification capacity, greater than 70% compared to samples without treatment in which a clearance of 0% is corroborated, also verifying that it is In the two treatments, there is no statistically significant difference in the treatment of water contaminated by lead, in contrast to the treatment of waters contaminated by cadmium, where *Lemna minor* has a maximum purification capacity of 90.33% higher than 84.33% of *Eichhornia crassipes*.

Keywords: Purification, cadmium, lead, water. Macrophytes

CAPÍTULO I. Introducción

Planteamiento del problema

A nivel mundial el tema de la contaminación del agua por metales pesados inicia de manera conjunta a la revolución industrial, los impactos antropogénicos han liberado a las cubiertas de agua superficial muchos metales tóxicos, que son desechos contaminantes muy tóxicos, nocivos para la salud y el medio ambiente que se transmiten a partir de las cadenas tróficas; su emisión está asociada principalmente a actividades como: procesos de manufactura, minería y disposición de aguas residuales domésticas e industriales. (MINAM, 2016, pág. 16)

Garbisu y Alkorta (2003) en su investigación mencionan “Específicamente un metal pesado a un elemento que tiene propiedades metálicas como ductilidad, conductividad, densidad, estabilidad como catión” (pág. 59). Bajo la denominación de metales pesado se incluye a un conjunto de 10 elementos de la tabla periódica con un número atómico mayor a 20 y con una alta densidad relativa, mayor o igual a 5 g/cm³ en su forma elemental.

Según Nessner y Esposito (2010) “Los metales son imprescindibles para el desarrollo de microorganismos, plantas y animales pues ejercen roles importantes en algunas reacciones bioquímicas y son esenciales para su crecimiento y desarrollo” (pág. 22). “Sin embargo, cuando se presentan en altas concentraciones pueden formar compuestos inespecíficos creando efectos citotóxicos y letales” (Soto, 2010, pág. 24). Es importante anotar que, si bien algunos metales no tienen influencia biológica, otros como el cadmio (Cd), plomo (Pb), el cromo (Cr), y el mercurio (Hg) son altamente tóxicos en cantidades elevadas en el agua.

La acción tóxica de los metales sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos sulfhídricos (-SH) y otros grupos funcionales de las proteínas

y enzimas, la contaminación generalmente inicia a partir de las cadenas tróficas acuáticas causando daños irreversibles en los diferentes organismos, desplazando otros iones metálicos o modificando la conformación activa de moléculas biológicas. (Garbisu & Alkorta, 2003, pág. 62)

Mundialmente la contaminación de las aguas superficiales es un tema delicado, que requiere especial atención tecnológica, de nuevas herramientas limpias y biológicas que evidencien una mejora; es por ello el interés en estrategias de depuración basadas en fitorremediación, las cuales son técnicas limpias que promueven el uso de plantas para remover contaminantes del ambiente. Existen plantas denominadas hiper acumuladoras que pueden absorber grandes cantidades de metales en sus tejidos como tallos raíz y hojas sin afectar el desarrollo normal de estas, lo cual es una ventaja a la hora del tratamiento de metales minimizando la toxicidad y la biodisponibilidad de estos metales en el agua.

Es por ello que la presente investigación pretende dar a conocer el uso de 2 especies macrófitas bioacumuladoras de metales pesados, y destacar la eficiencia de cada una en la depuración de contaminantes como Plomo (Pb^{2+}) y Cadmio (Cd^{2+}) por ser estos contaminantes ampliamente difundidos y con mayor afectación en la salud y en el ambiente.

Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de las macrófitas flotantes en la depuración de aguas contaminadas por plomo y cadmio?

Justificación

La siguiente investigación se justifica en la necesidad de generar nuevas técnicas de depuración de metales pesados de zonas en las cuales hubo un desequilibrio medio ambiental producto del impacto antrópico, las técnicas de fitorremediación no solo constituyen un rol

importante en el ecosistema hídrico, dando resultados positivos en el tratamiento de aguas, sino que también constituyen una alternativa limpia y una herramienta biológica de tratamiento.

La investigación también se justifica en la necesidad de generar proyectos piloto de tratamiento de aguas con presencia de metales pesados y así poder adaptarlo a zonas de mayor extensión, con diversas características medioambientales, impulsando así el desarrollo de técnicas fitorremediadoras, y en función del desempeño de estas, idear nuevas fuentes de trabajo en el cual el principal objetivo sería la producción en masa de especies vegetales acuáticas con características de hiper absorción de metales pesados.

Objetivos

Objetivo general

Determinar la eficiencia de macrófitas flotantes en la depuración de aguas contaminadas por plomo y cadmio.

Objetivos específicos

Determinar el porcentaje de depuración de plomo (Pb^{2+}) usando *Eichhornia crassipes* a los 5, 15 y 25 días de tratamiento.

Determinar el porcentaje de depuración de cadmio (Cd^{2+}) usando *Eichhornia crassipes* a los 5, 15 y 25 días de tratamiento

Determinar el porcentaje de depuración de plomo (Pb^{2+}) usando *Lemna minor* a los 5, 15 y 25 días de tratamiento.

Determinar el porcentaje de depuración de cadmio (Cd^{2+}) usando *Lemna minor* a los 5, 15 y 25 días de tratamiento.

Hipótesis

Las macrófitas flotantes tienen 30 % de eficiencia en la depuración de aguas contaminadas por plomo y cadmio.

CAPÍTULO II. Revisión bibliográfica

Antecedentes de la investigación

Loor (2017) realizó un estudio sobre fitorremediación el cual fue ejecutado en los pozos de relleno sanitario del Cantón la Concordia. Sus resultados arrojan que los parámetros fisicoquímicos analizados no sobrepasaron los límites máximos permisibles con una breve variación del nitrato y el DBO5. Es por ello que se planteó el uso de especies macrófitas acuáticas como: *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, las cuales son especies de reproducción rápida, pero más importante es su capacidad de remoción de la polución y una excelente adaptabilidad en el medio acuático. Este proyecto tuvo una inversión de 1551 dólares, incluyendo mano de obra, infraestructura y adquisición de las macrófitas. (pág. 138)

Mera (2016) en su investigación realizada en Riobamba sobre la bioconcentración de dos especies de macrófitas acuáticas como son el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna spp*), especies utilizadas para la fitorremediación de agua contaminada controlada por plomo. Este estudio se ejecutó con agua contaminada a una concentración inicial de 5 ppm de Nitrato de plomo. Teniendo como el resultado que el tratamiento C (*Lemna spp* y *Eichhornia crassipes*) registrando un porcentaje de remoción superior con un porcentaje de 77.8 % y un factor de bioconcentración mayor a 100, concluyendo de esta manera que la *Eichhornia Crassipes* y *Lemna Spp* demuestran mejor eficacia en la Fitorremediación al usar un tratamiento combinado en un medio contaminado con Plomo. (pág. 99)

Jaramillo & Flores (2012), quienes realizaron un estudio sobre descontaminación mediante el uso de dos macrófitas: *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), en aguas residuales de producción minera, utilizaron especies recolectadas en el sector de Viola, obteniendo una absorción de 29,5% plomo, especificando la eficiencia en remover dicho elemento del agua.

Poma & Valderrama (2014), realizaron una investigación titulada “Estudio de los parámetros físico químicos para la fitorremediación de cadmio (II) y mercurio (II) con la especie *Eichhornia crassipes*” lograron determinar las condiciones óptimas para obtener una absorción cuantitativa de Cd (II) y Hg (II) con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), obteniendo que, la dosis óptima 1mL de A y 0,5 mL de B, pH 5, concentración de Cd (II) y Hg (II) 5mg/L y porcentaje de absorción máxima en *Eichhornia crassipes*, 16,56 % para el Cd (II) y 15,60 % para el Hg (II) en el sétimo día, demostrando así la efectividad de la técnica de fitorremediación. (pág. 10)

Quispe et.al. (2017). En su investigación titulada “Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su desarrollo en medio controlado de laguna artificial”. Tuvo como principal resultado una disminución en los parámetros de sólidos totales, conductividad y oxígeno disuelto. Este resultado se expresa en porcentajes de eficiencia de 31% en la remoción de parámetros fisicoquímicos (conductividad (Us/cm), Oxígeno disuelto (mg/L), solidos totales ((mg/L), turbiedad (UNT), pH, temperatura (°C), DBO5 (mg/L), DQO (mg/L), fosfato (mg/L) y Pomo (PB). (pág. 63)

Benites (2017), Realizó una investigación en la Laguna la Milagrosa, titulada “eficacia de las macrófitas jacinto y lenteja de agua para disminuir la concentración de boro”, se llegó a obtener resultados en la disminución de la concentración del Boro, estas aguas no cumplían con el DECRETO SUPREMO N° 004-2017- MINAM, el cual es de 0.5 mg/L de boro, en aguas

destinadas para recreación de tipo superficial, sin embargo se pudo determinar que la macrófita jacinto de agua fue la más eficaz ya que logro disminuir en 3 semanas, la concentración de Boro a 6.88 mg/L. (pág. 72)

Castillo (2017), realizó una investigación titulada “eficiencia de Lemna spp y Eichhornia crassipes, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín, Cajamarca – Perú”, llegando a la conclusión que, la remoción de nutrientes mediante la fitoremediación con Lemna spp (PM2), en un sistema de reactores en serie con flujo continuo para el nitrógeno total (N) es de 52%, para nitratos (NO_3^-) es de 37%, para el fósforo total (P) es de 31% y para fosfatos (PO_4^{3-}) es de 34%; de igual modo al aplicar fitorremediación con srf (PM3), aplicado al mismo sistema para el nitrógeno total (N) es de 61%, para nitratos (NO_3^-) es de 34%, para el fósforo total (P) es de 73% y para fosfatos (PO_4^{3-}) es de 68%; concluyéndose que las tasas más altas de remoción esta dado por la Eichhornia crassipes (pág. 82).

Sandoval Vilchez (2019) en su investigación titulada “Eficiencia del jacinto de agua eichhornia crassipes y lenteja de agua lemna minor I. en la remoción de cadmio en aguas residuales”, señala que el nivel de remoción de cadmio de Eichhornia crassipes varía de 2 mg/l de cadmio a una concentración final promedio de 0.19 mg/l, representando una eficiencia de remoción de 83.57%, siendo esta eficiencia clasificada como muy alta superando el rango de 70 a 77% en 11 días de ensayo. El nivel de remoción de cadmio de Lemna minor L. varía de 2 mg/l (concentración inicial) de cadmio a una concentración final promedio de 1.38 mg/l, representando una eficiencia de remoción de 39.35%, siendo esta eficiencia clasificada como media encontrándose en el rango de 30 a 50% en 11 días de ensayo. (pág. 89)

Bases teóricas

Contaminación del agua

En 1987 la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Comisión Brundtland) hizo mención, referido al futuro del agua, que dicho líquido se estaba sobresaturando debido al uso desmesurado en muchas partes del mundo. Hoy en día es un problema común debido a la cantidad y la calidad, en sus diferentes medios de donde emerge dicho líquido ya sea superficial y subterránea, ya que es el principal soporte de los ecosistemas, esto se debe al crecimiento desmesurado de la población, a la migración de las poblaciones rurales hacia las ciudades, al querer generar más riquezas y el uso desmesurado de los recursos naturales, así como la alteración del clima. De ser así y continuar sin buscar una solución a este problema, se estima que para el año 2025 unos 1800 millones de personas estarán sufriendo de una escasez de agua total, y dos tercios de la población mundial podrían sufrir estrés hídrico. (PNUMA, 2007, pág. 16)

Uno de los problemas en cuanto a la contaminación se debe a la remoción de tierras sin previos estudios ya que podría exponer a minerales o sustancias que al llegar a tener contacto con el aire producen reacciones químicas con el oxígeno y el agua. De esta manera al hacer uso de la explotación de recursos minerales de manera irresponsable se llega a la generación de agua ácida la cual puede ser uno de los principales contaminadores de los cursos del agua tanto subterránea como superficial, generando de esta manera los pasivos ambientales que vienen siendo focos de contaminación por agua ácida de mina. (Muqui, 2014, pág. 78)

Uno de los principales contaminantes del agua subterránea estaría dándose por los pasivos ambientales, esto se debe a que al entrar en contacto las aguas ácidas de mina al nivel freático se abre un conducto directo con las aguas subterráneas. Otra vía de contaminación estaría dada por la infiltración natural de las aguas con las aguas de

proceso de mina ya que representa la fuente más común de contaminación de las aguas subterráneas. Finalmente, otro foco contaminante puede ocurrir cuando se da una conexión hidráulica entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

(Sánchez et al. 2015, pág. 21)

Metales pesados

Según London & Muñoz (2016) Se define metal pesado al elemento químico cuya densidad es mayor a 4 g/cm³, masa y peso atómico está por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas. Algunos de estos elementos son: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn). (pág. 10)

“Los metales pesados al entrar en contacto con el agua se transforman a través de procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre varias especies con distintas características fisicoquímicas. DBO, T°, DQO, metales pesados”. (Reyes et al. 2016, pág. 3).

Plomo

El plomo es un metal pesado presente de forma natural utilizado durante muchos años debido a sus características tales como la resistencia a la corrosión, ductilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel (Reyes et.al. 2016, pág. 6).

Entre las principales fuentes de contaminación ambiental destacan la explotación minera, la metalurgia, las actividades de fabricación y reciclaje y, en algunos países, el uso desmesurado de pinturas y gasolinas con plomo. Más de tres cuartas partes del consumo mundial de plomo corresponden a la fabricación de baterías de plomo-ácido para vehículos de motor. Sin embargo, este metal también se utiliza en muchos otros

productos, como pigmentos, pinturas, material de soldadura, vidrieras, vajillas de cristal, municiones, esmaltes cerámicos, artículos de joyería y juguetes, así como en algunos productos cosméticos y medicamentos tradicionales. También puede contener plomo el agua potable canalizada a través de tuberías de plomo o con soldadura a base de este metal. En la actualidad, buena parte del plomo comercializado en los mercados mundiales se obtiene por medio del reciclaje. (OMS, 2018, pág. 31)

Cadmio

El cadmio generalmente lo encontramos en composición de algunas rocas y suelos, provoca una liberación al medio ambiente cercano a 25000 toneladas. Llegando a encontrar, debido a las actividades antrópicas de manera irresponsable ambientes que pueden ser incrementadas considerablemente. Debido a la demanda tanto en la industria como en la agricultura un progresivo aumento en su producción. (Marruecos et.al. 1993, pág. 33)

La contaminación de cadmio en el agua puede generarse debido a las descargas industriales, así como los desechos mineros, encontrándose en el agua en el estado de oxidación +2. El cadmio es usado generalmente en el recubrimiento de metales. Químicamente, el cadmio es muy similar al zinc y estos dos metales experimentan frecuentemente procesos geoquímicos juntos. (Manahan, 2007, pág. 64)

Los efectos debido al envenenamiento agudo con cadmio en los seres humanos son muy severos. Entre ellos tenemos la tensión arterial alta, daños en el riñón, destrucción de tejido testicular y destrucción de glóbulos rojos. Se cree que gran parte de la acción fisiológica del cadmio proviene de su similitud química con el zinc. Específicamente, el cadmio puede reemplazar al zinc en algunas enzimas, alterando la estereoestructura de la enzima y dañando su actividad catalizadora. Todo ello da como resultado el desarrollo de diversas enfermedades. (Manahan, 2007, pág. 11)

“Las principales vías de contaminación por cadmio a la que la población está expuesta a través del agua y deglución de comida contaminada con este elemento, hojas de vegetales, granos, cereales, frutas, vísceras animales y pescado”. (Nava et al. 2011, pág.6)

Estimación de agentes químicos vertidos a cuerpos receptores en el sector industrial minero

Según Aquino (2017) para el caso de las descargas de aguas residuales domésticas, no se ha realizado alguna estimación dado que los LMP del sector minero no regulan parámetros para efluentes domésticos tratados; y los parámetros de interés son los relacionados con los metales pesados y riesgosos de la actividad. Por otro lado, se realizó una estimación de la carga de masa de agentes químicos vertidos a los cuerpos receptores en el sector minero; teniendo como resultado que para agua residual de industria tratada los ríos como cuerpo receptor reciben un estimado de 26.95 tn/año de plomo y 6.74 tn/año de cadmio. De igual manera para agua residual de minería tratada los ríos como cuerpo receptor reciben un estimado de 1.59 tn/año de plomo y 0.40 tn/año de cadmio. (pág. 80).

Límites Máximo Permisibles

El Decreto Supremo (D.S. N° 010-2010-MINAM), establece los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas indicando en su Anexo 01 que para el parámetro Cadmio total se permite un límite en cualquier momento de 0,05 mg/L y un límite promedio anual de 0,04 mg/L, de igual manera para el parámetro Plomo total se permite un límite en cualquier momento de 0,2 mg/L y un límite promedio anual de 0,16 mg/L. (MINAM, 2010, pág. 3)

El Decreto Supremo (D.S. N° 037-2008-PCM), establece los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos para el Subsector Hidrocarburos indicando en su Artículo 1° que para el parámetro Cadmio total se permite un límite en cualquier momento

de 0,1 mg/L, de igual manera para el parámetro Plomo total se permite un límite en cualquier momento de 0,1 mg/L. (PCM, 2018, pág. 2)

Macrófitas

Las macrófitas más conocidas como plantas acuáticas, son vegetales encontradas en hábitat acuáticos, cumplen un rol importante en el ambiente acuático ya que se encarga de regular y mantener las condiciones estables de las propiedades físico-químicas del agua, de esta manera busca crear un ambiente adecuado tanto para el agua como las comunidades bióticas. (Meerhoff & Mazzeo, 2004, pág. 8)

Las Macrófitas acuáticas cumplen una función importante en la purificación del agua de los ecosistemas, es así que se convierte en uno de los principales equilibradores biológicos, ya que permite estabilizar parámetros del agua (DBO, DQO, metales pesados) promoviendo un ambiente acuático más estable para disfrute tanto de habitantes como los consumidores de este vital elemento líquido, mediante la absorción, asimilación y la recolección de elementos. (Yan et al. 2010, pág. 23)

Figura 1

Tipos de fitorremediación, indicando en que zona de la planta es donde ocurre el proceso (Cisne y Flores 2012, pág. 10).

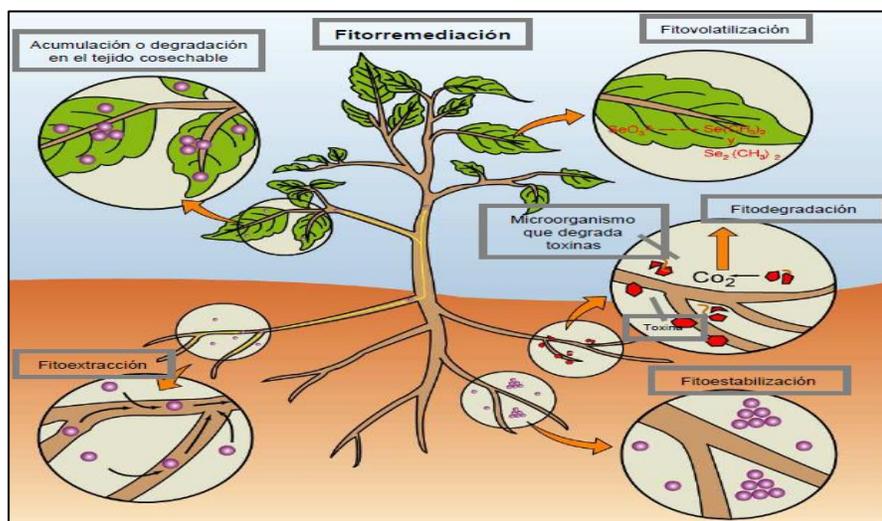


Tabla 1*Procesos utilizados por las plantas para asimilar contaminantes*

Tipo	Proceso Involucrado	Contaminación tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces)	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio, zinc.
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos.	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio, zinc, isótopos radioactivos, compuestos fenólicos.
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire.	Lagunas de desecho de yacimientos mineros. ¹ repuestos para fenólicos y compuestos clorados.
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc.
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano).
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzeno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados. DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.

Fuente: (Cisne y Flores, 2012, pág. 12)

Según García et.al. (2010), las macrófitas se clasifican dependiendo de la morfología y fisiología, de la siguiente manera:

Macrófitas flotantes libres. Este tipo de plantas no se encuentra adherida al sustrato si no que solo necesita un medio acuático para desarrollarse. Incluyen desde especies pequeñas de los géneros *Azolla* Sp o *Lemna* Spp, hasta especies de mayor porte como Buchón (*Eichhornia Crassipes*) o Repollito de agua (*Pistia Stratiotes*).

Macrófitas enraizadas flotantes. Este tipo de vegetación a diferencia de las macrófitas flotantes necesita del sustrato para su desarrollo, presentando hojas de gran tamaño que flotan en la superficie, incluye plantas emergentes, de hojas flotantes, y sumergidas, como los nenúfares (*Nupha luteum* y *Nymphaea alba*).

Macrófitas sumergidas. Este tipo de plantas necesita ser sumergida en su totalidad dentro del agua, así como de sustrato para poder desarrollarse, permitiendo de esta manera que estas plantas presenten un gran crecimiento. Se encuentran en la zona fótica (llegada de luz solar).

Tabla 2

Plantas acuáticas que acumulan cuatro o más metales, incluyendo el plomo y cadmio

Nombre científico	Nombre común	Número de elementos	Elementos
<i>Azolla filiculoides</i>	Helecho acuático	4	Cu, Ni, Mn, Pb
<i>Bacopa monnieri</i>	Bacopa	5	Cd, Cr, Cu, Hg, Pb
<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto de agua	6	Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn
<i>Hydrilla verticillata</i>	Maleza acuática	4	Cd, Cr, Hg, Pb

<i>Lemna minor</i>	Lenteja de agua	4	Cd, Cu, Pb, Zn, Hg
<i>Pistia stratiotes</i>	Lechuga de agua	4	Cd, Cr, Cu, Hg
<i>Salvinia molesta</i>	Salvinia	4	Cd, Ni, Pb, Zn
<i>Spirodela polyrrhiza</i>	Flores de agua	5	Cd, Cr, Ni, Pb, Zn
<i>Valisneria americana</i>	Valisneria lisa	4	Cd, Cr, Cu, Pb

(pág. 9)

***Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)**

Descripción. Este tipo de plantas macrófitas flotantes libres esto refiere a que no enraíza, esta planta herbácea nativa de América tropical, es considerada como una especie invasiva. Forman rosetas de hojas pecioladas, anchas y ovales o acorazonadas, y espigas apicales de llamativas flores embudadas. Crecen flotando en el agua, sin enraizarse en el fondo. (Font, 2014, pág. 7)

Descripción. Este tipo de plantas macrófitas flotantes libres refiere a que no enraíza, esta, esta planta herbácea nativa de América tropical, es considerada como una especie invasiva. Forman rosetas de hojas pecioladas, anchas y ovales o acorazadas, y espigas apicales de llamativas flores embudadas. Crecen flotando en el agua, sin enraizarse en el fondo. (Font, 2014, pág. 7)

“Se trata de plantas americanas del género Pontederia, cuyo crecimiento llegan a alcanzar los 50 cm dependiendo del medio en el que se desarrolla. Estas plantas llegan a generar flores vistosas que son zigomorfas”. (Font, 2014, pág. 8)

La característica principal de su raíz es que son densas, ramificadas, la cual presenta un color negro-azulado las mismas que le sirve a la planta como una defensa ante la presencia

de los herbívoros, llegando alcanzar una longitud de hasta 3m de longitud esto depende al medio en el que se desarrolla, los estolones ayudan a su reproducción vegetativa. (Font, 2014, pág. 31)

Desarrollo. La reproducción del jacinto de agua está dada por estolones permitiéndole de esta manera expandirse por el agua, es una planta de rápido crecimiento, formando de esta manera una cubierta vegetal de un color verde muy llamativo, debido a su reproducción acelerada es considerada como una planta invasiva. Estas características son muy ventajosas cuando se utiliza para el tratamiento de aguas residuales. (Font, 2014, pág. 34)

Su crecimiento es rápido si se encuentra en condiciones óptimas como es el caso en temperaturas medias que asilan entre 15 a 30°C, así mismo tiene un crecimiento lento en condiciones cuyas temperaturas oscilan en el intervalo de 8 a 15°C. (Metcalf y Eddy 1995, pág. 13)

Aplicación. Debido al sistema de raíces que posee y a los microorganismos que se encuentran asociados le favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas, tiene la acción de retener metales pesados en sus tejidos, así como también purificar el agua de compuestos orgánicos, tales como fenoles, colorantes y pesticidas, así también como disminuir los niveles de demanda bioquímica de oxígeno, y demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos (Metcalf y Eddy, 1995, pág. 19)

Lemna minor (Lenteja de agua).

Descripción. Pertenece al tipo de familia de las macrófitas flotantes, son plantas angiospermas, diminutas que pueden llegar a medir apenas 1mm, son del tipo de plantas acuáticas flotantes en la superficie de agua, no son enraizadas. Es común encontrar a este tipo de especies creciendo en aguas eutrofizadas debido a los nutrientes existentes en las mismas. (Font, 2014, pág. 81)

Desarrollo. Estas plantas acuáticas pueden desarrollarse en ambientes de temperatura cuyos rangos van de 5°C a 30°C, siendo la temperatura correcta para un crecimiento rápido y óptimo para planta un rango entre 15°C y 18°C. Se adapta bien a cualquier condición de iluminación. Es de crecimiento rápido en partes calmadas y ricas en nutrientes, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos. El hierro con frecuencia es una limitante para su adecuado desarrollo. El pH óptimo es de 4,5 a 7,5, tolerando rangos de pH amplios- (Arroyave, 2004, pág. 7)

Aplicación. Según Zayed (1998) realizó una investigación acerca del potencial de la lenteja de agua para determinar la acumulación de cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y selenio. Obteniendo resultados que demostraron, que, en condiciones experimentales de laboratorio, la planta resultó ser un buen acumulador de Cd, Se y Cu, un acumulador regular de Cr y acumulador pobre de Ni y Pb. (pág. 22)

Definición de términos básicos

Fitoestabilización

Las plantas tolerantes se usan para reducir su movilidad y evitar el paso a capas subterráneas o al aire. (Arias et al. 2010, p.4)

Fitoestimulación

Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos). (Arias et al. 2010, p.4)

Fitoextracción

Las plantas se usan para concentrar los contaminantes en las partes cosechables (principalmente la parte aérea). (Arias et al. 2010)

Fitorremediación

“Es el uso de plantas en la descontaminación de los suelos, la depuración de las aguas residuales o la limpieza del aire, estas pueden ser plantas vasculares, algas o incluso hongos”.

(Arias et al. 2010, pág. 6)

Fitovolatilización

“Las plantas captan y modifican los contaminantes o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración”. (Arias et al. 2010, pág. 6)

Humedal

“Un humedal es una zona de tierra, generalmente plana, cuya superficie se inunda de manera permanente o intermitentemente”. (Arias et al. 2010, pág. 6)

Macrófitas

Vegetación acuática que puede localizarse en flotación o adherida a los fondos. Estas plantas depuran el agua directa e indirectamente ya que no solo la planta tiene la capacidad de absorber, sino que también presenta bacterias microbianas que se agrupan en sus raíces y tienen la capacidad de purificación del agua. (Arias et al. 2010, pág. 6)

Metales

Se denominan metales a los elementos químicos caracterizados por ser buenos conductores del calor y la electricidad. Poseen alta densidad y son sólidos a temperatura ambiente (excepto el mercurio); sus sales forman iones electropositivos (cationes) en disolución. (Arias et al. 2010, pág. 6)

Rizofiltración

“Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar los contaminantes a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos”. (Arias et al. 2010, pág. 6).

Mecanismos bioquímicos de fitorremediación de metales pesados

Metal – proteínas o metalotioneinas. Según Beltrán (2016) quien citó a Rascio y Navari-Izzob (2011) las plantas hiperacumuladoras presentan mecanismos bioquímicos para el transporte y acumulación de metales pesados, los cuales se realizan gracias a proteínas transportadoras de las células que se unen y trasladan el ion desde el espacio extracelular hacia el interior de las células. En la planta este proceso se da fundamentalmente en la savia de la xilema desde la raíz hasta las hojas, con la participación de ligandos como citrato, nicotilamina, histidina y asparagina, de esta forma los metales llegan al apoplasto de las hojas donde son eliminados o transformados por las células foliares (pág.13)

Quelación. Bricker et al. (2001) reporta que la quelación es considerada como una herramienta para la extracción de metales pesados en las plantas. Este proceso juega un rol esencial no solo en la acumulación y transporte de metales pesados, sino también en la fase de detoxificación. Usualmente los quelantes contienen ligandos (como la histidina y citrato) que pueden unirse a iones metálicos; cuando esto ocurre, los metales combinados pierden su carga y son incapaces de reaccionar con otras sustancias haciendo que el daño a la célula disminuya. Ciertos agentes quelantes facilitan la toma del metal del suelo a la planta, a través del tonoplasto y las vacuolas protegiendo la actividad celular de la toxicidad de metales pesados. (pág. 1597)

Mecanismos de tolerancia a metales pesados

Según López (2004) Los mecanismos de tolerancia que han desarrollado las plantas para resistir y sobrevivir a la exposición a metales pesados involucran estrategias de exclusión, mineralización, reducción, solubilización, quelación, redistribución y acumulación. La exclusión involucra un sistema de reflujos o liberación de metales desde el interior de la planta hasta el exterior, para evitar o minimizar la acumulación en sus tejidos. La mineralización reduce la biodisponibilidad de los metales, que por tanto no pueden ser absorbidos. La solubilización está relacionada con la transformación del metal insoluble a una forma soluble, es decir, su transformación de una forma no asimilable a una asimilable. La reducción implica la transformación de especies químicas altamente tóxicas a especies menos tóxicas (por ejemplo cromo VI a cromo III), las cuales pueden entonces ser asimiladas y metabolizadas por las plantas. (pág. 7)

Complejos organolépticos. Entre los quelantes producidos por las plantas se encuentran los ácidos orgánicos, particularmente citrato, oxalato y malato; algunos aminoácidos, principalmente histidina; y metalotioneínas y fitoquelatinas. Los dos últimos son los más importantes. (López, et al. 2004, págs. 15-16)

Metalotioneínas. Son polipéptidos ricos en cisteína, codificados genéticamente. Se conocen también como proteínas de bajo peso molecular, y tienen una marcada afinidad por las formas iónicas de cinc, cadmio, mercurio y cobre. Estas proteínas contienen largas fracciones de residuos de cisteína y muestran alto contenido metálico con iones coordinados en grupos metal-tiolato. (López, et al. 2004, págs. 15-16)

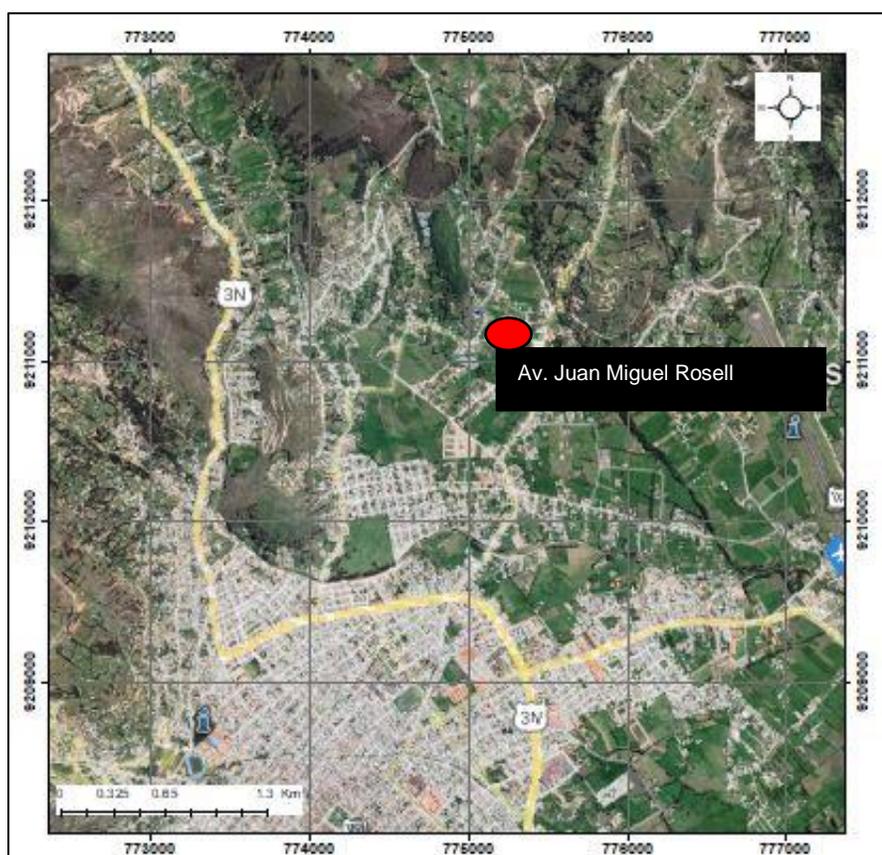
CAPÍTULO III. Marco metodológico

Ubicación

El presente estudio se llevó a cabo en la Av. Juan Miguel Rosell N°570, distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca.

Figura 2

Imagen de la ubicación de Av. Juan Miguel Rosell



Materiales

Material biológico y químico

Plantas de Lemna minor.

Plantas de Eichhornia crassipes.

10 g de acetato de plomo $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

10 g de acetato de cadmio $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Figura 3

Material biológico y químico



Material y equipo de laboratorio

Guantes de látex.

Mascarilla desechable.

Contenedores de vidrio (dimensiones especificadas en procedimiento).

Varilla de agitación.

Vaso de precipitación.

Agua destilada.

Estufa.

Balanza analítica.

20 frascos estériles de muestreo de 1L.

Etiquetas de muestreo.

Tipo y diseño de la investigación

La investigación será de tipo cuantitativo, de carácter prospectivo, longitudinal, analítico: con diseño experimental.

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variable	Tipo	Definición operacional	Dimensión	indicador	Unidad analizable
Eficiencia de las macrófitas flotante	Independiente	Esta variable se medirá mediante el porcentaje de absorción planta / metal pesado	Eficiencia	60–100%	<i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna minor</i> .
				Absorción Alta	
				5–59%	
				Absorción Media	
Depuración de aguas contaminadas pb y cd	Dependiente	Esta variable se medirá utilizando un método de absorción atómica	Depuración de plomo	ppm	Plomo y Cadmio
			Depuración de cadmio	ppm	

Fuente: propia

Nota: Las variables del estudio fueron la depuración y la eficiencia, la eficiencia de la planta se midió en función de la capacidad de absorber metales pesados en diferentes tiempos.

Unidad de análisis (población, muestra)

La macrófita *Eichhornia crassipes*.

La macrófita *Lemna minor*.

Población de estudio

183 litros de agua contaminada por plomo o cadmio.

Muestra

38 muestras de agua de 1L que se analizarán en laboratorio.

3.5 Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Trabajo de laboratorio

Paso 01: Descripción de las especies vegetales. Se describieron 5 individuos característicos de cada especie vegetal acuáticas en función de su sanidad, taxonomía, descripción, hábitat, reproducción, y parámetros de crecimiento. Las especies con las que se trabajará serán:

- Eichhornia crassipes (Jacinto de agua).
- Lemna minor (Lenteja de agua).

Tabla 4

Descripción de especies macrófita Eichhornia crassipes

División	Magnoliophyta	
Clase	Liliopsida	
Orden	Pontederiales	
Familia	Pontederiaceae	
Genero	<i>Eichornia</i>	
Especie	<i>Crassipes</i>	
Habitad	Aguas lenticas sin sustrato	

Reproducción	Por estolones, se considera como una planta invasiva
Descripción	La distribución de sus hojas forma rosetas, estas son pecioladas, anchas y ovaladas de color verde llamativo, sus raíces son densas, ramificadas, la cual presenta un color negro-azulado (tamaño aproximado de 20 cm)
Parámetros de crecimiento	Temperaturas optimas de 15° a 30°, requerimientos de Na, K y P mínimos.

Fuente: (modificado de Paredes, 2015, pág. 33)

Tabla 5

Descripción de especies macrófita Lemna minor

División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Pontederiales
Familia	Araceae
Genero	<i>Lemna</i>
Especie	<i>L.minor</i>
Habitad	Aguas lenticas sin sustrato, pe
Reproducción	Por estolones, se considera como una planta invasiva
Descripción	Presentan hasta 4 frondes cohesionadas, membranáceas, planas, elípticas a lineares, simétricas o asimétricas, 1–5 mm de largo y 0.5–3 mm de ancho, redondeadas en el ápice, sus raíces poco prominentes de 1 a 2 mm
Parámetros de crecimiento	Temperaturas optimas de 5° a 30°, requerimiento medio de nitratos y fosfatos



Fuente: (modificado de Paredes ,2015, pág. 34)

Paso 02: Fase de adaptación. Esta fase tuvo una duración de 15 días teniendo como referencia a Domínguez et al. (2016), en las cuales se coloca las plantas en condiciones favorables, agua limpia y buena luz, así prepararlas para los medios extremos a los que serán expuestas.

Paso 03: Condiciones del lugar. La experimentación se desarrolló en un área con techo, ventilación adecuada y entrada de rayos solares.

Figura 4

Área de trabajo



Con las siguientes características a monitorear antes de la puesta en marcha de la fase experimental.

Tabla 6*Recolección de datos de condiciones de lugar*

Temperatura media	20
Temperatura máxima	25
Temperatura mínima	13
Humedad	72%
Presión	1019 hPa
Horas de luz	12hrs

Paso 04: Preparación de muestras. Para el proceso investigativo se construyó 6 recipientes de vidrio con las siguientes especificaciones.

Tabla 7*Especificaciones de contenedores de vidrio*

Especificaciones				
Largo(cm)	Ancho(cm)	Profundidad(cm)	Volumen (L)	Cantidad
30	30	40	36	6

Fuente: propia

Con un volumen de agua de 30 litros de aforo.

Preparación de la disolución patrón de plomo y cadmio

Para preparar la disolución patrón de plomo se realizó los siguientes cálculos:

Se calcula la masa molar del reactivo.

Fórmula: Pb (CH₃COO)₂.3H₂O**Tabla 8***Cálculo de masa molar de acetato de plomo*

Elemento	Peso atómico	N° de moléculas	Total
Pb	207.2	1	207.2
C	12,0107	4	48.0428
H	1,00784	12	12.09408
O	15.9994	7	111.9958

Masa molar = 379.33268

El cálculo de la masa molar se realizó según Miskoski et al. 2018.

Fórmula: Cd (CH₃COO)₂.2H₂O**Tabla 9***Cálculo de masa molar de acetato de cadmio*

Elemento	Peso atómico	N° de moléculas	Total
Cd	112.411	1	112.411
H	1.00794	10	10.0794
C	12,0107	4	48.0428
O	15.9994	6	95.9964

Masa molar = 266.5296

El cálculo de la masa molar se realizó según Miskoski et al. 2018

Se calcula el porcentaje real de aporte

Tabla 10*Porcentaje de aporte para el acetato de plomo*

Elemento	Aporte	Porcentaje
Pb	207.2	54.62%
C	48.0428	12.67%
H	12.09408	3.19%
O	111.9958	29.52%

El cálculo del porcentaje real de aporte se realizó según Miskoski et al. 2018

Tabla 11*Porcentaje de aporte para el acetato de cadmio*

Elemento	Aporte	Porcentaje
Cd	112.411	42.18%
H	10.0794	3.78%
C	48.0428	18.03%
O	95.9964	36.01%

El cálculo del porcentaje real de aporte se realizó según Miskoski et al. 2018

Se calcula los gramos de acetato de plomo y acetato de cadmio necesarios para generar una solución base con 1000ppm.

$$1000\text{ppm} = 1000\text{mg/L} = 1\text{g/L}$$

$$1\text{g.} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 54.62\%$$

$$X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 100\%$$

X=g de acetato de plomo

X=1.8301 g de acetato de plomo

$$1000\text{ppm} = 1000\text{mg/L} = 1\text{g/L}$$

$$1\text{g.} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 42.18 \%$$

$$X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 100 \%$$

X=g de acetato de cadmio

X=2.3701 g de acetato de cadmio

Se mezcló en una probeta de 2 litros de capacidad 1.8301 gramos de Pb (CH₃COO)₂.3H₂O con 100mL de agua destilada y se llevó a ebullición, haciendo uso de una varilla de agitación se disolvió el reactivo, finalmente se aforó a 1 litro con agua destilada para obtener plomo concentrado a 1000 mg/L.

Del mismo modo, para preparar la solución patrón de cadmio, se mezcló en una probeta de 2 litros de capacidad 2.3701 gramos de Cd(CH₃COO)₂.2H₂O con 100mL de agua destilada y se llevó a ebullición, disolviendo el reactivo con la ayuda de una varilla de agitación, finalmente se aforó a un 1 litro con agua destilada para obtener cadmio concentrado a 1000 mg/L.

Ambas soluciones patrones fueron vertidas en recipientes de vidrio de capacidad de 1 litro y almacenadas en el laboratorio hasta su posterior dilución para la aplicación de los tratamientos.

Figura 5

Preparación de diluciones patrón de cadmio y plomo



Paso 5: Diseño de experimentación. Para la presente investigación se utilizó un diseño completamente aleatorizado, que conllevará a la utilización de la factorial de 2x2x3. La factorial a utilizar está conformada por 2 experimentos: dos especies de macrófitas (Jacinto de agua y Lenteja de agua), dos metales pesados (Pb y Cd) y tres tiempos de muestreo (5, 15 y 25 días). cada combinación muestreada por triplicado.

A: Especie macrófita	B: Metales pesados	C: Tiempo
a1: Jacinto de agua	b1: plomo	c1: 5 días
a2: Lenteja de agua	b2: cadmio	c2: 15 días
		c3: 25 días

Tabla 12*Tratamientos, simbología y combinaciones*

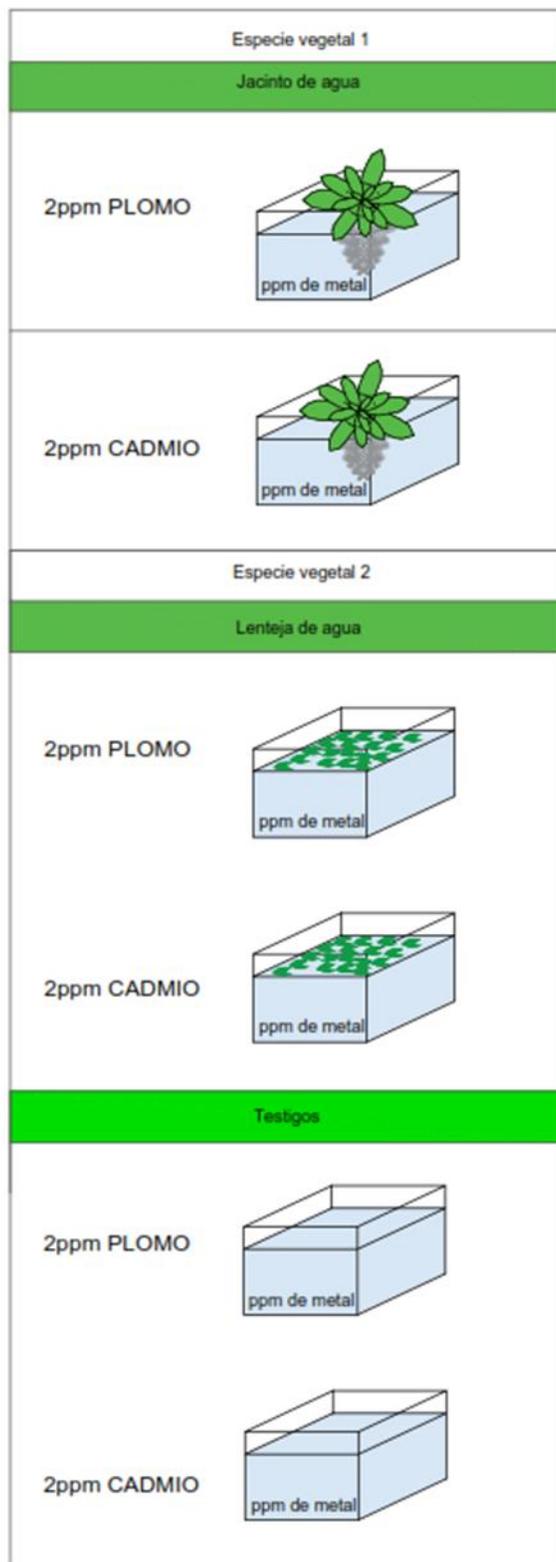
Tratamiento	Combinaciones
T ₁ (a1b1c1)	Jacinto de agua-Plomo-5 días
T ₂ (a1b1c2)	Jacinto de agua-Plomo-15 días
T ₃ (a1b1c3)	Jacinto de agua-Plomo-25 días
T ₄ (a1b2c1)	Jacinto de agua-Cadmio-5 días
T ₅ (a1b2c2)	Jacinto de agua-Cadmio-15 días
T ₆ (a1b2c3)	Jacinto de agua-Cadmio-25 días
T ₇ (a2b1c1)	Lenteja de agua-Plomo-5 días
T ₈ (a2b1c2)	Lenteja de agua-Plomo-15 días
T ₉ (a2b1c3)	Lenteja de agua-Plomo-25 días
T ₁₀ (a2b2c1)	Lenteja de agua-Cadmio-5 días
T ₁₁ (a2b2c2)	Lenteja de agua-Cadmio-15 días
T ₁₂ (a2b2c3)	Lenteja de agua-Cadmio-25 días

Para la puesta en marcha se llenó los contenedores de vidrio a 30 litros de su capacidad con agua libre de metales pesados.

En la Figura 6 se muestra la organización de los contenedores.

Figura 6

Disposición de muestras y ppm de contaminantes



El trabajo experimental, estuvo constituido por 12 unidades experimentales (combinaciones), las cuales fueron codificados de la siguiente forma: T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12; las mismas que se distribuyeron al azar en cada una de las unidades experimentales tal como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13

Combinaciones del trabajo experimental

T ₄	T ₇	T ₁₀	T ₂	T ₁	T ₈	T ₃	T ₅	T ₉	T ₁₂	T ₆	T ₁₁
T ₇	T ₁₀	T ₂	T ₁	T ₈	T ₃	T ₅	T ₉	T ₁₂	T ₆	T ₁₁	T ₄
T ₂	T ₁	T ₈	T ₃	T ₅	T ₉	T ₁₂	T ₆	T ₁₁	T ₄	T ₇	T ₁₀

Observaciones:

Los tiempos de muestreo para los respectivos análisis fueron a los 5, 15, y 25 días.

De cada unidad experimental se tomó por triplicada la muestra

Se emplearon dos especies de plantas como el Jacinto de agua y la lenteja de agua y muestra blanco.

Los metales pesados evaluados fueron Plomo y Cadmio.

El número total de muestras fue de 36 más 2 muestras en blanco.

Las unidades experimentales se ubicaron en un ambiente adecuado y protegido de posibles cambios climáticos y otros daños, con la finalidad de lograr una adecuada conducción del experimento.

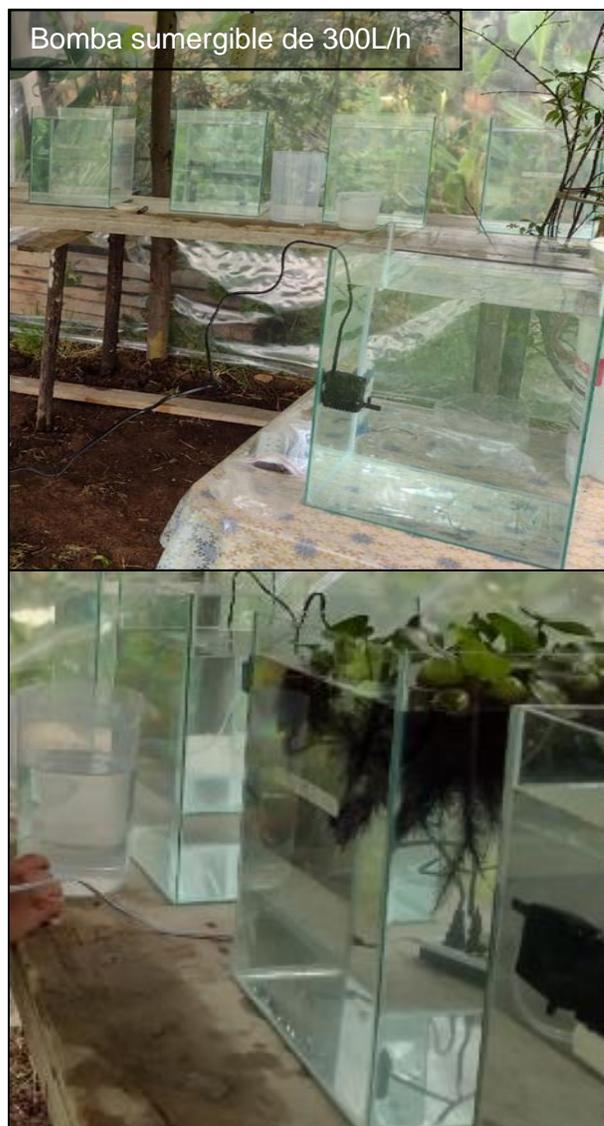
Una vez realizado el proceso de llenado de cada unidad experimental se les asignó aleatoriamente los tratamientos respectivos. Tal como se mostró anteriormente.

Se utilizó bombas de agua con potencia de 300L/h para evitar la precipitación y falta de homogenización durante la toma de muestras.

Diseño de la experimentación

Figura 7

Disposición de muestras y ppm de contaminantes



Trabajo de gabinete

Paso 6: Toma de datos. Se consideró tiempos estimados de 5 días, 15 días y 25 días de depuración. Se determinó la cantidad de plomo y cadmio residual en el agua para obtener el porcentaje de depuración por combinación.

Trabajo estadístico

El trabajo estadístico para contrastar la hipótesis de la investigación constó de dos pasos importantes; por un lado, un tratamiento estadístico de los resultados, en el cual se calculó el promedio de depuración por tratamiento y como segundo paso se realizó la prueba de hipótesis usando una función pivotal del método ANOVA con valor de significancia del 5%, para determinar por medio del análisis de la varianza la aceptación de la hipótesis nula; de manera adicional se realizó mediante el método ANOVA unifactor, la comparación de los resultados obtenidos en la absorción de contaminantes para las dos especies macrófitas.

El análisis estadístico se realizó con la finalidad de determinar si existe o no diferencias significativas entre los tratamientos en estudio.

Fase de tabulación y análisis de información

Las fuentes de información a ser analizadas o consultadas fueron primarias (datos obtenidos directamente del agua contaminada con plomo y cadmio); así como documentos existentes sobre tratamiento de aguas contaminadas y en especial sobre fitorremediación.

Esta fase se desarrolló a medida que se fue realizando los análisis de muestras y evaluando las concentraciones de Plomo y Cadmio.

Con este análisis se determinó la eficiencia que tienen las variables estudiadas sobre la calidad del agua tratada, finalmente se contrastó si el agua tratada en el experimento cumple los Estándares de Calidad del Ambiental (ECA) para agua de riego de vegetales y bebida de animales.

CAPÍTULO IV. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos son presentados en la tabla 14, la cual muestra el tipo de contaminante utilizado, tipo de tratamiento y concentración de contaminante residual en el agua en función de los diferentes días de depuración obtenidos (5, 15 y 25 días), observándose un cambio significativo a los 5 días en medio contaminado de plomo y cadmio utilizando los tratamientos de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, y un cambio poco significativo en los días 15 y 25 de los mismos tratamientos, así mismo en los contenedores sin tratamiento la cantidad de contaminante se mantiene constante.

En la tabla 14 se detalla la concentración de contaminante presente en el agua a los 5, 15 y 25 días de tratamiento; en la tabla 15 se muestran los resultados de depuración y en la tabla 16 se presentan los resultados del porcentaje en los diferentes periodos de tratamiento (5, 15 y 25 días) los datos obtenidos de depuración son el resultado del siguiente cociente:

**ppm de contaminante depurado = Total de contaminante inicial en ppm / ppm
contaminante residual.**

Observándose una depuración de 79.09 % del plomo y 84.33 % del cadmio utilizándose el tratamiento de *Eichhornia Crassipes* en un periodo de 5 días; una depuración de 86.36 % del plomo y 89.% de cadmio utilizando el tratamiento de *Lemna minor* en un periodo de 5 días; finalmente 0% de depuración en los medios contaminados con cadmio y plomo sin tratamiento.

A los 15 días de observa una depuración de 82.73 % del plomo y 83 % del cadmio utilizándose el tratamiento de *Eichhornia Crassipes*; una depuración de 90 % del plomo y 88.% de cadmio utilizando el tratamiento de *Lemna minor*; finalmente 0% de depuración en los medios contaminados con cadmio y plomo sin tratamiento.

A los 25 días de observa una depuración de 76.36 % del plomo y 83 % del cadmio utilizándose el tratamiento de *Eichhornia Crassipes*; una depuración de 82.73 % del plomo y

90.33.% de cadmio utilizando el tratamiento de Lemna minor; finalmente 0% de depuración en los medios contaminados con cadmio y plomo sin tratamiento.

Comparando los resultados obtenidos en la tabla 16 con los Limitex Máximos Permisibles establecidos por la legislación peruana para cadmio (Cd^+), que establecen la cantidad de 0.05 mg/L en el sector Minero-Metalúrgico y 0.1 mg/L en el sub-sector Hidrocarburos, se observa que en el día 05 utilizando *Eichhornia crassipes* el contaminante bajó de 0,03 mg/L a 0,005 mg/L obteniendo una efectividad del 84.33%, por otro lado utilizando *Lemna Minor* el contaminante bajó de 0,03 mg/L a 0,00 mg/L obteniendo una efectividad del 89% y manteniéndose en ambos casos muy por debajo del límite máximo permisible.

Comparando los resultados obtenidos en la tabla 16 con los Limitex Máximos Permisibles establecidos por la legislación peruana para plomo (Pb^+), que establecen la cantidad de 0.2 mg/L en el sector Minero-Metalúrgico y 0.1 mg/L en el sub-sector Hidrocarburos, se observa que en el día 05 utilizando *Eichhornia crassipes* el contaminante bajó de 0,11 mg/L a 0,023 mg/L obteniendo una efectividad del 79.09%, por otro lado utilizando *Lemna Minor* el contaminante bajó de 0,11 mg/L a 0,015 mg/L obteniendo una efectividad del 86.36% y manteniéndose en ambos casos muy por debajo del límite máximo permisible.

Comparando los resultados obtenidos en la tabla 19

En el gráfico 1 se presenta la depuración de plomo utilizando *Eichhornia crassipes*, en el eje x se puede apreciar los días de depuración de 0 a 25, y en el eje y la concentración de plomo depurado, se aprecia que la mayor cantidad de plomo depurado se presenta en los 5 primeros días.

En el gráfico 2 se presenta la depuración de cadmio utilizando *Eichhornia crassipes*, en el eje x se puede apreciar los días de depuración de 0 a 25, y en el eje y la concentración de

cadmio depurado, se aprecia que la mayor cantidad de ppm de cadmio se presenta en los 5 primeros días de depuración.

En el gráfico 3 se presenta la depuración de plomo utilizando Lemna minor, en el eje x se puede apreciar los días de depuración de 0 a 25, y en el eje y la concentración de plomo depurado, se aprecia que la mayor cantidad de ppm de plomo se presenta en los 5 primeros días de depuración.

En el gráfico 4 se presenta la depuración de cadmio utilizando Lemna minor, en el eje x se puede apreciar los días de depuración de 0 a 25, y en el eje y la concentración de cadmio depurado, se aprecia que la mayor cantidad de ppm de cadmio se presenta en los 5 primeros días de depuración.

En el gráfico 5 se presenta la depuración de plomo sin uso de tratamiento, en el eje x se puede apreciar los días de depuración de 0 a 25, y en el eje y la concentración de plomo depurado, se aprecia que la mayor cantidad de ppm de plomo se mantiene continuo los 15 días de experimentación.

En el gráfico 6 se presenta la depuración de cadmio sin uso de tratamiento, en el eje x se puede apreciar los días de depuración de 0 a 25, y en el eje y la concentración de cadmio depurado, se aprecia que la mayor cantidad de ppm de cadmio se mantiene continuo los 15 días de experimentación.

Del mismo modo en las tablas 17, 18, 19, 20 y 21 se presentan los resultados provenientes de cálculos estadísticos haciendo uso del software Minitab para lo cual se seleccionó el método ANOVA de un solo factor, de este modo fue posible comparar los resultados obtenidos del tratamiento con Eichhornia crassipes y Lemna minor en la depuración de plomo, obteniéndose un valor de p de 0.067.

En las tablas 22, 23, 24, 25 y 26 se presentan los resultados provenientes de cálculos estadísticos haciendo uso del software Minitab para lo cual se seleccionó el método ANOVA de un solo factor, de este modo fue posible comparar los resultados obtenidos del tratamiento con *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* y sin tratamiento utilizados durante la depuración de plomo, obteniéndose un valor de p de 0.00.

En las tablas 27, 28, 29, 30 y 31 se presentan los resultados provenientes de cálculos estadísticos haciendo uso del software Minitab para lo cual se seleccionó el método ANOVA de un solo factor, de este modo fue posible comparar los resultados obtenidos del tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en la depuración de cadmio, obteniéndose un valor de p de 0.002.

En las tablas 32, 33, 34, 35 y 36 se presentan los resultados provenientes de cálculos estadísticos haciendo uso del software Minitab para lo cual se seleccionó el método ANOVA de un solo factor, de este modo fue posible comparar los resultados obtenidos del tratamiento con *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* y sin tratamiento utilizados durante la depuración de cadmio, obteniéndose un valor de p de 0.00.

En las tablas 37, 38, 39, 40 y 41 se presentan los resultados provenientes de los cálculos estadísticos haciendo uso del software Minitab para lo cual se seleccionó el método ANOVA de un solo factor, de este modo fue posible comparar los resultados obtenidos del tratamiento con *Eichhornia crassipes* a los 5, 15 y 25 días de depuración de plomo y verificar si existe diferencia estadística significativa, obteniéndose un valor de p de 0.00.

Tabla 14*Resultados concentración de plomo y cadmio en agua*

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	
Lectura	a1b1c1	a1b1c2	a1b1c3	a1b2c1	a1b2c2	a1b2c3	a2b1c1	a2b1c2	a2b1c3	a2b2c1	a2b2c2	a2b2c3	
Lectura 1	0.0230	0.0190	0.0260	0.0047	0.0051	0.0051	0.0150	0.0110	0.019	0.0033	0.0036	0.0029	
Lectura 2	0.0235	0.0180	0.0253	0.0052	0.0049	0.0051	0.0150	0.0110	0.0185	0.003	0.0040	0.0030	
Lectura 3	0.0220	0.0193	0.0260	0.0051	0.0050	0.0048	0.0153	0.0110	0.0183	0.0029	0.0039	0.0030	
SUMA	0.0685	0.0563	0.0773	0.0150	0.0150	0.0150	0.0453	0.0330	0.0558	0.0092	0.0115	0.0089	0.4108
PROMEDIO	0.0228	0.0188	0.0258	0.0050	0.0050	0.0050	0.0151	0.0110	0.0186	0.003	0.0038	0.0030	0.0114

Tabla 15*Resultados de depuración*

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	
Lectura	a1b1c1	a1b1c2	a1b1c3	a1b2c1	a1b2c2	a1b2c3	a2b1c1	a2b1c2	a2b1c3	a2b2c1	a2b2c2	a2b2c3	
Lectura 1	0.0870	0.0910	0.0840	0.0253	0.0249	0.0249	0.0950	0.0990	0.091	0.0267	0.0264	0.0271	
Lectura 2	0.0865	0.0920	0.0847	0.0248	0.0251	0.0249	0.0950	0.0990	0.0915	0.027	0.0260	0.027	
Lectura 3	0.0880	0.0907	0.0840	0.0249	0.0250	0.0252	0.0947	0.0990	0.0917	0.0271	0.0261	0.027	
SUMA	0.2615	0.2737	0.2527	0.0750	0.0750	0.0750	0.2847	0.2970	0.2742	0.0808	0.0785	0.0811	2.1092
PROMEDIO	0.0872	0.0912	0.0842	0.0250	0.0250	0.0250	0.0949	0.0990	0.0914	0.027	0.0262	0.0270	0.0586

Tabla 16

Resultados globales de contaminante(ppm), depuración (ppm) y porcentaje de depuración (%)

Depuración día 0				
Tipo de tratamiento	Contaminante	Contaminante (ppm)	Depuración (ppm)	Depuración (%)
Uso de <i>Eichhornia crassipes</i>	Plomo	0.110	0.00	0.00
	Cadmio	0.030	0.00	0.00
Uso de <i>Lemna Minor</i>	Plomo	0.110	0.00	0.00
	Cadmio	0.030	0.00	0.00
Sin tratamiento	Plomo	0.110	0.00	0.00
	Cadmio	0.030	0.00	0.00
Depuración día 5				
Tipo de tratamiento	Contaminante	Contaminante (ppm)	Depuración (ppm)	Depuración (%)
Uso de <i>Eichhornia crassipes</i>	Plomo	0.023	0.09	79.09
	Cadmio	0.005	0.03	84.33
Uso de <i>Lemna Minor</i>	Plomo	0.015	0.10	86.36
	Cadmio	0.003	0.03	89.00
Sin tratamiento	Plomo	0.110	0.00	0.00
	Cadmio	0.030	0.00	0.00
Depuración día 15				
Tipo de tratamiento	Contaminante	Contaminante (ppm)	Depuración (ppm)	Depuración (%)
Uso de <i>Eichhornia crassipes</i>	Plomo	0.019	0.09	82.73
	Cadmio	0.005	0.02	83.00
Uso de <i>Lemna Minor</i>	Plomo	0.011	0.10	90.00
	Cadmio	0.004	0.03	88.00
Sin tratamiento	Plomo	0.110	0.00	0.00
	Cadmio	0.030	0.00	0.00
Depuración día 25				
Tipo de tratamiento	Contaminante	Contaminante (ppm)	Depuración (ppm)	Depuración (%)
Uso de <i>Eichhornia crassipes</i>	Plomo	0.026	0.08	76.36
	Cadmio	0.005	0.02	83.00
Uso de <i>Lemna Minor</i>	Plomo	0.019	0.09	82.73
	Cadmio	0.003	0.03	90.33
Sin tratamiento	Plomo	0.110	0.00	0.00
	Cadmio	0.030	0.00	0.00

Tabla 17

Resultado global por combinaciones. Luego acondicionar correctamente la numeración de las tablas

Tratamiento	Simbología	Combinación	% de Depuración
T1	a1b1c1	Jacinto de agua - Plomo -5 días	79.09
T2	a1b1c2	Jacinto de agua - Plomo -15 días	82.73
T3	a1b1c3	Jacinto de agua - Plomo -25 días	76.36
T4	a1b2c1	Jacinto de agua - Cadmio -5 días	84.33
T5	a1b2c2	Jacinto de agua - Cadmio -15 días	83.00
T6	a1b2c3	Jacinto de agua - Cadmio -25 días	83.00
T7	a2b1c1	Lenteja de agua - Plomo - 5 días	86.36
T8	a2b1c2	Lenteja de agua - Plomo - 15 días	90.00
T9	a2b1c3	Lenteja de agua - Plomo - 25 días	82.73
T10	a2b2c1	Lenteja de agua - Cadmio - 5 días	89.00
T11	a2b2c2	Lenteja de agua - Cadmio - 15 días	88.00
T12	a2b2c3	Lenteja de agua - Cadmio - 25 días	90.33

Gráfico 1

Porcentaje de depuración global

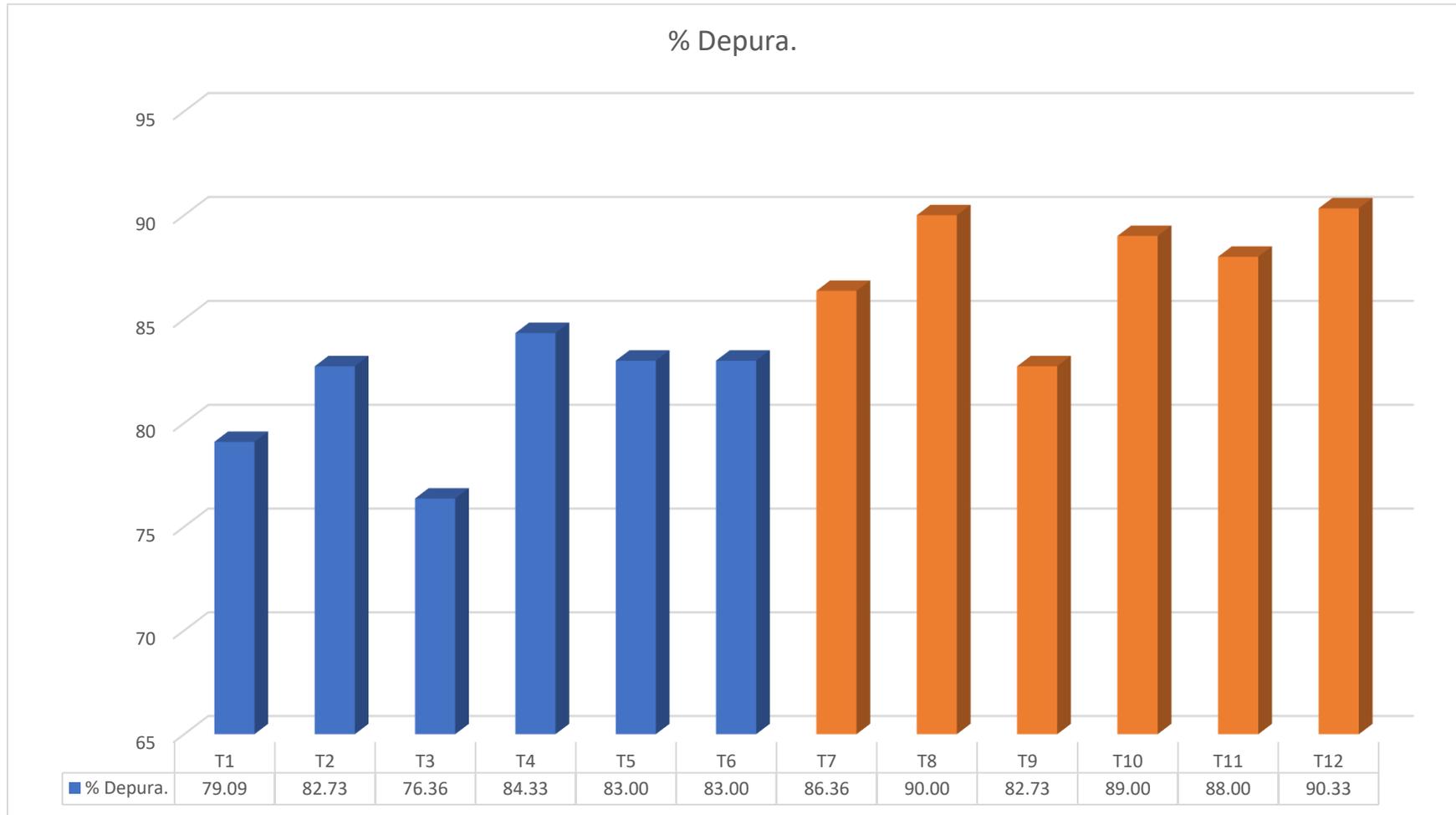


Gráfico 2

Depuración de plomo con *Eichhornia crassipes* en función del tiempo

Gráfico 3

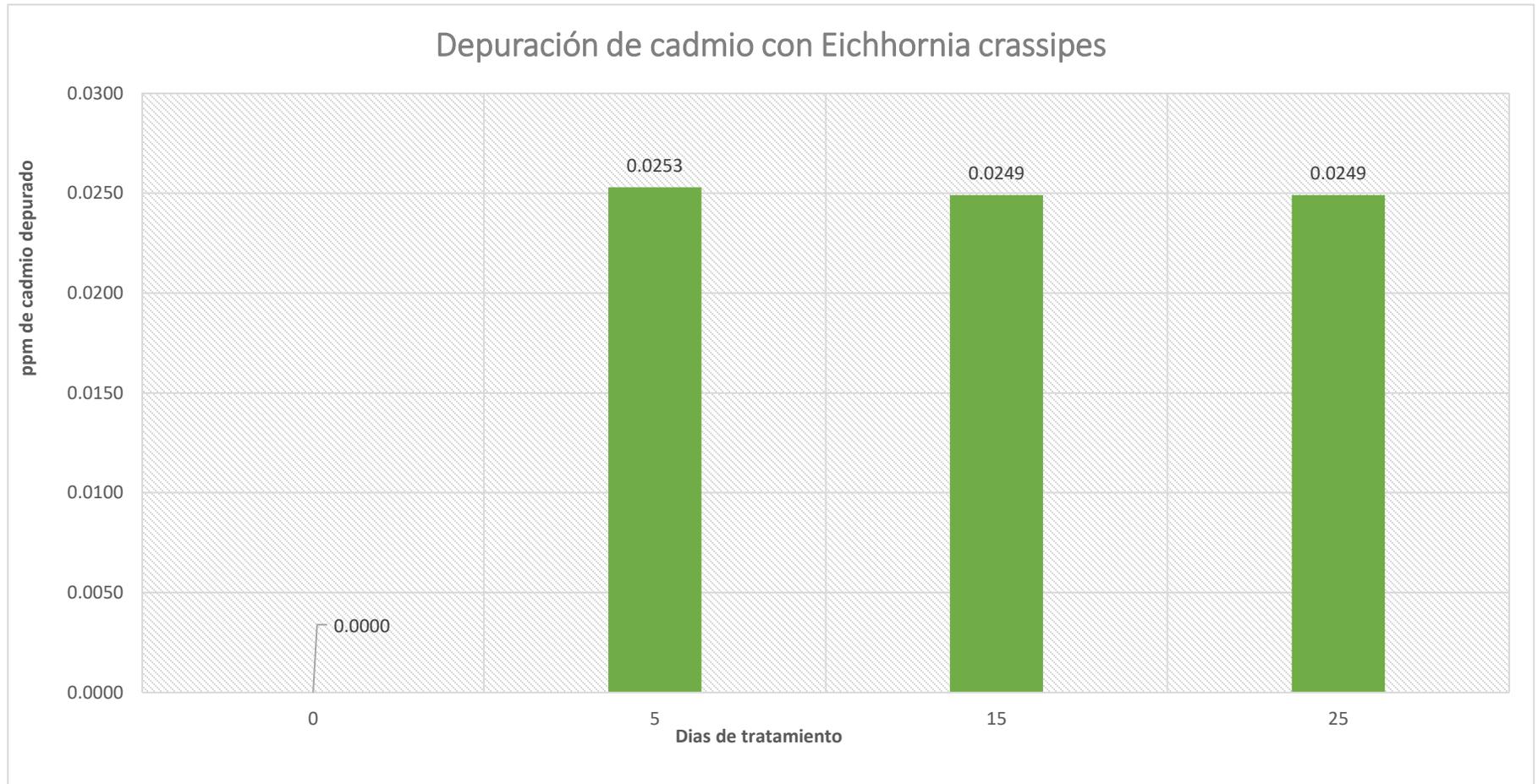
Depuración de cadmio con *Eichhornia crassipes* en función del tiempo

Gráfico 4

Depuración de plomo con Lemna minor en función del tiempo



Gráfico 5

Depuración de cadmio con Lemna minor en función del tiempo



Gráfico 6

Depuración de plomo sin tratamiento



Gráfico 7

Depuración de cadmio sin tratamiento



Prueba ANVA**Tabla 18***Cálculos ANVA*

Suma Cuadrado Total												
0.008	0.008	0.007	0.001	0.001	0.001	0.009	0.010	0.008	0.001	0.001	0.001	
0.007	0.008	0.007	0.001	0.001	0.001	0.009	0.010	0.008	0.001	0.001	0.001	
0.008	0.008	0.007	0.001	0.001	0.001	0.009	0.010	0.008	0.001	0.001	0.001	
0.023	0.025	0.021	0.002	0.002	0.002	0.027	0.029	0.025	0.002	0.002	0.002	0.163
									SCTot	0.039008		
Suma Cuadrado Tratamiento												
0.023	0.025	0.021	0.002	0.002	0.002	0.027	0.029	0.025	0.002	0.002	0.002	0.163
									SCTrat	0.039		

Tabla 19*Cálculo de porcentaje*

S	SC	GL	CM	FC	FT	SIGNIFICAC
Tratamiento	0.03900534	11	0.00354594	27102.72	2.216	***
E.E	0.00000314	24	0.00000013			
Total	0.03900848	35				
		CV		0.40	%	

Prueba ANOVA**Tabla 20***Información del factor*

Factor	Niveles	Valores
Factor	2	Eichhornia Crassipes; Lemna minor

Tabla 21*Análisis de Varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	0.000088	0.000088	6.22	0.067
Error	4	0.000057	0.000014		
Total	5	0.000145			

Tabla 22*Medias*

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Eichhornia Crassipes	3	0.08733	0.00351	(0.08130; 0.09337)
Lemna minor	3	0.09500	0.00400	(0.08897; 0.10103)

Nota: Desv.Est. agrupada = 0.00376386

Tabla 23

Información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Lemna minor	3	0.09500	A
Eichhornia Crassipes	3	0.08733	A

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 24

Resultado de prueba ANOVA para la depuración de plomo con Eichhornia crassipes y Lemna minor

Prueba estadística ANOVA	
Hipotesis	<p>$H_0 =$ No existe diferencia significativa entre las medias ($u_1 = u_2$).</p> <p>$H_1 =$ Existe diferencia significativa entre las medias ($u_1 \neq u_2$).</p>
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$
p	0,067
Decisión estadística	Se acepta la hipótesis nula

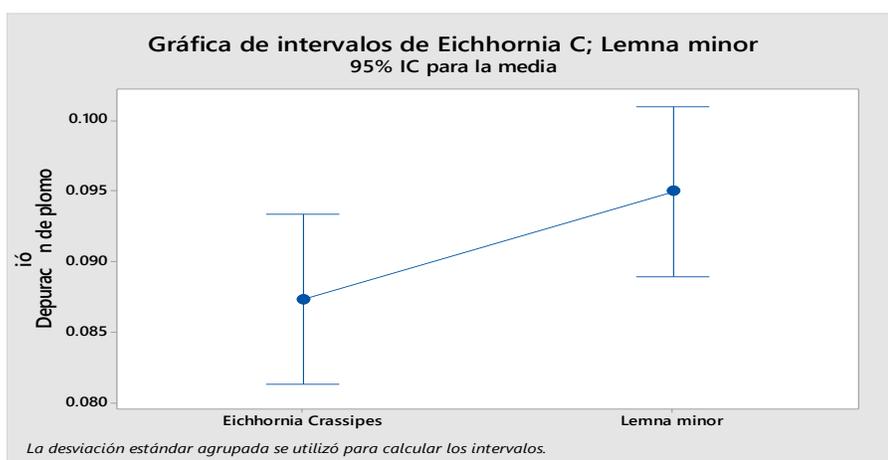
Conclusión

Se cumple el supuesto de desigualdad de varianzas
al tener una significancia del 5 %.

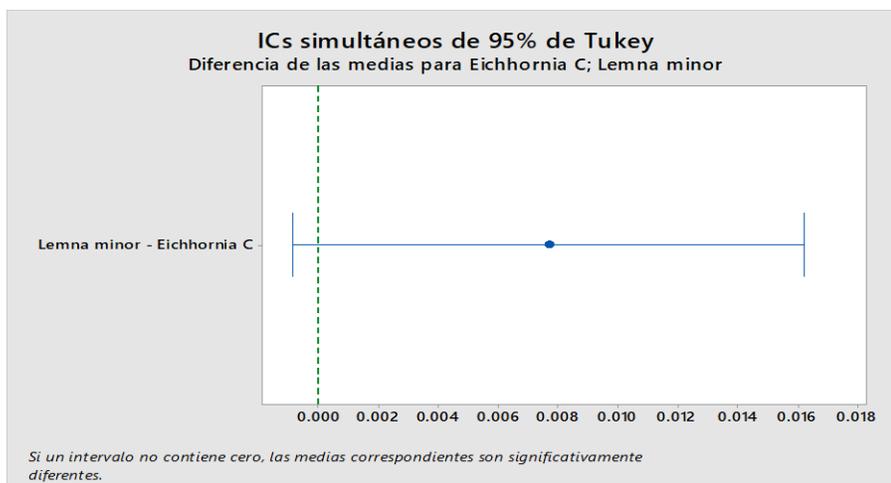
Nota: Como el valor estadístico de probabilidad asociada (p) es igual a 0,067, este valor es mayor al nivel de significancia de 0,05, se concluye que no existe diferencia estadística significativa entre la fitorremediación de plomo con *Eichhornia crassipes* y *Lemna Minor*.

Figura 8

Gráfico de intervalos de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la depuración de plomo


Figura 9

Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes y Lemna minor utilizando método Tukey



Método ANOVA de un solo factor para comparar los resultados obtenidos del tratamiento con *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* y muestra en blanco en la depuración de plomo.

Tabla 25

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
1	3	Eichhornia Crassipes; Lemna minor; blanco plomo

Tabla 26

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0.016711	0.008355	884.69	0.000
Error	6	0.000057	0.000009		
Total	8	0.016768			

Tabla 27

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Eichhornia Crassipes	3	0.08733	0.00351	(0.08299; 0.09167)
Lemna minor	3	0.09500	0.00400	(0.09066; 0.09934)
blanco plomo	3	0.000000	0.000000	(-0.004342; 0.004342)

Nota: Desv.Est. agrupada = 0.00307318

Tabla 28

Información del método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Lemna minor	3	0.09500	A
Eichhornia Crassipes	3	0.08733	A
blanco plomo	3	0.000000	B

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 29

Resultado de prueba ANOVA para la depuración de plomo con Eichhornia crassipes, Lemna minor y prueba en blanco

Prueba estadística ANOVA

Hipotesis $H_0 =$ No existe diferencia significativa entre las medias ($\mu_1 = \mu_2$).

$H_1 =$ Existe diferencia significativa entre las medias ($\mu_1 \neq \mu_2$).

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

p 0,000

Decisión estadística Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión Se cumple el supuesto de igualdad de varianzas
al tener una significancia del 5 %.

Nota: Como el valor estadístico de probabilidad asociada (p) es igual a 0,000, este valor es menor al nivel de significancia de 0,05, se concluye que existe diferencia estadística significativa entre la depuración de plomo con *Eichhornia crassipes*, *Lemna Minor* y sin tratamiento.

Figura 10

Gráfico de intervalos de Eichhornia crassipes, Lemna minor y muestra en blanco en la depuración de plomo

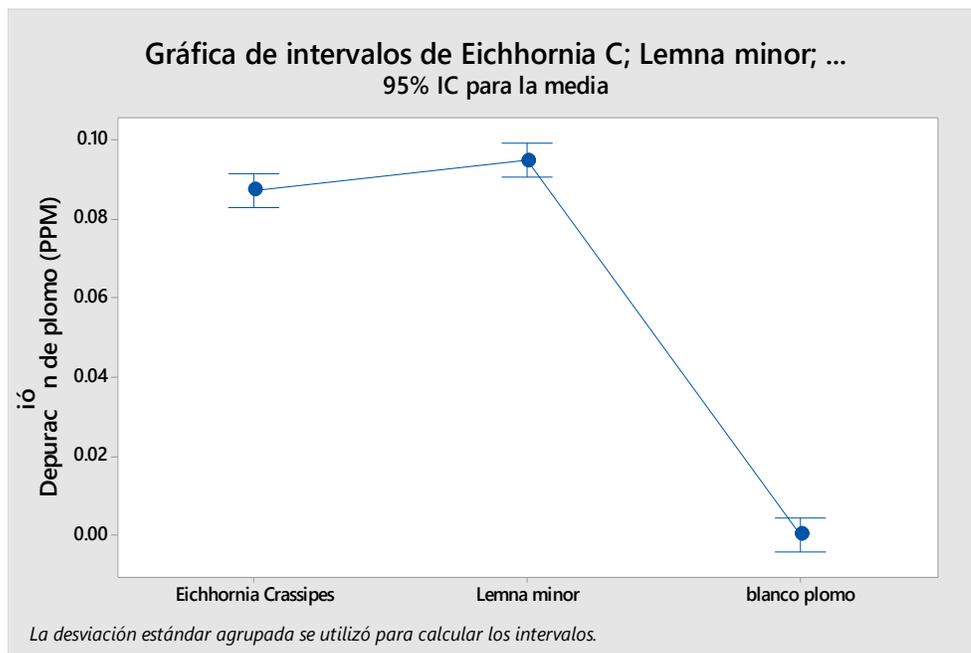
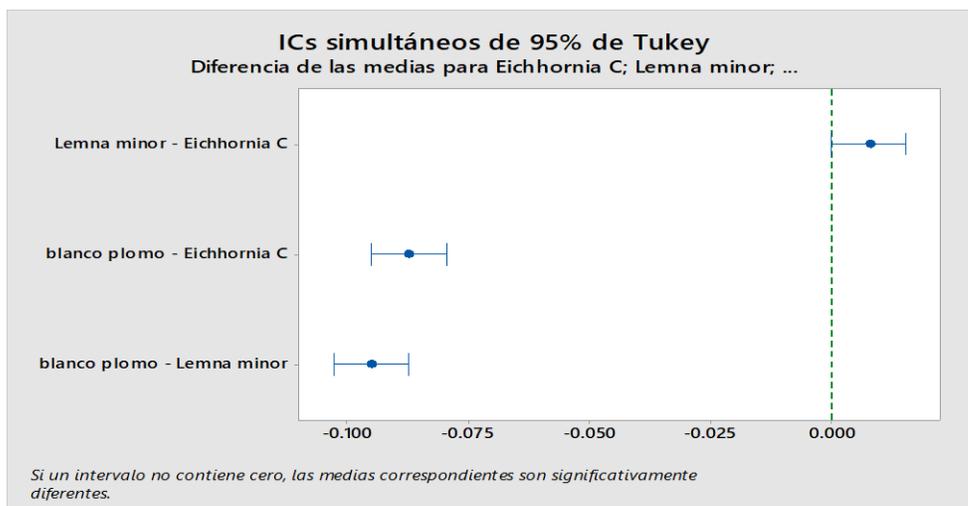


Figura 11

Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes, Lemna minor y muestra en blanco utilizando método Tukey



Método ANOVA de un solo factor para comparar los resultados obtenidos del tratamiento con Eichhornia crassipes y Lemna minor en la depuración de cadmio.

Tabla 30

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	2	Eichhornia Crassipes; Lemna minor

Tabla 31

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	0.000004	0.000004	49.08	0.002
Error	4	0.000000	0.000000		
Total	5	0.000005			

Tabla 32*Medias*

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Eichhornia Crassipes	3	0.025033	0.000231	(0.024557; 0.025510)
Lemna minor	3	0.026733	0.000351	(0.026257; 0.027210)

*Desv.Est. agrupada = 0.000297209***Tabla 33***Información del método de Tukey y una confianza de 95%*

Factor	N	Media	Agrupación
Lemna minor	3	0.026733	A
Eichhornia Crassipes	3	0.025033	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 34

Resultado de prueba ANOVA para la depuración de cadmio con Eichhornia crassipes y Lemna minor

Prueba estadística ANOVA

Hipotesis $H_0 =$ No existe diferencia significativa entre las medias ($u_1 = u_2$).

$H_1 =$ Existe diferencia significativa entre las medias ($u_1 \neq u_2$).

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

p 0,002

Decisión estadística	Se rechaza la hipótesis nula
Conclusión	Se cumple el supuesto de igualdad de varianzas al tener una significancia del 5 %.

Nota: Como el valor estadístico de probabilidad asociada (p) es igual a 0,002, este valor es menor al nivel de significancia de 0,05, se concluye que existe diferencia estadística significativa entre la depuración de cadmio con *Eichhornia crassipes* y *Lemna Minor*.

Figura 12

Gráfico de intervalos de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la depuración de cadmio

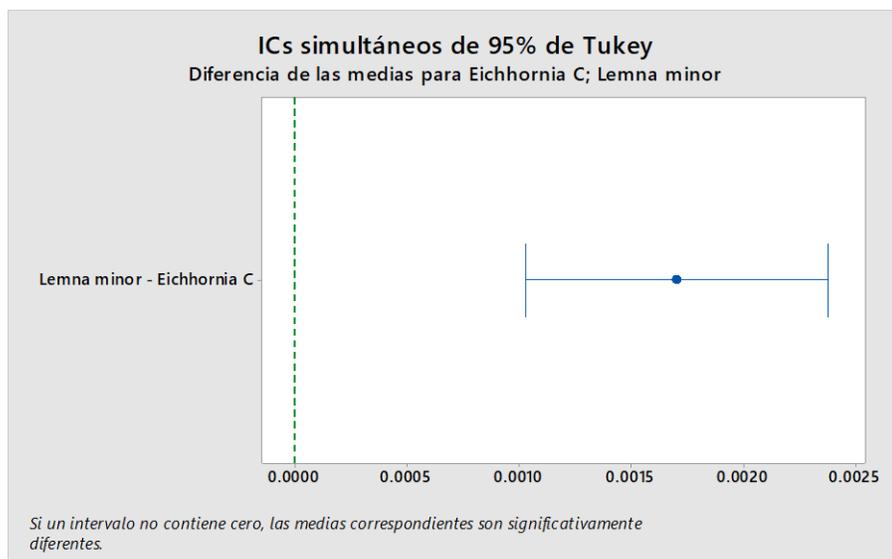
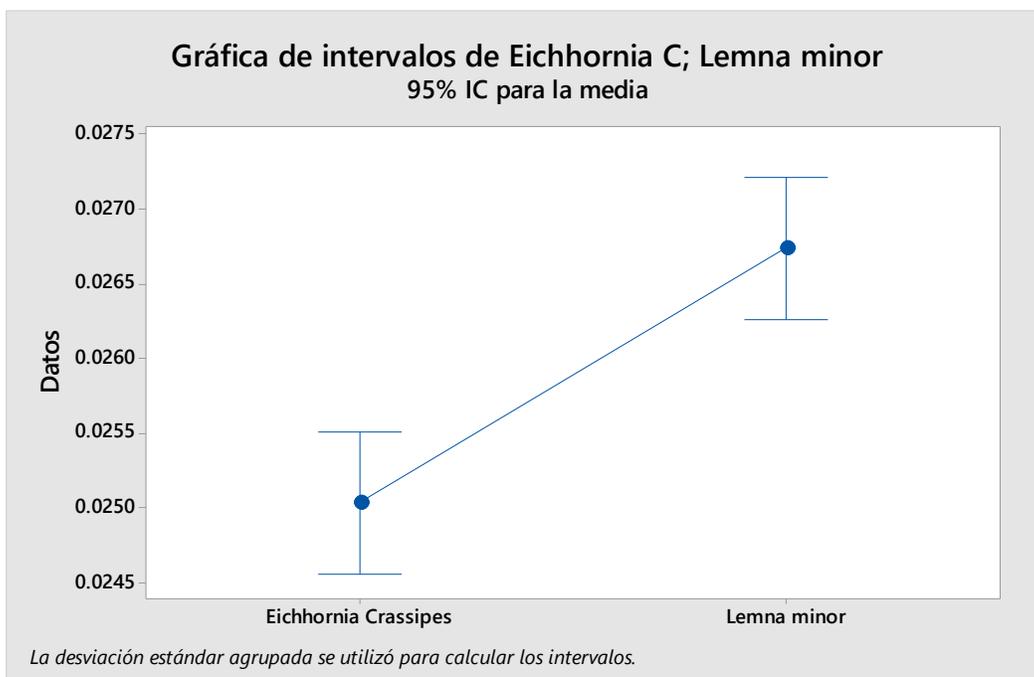


Figura 13

Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes y Lemna minor en la depuración de cadmio utilizando método Tukey

**Tabla 35***Información del factor*

Factor	Niveles	Valores
Factor	3	Eichhornia Crassipes; Lemna minor; blanco cadmio

Tabla 36*Análisis de Varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0.001344	0.000672	11413.26	0.000
Error	6	0.000000	0.000000		
Total	8	0.001345			

Tabla 37*Medias*

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Eichhornia Crassipes	3	0.025033	0.000231	(0.024691; 0.025376)

Lemna minor	3	0.026733	0.000351	(0.026391; 0.027076)
blanco cadmio	3	0.000000	0.000000	(-0.000343; 0.000343)

Desv.Est. agrupada = 0.000242670

Tabla 38

Información del método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Lemna minor	3	0.026733	A
Eichhornia Crassipes	3	0.025033	B
blanco cadmio	3	0.000000	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 39

Resultado de prueba ANOVA para la depuración de cadmio con Eichhornia crassipes,

Lemna minor y prueba en blanco

Prueba estadística ANOVA

Hipotesis $H_0 =$ No existe diferencia significativa entre las medias ($\mu_1 = \mu_2$).
 $H_1 =$ Existe diferencia significativa entre las medias ($\mu_1 \neq \mu_2$).

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

p 0,000

Decisión estadística Se rechaza la hipótesis nula

Conclusión Se cumple el supuesto de igualdad de varianzas
al tener una significancia del 5 %.

Nota: Como el valor estadístico de probabilidad asociada (p) es igual a 0,000, este valor es menor al nivel de significancia de 0,05, se concluye que existe diferencia estadística significativa entre la depuración de cadmio con *Eichhornia crassipes*, *Lemna Minor* y sin tratamiento.

Figura 14

Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes, Lemna minor y muestra en blanco en la depuración de plomo

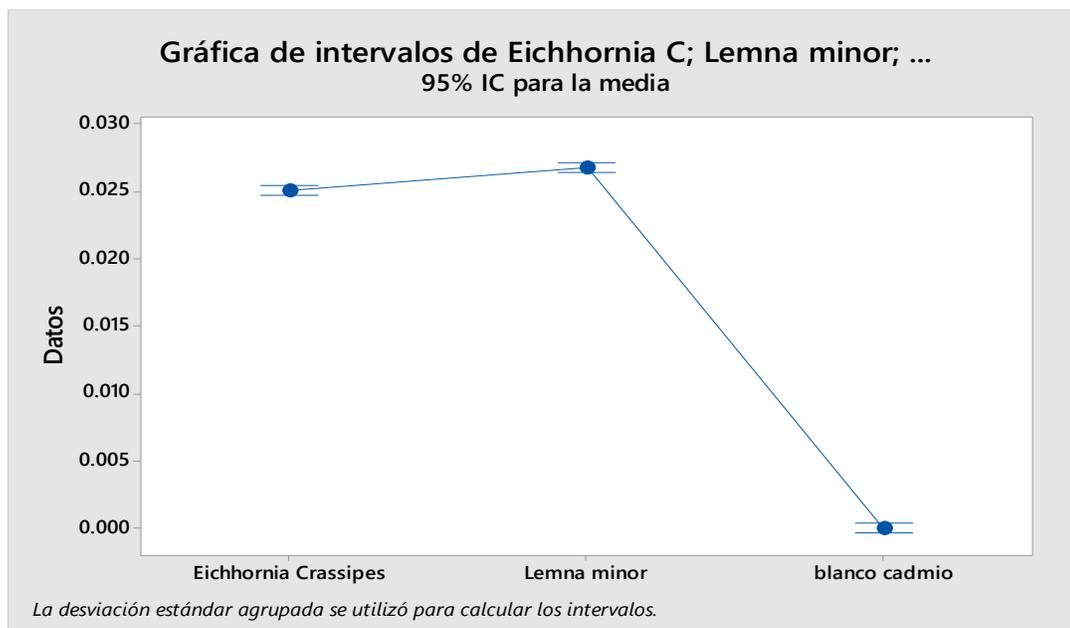
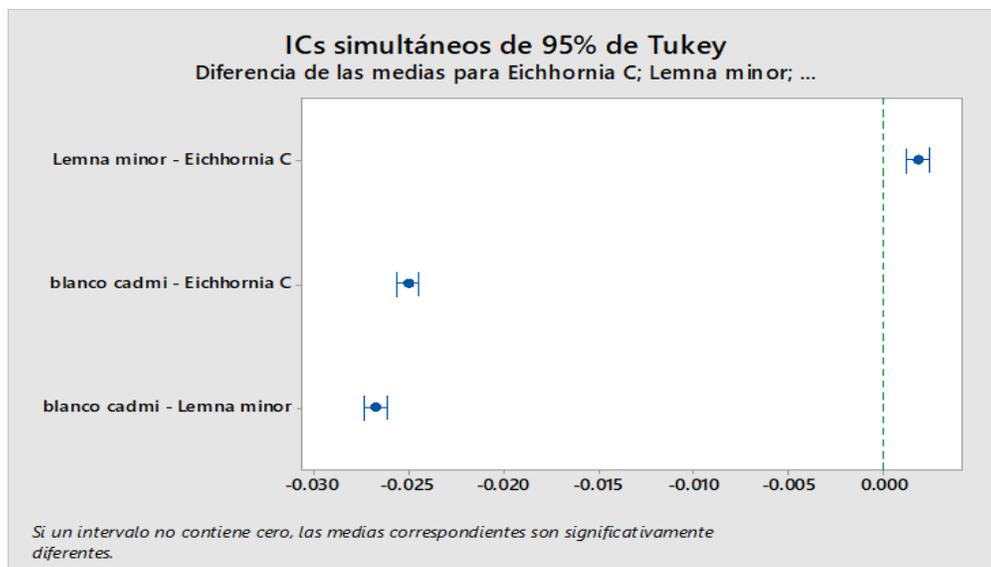


Figura 15

Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes, Lemna minor y muestra en blanco en la depuración de plomo utilizando método Tukey.



Método ANOVA de un solo factor para comparar los resultados obtenidos del tratamiento con *Eichhornia crassipes* en la depuración de plomo a los 5, 15 y 25 días.

Tabla 40

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tiempo	3	5; 15; 25

Tabla 41

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	2	0.000011	0.000005	0.59	0.583
Error	6	0.000055	0.000009		
Total	8	0.000066			

Tabla 42

Medias

Tiempo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
5	3	0.088333	0.001528	(0.084043; 0.092624)
15	3	0.090000	0.001000	(0.085710; 0.094290)
25	3	0.08733	0.00493	(0.08304; 0.09162)

Nota: Desv.Est. agrupada = 0.00303681

Tabla 43

Información del método de Tukey y una confianza de 95%

Tiempo	N	Media	Agrupación
15	3	0.090000	A
5	3	0.088333	A
25	3	0.08733	A

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 44

Resultado de prueba ANOVA para comparar la depuración de plomo con Eichhornia crassipes a los 5, 15 y 25 días

Prueba estadística ANOVA	
Hipotesis	$H_0 =$ No existe diferencia significativa entre las medias ($u_1 = u_2$). $H_1 =$ Existe diferencia significativa entre las medias ($u_1 \neq u_2$).
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$
p	0,583
Decisión estadística	Se acepta la hipótesis nula
Conclusión	Se cumple el supuesto de desigualdad de varianzas al tener una significancia del 5 %.

Nota: Como el valor estadístico de probabilidad asociada (p) es igual a 0,583, este valor es mayor al nivel de significancia de 0,05, se concluye que no existe diferencia estadística significativa entre la depuración de plomo con *Eichhornia crassipes* entre los días 5, 15 y 25.

Figura 16

Gráfica de intervalos de Eichhornia crassipes en función de 5, 15 y 25 días de depuración de plomo.

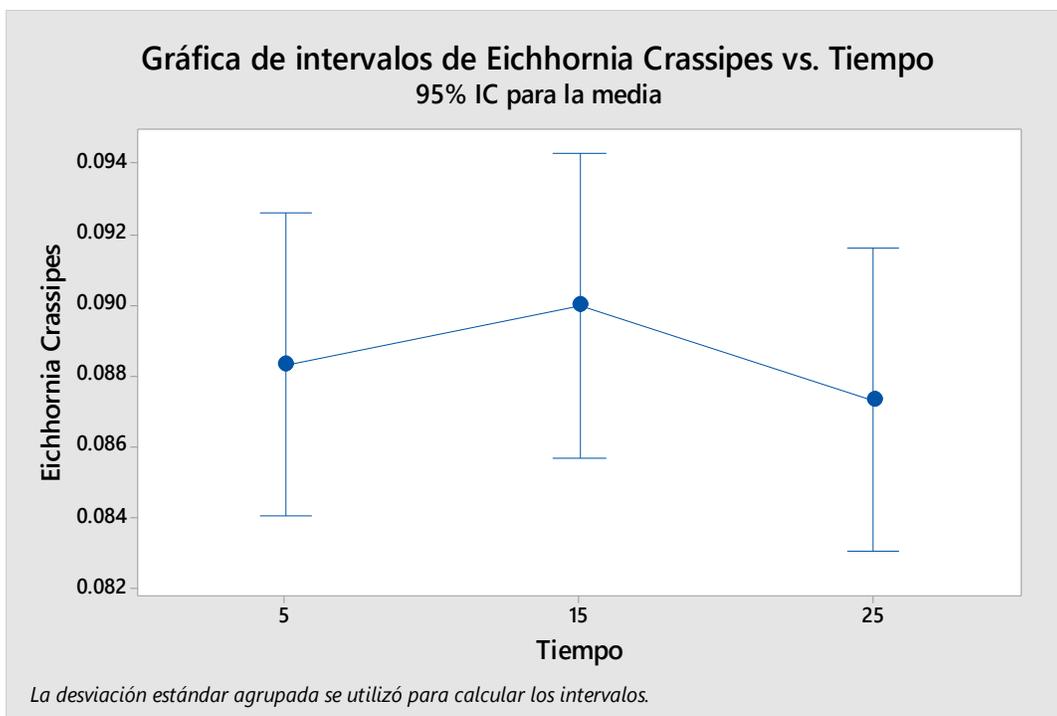
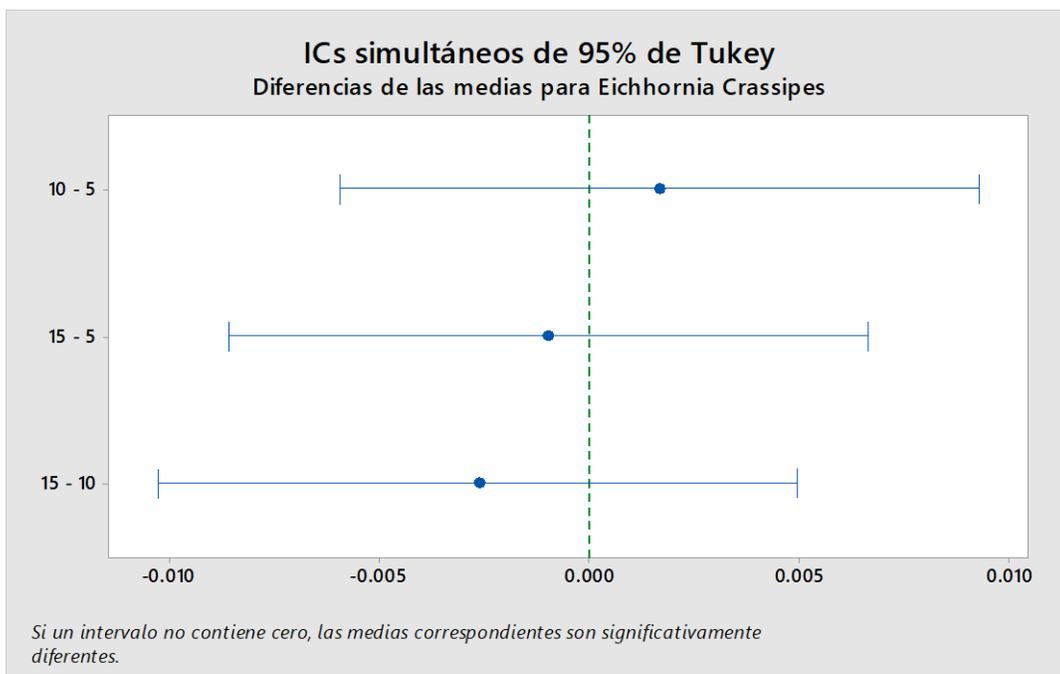


Figura 17

Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes en función de 5, 15 y 25 días de depuración de plomo utilizando método Tukey.



Método ANOVA de un solo factor para comparar los resultados obtenidos del tratamiento con Lemna minor en la depuración de plomo a los 5, 15 y 25 días.

Tabla 45

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tiempo	3	5; 15; 25

Tabla 46

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	2	0.000033	0.000016	4.00	0.079
Error	6	0.000025	0.000004		
Total	8	0.000058			

Tabla 47*Medias*

Tiempo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
5	3	0.096000	0.001000	(0.093136; 0.098864)
15	3	0.098000	0.001000	(0.095136; 0.100864)
25	3	0.093333	0.00321	(0.09047; 0.09620)

Nota: Desv.Est. agrupada = 0.00202759

Tabla 48*Información del método de Tukey y una confianza de 95%*

Tiempo	N	Media	Agrupación
15	3	0.098000	A
5	3	0.096000	A
25	3	0.093333	A

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 49

Resultado de prueba ANOVA para comparar la depuración de plomo con Lemna minor a los 5, 15 y 25 días

Prueba estadística ANOVA

Hipotesis $H_0 =$ No existe diferencia significativa entre las medias ($\mu_1 = \mu_2$).

$H_1 =$ Existe diferencia significativa entre las medias ($\mu_1 \neq \mu_2$).

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

p	0,079
---	-------

Decisión estadística	Se acepta la hipótesis nula
----------------------	-----------------------------

Conclusión	Se cumple el supuesto de desigualdad de varianzas al tener una significancia del 5 %.
------------	---

Nota: Como el valor estadístico de probabilidad asociada (p) es igual a 0,079, este valor es mayor al nivel de significancia de 0,05, se concluye que no existe diferencia estadística significativa entre la depuración de plomo con Lemna minor entre los días 5, 15 y 25.

Figura 18

Gráfica de intervalos de Lemna minor en función de 5, 15 y 25 días de depuración de plomo

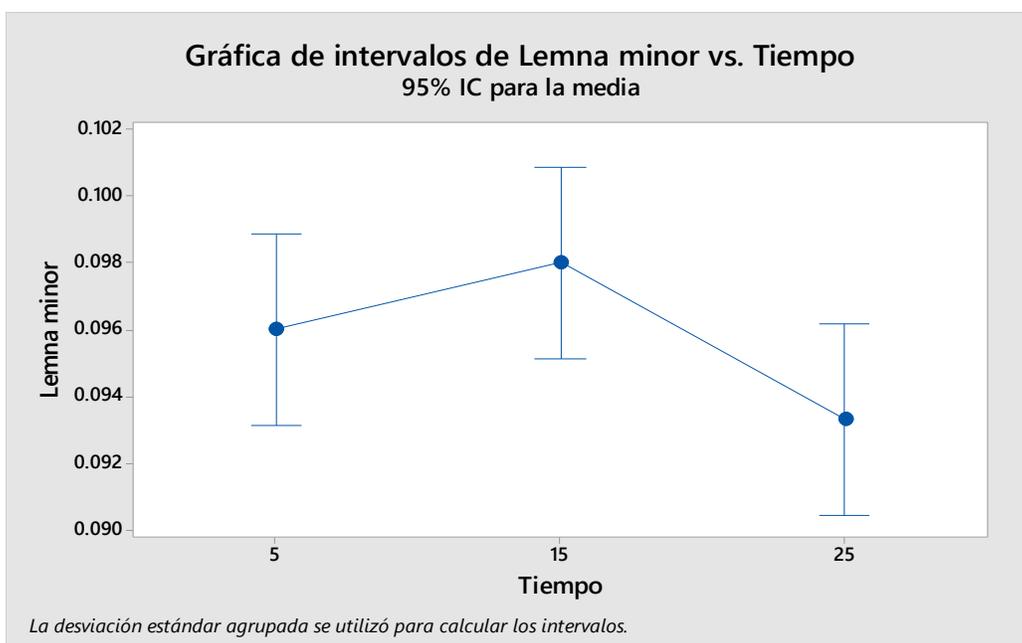
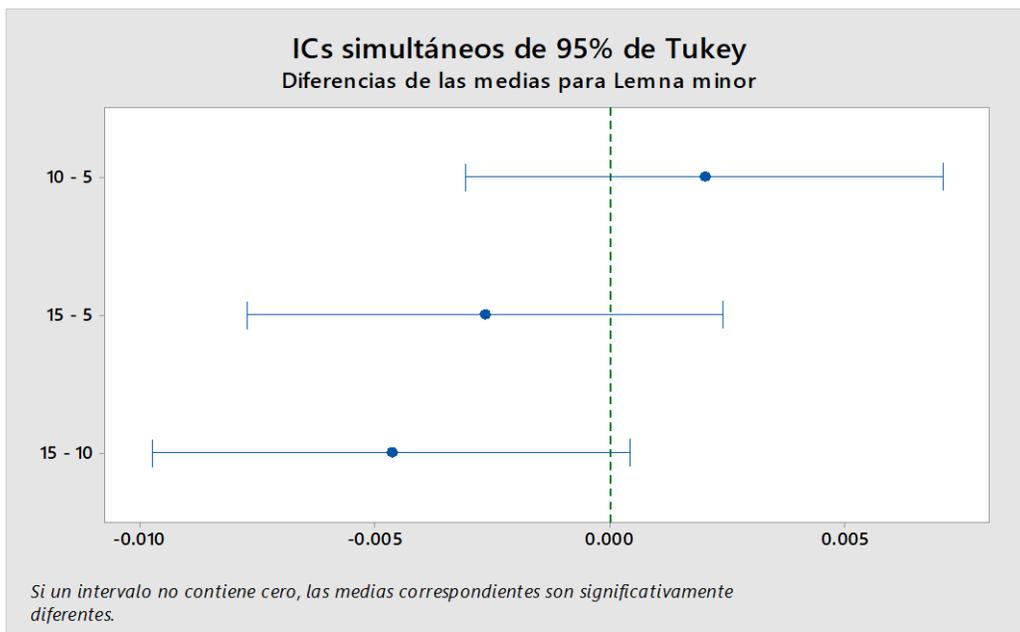


Figura 19

Diferencia de las medias para Lemna minor en función de 5, 15 y 25 días de depuración de plomo utilizando método Tukey.



Método ANOVA de un solo factor para comparar los resultados obtenidos del tratamiento con *Eichhornia crassipes* en la depuración de cadmio a los 5, 15 y 25 días.

Tabla 50

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tiempo	3	5; 15; 25

Tabla 51

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	2	0.000000	0.000000	0.81	0.489
Error	6	0.000000	0.000000		
Total	8	0.000000			

Tabla 52*Medias*

Tiempo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
5	3	0.025167	0.000231	(0.024927; 0.025407)
15	3	0.025000	0.000100	(0.024760; 0.025240)
25	3	0.025033	0.000153	(0.024793; 0.025273)

Nota: Desv.Est. agrupada = 0.000169967

Tabla 53*Información del método de Tukey y una confianza de 95%*

Tiempo	N	Media	Agrupación
5	3	0.025167	A
15	3	0.025033	A
25	3	0.025000	A

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 54

Resultado de prueba ANOVA para comparar la depuración de cadmio con Eichhornia crassipes a los 5, 15 y 25 días

Prueba estadística ANOVA

Hipotesis $H_0 =$ No existe diferencia significativa entre las medias ($\mu_1 = \mu_2$).

$H_1 =$ Existe diferencia significativa entre las medias ($\mu_1 \neq \mu_2$).

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

p	0,489
Decisión estadística	Se acepta la hipótesis nula
Conclusión	Se cumple el supuesto de desigualdad de varianzas al tener una significancia del 5 %.

Nota: Como el valor estadístico de probabilidad asociada (p) es igual a 0,489, este valor es mayor al nivel de significancia de 0,05, se concluye que no existe diferencia estadística significativa entre la depuración de cadmio con *Eichhornia crassipes* entre los días 5, 15 y 25.

Figura 20

Gráfica de intervalos de Eichhornia crassipes en función de 5, 15 y 25 días de depuración de cadmio

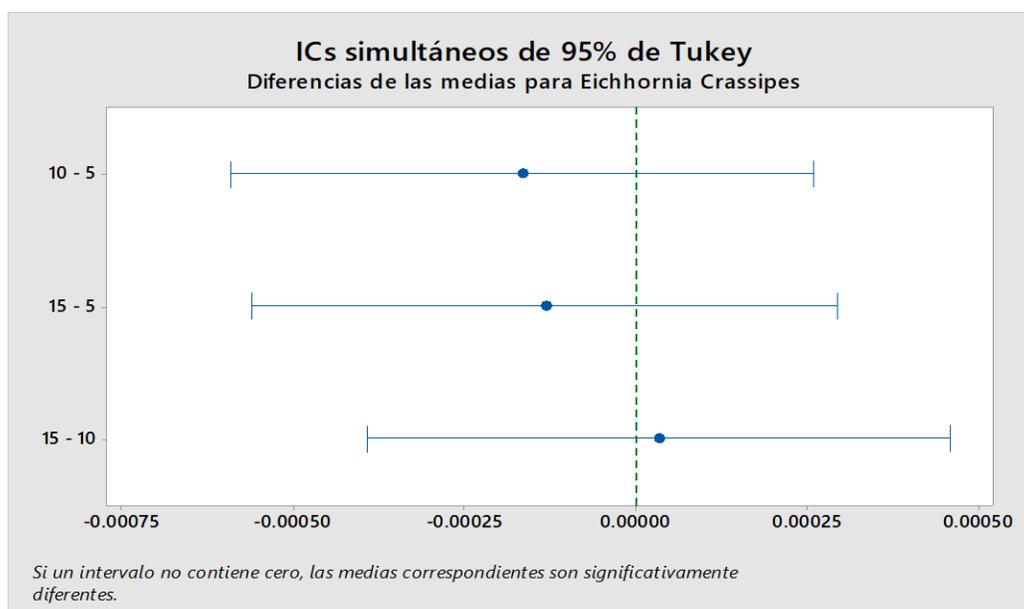
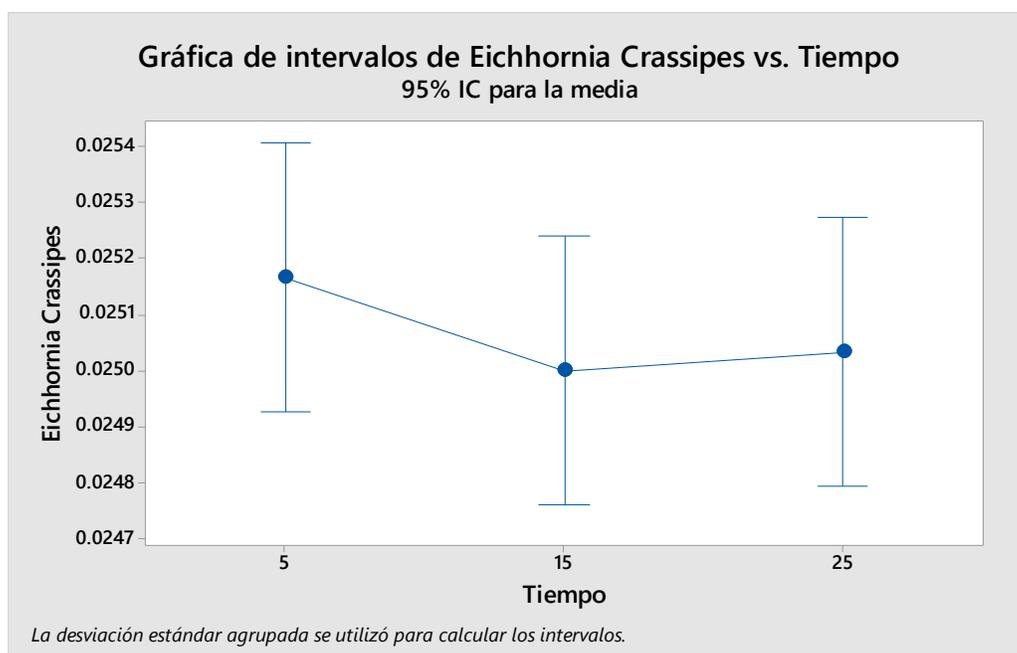


Figura 21

Diferencia de las medias para Eichhornia crassipes en función de 5, 15 y 25 días de depuración de cadmio utilizando método Tukey.



Método ANOVA de un solo factor para comparar los resultados obtenidos del tratamiento con Lemna minor en la depuración de cadmio a los 5, 15 y 25 días.

Tabla 55

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tiempo	3	5; 15; 25

Tabla 56

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	2	0.000000	0.000000	1.56	0.285
Error	6	0.000000	0.000000		

Total	8	0.000001
-------	---	----------

Tabla 57*Medias*

Tiempo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
5	3	0.026400	0.000265	(0.025992; 0.026808)
15	3	0.026700	0.000300	(0.026292; 0.027108)
25	3	0.026800	0.000300	(0.026392; 0.027208)

Nota: Desv.Est. agrupada = 0.000288675

Tabla 58

Información del método de Tukey y una confianza de 95%

Tiempo	N	Media	Agrupación
15	3	0.026800	A
25	3	0.026700	A
5	3	0.026400	A

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 59

Resultado de prueba ANOVA para comparar la depuración de cadmio con Lemna minor a los 5, 15 y 25 días

Prueba estadística ANOVA

Hipotesis $H_0 =$ No existe diferencia significativa entre las medias ($\mu_1 = \mu_2$).

$H_1 =$ Existe diferencia significativa entre las medias ($\mu_1 \neq \mu_2$).

Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$
p	0,285
Decisión estadística	Se acepta la hipótesis nula
Conclusión	Se cumple el supuesto de desigualdad de varianzas al tener una significancia del 5 %.

Nota: Como el valor estadístico de probabilidad asociada (p) es igual a 0,285, este valor es mayor al nivel de significancia de 0,05, se concluye que no existe diferencia estadística significativa entre la depuración de cadmio con Lemna minor entre los días 5, 15 y 25.

Figura 22

Gráfica de intervalos de Lemna minor en función de 5, 15 y 25 días de depuración de cadmio

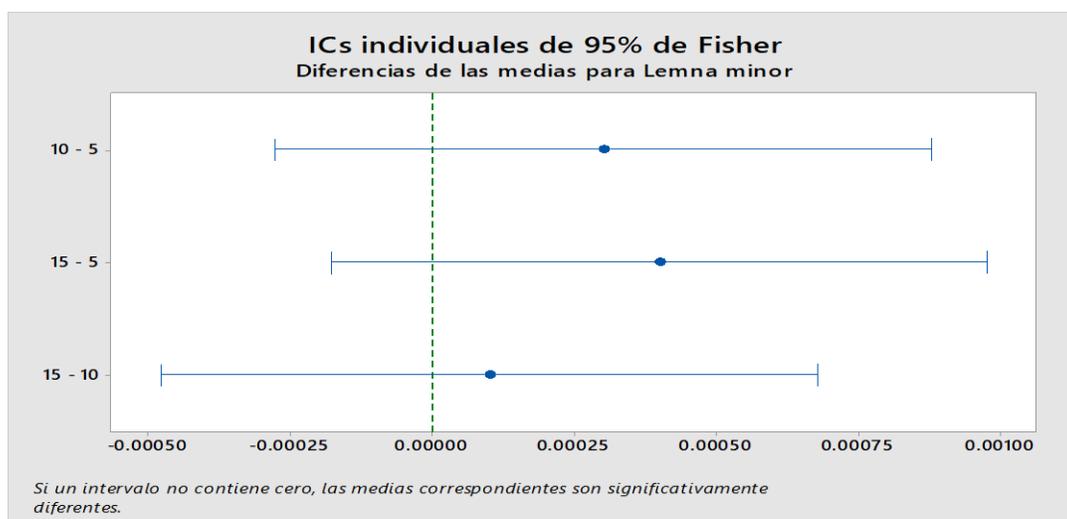
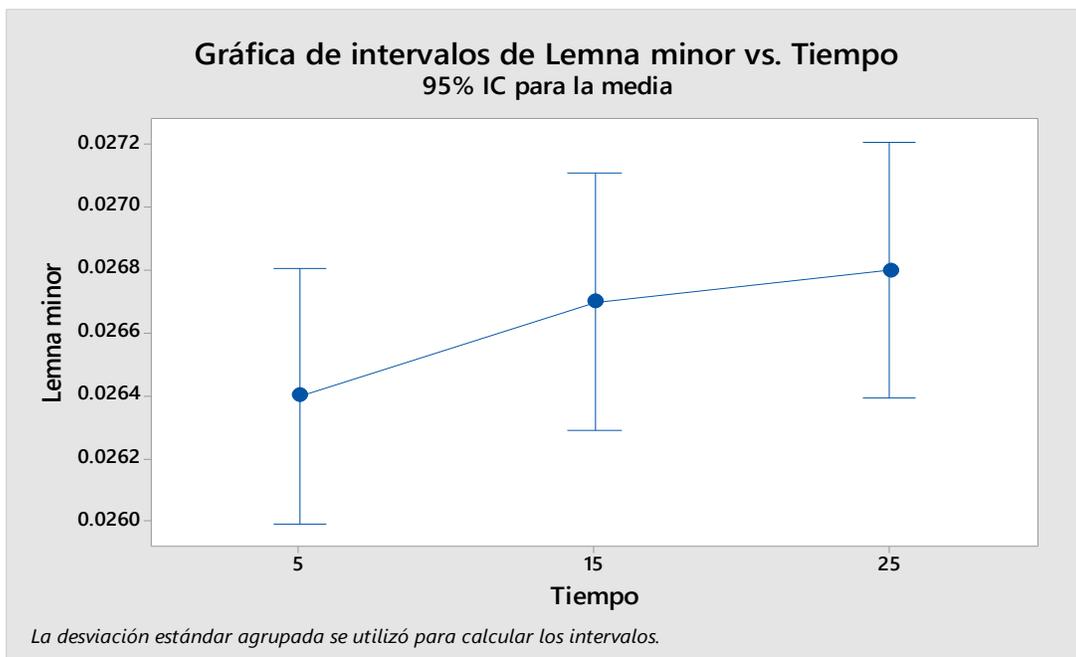


Figura 23

Diferencia de las medias para Lemna minor en función de 5, 15 y 25 días de depuración de cadmio utilizando método Tukey



A partir del resultado ANVA se obtiene un valor de 0.4%, resultado que indica que al menos dos de las medias son diferentes en la depuración de plomo y cadmio, al realizar la comparación con los resultados obtenidos con ANOVA podemos discutir que ambas macrófitas presentan una eficiencia alta en la depuración de plomo y cadmio obteniéndose valores entre 60 a 100% en la depuración de estos metales pesados, pero es necesario realizar un análisis más profundo de los resultados obtenidos para lo cual se verificad que:

La eficiencia obtenida en la depuración de plomo muestra que, no existe diferencia estadística significativa entre el uso de Eichhornia crassipes y Lemna minor, al tener un valor asociado de p igual a 0.067 con lo cual se acepta la hipótesis nula, precisándose la cercanía de resultados entre estos dos tratamientos. Los resultados muestran una depuración de plomo máxima de 82.73% utilizando Eichhornia crassipes y 90% utilizando Lemna minor, además se

verifica en el gráfico de intervalos, la cercanía de resultados en los intervalos de la gráfica obtenida, del mismo modo haciendo uso del método de Tukey, el cual muestra una aproximación a 0, lo cual se traduce en una menor diferencia de las medias.

Al comparar los resultados obtenidos en la depuración de plomo haciendo uso de *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* y muestra en blanco se observa que existe una diferencia estadística significativa, al tener un valor asociado de p igual a 0.00 con lo cual se rechaza la hipótesis nula, además se verifica en el gráfico de intervalos, la cercanía de resultados entre la depuración de plomo utilizando *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*; y la diferencia

estadística con la muestra sin tratamiento, obteniéndose valores de 0% en la depuración de plomo al no usar ningún tratamiento; haciendo uso método de Tukey se presenta una aproximación a 0 entre los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*; y un valor distante de 0 en comparación con la muestra sin tratamiento.

La eficiencia obtenida en la depuración de cadmio muestra que existe diferencia estadística significativa entre el uso de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, al tener un valor asociado de p igual a 0.02 con lo cual se rechaza la hipótesis nula, precisándose la diferencia de resultados entre estos dos tratamientos, al obtenerse una depuración de 84.33 haciendo uso de *Eichhornia crassipes* y 90.33% haciendo uso de *Lemna minor*, se verifica también en el gráfico de intervalos, que existe una ligera distancia entre los intervalos obtenidos, en método de Tukey se observa que distan de un valor 0, lo cual indica una diferencia entre las medias.

Al comparar los resultados obtenidos en la depuración de cadmio haciendo uso de *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* y muestra en blanco se observa que existe diferencia estadística significativa al tener un valor asociado de p igual a 0.00 con lo cual se rechaza la hipótesis nula, precisándose la diferencia estadística entre los resultados de los tratamientos, además se verifica en la gráfica de intervalos, la cercanía de resultados de intervalos entre la depuración de cadmio utilizando *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*; y la diferencia estadística

con la muestra sin tratamiento, obteniéndose valores de 0% en la depuración de plomo al no usar ningún tratamiento; haciendo uso del método de Tukey se presenta una aproximación a 0 entre los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*; y un valor distante de 0 en comparación con la muestra sin tratamiento, lo cual indica una diferencia entre las medias.

Otro punto importante es que en la depuración de plomo por medio del tratamiento con *Eichhornia crassipes* no existe diferencia estadística significativa entre los tiempos de 5, 15 y 25 días (79%, 82.73% y 76.36% de depuración de plomo respectivamente), al obtenerse un valor de p asociado a 0.583 con lo cual se acepta la hipótesis nula, y se verifica que al no tener una diferencia estadística significativa es mejor retirar las macrófitas a los 15 días de tratamiento.

De igual modo en la depuración de plomo por medio del tratamiento con *Lemna minor* no existe diferencia estadística significativa entre los tiempos de 5, 15 y 25 días (84.33%, 90% y 82.73% de depuración de plomo respectivamente), al obtenerse un valor de p asociado a 0.079 con lo cual se acepta la hipótesis nula, y se verifica que al no tener una diferencia estadística significativa es mejor retirar las macrófitas a los 15 días de tratamiento.

Se verifica también que en la depuración de cadmio por medio del tratamiento con *Eichhornia crassipes* no existe diferencia estadística significativa entre los tiempos de 5, 15 y 25 días (84.73%, 83% y 83% de depuración de cadmio respectivamente), al obtenerse un valor de p asociado a 0.489 con lo cual se acepta la hipótesis nula, y se verifica que al no tener una diferencia estadística significativa es mejor retirar las macrófitas a los 15 días de tratamiento.

Del mismo modo en la depuración de cadmio por medio del tratamiento con *Lemna minor* no existe diferencia estadística significativa entre los tiempos de 5, 15 y 25 días (89%, 88% y 90.33% de depuración de cadmio respectivamente), al obtenerse un valor de p asociado a 0.285 con lo cual se acepta la hipótesis nula, y se verifica que al no tener una diferencia estadística significativa es mejor retirar las macrófitas a los 15 días de tratamiento.

CAPÍTULO V. Conclusiones

Las macrófitas flotantes *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* tienen una capacidad de depuración de plomo y cadmio alta, superior a 70% comparada con muestras sin tratamiento en el que se corrobora una depuración de 0%, verificándose además que entre estos dos tratamientos no existe diferencia estadística significativa en el tratamiento de agua contaminada por plomo a diferencia del tratamiento de aguas contaminadas por cadmio, donde la *Lemna minor* tiene una capacidad máxima de depuración de 90.33% superior a al 84.33% de la *Eichhornia crassipes*.

La depuración de plomo utilizando *Eichhornia crassipes* se obtuvo un mejor resultado entre los 5 y 15 días de depuración, cabe resaltar que no existe diferencia estadística significativa entre la depuración de plomo a los 5, 15 y 25 días. Concluyéndose que 05 días es un periodo óptimo para obtener los mejores resultados (79.09.%) y evitar pérdidas de contaminante.

La depuración de cadmio utilizando *Eichhornia crassipes* se obtuvo un mejor resultado entre los 5 y 15 días de depuración, cabe resaltar que no existe diferencia estadística significativa entre la depuración de plomo a los 5, 15 y 25 días. Concluyéndose que 5 días es un periodo óptimo para obtener los mejores resultados (84.33%) y evitar pérdidas de contaminante.

La depuración de plomo utilizando *Lemna minor* se obtuvo un mejor resultado entre los 5 y 15 días de depuración, cabe resaltar que no existe diferencia estadística significativa entre la depuración de plomo a los 5, 15 y 25 días. Concluyéndose que 5 días es un periodo óptimo para obtener los mejores resultados (86.36%) y evitar pérdidas de contaminante.

La depuración de cadmio utilizando *Lemna minor* se obtuvo un mejor resultado entre 5 y 15 días de depuración, cabe resaltar que no existe diferencia estadística significativa entre la

depuración de plomo a los 5, 15 y 25 días. Concluyéndose que 5 días es un periodo óptimo para obtener los mejores resultados (89%) y evitar pérdidas de contaminante.

CAPÍTULO VI. Recomendaciones

Se recomienda tener en cuenta el pH y temperatura en futuros planes de piloto de depuración de agua con macrófitos flotantes, ya que éstos crecen en diferentes climas.

Se recomienda trabajar con un tiempo de aplicación de 5 días utilizando *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, ya que el mayor porcentaje de depuración se da durante los 5 primeros días.

Se recomienda la aplicación de esta técnica en aguas lenticas como en movimiento, así como un monitoreo continuo tanto en superficie como en profundidad.

Al finalizar el estudio se recomienda el uso de *Lemna minor*, por su resistencia y su capacidad de absorción alta.

CAPÍTULO VII. Bibliografía

Aquino Espinoza, P. (2017). Calidad del agua en el Perú: retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales. Derecho, Ambiente y Recursos Naturales.

Arroyave, M. 2004. La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): Una planta acuática promisoría. Revista EIA 1:33-38

Bricker, T. J., Pichtel, J., Brown, H. J., & Simmons, M. (2001). Phytoextraction of Pb and Cd from a superfund soil: effects of amendments and croppings. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 36(9), 1597-1610.

Castillo Rojas, EW. 2017. Eficiencia de *Lemna* sp y *Eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín. Tesis de Pregrado, Cajamarca, Perú, UNC. 107p.

Domínguez, M; Gómez, S y Ardila, A. 2016. Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera. *Revista UGCiencia*, 22: 227-237.

Font, P. 2014. *Botánica pintoresca: La ciencia de las plantas al alcance de todos*. Barcelona, España, Ediciones Península. 736p.

Garay Aparicio, IB. 2017. Eficacia de las Macrófitas Jacinto y Lenteja de agua para disminuir la concentración del boro, en las aguas minerotermales de la "Laguna la Milagrosa"- Chilca, 2017. Tesis de Pregrado, Lima, Perú, UCV. 97p.

Garbisu, C; Alkorta, I. 2003. Basic concept son heavy metal soil bioremediation. *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection* 3 (1), 58-66.

Garcia, P; Fernandez, R; Cirujano, S. 2010. *Macrofitos: Habitantes del agua*. Andalucía, España. 145p.

Jaramillo Jumbo, M; Flores Campoverde, ED. 2012. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Tesis de Pregrado, Cuenca, Ecuador, UPS. 128p.

Lan, Y., Cui, B., Li, X., Han, Z. & Dong, W. 2010. The determinants and control measures of the expansion of aquatic macrophytes in wetlands. *Procedia Environmental Sciences* 18(2), 1643–1651.

Londoño, I; Londoño, P; Muñoz, F. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14(2), 145-153.

Loor Quintero, BA. 2017. Propuesta de fitorremediación como alternativa para absorber contaminantes en aguas residuales provenientes del relleno sanitario del Cantón La Concordia. Tesis de Pregrado, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, UTC. 46p.

López, R. A. N., Vong, Y. M., Borges, R. O., & Olgún, E. J. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia*, 69-83.

Manahan, S.M. (2007). Introducción a la química ambiental. Mexico, Mexico, Editorial Reverté, S.A. 789p.

Marruecos, L; Nogué, S; Nolla, J. 1993. Toxicología clínica. Madrid, España Springer-Verlag Ibérica. 556p.

Meerhoff, M; Mazzeo, N. 2004. Importancia de las plantas flotantes libres de gran porte en la conservación y rehabilitación de lagos someros de Sudamérica. *Ecosistema* 13(2), 13-22.

Mera Ponce, SR. 2016. Evaluación de la bioconcentración de dos especies de macrofitas acuáticas (*Eichhornia Crassipes* y *Lemna Spp*) en la fitorremediación de un medio contaminado con plomo. Tesis de Pregrado, Riobamba, Ecuador, ESPOCH. 103p.

Metcalf; Eddy. 1995. Ingeniería de aguas residuales en tratamiento, vertido y reutilización. España, Madrid. 528p.

Miskoski, S; Porcal, G; Granero, A; Grosso, V. 2018. La cantidad de sustancia, el mol y la masa molar. Argentina, Rio Cuarto. 22p.

MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. Aprende a prevenir los efectos del mercurio.

MINAM (Ministerio del Ambiente). 2010. Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas.

Nava-Ruiz, C; Méndez-Armenta, M. 2011. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias* 16(3), 140–147.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2018. Intoxicación por plomo y salud.

PCM (Presidencia del Consejo de Ministros). 2008. Decreto Supremo N° 037-2008-PCM. Límites Máximos Permisibles de efluentes líquidos para el Sub-sector Hidrocarburos.

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2007. Perspectivas del medio ambiente mundial: medio ambiente para el desarrollo. Traducido e impreso por: Phoenix Design Aid. Dinamarca.

Poma Llantoy, V. R., & Valderrama Negrón, A. C. (2014). Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (II) y mercurio (II) con la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(3), 164-173.

Quispe, L; Arias, J; Martinez, C; Cruz, M. 2017. Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo* 3 (1).

Red Muqui. 2014. Propuesta de políticas públicas para una nueva minería en el Perú. Grupo Propuesta Ciudadana. Lima, Perú, Sinco editores. 188p.

Reyes, Y; Vergara, I; Torres, O; Díaz, M; González, E. 2016. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y desarrollo* 16(2), 66-67.

Sánchez, S; Chávez, J; Lucio L. 2015. Pasivos ambientales mineros en la región Cajamarca. Grufides.

Sandoval Vilchez, J. D. (2019). Eficiencia del jacinto de agua *eichhornia crassipes* y lenteja de agua *lemna minor* I. en la remoción de cadmio en aguas residuales.

Zayed, A. 1998. Phytoaccumulation of trace elements by wetlands. *Journal of Environmental Quality*. Access DL 27(3), 715-721.

CAPÍTULO VIII. Anexos

Álbum fotográfico



Foto 1. *Habilitación del espacio de trabajo*



Foto 2. *Impermeabilización y control de temperatura*



Foto 3. Contenedores 1L capacidad y boca ancha



Foto 4. Armado del sistema de experimentación



Foto 5. Toma de muestras



Foto 6. Etiquetado de muestras

Tabla 60

Matriz de consistencia

Problema de investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Materiales	Métodos
¿Cuál es la eficiencia de las macrófitas flotantes en la depuración de aguas contaminadas por plomo y cadmio?	<p>General: Determinar la eficiencia de macrófitas flotantes en la depuración de aguas contaminadas por plomo y cadmio.</p>		Independiente	60–100% absorción	25 plantas de <i>Lemna minor</i> .	Observación Descripción Experimentación
				5–59% absorción	25 plantas de <i>Eichhornia Crassipes</i> .	
	<p>Específico: Determinar los PPM de plomo depurados del agua usando <i>Eichhornia crassipes</i>.</p>	Las macrófitas flotantes tienen una eficiencia alta en la depuración de aguas contaminadas por plomo y cadmio.	Dependiente	0–5% absorción	10 gr de acetato de plomo	
	<p>Determinar los PPM de cadmio depurados del agua <i>Eichhornia crassipes</i></p> <p>Determinar los PPM de plomo depurados del agua usando <i>Lemna minor</i>.</p>			<u>Ppm</u>	10 gr de acetato de cadmio	
		<u>Depuración</u>	<u>ppm</u>			

Tabla 61*Presupuesto de la investigación*

Presupuesto aproximado de la investigación (en S/.)

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitari	Costo total
Recursos disponibles				
Jacintos de agua	unid	25	S/10.00	S/.250.00
Lentejas de agua	unid	500	S/0.30	S/.150.00
Internet	mes	3	S/100.00	S/.300.00
Análisis de laborator	unid	16	S/70.00	S/:1120.00
Recursos no disponibles				
Contenedor de vidric	unid	5	S/50.00	S/.250.00
Útiles de escritorio	unid	1	S/ 30.00	S/.30.00
Impresión	millar	1/2	S/.100.00	S/.100.00
Empastado	unid	5	S/.30.00	S/.150.00
Imprevistos	unid	1	S/. 325.00	S/. 325.00
Total				S/.2675.00



LASACI

INFORME DE ANÁLISIS

LASACI - IQUNT

SOLICITANTE	:JHONATAN AQUINO CHILÓN
MUESTRA	:AGUA
PROCEDENCIA	:CAJAMARCA
FECHA DE INGRESO	:30 JULIO 2021
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

CODIFICACIÓN	M1 - 001	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.107
CADMIO	mg/L	0.0347

CODIFICACIÓN	M1 - 002	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.098
CADMIO	mg/L	0.0366

CODIFICACIÓN	M1 - 003	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.111
CADMIO	mg/L	0.0318

CODIFICACIÓN	M - T1 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.023

CODIFICACIÓN	M - T2 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.019





UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACIÓN



LASACI

CODIFICACIÓN	M – T4 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0047

CODIFICACIÓN	M – T5 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0051

CODIFICACIÓN	M – T7 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.015

CODIFICACIÓN	M – T8 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.011

CODIFICACIÓN	M – T10 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0033

CODIFICACIÓN	M – T11 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0036

Método de absorción atómica

TRUJILLO, 05 DE AGOSTO DEL 2021



AGUAS - SUELOS – ALIMENTOS – MINERALES – ACEITE – CARBON – CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

✉ lasaciunt@gmail.com ☎ 949959632



LASACI

INFORME DE ANÁLISIS

LASACI - IQUNT

SOLICITANTE	:JHONATAN AQUINO CHILÓN
MUESTRA	:AGUA
PROCEDENCIA	:CAJAMARCA
FECHA DE INGRESO	:30 JULIO 2021
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

CODIFICACIÓN	M - T1 - 2 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.0235

CODIFICACIÓN	M - T2 - 2 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.018

CODIFICACIÓN	M - T4 - 2 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0052

CODIFICACIÓN	M - T5 - 2 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0049

CODIFICACIÓN	M - T7 - 2 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.015





UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACIÓN



LASACI

CODIFICACIÓN	M – T8 - 2(LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.011

CODIFICACIÓN	M – T10- 2 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0030

CODIFICACIÓN	M – T11 - 2 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0040

Método de absorción atómica

TRUJILLO, 05 DE AGOSTO DEL 2021



AGUAS - SUELOS – ALIMENTOS – MINERALES – ACEITE – CARBON – CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

✉ lasaciunt@gmail.com ☎ 949959632



LASACI

INFORME DE ANÁLISIS

LASACI - IQUNT

SOLICITANTE	:JHONATAN AQUINO CHILÓN
MUESTRA	:AGUA
PROCEDENCIA	:CAJAMARCA
FECHA DE INGRESO	:30 JULIO 2021
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

CODIFICACIÓN	M - T1 - 3 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.0220

CODIFICACIÓN	M - T2 - 3 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.0193

CODIFICACIÓN	M - T4 - 3 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0051

CODIFICACIÓN	M - T5 - 3 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0050

CODIFICACIÓN	M - T7 - 3 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.0153





UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACIÓN



LASACI

CODIFICACIÓN	M – T8 – 3 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.011

CODIFICACIÓN	M – T10- 3 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0029

CODIFICACIÓN	M – T11 - 3 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0039

Método de absorción atómica

TRUJILLO, 05 DE AGOSTO DEL 2021



AGUAS - SUELOS – ALIMENTOS – MINERALES – ACEITE – CARBON – CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

✉ lasaciunt@gmail.com ☎ 949959632



LASACI

INFORME DE ANÁLISIS

LASACI - IQUNT

SOLICITANTE	:JHONATAN AQUINO CHILÓN
MUESTRA	:AGUA
PROCEDENCIA	:CAJAMARCA
FECHA DE INGRESO	:11 DE AGOSTO DEL 2021
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

CODIFICACIÓN	Agua sin tratamiento	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	<0.001
CADMIO	mg/L	<0.001

CODIFICACIÓN	M - T13 (BLANCO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.11

CODIFICACIÓN	M - T14 (BLANCO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.033

CODIFICACIÓN	M - T3 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.026

CODIFICACIÓN	M - T6 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.0051





UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO



LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACIÓN

LASACI

CODIFICACIÓN	M - T9 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.019

CODIFICACIÓN	M - T12 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0029

Método de absorción atómica

TRUJILLO, 18 DE AGOSTO DEL 2021



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

✉ lasaciunt@gmail.com ☎ 949959632



LASACI

INFORME DE ANÁLISIS

LASACI - IQUNT

SOLICITANTE	:JHONATAN AQUINO CHILÓN
MUESTRA	:AGUA
PROCEDENCIA	:CAJAMARCA
FECHA DE INGRESO	:11 DE AGOSTO DEL 2021
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

CODIFICACIÓN	M – T3 -2 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0253

CODIFICACIÓN	M – T6 -2 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.0051

CODIFICACIÓN	M – T9 -2 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.0185

CODIFICACIÓN	M – T12 -2 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0030

Método de absorción atómica

TRUJILLO, 18 DE AGOSTO DEL 2021



AGUAS - SUELOS – ALIMENTOS – MINERALES – ACEITE – CARBON – CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

✉ lasaciunt@gmail.com ☎ 949959632



LASACI

INFORME DE ANÁLISIS

LASACI - IQUNT

SOLICITANTE	:JHONATAN AQUINO CHILÓN
MUESTRA	:AGUA
PROCEDENCIA	:CAJAMARCA
FECHA DE INGRESO	:11 DE AGOSTO DEL 2021
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

CODIFICACIÓN	M – T3 -2 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0260

CODIFICACIÓN	M – T6 -2 (JACINTO)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.0048

CODIFICACIÓN	M – T9 -2 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
PLOMO	mg/L	0.0183

CODIFICACIÓN	M – T12 -2 (LENTEJA)	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
CADMIO	mg/L	0.0030

Método de absorción atómica

TRUJILLO, 18 DE AGOSTO DEL 2021



AGUAS - SUELOS – ALIMENTOS – MINERALES – ACEITE – CARBON – CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

✉ lasaciunt@gmail.com ☎ 949959632