



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y TIEMPO DE CONTACTO EN LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS PLOMO (Pb) Y MERCURIO (Hg) PRESENTES EN AGUAS CONTAMINADAS UTILIZANDO CÁSCARA DE NARANJA (*CITRUS SINENSIS*) COMO ABSORBENTE NATURAL

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORES:

JOSSELYN MISHHELL BUSTAMANTE SARANGO Y

SHARON STEFANIA SALAZAR VILLARROEL

Riobamba - Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y
TIEMPO DE CONTACTO EN LA REMOCIÓN DE METALES
PESADOS PLOMO (Pb) Y MERCURIO (Hg) PRESENTES EN AGUAS
CONTAMINADAS UTILIZANDO CÁSCARA DE NARANJA (*CITRUS
SINENSIS*) COMO ABSORBENTE NATURAL**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORES: JOSSELYN MISHHELL BUSTAMANTE SARANGO

SHARON STEFANIA SALAZAR VILLARROEL

DIRECTORA: DRA. LOURDES CUMANDÁ CARRERA BELTRÁN

Riobamba - Ecuador

2023

©, Josselyn Mishell Bustamante Sarango & Sharon Stefania Salazar Villarroel

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, Josselyn Mishell Bustamante Sarango y Sharon Stefania Salazar Villarroel, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 29 de junio de 2023.



Josselyn Mishell Bustamante Sarango
220039195-7



Sharon Stefania Salazar Villarroel
050430732-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación **EVALUACION DEL EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y TIEMPO DE CONTACTO EN LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS PLOMO (Pb) Y MERCURIO (Hg) PRESENTES EN AGUAS CONTAMINADAS UTILIZANDO CÁSCARA DE NARANJA (CITRUS SINENSIS) COMO ABSORBENTE NATURAL**, realizado por las señoritas: **BUSTAMANTE SARANGO JOSSELYN MISHELL** y **SALAZAR VILLARROEL SHARON STEFANIA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-29
Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-29
Ing. Silvana Paola Ocaña Coello ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-29

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Edgar Bustamante y Carmen Sarango, a mis abuelos Moisés Sarango y María Apolo, mis seres queridos más importantes; quienes han sido mi apoyo incondicional durante todo este proceso y no podría haber llegado hasta aquí sin su amor, paciencia y sabiduría. Gracias por haberme dado la vida, por haberme criado con amor y por haberme brindado las herramientas necesarias para triunfar. Este logro es tanto suyo como mío, ya que su dedicación y compromiso han sido fundamentales para mi éxito. A mi hermana Nicoll, quien me apoyó e incentivó en mis estudios, por haber sido mi guía en los momentos difíciles, mi motivación en los momentos de incertidumbre y por haber creído en mí cuando yo mismo no lo hacía. A mi fiel compañero canino que me acompañó cada noche al filo de mi silla mientras cumplía mis responsabilidades. Espero que esta tesis sea un testimonio de mi agradecimiento y amor hacia ustedes y que se sientan orgullosos de este logro. Los quiero con todo mi corazón y les estaré siempre agradecida por todo lo que han hecho por mí.

Josselyn

A todas las personas que han sido una fuente de inspiración y motivación en mi vida. A mis abuelos Carlos Villarroel y Martha Scotland, quienes desde el cielo deben estar festejando este momento tan anhelado. A mi familia, en especial a mis padres Rodman Salazar y Cristina Villarroel, por su amor incondicional, por creer en mí y por darme las herramientas necesarias para perseguir mis sueños. A mis hermanos Arath y Aáron, por su apoyo incondicional, por las risas, las charlas y los momentos inolvidables que hemos compartido juntos. A todas las personas que, de una forma u otra, han contribuido a que este trabajo sea posible. Y, por último, pero no menos importante, a mí misma, por tener la valentía de seguir adelante, por no rendirme ante los obstáculos y por perseguir mis metas con determinación y pasión. Este trabajo está dedicado a todos ellos como muestra de cariño y agradecimiento por estar siempre para mí y no abandonarme en ninguna circunstancia.

Sharon

AGRADECIMIENTO

Nuestro más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Facultad de Ciencias por abrirnos sus puertas y brindarnos una educación de calidad. A todas las personas que nos han apoyado durante la realización de este trabajo. A nuestra directora de tesis, Dra. Cumandá Carrera, por su guía, paciencia y sabiduría a lo largo de todo el proceso. Gracias a sus consejos y comentarios, hemos podido mejorar y perfeccionar nuestro trabajo. También queremos agradecer a nuestras familias, por su amor, apoyo y aliento constante. Sin su amor incondicional y su confianza en nosotros, no habría sido posible llegar hasta aquí. Agradecemos también a nuestros amigos y compañeros de clase, por su colaboración, discusiones y motivación en todo momento, quienes fueron un gran apoyo para nosotros, y siempre nos han brindado su ayuda y amistad.

Josselyn & Sharon

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1. Problema de investigación	2
1.1.1. <i>Planteamiento del problema</i>	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Hipótesis.....	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Metales pesados.....	6
2.1.1. <i>Plomo (Pb)</i>	7
2.1.2. <i>Mercurio (Hg)</i>	9
2.2. Absorción.....	11
2.2.1. <i>Absorción química</i>	12
2.2.2. <i>Absorción física</i>	12
2.2.3. <i>Absorción Atómica</i>	12
2.3. Absorbancia.....	13
2.4. Naranja	14
2.4.1. <i>Origen</i>	14
2.4.2. <i>Citrus Sinensis</i>	15

2.4.3.	<i>Taxonomía y botánica</i>	16
2.4.4.	<i>Composición química</i>	17
2.4.5.	<i>Pectina</i>	17
2.4.6.	<i>Aceites esenciales</i>	18
2.5.	<i>Utilización de residuos de naranja</i>	19
2.5.1.	<i>Residuo de naranja como materia prima</i>	20
2.5.2.	<i>La cáscara de naranja como absorbente</i>	20
2.6.	Tamaño de partícula	21
2.7.	Tiempo de contacto	22
2.8.	Límites permisibles de metales pesados en aguas	22
2.9.	Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)	24
2.9.1.	<i>Beneficios de SPSS</i>	25
2.9.2.	<i>Técnicas estadísticas comunes en SPSS</i>	26
2.10.	Modelo estadístico	26
2.10.1.	<i>Análisis de varianza de tipo I – ANOVA I</i>	26
2.10.2.	<i>ANOVA de una vía</i>	27

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	29
3.1.	Alcance	29
3.2.	Enfoque	29
3.3.	Diseño de investigación	29
3.3.1.	<i>Según el método usado</i>	29
3.4.	Diseño experimental	29
3.4.1.	<i>Variables Dependientes</i>	29
3.4.2.	<i>Variables Independientes</i>	30
3.5.	Planteamiento de hipótesis	30
3.6.	Matriz de consistencia	30
3.7.	Operacionalización de variables	31
3.8.	Área de estudio	31
3.8.1.	<i>Ubicación geográfica</i>	32
3.8.2.	<i>Población de estudio</i>	32
3.8.3.	<i>Unidad de análisis</i>	32

3.8.4.	<i>Tamaño y selección de la muestra</i>	33
3.8.	Recolección de datos	33
3.8.1.	<i>Materia prima</i>	33
3.8.2.	<i>Selección</i>	34
3.8.3.	<i>Limpieza</i>	34
3.8.4.	<i>Operación de secado</i>	34
3.8.5.	<i>Operación de reducción y clasificación por tamaños</i>	35
3.9.	Método	35
3.9.1.	<i>Preparación de solución madre-Pb y Hg</i>	35
3.9.2.	<i>Determinación de la interacción del tiempo de contacto sobre el porcentaje de reducción de plomo y mercurio</i>	35
3.9.2.1.	<i>Cálculo para volumen añadido a muestras a agitar Pb</i>	36
3.9.2.2.	<i>Cálculo para volumen añadido a muestras a agitar Hg</i>	36
3.9.3.	<i>Determinación experimental del tamaño de partícula que permitirá alcanzar el mayor porcentaje de reducción de plomo y mercurio</i>	37
3.9.3.1.	<i>Cálculo de volumen añadido a cada muestra según su concentración Pb</i>	38
3.9.3.2.	<i>Cálculo de volumen añadido a cada muestra según su concentración Hg</i>	40
3.9.4.	<i>Ilustración del efecto del tamaño de partícula y tiempo de contacto sobre el porcentaje de reducción de plomo y mercurio</i>	42

CAPITULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	43
4.1.	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	43
4.1.1.	<i>Análisis de tiempo de contacto</i>	43
4.1.1.1.	<i>Datos de concentraciones corregidas Nitrato de Plomo II</i>	44
4.2.	Datos de concentraciones corregidas Nitrato de mercurio II	46
4.2.1.	<i>Análisis de tamaño de partícula</i>	48
4.3.	Datos de concentraciones corregidas Nitrato de Plomo II	48
4.4.	Datos de concentraciones corregidas Nitrato de mercurio II	50
4.4.1.	<i>Análisis de interacción de tiempo de contacto y tamaño de partícula</i>	51
4.5.	Comprobación de la hipótesis	55
4.5.1.	<i>Gráficas de interacción de representación del proceso de absorbancia de la cáscara de naranja</i>	56

4.6. Discusión.....	59
CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES	64

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Metales pesados más importantes, densidad y su categoría	6
Tabla 3-1:	Matriz de consistencia.....	30
Tabla 3-2:	Operacionalización de variables.....	31
Tabla 3-3:	Intervalos de tiempo para prueba.	36
Tabla 3- 4:	Diluciones para medición de nitrato de plomo II y nitrato de mercurio II.....	37
Tabla 3-5:	Diluciones para medición de nitrato de plomo II.	39
Tabla 3-6:	Diluciones para medición de nitrato de mercurio II.	41
Tabla 4-1:	Condiciones instrumentales para la medición de Plomo.	43
Tabla 4-2:	Absorbancia de tiempo de contacto en 0,5 mm.....	44
Tabla 4-3:	Absorbancia de tiempo de contacto en 1,0 mm.....	44
Tabla 4- 4:	Absorbancia de tiempo de contacto en 2,0 mm.....	45
Tabla 4-5:	Absorbancia de tiempo de contacto en 0,5 mm.....	46
Tabla 4- 6:	Absorbancia de tiempo de contacto en 1,0 mm.....	46
Tabla 4-7:	Absorbancia de tiempo de contacto en 2,0 mm.....	47
Tabla 4-8:	Absorbancia en tamaño de partícula 0,5 mm.	48
Tabla 4-9:	Absorbancia en tamaño de partícula 1,0 mm.....	48
Tabla 4-10:	Absorbancia en tamaño de partícula 2,0 mm.	49
Tabla 4-11:	Absorbancia en tamaño de partícula 0,5 mm.	50
Tabla 4-12:	Absorbancia en tamaño de partícula 1,0 mm.	50
Tabla 4- 13:	Absorbancia en tamaño de partícula 2,0 mm.	51
Tabla 4-14:	Análisis estadístico de varianza (ANOVA) para tiempo de contacto de N_2O_6Pb	52
Tabla 4- 15:	Análisis estadístico de varianza (ANOVA) para tiempo de contacto de $Hg(NO_3)_2$	52
Tabla 4-16:	Análisis estadístico de varianza (ANOVA) para tamaño de partícula de N_2O_6Pb	54
Tabla 4-17:	Análisis estadístico de varianza (ANOVA) para tamaño de partícula de $Hg(NO_3)_2$	54

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Partes de Citrus Sinensis.	16
Ilustración 2-2:	Estructura química de la pectina.	18
Ilustración 3-1:	Mapa de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “ESPOCH”.....	32
Ilustración 3-2:	Caracterización de material absorbente.....	34
Ilustración 4-1:	Gráfico de interacción de las medias de tiempo de contacto para N_2O_6Pb	56
Ilustración 4-2:	Gráfico de interacción de las medias de tiempo de contacto para $Hg(NO_3)_2$...	57
Ilustración 4-3:	Gráfico de interacción de las medias de tamaño de partícula para N_2O_6Pb	58
Ilustración 4-4:	Gráfico de interacción de las medias de tamaño de partícula para $Hg(NO_3)_2$..	59

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CONCENTRACIONES PARA ESTÁNDARES DE PLOMO
- ANEXO B:** CONCENTRACIONES PARA ESTÁNDARES DE MERCURIO
- ANEXO C:** ANÁLISIS TUKEY – TIEMPO DE CONTACTO PB
- ANEXO D:** ANÁLISIS TUKEY – TIEMPO DE CONTACTO HG
- ANEXO E:** ANÁLISIS TUKEY – TAMAÑO DE PARTÍCULA PB
- ANEXO F:** ANÁLISIS TUKEY – TAMAÑO DE PARTÍCULA HG
- ANEXO G:** PREPARACIÓN DE MATERIAL BIOSORBENTE
- ANEXO H:** PREPARACIÓN DE SOLUCIONES CONTAMINANTES Y SUS RESPECTIVOS ESTÁNDARES DE MEDICIÓN

RESUMEN

La falta de métodos efectivos para tratar la contaminación por metales tóxicos provenientes de la actividad industrial y minera representa una seria amenaza para la salud humana y el equilibrio ecológico, estos metales provenientes de diversas fuentes como suelos contaminados, residuos industriales y pesticidas agrícolas pueden ingresar en la cadena alimentaria, aumentando su concentración y causando intoxicación. El objetivo de la investigación fue evaluar el potencial de las cáscaras de naranja como material absorbente natural para eliminar metales pesados presentes en aguas contaminadas. Se empleó un enfoque cuantitativo y un diseño cuasiexperimental para evaluar el efecto del tamaño de partícula y el tiempo de contacto en la remoción de plomo y mercurio en aguas contaminadas. Se encontró que las cáscaras de naranja demostraron ser efectivas en la remoción de estos metales, estableciendo condiciones óptimas de agitación, temperatura y concentración para lograr una mayor absorción. En conclusión, los resultados destacaron el potencial de las cáscaras de naranja como material biosorbente para eliminar metales pesados. Sin embargo, se identificó la necesidad de realizar más investigaciones para su aplicación a gran escala y para abordar la eliminación de otros metales tóxicos, contribuyendo así a la protección del medio ambiente y la salud pública.

Palabras clave: <METALES PESADOS>, <CÁSCARAS DE NARANJA (*CITRUS SINENSIS*)>, <ABSORCIÓN>, <REMOCIÓN>, <CONTAMINACIÓN DEL AGUA>.

1625-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

The lack of effective methods to treat contamination by toxic metals from industrial and mining activity represents a severe threat to human health and ecological balance; these metals from various sources, such as contaminated soils, industrial waste and agricultural pesticides, can enter into the food chain, increasing its concentration and causing intoxication. This research aimed to evaluate the potential of orange peels as a natural absorbent material to remove heavy metals present in polluted waters. A quantitative approach and a quasi-experimental design were used to evaluate the effect of particle size and contact time on the removal of lead and mercury in contaminated water. It was found that the orange peels proved to be effective in removing these metals, establishing optimal conditions of agitation, temperature, and concentration to achieve more excellent absorption. In conclusion, the results highlighted the potential of orange peels as a biosorbent material to remove heavy metals. However, further research was needed for its largescale application and to address the removal of other toxic metals, thus contributing to protecting the environment and public health.

Keywords: <HEAVY METALS>, <ORANGE PEELS (CITRUS SINENSIS)>, <ABSORPTION>, <REMOVAL>, <WATER POLLUTION>.

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature appears to read "Paul Obregón".

Ing. Paul Obregón.

Mgs 0601927122

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua con metales pesados es un problema ambiental importante a nivel mundial debido a su toxicidad y capacidad de bioacumulación en la cadena alimentaria. El plomo (Pb) y el mercurio (Hg) son dos de los metales pesados más comunes en las aguas contaminadas y representan un riesgo significativo para la salud humana y la vida acuática (OLAWALE et al. 2021, p. 9). La eliminación de estos contaminantes del agua es esencial para proteger el medio ambiente y la salud pública.

En los últimos años, el uso de materiales absorbentes naturales se ha convertido en una alternativa prometedora para la eliminación de metales pesados del agua. Estos materiales tienen la ventaja de ser de bajo costo, ser renovables y tener un bajo impacto ambiental (Yusof et al. 2020). La cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*) es un material absorbente natural que se ha utilizado en diferentes estudios para la eliminación de metales pesados del agua debido a sus propiedades adsorbentes (Al-Ghouti et al. 2016, p. 11).

El tamaño de partícula y el tiempo de contacto son factores críticos que influyen en la eficacia de los materiales absorbentes naturales para la eliminación de contaminantes del agua. El tamaño de partícula influye en la cantidad de superficie disponible para la adsorción y, por lo tanto, en la eficacia del material absorbente. Por otro lado, el tiempo de contacto influye en la cantidad de contaminante que se puede adsorber por unidad de tiempo (Hossain et al. 2017, p. 5).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tamaño de partícula y el tiempo de contacto en la remoción de plomo (Pb) y mercurio (Hg) presentes en aguas contaminadas utilizando cáscara de naranja como absorbente natural. Para ello, se utilizaron diferentes tamaños de partícula de la cáscara de naranja y se varió el tiempo de contacto entre el absorbente y el agua contaminada. Se realizaron análisis químicos para determinar la cantidad de plomo y mercurio removidos en cada caso.

Los resultados obtenidos de este estudio podrían contribuir significativamente al desarrollo de tecnologías sostenibles y efectivas para la eliminación de metales pesados del agua. Además, el uso de materiales absorbentes naturales como alternativas a los métodos convencionales de eliminación de contaminantes del agua puede ser una solución rentable y amigable con el medio ambiente.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Problema de investigación

1.1.1. *Planteamiento del problema*

El aumento de la actividad industrial y minera contamina el medio ambiente con metales tóxicos tales como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, que son perjudiciales tanto para la salud humana como para la mayoría de las formas de vida. Estas sustancias peligrosas se han vuelto más comunes en los últimos años y están causando importantes problemas medioambientales, incluyendo la degradación de los ecosistemas debido a la acumulación de metales pesados, lo que representa un gran desafío para la sociedad y el medio ambiente en general. Sin embargo, la falta de procedimientos efectivos para manejar los residuos metálicos tiene consecuencias negativas.

La contaminación del agua con metales pesados es un problema ambiental grave que afecta la salud humana y la ecología. La eliminación de estos contaminantes del agua es un desafío importante para la industria y la investigación. Uno de los métodos prometedores para la eliminación de metales pesados es el uso de materiales absorbentes naturales como las cáscaras de naranja.

Los metales pesados tienen diversas fuentes, como suelos contaminados, lodos residuales de la industria, fertilizantes químicos y pesticidas utilizados en la agricultura, y pueden contaminar el agua, el suelo y la cadena alimentaria de manera constante (Ordóñez 2014, p. 14). Asimismo, los metales generados por actividades humanas, como la combustión de gasolina con plomo, se encuentran suspendidos en el aire y los inhalamos. Las aguas residuales sin tratar de minas y fábricas llegan a los ríos, mientras que los residuos industriales contaminan las aguas subterráneas. Cuando los metales tóxicos se abandonan en el medio ambiente, contaminan el suelo y se acumulan en las plantas y los tejidos orgánicos.

Los metales pesados son altamente peligrosos porque no pueden ser degradados química o biológicamente y pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, la concentración de estos metales en los organismos vivos aumenta a medida que se ingieren a través de la cadena alimentaria, lo que puede causar síntomas de intoxicación si se consumen plantas o

animales contaminados. La toxicidad de estos metales ha sido registrada a lo largo de la historia, ya que médicos de la antigua Grecia y Roma diagnosticaban síntomas de envenenamiento agudo por plomo mucho antes de que la toxicología se convirtiera en una ciencia.

La problemática de la contaminación ambiental es una cuestión compleja y delicada que requiere ser abordada para concienciar a la sociedad acerca del desequilibrio ambiental en el que nos encontramos. La contaminación del agua se produce cuando se agregan sustancias extrañas como microorganismos, productos químicos, desechos industriales, aguas residuales y desechos arrojados por individuos. Estos componentes y subproductos deterioran la calidad del agua, lo que hace que sea inapropiada para su uso previsto, incluyendo consumo, higiene y riego, entre otros. Además, pueden perjudicar la salud humana y ser la causa de diversas enfermedades. La contaminación del agua puede afectar a los seres humanos de dos maneras: por consumo directo del agua contaminada o por consumo indirecto a través de productos y servicios ya contaminados.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del tamaño de partícula y tiempo de contacto en la remoción de metales pesados plomo (Pb) y mercurio (Hg) presentes en aguas contaminadas utilizando cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*) como absorbente natural.

1.2.2. Objetivos específicos

- Establecer la interacción del tiempo de contacto sobre el porcentaje de reducción de plomo y mercurio mediante absorción con cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*).
- Determinar experimentalmente el tamaño de partícula que permita alcanzar un mayor porcentaje de reducción de plomo y mercurio en aguas contaminadas.
- Trazar gráficas que expliquen el efecto del tamaño de partícula y tiempo de contacto sobre el porcentaje de reducción de plomo y mercurio en solución acuosa, usando absorción con cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*).

1.3. Justificación

En los últimos años se han implementado diferentes opciones para tratar las aguas residuales de la industria. Estas opciones incluyen la precipitación química, la osmosis inversa, el intercambio iónico, entre otras. Sin embargo, estos métodos han resultado ser costosos e ineficientes debido a su incapacidad para eliminar grandes cantidades de iones metálicos. Además, estos métodos generan lodos durante el proceso, lo que puede ser más problemático para solucionar. (Tejada et al. 2015), (Torab Mostaedi et al. 2013, p. 16).

La emisión de metales tóxicos y radionúclidos en el medio ambiente es el resultado de la actividad humana, especialmente la actividad industrial, aunque también la agricultura y la eliminación de residuos contribuyen a su contaminación. Estos contaminantes se liberan en la atmósfera, el agua y el suelo, principalmente en forma de partículas o solutos, y pueden acumularse en concentraciones elevadas, especialmente cerca de las fuentes de descarga. Los efectos de los metales en los ecosistemas varían significativamente y son relevantes tanto para la economía como para la salud pública.

La procedencia de los metales pesados encontrados en aguas residuales es variada, asociándose las fuentes de contaminación a pequeñas industrias establecidas en zonas urbanas o en polígonos industriales carentes de plantas de tratamiento, a talleres de automóviles, al pequeño y mediano comercio, a grandes infraestructuras como puertos y aeropuertos, a grandes áreas comerciales, a la limpieza de calles o al tipo propiamente doméstico.

Aparte de daños ambientales, si estos metales se descargan directamente al sistema de alcantarillado por encima de ciertas concentraciones, también pueden dañar seriamente la operación de tratamiento biológico (Rodríguez et al. 2009, p. 12).

Los residuos biológicos resultantes del procesamiento de alimentos, como la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*), a menudo no tienen valor económico y pueden ser difíciles de desechar. Sin embargo, están ampliamente disponibles en grandes cantidades en diferentes partes del mundo, especialmente en Pakistán, que es el sexto mayor productor de naranjas del mundo (2,1 millones de toneladas/año). El residuo de piel de naranja contiene principalmente grupos funcionales de superficie de celulosa, lignina, hemicelulosa, carboxilo (-COOH), hidroxilo (-OH) y amida (-NH), que podrían

desempeñar un papel importante en la eliminación de metales pesados y iones de agua. (Abid et al. 2016, p. 25).

En la actualidad, existe una creciente preocupación por los altos niveles de contaminación de los efluentes industriales con metales pesados como el plomo (Pb) y el mercurio (Hg), que suelen ser producidos y desechados en el medio ambiente por la actividad industrial y minera. Frente a esta situación, la absorción se presenta como una alternativa prometedora para la eliminación de iones metálicos en aguas residuales, ya que puede eliminar grandes cantidades de ellos mediante el uso de biomazas lignocelulósicas como materiales absorbentes. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo demostrar la capacidad de absorción de la cáscara de naranja en presencia de plomo y mercurio como metales pesados.

Una vez que se haya comprobado la eficacia del mecanismo de absorción, esto sentará las bases para futuras investigaciones relacionadas con el tema del estudio. Además, proporcionará información sobre nuevas técnicas de modificación basadas en la literatura para superar problemas anteriores y aumentar el conocimiento, ya que hay una falta de trabajos informados sobre el uso de la cáscara de naranja seca como absorbente natural.

1.4. Hipótesis

La manipulación de variables que regulan los fenómenos de absorción (tiempo de contacto, tamaño de partícula absorbente); la cáscara de naranja podría trabajar y actuar como absorbente natural de plomo (Pb) y Mercurio (Hg).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Metales pesados

Los metales pesados son un conjunto de recursos químicos que representan una densidad subjetivamente alta y cierta toxicidad para los seres vivos (Ordóñez 2014, p. 39).

El término "metal pesado" no tiene una definición completamente concreta. Los criterios de categorización pueden basarse en la densidad, número y peso atómicos, y se refiere a la toxicidad que estos elementos presentan. En este contexto, también se utiliza el término "elemento tóxico" o "metal tóxico".

Varios de los metales que poseen una densidad alta no son en especial tóxicos y ciertos son primordiales para el hombre, son los denominados "elementos esenciales" independientemente de que a determinadas concentraciones tienen la posibilidad de ser tóxicos en varias de sus maneras. No obstante, hay una secuencia de recursos que de algún modo tienen la posibilidad de representar un serio problema medioambiental y es común mencionar a todos ellos, con el concepto genérico de "metales pesados" (Ordóñez 2014, p. 52).

Tabla 2-1: Metales pesados más importantes, densidad y su categoría

ELEMENTO	DENSIDAD g/cm^3	ROCAS mg/Kg	ESENCIAL	CONTAMINANTE VEGETAL/ANIMAL
Ag	10,5	0,07		X
Au	19,3	0,05		
Bi	9,6	0,17		X
Cd	8,7	0,2		X
Cr	7,2	100	X	X
Co	8,9	20	X	X
Fe	7,9	6×10^{-4}	X	X
Mg	13,6	0,08		X
La	6,2	25		X

Mn	7,4	950	X	X
Mo	10,2	1,5	X	
Ni	8,9	75	X	X
Pb	11,3	13		X
Pt	21,5	0,05		X
Sn	7,3	2	X	
Th	11,5	9,6		X
Ti	11,9	0,45		X
U	19,1	2,7		X
V	6,1	135		X
W	19,3	1,5	X	X
Zn	7,1	70	X	X
Zr	6,5	165		X

Fuente:(Aguilar y Flores 2018).

2.1.1. Plomo (Pb)

El plomo es un metal que tiene una apariencia azul y pierde su brillo al estar expuesto al aire. Es muy suave, se derrite con facilidad, forma y alambres. Los isótopos de este elemento difieren en masa: 204 (1,5 %), 206 (23,6 %), 207 (22,6 %) y 208 (52,3 %). La desintegración de tres elementos radiactivos, 206 Pb, se encuentra en la serie del uranio. Pb en la serie del torio y 207 Pb en la serie del actinio (Salas et al. 2019, pp. 41- 42).

La configuración geométrica del metal presenta una forma cúbica y su unidad de celda tiene una longitud de 4,9389 nanómetros con la presencia de 4 átomos en cada unidad. A pesar de que en ciertos casos su presencia no representa riesgos para la salud humana, cuando su concentración se incrementa, puede causar serios problemas de higiene y saneamiento, también conocidos como desechos. Investigaciones con animales han demostrado que el plomo es un elemento de gran importancia. (Gamero Esparza 2003, p. 33).

El plomo se utiliza en diversas actividades industriales, como insecticidas, baterías, pinturas, aleaciones, tuberías de agua, metalurgia, fertilizantes, pesticidas y envases de alimentos. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) permite que los niveles de plomo en el agua potable bajen hasta 0,015

mg/L, pero muchas de estas industrias superan los niveles de concentración de metales en las aguas residuales (Tejada et al. 2016, p. 38).

El plomo es un producto fundamental en la industria moderna debido a sus propiedades, tales como bajo punto de fusión, alta densidad, baja dureza, resistencia a los ácidos y estabilidad química en el aire, agua y suelo. Además, junto con el cobre, oro y plata, fue uno de los primeros metales utilizados por los seres humanos, y hay evidencia del uso de plomo con fines prácticos y estéticos en la antigüedad egipcia, griega y romana. En la actualidad, se pueden encontrar estructuras y tuberías griegas utilizadas en el Imperio Romano que todavía se utilizan en Inglaterra. Sin embargo, el plomo y sus compuestos son venenos acumulativos y deben manejarse con cuidado para evitar el contacto o la ingestión de alimentos. El plomo se encuentra en la naturaleza en forma de varios minerales, particularmente galena (PbS), lignito (PbSO₄) y cerucita (PbCO₃). Se obtiene de ellos por métodos pirometalúrgicos o electroquímicos. (Gamero Esparza 2003, p. 56).

Clasificado como el segundo en la lista de los 20 principales por la ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades) debido a que está relacionado con diversos efectos negativos sobre la salud. Entre ellos se incluyen el cáncer infantil, la disminución del desarrollo cognitivo e intelectual, el aumento de la presión arterial y las enfermedades cardiovasculares en adultos. Además, puede causar afecciones tales como envenenamiento por plomo, hipertensión arterial, daño renal, artritis, alucinaciones, mareos, psicosis, autismo, dislexia, TDAH, anemia, debilidad muscular, disfunción motora y deterioro cognitivo. (Ali Azadi et al. 2018, p. 75).

La presencia de metales pesados como el plomo en el agua debido a la contaminación industrial puede ser perjudicial para la salud humana. El plomo es especialmente relevante en problemas relacionados con el agua en baterías con alto contenido de este metal. Aunque algunos autores argumentan que el agua potable está casi libre de plomo, esto solo es cierto si el metal no pasa por tuberías de suministro de agua o juntas de soldadura de plomo, o si no entra en contacto con accesorios de cobre cercanos. (Ali Azadi et al. 2018, p. 36).

Es importante detectar y eliminar el plomo para proteger tanto la salud pública como el medio ambiente. El catión Pb²⁺ es el principal problema debido a su toxicidad incluso en bajas concentraciones, lo que dificulta su detección y eliminación ya que a menudo se encuentra en solución. Hay dos tipos de métodos para la detección y eliminación de plomo: los métodos tradicionales y los modernos. Los métodos tradicionales se basan en la formación de compuestos

insolubles que se eliminan por precipitación, pero presentan desventajas como límites de detección altos, alto consumo de reactivos y falta de selectividad.

Estos métodos tienen varias desventajas:

- a) altos límites de detección
- b) alto consumo de reactivos
- c) no selectivos.

La mayoría de los métodos modernos se basan en el uso de sensores, que se sabe que varían mucho según el objeto detectado y el costo. Actualmente existen dos métodos muy aceptables y efectivos para la determinación de Pb^{2+} (Vallés et al. 2018, p. 25).

Ambos enfoques son:

- Son sensores colorimétricos biomiméticos
- Contienen sulfuros de arilo como ionóforos y son sensores potenciométricos.

2.1.2. Mercurio (Hg)

El mercurio es un elemento presente de manera natural en la roca de la corteza terrestre, así como en los depósitos de carbón. Su símbolo en la tabla periódica es "Hg", y su número atómico es 80, según lo señalado por (Jiménez Moreno 2009, p. 29).

El comportamiento del mercurio es complejo debido a que tiene diferentes propiedades fisicoquímicas en distintos estados de oxidación, y es un metal líquido pesado altamente tóxico que se encuentra en el aire, el agua, el suelo y la biota, recirculando continuamente en el medio ambiente. El mercurio elemental es una de las tres formas principales y representa entre el 20 % y el 50 % de la fase gaseosa. Es la forma más persistente en la atmósfera, con una vida útil de 0,5 a 2 años, mientras que la forma oxidada tiene una vida útil de pocos días o menos. Debido a su larga vida atmosférica, las emisiones de mercurio elemental se dispersan globalmente y experimentan algunas transformaciones físicas y químicas en la atmósfera (Reddy et al. 2012, p. 52). Además, el mercurio tiene muchas aplicaciones y su comportamiento complejo contribuye a su persistencia y distribución en el medio ambiente.

El mercurio se convierte en un problema ambiental cuando se libera de las rocas y termina en la atmósfera y el agua. Estas emisiones pueden ser naturales, por ejemplo, los volcanes y los incendios forestales emiten mercurio a la atmósfera. No obstante, las actividades humanas también son responsables de una gran cantidad de mercurio que se libera en el medio ambiente. La quema de combustibles fósiles, como carbón, petróleo, madera y residuos, puede hacer que el mercurio quede suspendido en el aire. (Jiménez Moreno 2009, p. 87), (Martínez 2004, p. 56)

Cuando el mercurio es liberado en la atmósfera, puede caer a la tierra a través de diferentes formas, como gotas de lluvia, polvo o simplemente por gravedad. Este proceso se conoce como "deposición atmosférica". La cantidad de mercurio que se deposita en una zona determinada depende de la cantidad de mercurio que se libera en fuentes locales, regionales, nacionales e internacionales (Martínez 2004, p. 58).

Según la tesis de Muñoz Carpio (2007, p. 63) titulada "Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja *"Citrus Sinensis"* pretratada", se observa que la capacidad de absorción de plomo no es muy efectiva a valores de pH inferiores a 3,6, mientras que la capacidad de biosorción de plomo aumenta rápidamente dentro del rango de pH de 3,6 a 4,1. A partir de un pH de 4,5 a 5,53, se observa un aumento significativo en la capacidad de biosorción, alcanzando su máximo valor ($q_{\max} = 39,39$ mg Pb/g) a un pH de 4,82.

En su investigación "Evaluation of a natural adsorbent from mandarin peel waste for the absorption of mercury from artificial wastewater" Vargas Bernal (2019, p. 45), se indica que el porcentaje de remoción de Hg^{+2} aumenta con el tiempo, alcanzando su máximo después de 150 minutos para las biomásas. El mayor porcentaje de remoción de Hg^{+2} se obtiene con las cáscaras de mandarina modificadas con ácido cítrico, alcanzando el 72,55 %, mientras que las cáscaras de mandarina sin modificar logran una remoción del 69,79 %. Estos resultados coinciden con los de otros autores y se explican por un aumento en el número de sitios activos para la unión de metales en la superficie del bioadsorbente.

En su tesis titulada "Remoción de compuestos orgánicos persistentes y mercurio en aguas residuales de la industria textil por medio de nano partículas magnéticas (mnps) y biomasa residual de plátano", (Ruiz y Monroy 2021, p. 49) discuten cómo determinaron la capacidad máxima de absorción del material de estudio a través de ensayos Batch. Observaron que el valor máximo de absorción fue de 0,49 mg/g, lo que es comparable con otros estudios y materiales similares y se considera un valor aceptable para

la remoción del azul de metileno presente en los efluentes contaminados. Esto permitió la simulación del comportamiento del nanomaterial en una columna de absorción y determinar las condiciones favorables para evitar la saturación prematura. También demostraron que existen materiales adecuados para la remoción del mercurio.

La presencia de metales pesados en aguas residuales y su uso en la industria ha resultado en altas concentraciones de metales pesados, los cuales son potencialmente tóxicos, que son liberados en la atmósfera y vertidos en cuerpos de agua, convirtiéndose en un problema tanto ambiental como de salud pública. Esto ha sido señalado por (Aguilar & Flores 2018, p. 96).

La peligrosidad de los metales pesados está relacionada con su capacidad para desplazarse en el medio ambiente, la cual, a su vez, depende de su especiación química, persistencia y su propensión a acumularse o bioacumularse, lo que contribuye al aumento de la contaminación ambiental (Aguilar & Flores 2018, p. 81).

Se ha generado la necesidad de disminuir la cantidad de metales pesados presentes en los efluentes, lo que ha dado lugar a la creación de tecnologías nuevas, eficientes y económicas para su separación. (Aguilar & Flores 2018, p. 66).

El retiro de metales pesados de residuos líquidos se encuentra en constante investigación, y se están desarrollando diversos procesos para este fin. Algunos de ellos son la precipitación extracelular, la absorción y la captación utilizando biopolímeros purificados y otras moléculas especializadas derivadas de células microbianas. Estos procesos se basan en la capacidad de los metales para unirse a materiales biológicos a través de diferentes mecanismos (Aguilar & Flores 2018, p. 102).

2.2. Absorción

Es un fenómeno físico o químico o un proceso en el que los átomos, moléculas o iones entran en alguna fase a granel: material líquido o sólido. Este es un proceso diferente de la absorción, ya que las moléculas que se absorben son absorbidas por el volumen, no por la superficie (como en el caso de la absorción).

Una definición más común es que "La absorción es un fenómeno químico o físico en el que las moléculas, los átomos y los iones de la sustancia que se absorbe entran en la fase principal (gas, líquido o sólido) del material en el que se absorbe".

2.2.1. *Absorción química*

La absorción química o absorción reactiva es una reacción química entre las sustancias absorbidas y las absorbentes. A veces se combina con la absorción física. Este tipo de absorción depende de la estequiometría de la reacción y de la concentración de sus reactivos. Pueden llevarse a cabo en diferentes unidades, con un amplio espectro de tipos e interacciones de flujo de fase. En la mayoría de los casos, la AR se realiza en columnas de platos o de relleno.

La absorción de gases es una operación que implica la disolución de componentes solubles de una mezcla gaseosa en un líquido absorbente, mientras que la desorción es el proceso inverso que implica la transferencia de componentes volátiles de una mezcla líquida a la fase gaseosa. Para lograr una buena mezcla de ambas fases, se utilizan equipos similares a los utilizados en la destilación, como torres de platos, torres de relleno, torres de pulverización y columnas de burbujeo. Ambas operaciones son importantes en la separación de componentes en la industria química y se utilizan en procesos como la purificación de gases y la eliminación de impurezas.

2.2.2. *Absorción física*

Los sólidos hidrofílicos, que incluyen muchos sólidos de origen biológico, pueden absorber agua fácilmente. Las interacciones polares entre el agua y las moléculas del sólido favorecen la partición del agua en el sólido, lo que puede permitir una absorción significativa de vapor de agua incluso con una humedad relativamente baja.

2.2.3. *Absorción Atómica*

La espectrometría de absorción atómica es una técnica ampliamente utilizada para el análisis cuantitativo de varios tipos de muestras, como muestras geoquímicas, ambientales y biológicas. En la espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS), la precisión se rige por varios componentes de ruido, variaciones en la temperatura de la llama, caudal de la solución aspirada y composición de la muestra, entre otros (Gallegos et al. 2012, p. 40).

La espectrometría de absorción atómica (AAS) es el instrumento más ampliamente recomendado y utilizado en procedimientos analíticos para el análisis de trazas de metales pesados debido a su sensibilidad, especificidad, simplicidad y precisión.

El átomo está formado por un núcleo rodeado de electrones. Cada elemento tiene un número específico de electrones asociados al núcleo atómico en una estructura orbital que es única para cada elemento. Los electrones ocupan posiciones orbitales de manera ordenada y previsible. La configuración electrónica más estable de un átomo, que además es la de menor energía, se define como “estado fundamental”. Si se aplica energía con una determinada longitud de onda (λ) a un átomo en estado fundamental, esta energía será absorbida por el átomo y un electrón será promovido a un orbital de mayor energía, alcanzando el átomo una configuración menos estable (estado excitado).

Este proceso es llamado como absorción atómica. Basándose en la capacidad de un átomo para absorber luz a longitudes de onda específicas, se desarrolla la técnica analítica instrumental llamada Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) (Gallegos et al. 2012, p. 72).

Para realizar las medidas con esta técnica el analito debe ser transformado en átomos gaseosos aplicando calor. Estos átomos en forma gaseosa absorben la radiación electromagnética a una longitud de onda que es específica para cada elemento, produciendo una señal medible.

2.3. Absorbancia

La absorbancia es una medida de la radiación que absorbe una sustancia cuando sobre ésta incide las ondas electromagnéticas generalmente en la región visible de una determinada longitud de onda. La absorbancia varía con la composición y la concentración de los elementos en una muestra, por lo que se emplea comúnmente en la química analítica para la caracterización de líquidos y gases. Cuando la medición de la absorbancia se hace a una longitud de onda específica la técnica es conocida como colorimetría, y si se usan todas las longitudes de onda del espectro visible o incluyendo el ultravioleta se le conoce como espectrofotometría (Salgado & Hernández 2014, p. 29).

El sistema desarrollado en este trabajo se encarga de la aplicación de luz monocromática en el espectro visible y la medición de la potencia óptica que absorbe la muestra para obtener el espectro de absorbancia. La absorbancia A se puede calcular en función de las intensidades de la luz transmitida y recibida por la muestra. La absorbancia tiene una fuerte dependencia con la longitud de

onda incidente que interacciona con la muestra. Esta interacción es débil o fuerte dependiendo de cómo es el acople de la radiación electromagnética con la estructura molecular del sistema en estudio (Salgado y Hernández 2014, p. 63). En los sistemas de medición comercial se emplea para relacionar la absorbancia con respecto a la intensidad emitida y detectada la siguiente ecuación:

$$A_{\lambda} = -\log \frac{I_1}{I_0}$$

Donde I_0 es la intensidad incidente sobre la solución I_1 es la intensidad que sale de la solución y λ es la longitud de onda de la luz aplicada.

Cuando la luz interacciona con los materiales puede ocurrir los siguientes procesos: Reflexión (I_R) Absorción (I_A) y Transmisión (I_T) que se encuentran fundamentados en la conservación de la energía de tal forma que:

$$I_0 = I_R + I_T + I_A$$

2.4. Naranja

2.4.1. Origen

La naranja se originó hace unos 20 millones de años en el sureste asiático. El esparcimiento de los cítricos desde sus orígenes se debió a los grandes movimientos migratorios, ya que la gente iba de un lugar a otro y en esos cambios llevaban consigo diferentes tipos de frutos, entre la naranja, que con el paso del tiempo se fue conociendo por más lugares (Montalvo Pinela 2018, p. 50).

Citrus es un género de plantas que deriva de la palabra griega *kitros*, que se refiere a los frutos cítricos. Este género es el más destacado dentro de su familia y consta de alrededor de 20 especies cuyos frutos son comestibles y ricos en vitamina C, flavonoides y aceites esenciales. El nombre en latín del género, *Aurantia*, proviene del color dorado de los frutos. En la lengua dravidiana, hablada en la India, *Citrus* significa "fragancia interior". (Rodríguez & Roman 2004, p. 32).

La naranja es el fruto del naranjo dulce, árbol que pertenece al género Citrus de la familia de las Rutáceas. Esta familia comprende más de 1600 especies. El género botánico Citrus es el más

importante de la familia, y consta de unas 20 especies con frutos comestibles todos ellos muy abundantes en vitamina C, flavonoides y aceites esenciales. Los frutos, llamados hespérides, tienen la particularidad de que su pulpa está formada por numerosas vesículas llenas de jugo (Zambrano 2014, p. 28).

Ecuador cuenta con aproximadamente 55953 hectáreas de plantaciones de naranja, de las cuales 10639 hectáreas pertenecen al estado Bolívar y solo 650 hectáreas al Caloma, ambos representan el 4,73 % de la producción de naranja del país. Las naranjas que más se cultivan en Ecuador son las naranjas blancas, que rara vez se utilizan debido a la gran cantidad de naranjas (Cardenas 2021, p. 63).

2.4.2. *Citrus Sinensis*

Los árboles de naranjo suelen ser de tamaño reducido, con una altura de entre 6 y 10 metros, con una copa compacta y cónica y un tronco gris suave que puede tener espinas. Sus hojas son perennes, de forma esférica, de un color verde claro intenso, ovales o elípticas, con una base cuneiforme y un ápice puntiagudo.

Los naranjos producen flores hermafroditas medianas y perfumadas, que pueden aparecer solitarias o en pequeños racimos durante la primavera. La naranja es un fruto especial que consta de una piel más o menos rugosa, rica en glándulas que contienen aceites esenciales, un núcleo blanco y esponjoso adherido a las glándulas, y una parte interior desarrollada y dividida en muchos segmentos.

La piel exterior se llama exocarpio o pericarpio; la capa blanca se llama mesocarpio, y el interior del fruto, la parte comestible, es llamada endocarpio que consta de siete a doce partes carnosas que contienen sacos de aire llenos de savia.

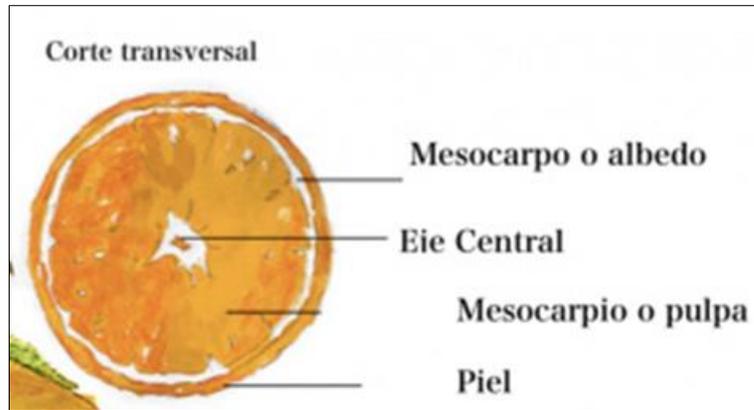


Ilustración 2-1: Partes de *Citrus Sinensis*.

Fuente: (Martinez 2021).

2.4.3. Taxonomía y botánica

Familia: *Rutáceae*.

Género: *Citrus*.

Especie: *Citrus sinensis* (L.) Osb.

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Subclase: *Rosidae*

Orden: *Sapindales*

Porte: Reducido (6-10 m). Ramas poco vigorosas (casi tocan el suelo). Tronco corto.

Raíz: Tiene una raíz pivotante que puede penetrar hasta 7 metros en el suelo, y sus diminutas raíces en la superficie absorben los nutrientes del suelo.

Hojas: Tienen forma ovalada, pigmentación verde variable, espinas no muy acusadas y glándulas sebáceas que producen aceite.

Flores: Ligeramente aromáticas, solas o agrupadas con o sin hojas. Los brotes con hojas (campaneros) son los que mayor cuajado y mejores frutos dan.

Frutos: Es un hesperidio es decir fruto carnoso encerrado en una capa dura el cual posee una parte externa conocida como flavedo y una interna conocida como albedo (Cardenas 2021, p. 123).

2.4.4. Composición química

Reutilizar directamente la piel de naranja es una opción simple y económica, ya que no requiere mucha inversión o infraestructura y puede aumentar significativamente el valor del residuo. No obstante, la piel de naranja tiene muchos compuestos valiosos y, gracias a un mayor conocimiento sobre ella, se puede aumentar su valor aún más mediante un enfoque de biorrefinería. (Lopez, Li & Thompson. 2010, p. 81).

Su composición química hace que resalten como una fuente de productos de interés industrial. En la cáscara, los azúcares solubles están compuestos en su mayoría por sacarosa, glucosa y fructosa; los ácidos orgánicos por ácido cítrico, oxálico y succínico. La fibra es la parte de la cáscara donde se almacena la pectina. La pectina está contenida en la fibra de naranja soluble e insoluble en forma de protopectina (Lopez et al. 2010 p. 55).

2.4.5. Pectina

Ramirez, et al. (2020, p. 28) adjuntan que el término pectina, proviene de la palabra *Pekos*, que significa; espeso, denso y coagulado, es un aditivo natural, mezcla compleja de polisacáridos, que se compone principalmente de ácido d-galacturónico y azúcares neutros, sustancia mucilaginosa de las plantas superiores, en sí, un hidrato de carbono purificado, que se consigue de la porción interna de la cáscara de los frutos, en especial los cítricos, que son ricos en el polisacárido.

La pectina está compuesta por ésteres parciales de ácido poli galacturónico metilado, así como sales de potasio, sodio, amonio o calcio, con un peso molecular de aproximadamente 150000 Dalton. Su clasificación se basa en el grado de metoxilación, que es la proporción entre los grupos metoxilo y los ácidos libres presentes en la cadena molecular de la pectina, según explican (Thompson et al. 2010, p. 98).

Estructura química de la pectina:

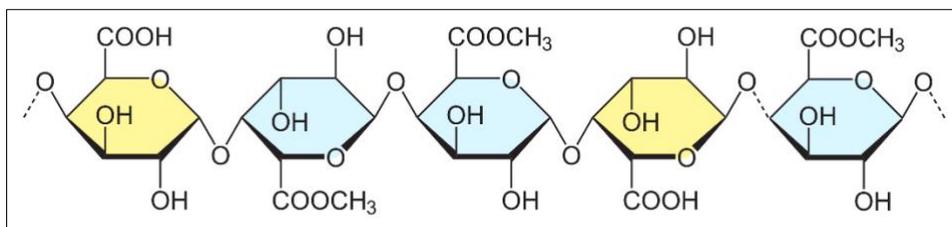


Ilustración 2-2: Estructura química de la pectina.

Fuente: (SilvaTeam 2023).

Se puede obtener dos tipos de pectina según la extracción de la pectina, tales como:

- Las pectinas con alto grado de esterificación, las cuales tienen más del 50 % de sus unidades de ácido galacturónico esterificadas con un contenido de metoxilo que oscila entre el 7 % y el 12 %, tienen la capacidad de formar geles cuando se exponen a concentraciones elevadas de azúcar (entre el 55 % y el 75 %) y ácidos bajo condiciones apropiadas que incluyen un pH de entre 2,0 y 3,5 y una concentración de sólidos solubles de entre el 60 % y el 65 %.
- Las pectinas de baja esterificación presentan un contenido de metoxilo que oscila entre el 2,5 % y el 4,5 %, y menos del 50 % de las unidades del ácido galacturónico están esterificadas. Estas pectinas pueden formar geles estables con poca o ninguna cantidad de azúcar, pero necesitan la presencia de cationes divalentes como el calcio para establecer enlaces moleculares. A diferencia de las pectinas de alto grado de esterificación, aquellas con bajo contenido de metoxilo son menos sensibles a los cambios de pH y pueden formar geles en un rango de pH más amplio, que va de 2,5 a 6,5. Estas pectinas también pueden utilizarse como agentes gelificantes en productos bajos en calorías, para diabéticos y pacientes con sobrepeso (Tovar 2017, p. 35).

2.4.6. Aceites esenciales

Los aceites esenciales presentes en los cítricos se utilizan comúnmente en la industria alimentaria como saborizantes y se encuentran en sacos de aceite o glándulas con diámetros de 0,4 a 0,6 mm, ubicados a profundidades irregulares en el flavedo de la corteza exterior del fruto. La piel de naranja típicamente contiene más de 5 kg de aceite por cada 1000 kg de frutas y cerca del 90 % de este aceite es D-limoneno, un hidrocarburo cíclico (Thompson et al. 2010, p. 88).

Es un líquido incoloro a temperatura ambiente, con un olor anaranjado extremadamente fuerte. Como principal componente oloroso de los cítricos (familia de plantas *Rutaceae*), el D-limoneno se emplea

en la fabricación de alimentos y medicamentos como agente saborizante. También tiene muchas aplicaciones en la industria química, cosmética y productos domésticos. La extracción de D-limoneno de la piel de naranja es un proceso bien establecido y relativamente simple, que puede llevarse a cabo mediante prensado en frío, destilación al vapor o extracción con disolventes, como hexano o dióxido de carbono (Lopez, Li & Thompson 2010, pp. 33-34).

2.5. Utilización de residuos de naranja

El manejo adecuado de residuos sólidos y los procesos de reciclaje buscan fomentar la reducción del consumo y la conciencia ambiental, ya que la generación de residuos sólidos, comúnmente conocidos como basura, y su incorrecta gestión son problemas graves para el medio ambiente y la salud. Estos problemas han empeorado en los últimos años debido al aumento de la población y los patrones de consumo y producción. Por lo tanto, es necesario explorar alternativas y usos para los materiales que normalmente se descartan como "basura" (Aguilar & Flores 2018, p. 19).

Todas las piezas de la naranja tiene ciertas propiedades que viabilizan su uso, en la actualidad se conoce de la utilidad de ciertas partes de la naranja los cuales permanecen destinadas para la sustracción de aceite importante de naranja, la obtención de pectina cítrica, concentrado para animales y vitamina E; de esta forma puesto que, para la obtención de aceite importante es preciso de la parte externa de la naranja aceitosa como flavedo; dicho aceite es en la actualidad utilizado por la industria alimenticia y farmacéutica, quienes los consumen en grandes porciones y principalmente lo importan con altísimos precios. De la sustracción del albedo (capa blanca entre la cáscara y la pulpa) se recibe, por medio de hidrolización ácida la pectina cítrica, que es un espesante utilizado usualmente en la industria alimenticia y que debido a su origen natural tiene características curativas como la reducción del colesterol en la sangre (Aguilar & Flores 2018, p. 19).

Para producir concentrados para animales se utiliza el bagazo de la naranja, que es la fibra blanca que queda después de extraer el jugo. Este bagazo es rico en fibra y carbono, lo que lo convierte en un ingrediente importante para crear alimentos balanceados para diversos animales. Por ejemplo, en el caso de las vacas, el carbono ayuda a prevenir la putrefacción de sus pezuñas, mientras que para los conejos es un alimento sabroso. Incluso se han realizado investigaciones sobre el uso de la cáscara de naranja como alimento para peces. La combinación del bagazo con otros elementos en diferentes proporciones permite crear alimentos adaptados a las necesidades nutricionales de cada especie (Aguilar & Flores 2018, p 20).

Las semillas de la naranja son utilizadas para la obtención de vitamina E, aún en estudio puesto que las naranjas provienen de cultivos tecnificados y el número de semillas tiende a desaparecer, lo cual conlleva a un análisis de factibilidad en cuanto al aprovechamiento económico y de recursos (Aguilar & Flores 2018, p. 20).

Aún se investigan otros usos para los residuos de la industria de jugos de naranja, de esta forma ejemplificando como fuente de fibra dietética en la preparación de alimentos.

2.5.1. *Residuo de naranja como materia prima*

En la actualidad, el jugo de naranja es una de las bebidas más consumidas debido a la composición nutricional que aporta a nuestro organismo como vitamina A, C, folatos, fibra soluble e insoluble, etc., por lo que el cultivo de naranjas es una actividad común en el mundo.

El naranjo dulce es el más cultivado de todos los cítricos, siendo la especie más importante del género Citrus. Tras ella le siguen en importancia sus parientes más próximos: mandarinos, limoneros, pomelos, limeros y kumquats (Zambrano 2014, p. 51).

El peso total de la fruta no está compuesto totalmente por zumo. Un total del 50 al 60 % de su peso conforman la cáscara, semillas y residuos de las membranas. Aquellos desechos son ricos en nutrientes, pero, sin embargo, no se les otorga ninguna importancia y/o aprovechamiento comercial por lo que se destinan como abonos, alimento de animales o quemados por su alto poder calorífico generando de esta manera problemas ambientales.

2.5.2. *La cáscara de naranja como absorbente*

En la actualidad hay expectativa en la implementación de desperdicios o residuos generados por el negocio de jugo de naranja, que conllevan desperdicios, y que no producen ninguna utilidad; entre los desperdicios se encuentra la cáscara de naranja que está constituida por 2 piezas evidentemente visibles, el flavedo (parte externa de color amarillo) y el albedo (parte interna esponjosa de color blanco), este último es de interés en los estudios de absorción pues tiene pectina en su composición y que junto con las manzanas y uvas se piensan como potenciales materiales absorbentes, sin embargo además se estima que el fruto cítrico es la más promisoría entre las demás (Aguilar & Flores 2018, p. 25).

Varios materiales de origen biológico poseen una alta capacidad de bioabsorción de metales pesados. Entre ellos aquellos que son más utilizados y representativos para la absorción de metales son aquellos frutos que contienen pectina tales como los cítricos (Cabañas et al. 2013, p. 43).

La cáscara de naranja al contener pectina en su composición, su capacidad de absorción es atribuida mayormente a la pared celular; en esta los cationes de aquellos metales pesados se unen por interacciones electrostáticas a los sitios aniónicos de la pared celular. Estos sitios aniónicos usados como centros de absorción se encuentran ubicados en los grupos carboxilo, hidroxilo formando parte de la estructura molecular de la pectina contenido en las cáscaras de limón y naranja.

La cáscara de naranja también contiene ácidos orgánicos, como el ácido cítrico, que pueden mejorar la capacidad de absorción de los metales pesados. El ácido cítrico tiene una capacidad quelante para formar complejos con los metales pesados, lo que resulta en una mayor eliminación de los metales pesados del agua (Ghaedi et al. 2015, p. 14).

Este material generalmente es desechado y desaprovechado sin saber que puede representar una materia biológica eficaz para ayudar a descontaminar el medio ambiente.

2.6. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula del absorbente normalmente no afecta la capacidad de absorción, pero en algunos casos se ha logrado observar que dicha capacidad aumenta al momento que se reduce el tamaño de la partícula, puesto que se considera que, en partículas más pequeñas, el área de los poros puede ser más accesible y el área de contacto es mayor (Rodríguez et al. 2009, p. 41).

Se ha demostrado que el tamaño de partícula más pequeño de la cáscara de naranja mejora la capacidad de absorción para los metales pesados (FU et al. 2017, p. 32). Esto se debe a que un tamaño de partícula más pequeño proporciona una mayor área superficial disponible para la absorción.

La absorción tiene lugar básicamente dentro de las partículas en puntos específicos de las paredes de los poros. La cantidad de soluto que se puede absorber es directamente proporcional al volumen, este por lo tanto es directamente proporcional al área externa y también que una partícula pequeña tiene mayor área superficial, o sea mayor área de la superficie interna por su cantidad de poros por unidad de masa.

El tamaño de partícula del absorbente afecta directamente tanto a la capacidad de absorción como a la velocidad de la reacción (Aguilar & Flores 2018, p. 28).

2.7. Tiempo de contacto

El tiempo de contacto es un parámetro crítico en el proceso de absorción, ya que determina la eficacia del proceso de eliminación de los metales pesados. Varios estudios han demostrado que un aumento en el tiempo de contacto con el absorbente natural aumenta la eficiencia de absorción de los metales pesados presentes en el agua contaminada (Chen et al. 2018, p. 86).

El tiempo de contacto consiste en determinar el tiempo de equilibrio entre el soluto y el material, dando así a conocer la cinética del proceso de eliminación o absorción. Esto dependerá de los parámetros establecidos como concentración de contaminante y cantidad de absorbente. Los tiempos empleados durante este proceso normalmente suelen ser cortos logrando así un equilibrio en pocas horas o en ciertos casos en minutos (Cabañas et al. 2013, p. 18).

2.8. Límites permisibles de metales pesados en aguas

Son medidas de concentración o grados de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio.

Tabla 1-2: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico permitidos por la norma ecuatoriana.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites Y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100	1000
Bario	Ba	mg/l	1

Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN ⁻	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino - Cobalto	75
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Fluoruro	F ⁻	mg/l	1,5
Demanda Química De Oxígeno	DQO	mg/l	<4
Demanda Bioquímica De Oxígeno (5 Días)	DBO5	mg/l	<2
Hierro Total	Fe	mg/l	1
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/l	50
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,02
Potencial Hidrógeno	pH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	500
Hidrocarburos Totales De Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100

Fuente: (Ministerio del Ambiente 2015).

Tabla 2-2: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola permitidos por la norma ecuatoriana.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Película Visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1

Berilio	Be	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	2
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de Parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia Flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Nil	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

Fuente: (Ministerio del Ambiente 2015).

2.9. Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)

El software estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) es un programa utilizado por investigadores y analistas de datos para realizar análisis estadísticos y presentar resultados de manera efectiva. En esta sección se presentará un marco teórico sobre SPSS, destacando sus características, aplicaciones y beneficios en la investigación y análisis de datos (Field 2018, p. 77).

Fue desarrollado en la década de 1960 por Norman Nie y sus colegas en la Universidad de Stanford como una herramienta para el análisis estadístico en ciencias sociales. Desde entonces, ha evolucionado a través de una serie de versiones para incluir capacidades de análisis más avanzadas y herramientas de visualización de datos (Darren et al. 2018, p. 17).

Características de SPSS es un software estadístico de uso general, que permite a los usuarios realizar análisis de datos complejos con facilidad (Pallant 2016, p. 39). Algunas de sus características clave incluyen:

- Interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar
- Amplia gama de herramientas y procedimientos estadísticos
- Capacidad de trabajar con una variedad de tipos de datos, incluyendo datos categóricos, continuos y de intervalo
- Posibilidad de generar gráficos y visualizaciones de datos personalizadas
- Capacidad de integrarse con otros programas de análisis estadístico, como R y Python.

Aplicaciones de SPSS es utilizado por una amplia gama de investigadores y profesionales en todo el mundo. Algunas de las aplicaciones comunes de SPSS incluyen:

- Investigación social y de mercado
- Investigación en salud
- Investigación en educación
- Análisis financiero y económico
- Análisis de datos empresariales

2.9.1. Beneficios de SPSS

El uso de SPSS en investigación y análisis de datos ofrece numerosos beneficios, entre los que se incluyen:

- Capacidad para analizar grandes conjuntos de datos de manera efectiva
- Generación de gráficos y visualizaciones personalizadas para presentar los resultados de manera clara y efectiva

- Permite realizar análisis multivariados avanzados, como análisis de regresión, análisis factorial y análisis de conglomerados.

2.9.2. Técnicas estadísticas comunes en SPSS

SPSS proporciona una amplia gama de herramientas de análisis estadístico que incluyen análisis descriptivos, análisis inferenciales, análisis de regresión, análisis de supervivencia, análisis de conglomerados y análisis de factores. Los usuarios pueden generar gráficos y tablas de resultados para ilustrar los hallazgos (Hair et al. 2019, p. 22).

Ofrece una amplia variedad de técnicas estadísticas para analizar datos. Algunas de las técnicas estadísticas comunes en SPSS incluyen:

- Análisis descriptivo: describe los datos utilizando medidas de tendencia central y variabilidad.
- Pruebas de hipótesis: se utilizan para probar la significancia estadística de una relación o diferencia entre grupos.
- Análisis de regresión: se utiliza para modelar la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes.
- Análisis factorial: se utiliza para identificar patrones comunes en un conjunto de variables y reducir la complejidad de los datos.
- Análisis de conglomerados: se utiliza para agrupar objetos similares en grupos homogéneos.

2.10. Modelo estadístico

2.10.1. Análisis de varianza de tipo I – ANOVA I

El análisis de la varianza (ANOVA, Analysis Of Variance, según la terminología inglesa) es uno de los aspectos más interesantes dentro del tema de las pruebas de hipótesis, por el ingenio desplegado en su desarrollo y, quizás, por las variadas formas que puede tomar. El creador fue Ronald Aylmer Fisher (1890-1962), uno de los estadísticos más influyentes del siglo XX. El tema puede llegar a ser muy complejo; existen extensos textos dedicados íntegramente al ANOVA, por lo que este artículo en ningún caso pretende cubrir todos sus aspectos y sólo debe ser considerado como una introducción (Moncho Vasallo 2015, p. 27).

El enfoque es conceptual y de explicación de la terminología. Los objetivos perseguidos son que sea útil para comprender mejor los resultados de un trabajo en el que se usó un ANOVA y descubrir posibles errores en el uso de la técnica, para identificar situaciones en las cuales se debió haber usado y no se hizo y, quizás, usar adecuadamente la técnica aplicando un programa computacional (Moncho Vasallo 2015, p. 73).

Para utilizar ANOVA de una manera satisfactoria se debe cumplir tres tipos de hipótesis, aunque se aceptan ligeras desviaciones de las condiciones ideales:

1. Cada conjunto de datos debe ser independiente del resto.
2. Los resultados obtenidos para cada conjunto deben seguir una distribución normal.
3. Las varianzas de cada conjunto de datos no deben diferir de forma significativa.

2.10.2. ANOVA de una vía

El término factor se refiere a la variable que determina los grupos del estudio, o sea, la variable independiente o predictora. El número de grupos definido por un factor se conoce como el número de niveles del factor. En medicina, estos corresponden habitualmente a los tratamientos que se comparan. Cuando hay un solo factor de clasificación de los datos, se habla de un ANOVA de un factor, de una vía o de un sentido (Jorge Dagnino 2014, p. 142).

Por ejemplo, un trabajo que investigue si hay asociación entre el anestésico usado y la producción de carboxihemoglobina luego de una hora de exposición puede ser analizado con un ANOVA de un factor o vía (anestésico halogenado usado), con tres niveles (sevofluorano, isofluorano, desfluorano) con respecto a una variable dependiente: nivel máximo de carboxihemoglobina. El raciocinio detrás del ANOVA se basa en la hipótesis nula que no hay diferencias entre los niveles de carboxihemoglobina lo que implica que las muestras provienen de una misma población, con una media y varianza determinadas. Si la hipótesis nula es verdadera, se espera que la variabilidad de cada grupo por separado sea similar a la variabilidad global, considerando los grupos en conjunto (Jorge Dagnino 2014, p. 40).

En cambio, si la hipótesis nula no es verdadera, la variabilidad global es proporcionalmente mayor que la estimada dentro de los grupos. Esencialmente, en un set de datos cualesquiera, se compara la

variabilidad entre individuos dentro de cada grupo con aquella que proviene de cualquier diferencia sistemática entre los grupos.

En jerga estadística, se calcula la variabilidad total de un set de datos (diferencia al cuadrado de cada valor individual con la media global) y la de los componentes de las diversas fuentes de variabilidad. Para ello, se calcula la varianza de las medias de los grupos (varianza ENTRE, “between”) y la varianza dentro de cada grupo (varianza DENTRO; “within”) también llamada ERROR o RESIDUAL (Moncho Vasallo 2015, p. 85).

Se denomina, así pues, luego de explicar la parte de la variabilidad total que corresponde al factor que interesa analizar, queda esta variabilidad no explicada y que puede tener diversos orígenes como, por ejemplo, error en las mediciones (y de aquí su nombre) o en la variabilidad individual. Si los grupos provienen de una misma población, las varianzas calculadas serán muy similares entre sí, por lo que su razón será cercana a 1. Esta razón es un número denominado F (en honor a Fisher), un estadístico como la t de Student o la r de Pearson, cuya distribución es conocida cuando la hipótesis nula es verdadera (Jorge Dagnino 2014, p. 26).

$$F = \frac{S_{entre}}{S_{dentro}}$$

Por el contrario, si la media de uno o más de los grupos se apartan del resto, la varianza ENTRE los grupos será desproporcionadamente mayor, mayor cuanto más se aparten las medias el valor de F diferirá progresivamente de 1 y la probabilidad que la hipótesis nula sea verdadera, el valor de p es menor.

La secuencia de los cálculos y el resultado de ellos puede resumirse así: la variabilidad total es la suma de los cuadrados de la diferencia de cada una de las observaciones con la media global. Este total se divide en varianza DENTRO de los grupos, que es la suma de los cuadrados de la diferencia entre cada observación y la media del grupo respectivo, y la variabilidad ENTRE los grupos, calculada como la suma de los cuadrados de las diferencias entre la media de cada grupo y la media global. Cada una de estas variabilidades es reducida a una varianza estimada, conocida como media cuadrática (mean sum of squares), dividiéndola por los respectivos grados de libertad. Es la razón entre estas medias cuadráticas la que se usa para calcular el valor de F (Moncho Vasallo 2015, p. 44).

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Alcance

Esta investigación es explicativa porque se realizaron una serie de pruebas sobre la capacidad de absorción de la cáscara de naranja frente a muestras de agua contaminadas con metales pesados. A su vez es dirigida ya que brindó información nueva y de utilidad para el campo relacionado al uso de residuos orgánicos como medios absorbentes para la eliminación de contaminantes en aguas.

3.2. Enfoque

La presente investigación es de tipo cuantitativa, debido a que se tomó en cuenta los datos obtenidos una vez realizados los análisis sobre la capacidad de absorción de la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*) relacionada a metales pesados.

3.3. Diseño de investigación

3.3.1. *Según el método usado*

Es cuasiexperimental porque se recolectaron datos de las pruebas aleatorias a las que fue sometida la cáscara de naranja con la finalidad de generar a futuro una posible aplicación o aprovechamiento de dicho material orgánico.

3.4. Diseño experimental

Identificación de variables

3.4.1. *Variables Dependientes*

- Porcentaje de remoción de Pb y Hg absorbido.

3.4.2. Variables Independientes

- Tiempo de contacto (min)
- Tamaño de la partícula (mm)

3.5. Planteamiento de hipótesis

La manipulación de variables que regulan los fenómenos de absorción (tamaño de partícula absorbente, tiempo de contacto); la cáscara de naranja podría trabajar y actuar como absorbente natural de plomo (Pb) y Mercurio (Hg).

3.6. Matriz de consistencia

Tabla 3-1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
<p>GENERAL: La contaminación por metales pesados hoy en día es uno de los mayores problemas ambientales a nivel mundial debido al crecimiento de la actividad industrial y minera.</p>	<p>GENERAL: Evaluar el efecto del tamaño de partícula y tiempo de contacto en la remoción de metales pesados plomo (Pb) y mercurio (Hg) presentes en aguas contaminadas utilizando cáscara de naranja (<i>Citrus Sinensis</i>) como absorbente natural.</p> <p>ESPECIFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar la interacción del tiempo de contacto sobre el porcentaje de reducción de plomo y mercurio mediante absorción con cáscara de naranja (<i>Citrus Sinensis</i>). - Determinar experimentalmente el tamaño de partícula que permita alcanzar un mayor porcentaje de reducción de plomo y mercurio en aguas contaminadas. 	<p>GENERAL: La manipulación de variables que regulan los fenómenos de absorción (tamaño de partícula absorbente y tiempo de contacto); la cáscara de naranja podría trabajar y actuar como absorbente natural de plomo (Pb) y mercurio (Hg).</p>	<p>VARIABLE</p> <p>DEPENDIENTE: Diseños preestablecidos para el proceso de remoción mediante el uso de la cáscara de naranja.</p> <p>INDICADORES: Porcentaje de remoción de Pb y Hg absorbido.</p> <p>VARIABLE</p> <p>INDEPENDIENTE: Diseños preestablecidos para el proceso de remoción mediante el uso de la cáscara de naranja.</p> <p>INDICADORES:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de contacto (min). - Tamaño de la partícula (mm).

	- Trazar gráficas que expliquen el efecto del tamaño de partícula y tiempo de contacto sobre el porcentaje de reducción de plomo y mercurio en solución acuosa, usando absorción con cáscara de naranja (<i>Citrus Sinensis</i>).		
--	---	--	--

Realizado por: Bustamante, J.; Salazar, S. 2023.

3.7. Operacionalización de variables

Tabla 3-2: Operacionalización de variables

VARIABLE	CONCEPTO	UNIDADES
VARIABLES DEPENDIENTES		
Porcentaje de Pb y Hg absorbido	El porcentaje absorbido del metal pesado con la cáscara de naranja.	%
VARIABLES INDEPENDIENTES		
Tiempo de contacto	Periodo de contacto entre el soluto y el absorbante.	min
Tamaño de la partícula	Dimensión de las partículas.	mm

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

3.8. Área de estudio

El presente estudio se realizó en los laboratorios de la facultad de Ciencias, mismos que pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), tiene su origen en el Instituto tecnológico Superior de Chimborazo, creado mediante Ley No.69,09, expedida por el Congreso Nacional, el 18 de abril de 1969. Inicia sus actividades académicas el 2 de mayo de 1972 con las Escuelas de Ingeniería Zootécnica, Nutrición y Dietética e Ingeniería Mecánica. Se inaugura el 3 de abril de 1972. El 28 de septiembre de 1973 se anexa la Escuela de Ciencias Agrícolas de la PUCE, adoptando la designación de Escuela de Ingeniería Agronómica.

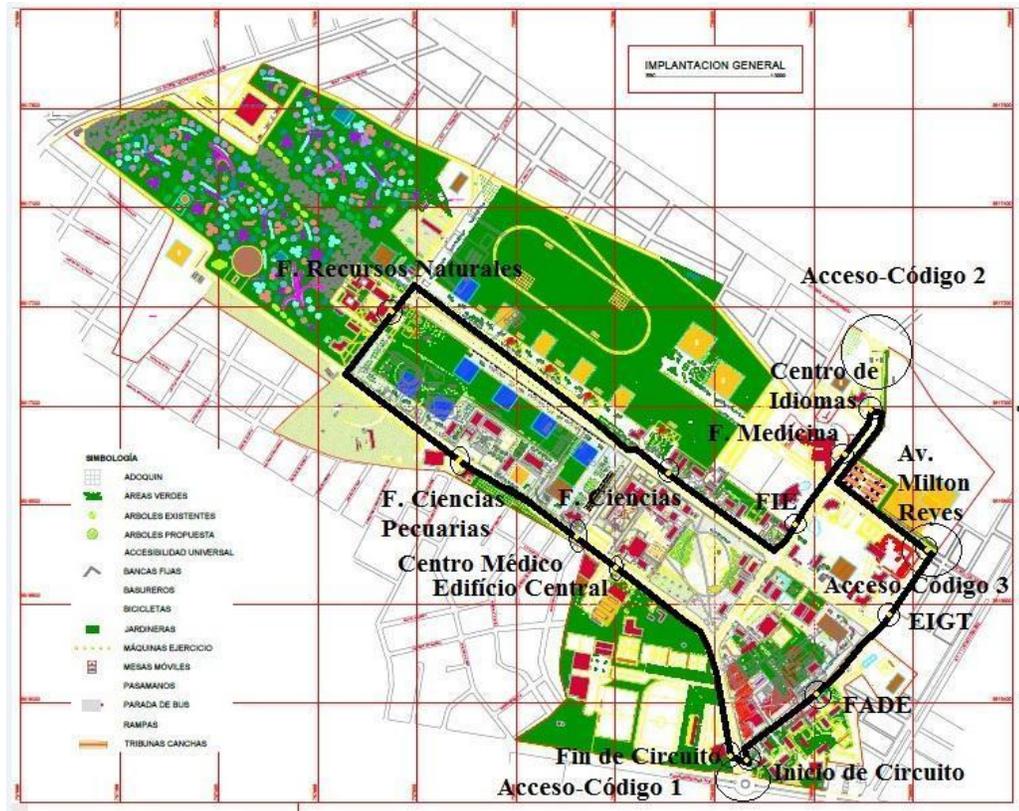


Ilustración 3-1: Mapa de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “ESPOCH”

Fuente: (Merino 2017).

3.8.1. Ubicación geográfica

Esta investigación se llevó a cabo en los laboratorios de la facultad de Ciencias, mismos que se encuentran en los predios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la Panamericana Sur, km. 1½ en la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo, Ecuador.

3.8.2. Población de estudio

La población de estudio correspondió a las muestras de agua que fueron contaminadas a diferentes cantidades con metales pesados como plomo (Pb) y mercurio (Hg).

3.8.3. Unidad de análisis

Las unidades de análisis fueron tamaño de partícula y tiempo de contacto asociados a la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*).

3.8.4. Tamaño y selección de la muestra

El tipo de muestreo seleccionado correspondió a un muestreo no probabilístico dirigido.

Las muestras de agua destilada fueron contaminadas con los metales antes mencionados, posteriormente se creó un medio absorbente con las cáscaras de naranja. A su vez las cáscaras de naranja fueron seleccionadas según el tamaño de partícula. Las mezclas del agua destilada con los metales se realizaron a diferentes concentraciones con la finalidad de analizar el efecto del tamaño de partícula y tiempo de contacto de la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*) a nivel del laboratorio.

Para la realización de las pruebas de tiempo de contacto se trabajó con 3 muestras de agua contaminada con nitrato de plomo (II) N_2O_6Pb y 3 muestras de agua contaminada con nitrato de mercurio II $Hg(NO_3)_2$ mismas que estuvieron contaminadas a 80 y 5 ppm respectivamente, cada solución fue mezclada con 1,4 g del medio absorbente en los tres tamaños de partícula previamente seleccionados.

En el caso de las pruebas de tamaño de partícula se realizaron soluciones a diferentes concentraciones las cuales fueron 20, 40, 60, 80 y 100 ppm para nitrato de plomo (II) N_2O_6Pb y 1, 3, 5, 7 y 9 ppm para nitrato de mercurio II $Hg(NO_3)_2$, por cada concentración se realizaron 3 muestras, mismas que estuvieron mezcladas con 1,4 g del medio absorbente. Los análisis tuvieron el mismo proceso para cada tamaño de partícula empleado.

3.8. Recolección de datos

3.8.1. Materia prima

Muestras de frutos de naranja (*Citrus Sinensis*), variedad blanca, fueron adquiridas en distintos mercados locales de la ciudad de Riobamba. El producto debe contar con un grado de madurez evidenciado por el color, firmeza al tacto del fruto, y ausencia de daños.

Para una caracterización adecuada, se recolectó, acondicionó y procesó una cantidad suficiente de material absorbente mediante los siguientes pasos:

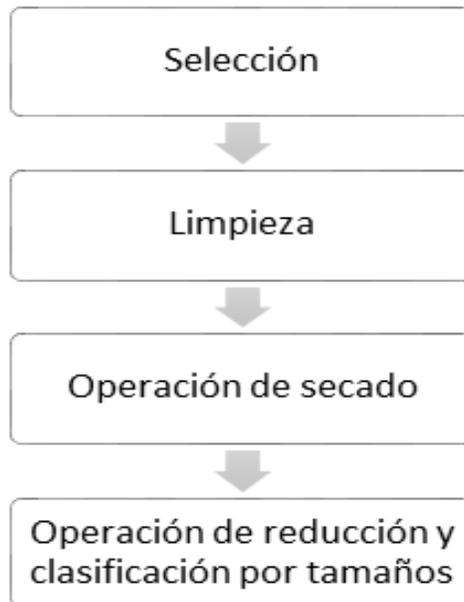


Ilustración 3-2: Caracterización de material absorbente

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

3.8.2. Selección

Se realizó teniendo en cuenta las condiciones óptimas para evitar su rápida degradación y garantía al momento del secado del material.

3.8.3. Limpieza

El material se lavó con abundante agua para eliminar impurezas y compuestos disueltos (taninos, azúcares reductores, resinas y colorantes). Luego se corta en pequeños trozos para facilitar los pasos posteriores de secado y molienda.

3.8.4. Operación de secado

Una vez limpias las cáscaras de naranja, se secaron en estufa a una temperatura de 70 °C durante 48 horas, con el fin de remover la humedad existente.

3.8.5. *Operación de reducción y clasificación por tamaños*

Para reducir el tamaño del material seco se utilizó un molino de aspas marca Thomas, a tres tamaños de partícula, < 0,5 mm, < 1,0 mm y < 2,0 mm. La clasificación se realizó a través de una serie de tamices de acuerdo con las normas ASTM, mismos que fueron seleccionados en relación los tamaños de partícula antes mencionados, los números de malla correspondientes fueron: 35, 18 y 10 respectivamente. El material utilizado en todos los ensayos de caracterización corresponde a secciones desde 0,5 mm hasta 2,0 mm.

3.9. **Método**

Una vez preparado el medio absorbente a base de naranja, en dos balones de aforo de 1000 mL se procedió a preparar las soluciones madre, para plomo se empleó el químico nitrato de plomo (II) a una concentración de 1000 ppm y para mercurio se utilizó nitrato de mercurio (II) con una concentración de 100 ppm, dichas soluciones fueron empleadas en las pruebas para realizar la contaminación del agua.

3.9.1. *Preparación de solución madre-Pb y Hg*

En un balón de aforo de 1000 mL se añadió 1,598 g de N_2O_6Pb y 10 mL de ácido nítrico para posteriormente disolver y luego aforar.

Así mismo para preparar la solución madre de Hg se procedió a pesar 0,17 g de $Hg(NO_3)_2$ más 10 mL de ácido nítrico para disolver y posteriormente aforar.

$$\begin{aligned} & Hg(NO_3)_2 * H_2O \rightarrow 342,62 \\ & 100 \frac{mg \ Hg}{L} * \frac{1g \ Hg}{1000mg \ Hg} * \frac{342,62 \ Hg(NO_3)_2 * H_2O}{200,59g \ Hg} * 1L \\ & = 0,17g \end{aligned}$$

3.9.2. *Determinación de la interacción del tiempo de contacto sobre el porcentaje de reducción de plomo y mercurio*

La toma de muestras se realizó en un intervalo de:

Tabla 3-3: Intervalos de tiempo para prueba.

Tiempo	
Inicial	30 min
	60 min
	120 min
	180 min
Final	240 min

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

3.9.2.1. *Cálculo para volumen añadido a muestras a agitar Pb*

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

$$1000 \text{ ppm} * V1 = 80 \text{ ppm} * 200 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{80 \text{ ppm} * 200 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 16 \text{ mL}$$

3.9.2.2. *Cálculo para volumen añadido a muestras a agitar Hg*

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

$$100 \text{ ppm} * V1 = 5 \text{ ppm} * 200 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{5 \text{ ppm} * 200 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 10 \text{ mL}$$

Para la realización de las pruebas de tiempo de contacto, se pesaron 1,4 g de medio absorbente de naranja por cada tamaño de partículas, también se tomó una muestra de 16 mL de la muestra madre de nitrato de plomo (II) y 10 mL de muestra madre de nitrato de mercurio (II), para así obtener concentraciones de 80 y 5 ppm respectivamente. Las soluciones con las concentraciones mencionadas anteriormente se realizaron tres veces, una por cada tamaño de partícula.

Se prepararon 6 vasos de precipitación de solución de nitrato de plomo (II) a 80 ppm y nitrato de mercurio (II) a 5 ppm y ser aforado a 200 mL, una vez realizado el proceso anterior se mezcló el

medio absorbente seleccionado con un tamaño de partícula distinto y se procedió a agitar durante los intervalos de tiempo antes mencionados.

Realizado dicho proceso se tomó una alícuota cada cierto tiempo que previamente fueron analizadas para determinar el tiempo de contacto que existió y en qué tiempo se dio el mayor valor de absorción. Para cada alícuota se tomó la cantidad de 3 mL de solución agitada que posteriormente ser filtrada eliminando así residuos que puedan alterar los resultados a la hora de su medición.

Tabla 3- 4: Diluciones para medición de nitrato de plomo II y nitrato de mercurio II.

Reactivo	Cantidad inicial mL	Diluciones mL
Nitrato de plomo II N₂O₆Pb	3	25
Nitrato de mercurio II Hg(NO₃)₂	3	50

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Para la lectura se seleccionó 1 mL de la alícuota tomada inicialmente de nitrato de plomo (II) y se procedió a diluir hasta 25 mL con agua destilada, después de realizar dichas diluciones se midió las concentraciones en el espectrofotómetro de absorbancia atómica. Para la medición de nitrato de mercurio (II) se realizó el proceso mencionado anteriormente, la única variante que presento esta medición es que se procedió a diluir las alícuotas hasta 50 mL.

El equipo mostro el tiempo en el cual se tuvo la mayor cantidad de absorción del metal, dicho tiempo de contacto fue empleado para determinar la mayor dosis de absorción de la cáscara de naranja. La cantidad del material absorbente (naranja) se mantuvo constante en 1,4 g realizando variaciones de las concentraciones de contaminante y tomando mediciones en los intervalos antes mencionados.

3.9.3. *Determinación experimental del tamaño de partícula que permitirá alcanzar el mayor porcentaje de reducción de plomo y mercurio.*

Para la determinación del tamaño de partícula se utilizaron como referencia los rangos de partícula: entre 0,5 – 2,0 mm, rangos utilizados en el estudio de (Rodríguez et al. 2009, p. 83).

Para determinar el tamaño óptimo del absorbente tratado se procedió de la siguiente manera se tomaron 90 muestras de una solución de N_2O_6Pb y $Hg(NO_3)_2$ a diferentes concentraciones las cuales fueron las siguientes: 20, 40, 60, 80 y 100 ppm para N_2O_6Pb y 1, 3, 5, 7 y 9 ppm para $Hg(NO_3)_2$, se agregó 1,4 g de biomasa tratada seca en cada muestra según el tamaño de partícula, dichos tamaños fueron 0,5 mm; 1,0 mm y 2,0 mm respectivamente.

En cuanto al nitrato de plomo (II), las soluciones que contenían el tamaño de partícula 0,5 mm se sometieron a agitación por un período de 30 minutos, para las muestras de tamaño de partícula 1,0 mm y 2,0 mm se empleó un periodo 240 minutos.

3.9.3.1. Cálculo de volumen añadido a cada muestra según su concentración Pb

- **Concentración a 20 ppm**

$$\begin{aligned}C_1 \cdot V_1 &= C_2 \cdot V_2 \\1000 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 20 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL} \\V_1 &= \frac{20 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}} \\V_1 &= 4 \text{ mL}\end{aligned}$$

- **Concentración a 40 ppm**

$$\begin{aligned}C_1 \cdot V_1 &= C_2 \cdot V_2 \\1000 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 40 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL} \\V_1 &= \frac{40 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}} \\V_1 &= 8 \text{ mL}\end{aligned}$$

- **Concentración a 60 ppm**

$$\begin{aligned}C_1 \cdot V_1 &= C_2 \cdot V_2 \\1000 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 60 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL} \\V_1 &= \frac{60 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}\end{aligned}$$

$$V1 = 12 \text{ mL}$$

- **Concentración a 80 ppm**

$$C1 \cdot V1 = C2 \cdot V2$$

$$1000 \text{ ppm} \cdot V1 = 80 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{80 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 16 \text{ mL}$$

- **Concentración a 100 ppm**

$$C1 \cdot V1 = C2 \cdot V2$$

$$1000 \text{ ppm} \cdot V1 = 100 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{100 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 20 \text{ mL}$$

Para las muestras de nitrato de mercurio (II), las soluciones que contenían el tamaño de partícula 0,5 mm fueron agitadas durante 30 minutos, mientras que las muestras de 1,0 y 2,0 mm fueron agitadas por un periodo de 180 y 240 minutos respectivamente. Para todas las pruebas se utilizó un agitador orbital a 25 °C y 200 rpm.

Tabla 3-5: Diluciones para medición de nitrato de plomo II.

Reactivo	Concentración Ppm	Cantidad inicial ml	Dilución ml
Nitrato de plomo II	20	5	0
	40	5	10
	60	5	50
	80	5	50
	100	2	50

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Una vez realizado las diluciones con los datos anteriores a la tabla 8., se procedió a hacer las lecturas de las concentraciones de los contaminantes mediante un espectrofotómetro de absorción atómica VP100 marca Thermo acoplado a Ice 3000 series.

3.9.3.2. Cálculo de volumen añadido a cada muestra según su concentración Hg

- **Concentración a 1 ppm**

$$\begin{aligned}C_1 \cdot V_1 &= C_2 \cdot V_2 \\100 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 1 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL} \\V_1 &= \frac{1 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}} \\V_1 &= 2 \text{ mL}\end{aligned}$$

- **Concentración a 3 ppm**

$$\begin{aligned}C_1 \cdot V_1 &= C_2 \cdot V_2 \\100 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 3 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL} \\V_1 &= \frac{3 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}} \\V_1 &= 6 \text{ mL}\end{aligned}$$

- **Concentración a 5 ppm**

$$\begin{aligned}C_1 \cdot V_1 &= C_2 \cdot V_2 \\100 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 5 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL} \\V_1 &= \frac{5 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}} \\V_1 &= 10 \text{ mL}\end{aligned}$$

- **Concentración a 7 ppm**

$$\begin{aligned}C_1 \cdot V_1 &= C_2 \cdot V_2 \\100 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 7 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}\end{aligned}$$

$$V1 = \frac{7 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 14 \text{ mL}$$

- **Concentración a 9 ppm**

$$C1 \cdot V1 = C2 \cdot V2$$

$$100 \text{ ppm} \cdot V1 = 9 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{9 \text{ ppm} \cdot 200 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V1 = 18 \text{ mL}$$

Tabla 3-6: Diluciones para medición de nitrato de mercurio II.

Reactivo	Tamaño mm	Concentración ppm	Cantidad inicial mL	Dilución mL	Cantidad final ml	Dilución final ml
Nitrato de mercurio II	0,5	1	5	10	5	20
		3	5	50	5	50
		5	5	50	5	50
		7	5	50	10	50
		9	5	50	10	50
	1,0	1	5	10	-	-
		3	5	50	-	-
		5	5	50	-	-
		7	5	50	10	50
		9	5	50	10	50
	2,0	1	5	10	5	20
		3	5	10	5	50
		5	5	50	-	-
		7	5	50	10	50
		9	5	50	10	50

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

3.9.4. Ilustración del efecto del tamaño de partícula y tiempo de contacto sobre el porcentaje de reducción de plomo y mercurio

Las curvas de calibración por cada solución N_2O_6Pb y $Hg(NO_3)_2$, se realizaron mediante la elaboración de estándares previamente determinados. Los valores obtenidos después de realizar las mediciones en el equipo son en base a la calibración y estandarización de las muestras madre.

Una vez realizadas las mediciones, con los datos obtenidos se procedió a realizar las gráficas que enseñan la varianza que tienen las muestras según las concentraciones del contaminante, tamaño de partícula y tiempo de contacto.

El software utilizado fue el software IBM SPSS, mismo que facilita herramientas para la realización tanto de las curvas de calibración como del análisis estadístico ANOVA, el cual nos permitió escoger cuales fueron las muestras más representativas una vez realizadas las distintas mediciones.

CAPITULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

4.1.1. *Análisis de tiempo de contacto*

Se seleccionó una concentración constante de 80 ppm para la medición de plomo y de 5 ppm para mercurio.

El término factor se refiere a la variable que determina los grupos del estudio, o sea, la variable independiente o predictora. El número de grupos definido por un factor se conoce como el número de niveles del factor. En medicina, estos corresponden habitualmente a los tratamientos que se comparan. Cuando hay un solo factor de clasificación de los datos, se habla de un ANOVA de un factor, de una vía o de un sentido (Jorge Dagnino 2014, p. 52).

En la siguiente tabla se puede observar las condiciones instrumentales que fueron empleadas para el análisis de plomo (Pb) mediante el proceso de absorción atómica:

Tabla 4-1: Condiciones instrumentales para la medición de Plomo.

Longitud de onda	217 nm
Combustible	Acetileno
Velocidad flujo combustible	1 L/min
Rendija	0,5 nm
Tiempo de medida (muestra)	4,0 s

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

En la siguiente tabla se puede observar el tiempo de contacto en el que mayor absorción del metal se obtuvo por cada tamaño de partícula.

4.1.1.1. Datos de concentraciones corregidas Nitrato de Plomo II

Tabla 4-2: Absorbancia de tiempo de contacto en 0,5 mm.

C. inicial Nitrato de plomo II (ppm)	Tamaño (mm)	Tiempo (min)	Concentración corregida (mg/L)	Porcentaje removido %
80	0,5	30	45,349	43,31
80	0,5	60	49,951	37,56
80	0,5	120	50,466	36,92
80	0,5	180	52,136	34,83
80	0,5	240	47,516	40,61

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Una vez realizadas las pruebas de tiempo de contacto para nitrato de plomo II en contacto con el tamaño de partícula de 0,5 mm se obtuvieron los resultados anteriormente descritos, en los cuales se puede observar que el mayor porcentaje de remoción se produjo durante los primeros 30 minutos de contacto demostrando un porcentaje de remoción del 43,31 %, logrando así indicar que dicho tamaño de partícula emplea menor tiempo, tiene una saturación rápida y por lo tanto emplea mayor cantidad de biosorbente, pero a su vez podría ser considerado el tamaño de partícula ideal para ser utilizado en los análisis.

Tabla 4-3: Absorbancia de tiempo de contacto en 1,0 mm.

C. inicial Nitrato de plomo II (ppm)	Tamaño (mm)	Tiempo (min)	Concentración corregida (mg/L)	Porcentaje removido %
80	1,0	30	62,063	22,42
80	1,0	60	55,983	30,02
80	1,0	120	52,918	33,85
80	1,0	180	54,015	32,48
80	1,0	240	47,599	40,50

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Luego de realizar las pruebas de tiempo de contacto para nitrato de plomo II en contacto con el tamaño de partícula de 1,0 mm se logró obtener los resultados mostrados anteriormente, en los cuales podemos observar que el mayor porcentaje de remoción se produjo durante los primeros 240 minutos de contacto demostrando así que durante el proceso se removió un 40,50 % del total de la

concentración inicial, con esto se pudo demostrar que dicho tamaño de partícula necesita mayor tiempo de contacto y a su vez tiene una saturación más rápida en comparación al tamaño de partícula de 0,5 mm y por lo tanto emplearía mayor cantidad de biosorbente.

Tabla 4- 4: Absorbancia de tiempo de contacto en 2,0 mm.

C. inicial Nitrato de plomo II (ppm)	Tamaño (mm)	Tiempo (min)	Concentración corregida (mg/L)	Porcentaje removido %
80	2,0	30	78,564	1,80
80	2,0	60	74,166	7,29
80	2,0	120	65,780	17,78
80	2,0	180	63,880	20,15
80	2,0	240	56,705	29,12

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Después de haber realizado las pruebas de tiempo de contacto para nitrato de plomo II en contacto con el tamaño de partícula de 2,0 mm se logró obtener los resultados mostrados anteriormente, en los cuales podemos observar que el mayor porcentaje de remoción se produjo dentro de las primeras 240 minutos de contacto demostrando así que durante el proceso se removió un 29,12 % del total de la concentración inicial, logrando así demostrar que dicho tamaño de partícula emplea mayor tiempo, su saturación es más rápida con respecto a los dos tamaños de partícula anteriores y por lo tanto se emplearía una cantidad de biosorbente mucho mayor.

A continuación, se presenta la que representa la variación de los valores tanto para tiempo de contacto de la cascara de naranja con aguas contaminadas con mercurio (Hg) y las condiciones instrumentales que fueron empleadas para su análisis.

Tabla 3-4: Condiciones instrumentales para la medición de Mercurio.

Longitud de onda	253,7 nm
Combustible	Acetileno
Velocidad flujo gas soporte	180 mL/min
Rendija	0,5 nm
Tiempo de media (muestra)	4,0 s

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

4.2. Datos de concentraciones corregidas Nitrato de mercurio II

Tabla 4-5: Absorbancia de tiempo de contacto en 0,5 mm.

C. inicial Nitrato de mercurio II (ppm)	Tamaño (mm)	Tiempo (min)	Concentración corregida (mg/L)	Porcentaje removido %
5	0,5	30	0,472	90,56
5	0,5	60	0,537	89,26
5	0,5	120	0,536	89,28
5	0,5	180	0,497	90,06
5	0,5	240	0,581	88,38

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Una vez realizadas las pruebas de tiempo de contacto para nitrato de mercurio II con el tamaño de partícula de 0,5 mm se obtuvieron los resultados anteriormente descritos, en los cuales se puede observar que en casi todos los casos se produjo una remoción alta del material contaminante, determinando así que durante los primeros 30 minutos de contacto son los ideales para la realización de los análisis ya que el porcentaje de remoción fue del 90,56 %, mismo que logra indicar que dicho tamaño de partícula emplea menor tiempo, no sufre de saturación rápida y por lo tanto la cantidad de biosorbente empleada es la más adecuada, por lo tanto se podría ser considerado el tamaño de partícula ideal para ser utilizado en los análisis.

Tabla 4- 6: Absorbancia de tiempo de contacto en 1,0 mm.

C. inicial Nitrato de mercurio II (ppm)	Tamaño (mm)	Tiempo (min)	Concentración corregida (mg/L)	Porcentaje removido %
5	1,0	30	0,590	88,20
5	1,0	60	0,730	85,40
5	1,0	120	0,549	89,02
5	1,0	180	0,571	88,58
5	1,0	240	0,525	89,50

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Luego de realizar las pruebas de tiempo de contacto para nitrato de mercurio II en contacto con el tamaño de partícula de 1,0 mm se logró obtener los resultados mostrados anteriormente, en los cuales podemos observar que al igual que se tiene un porcentaje de remoción constante, debido a esto se tomó como el tiempo ideal las primeras 240 minutos de contacto ya que en dicho lapso se obtuvo el mayor porcentaje de remoción, mismo que fue 89,50 %. Con esto se pudo demostrar que dicho tamaño de partícula actúa de igual manera en todo el tiempo de contacto, a su vez tiene una saturación más rápida en comparación al tamaño de partícula de 0,5 mm, por lo tanto, emplearía mayor cantidad de biosorbente y también podría ser empleado para los análisis, pero en menor cantidad con respecto al anterior.

Tabla 4-7: Absorbancia de tiempo de contacto en 2,0 mm.

C. inicial Nitrato de mercurio II (ppm)	Tamaño (mm)	Tiempo (min)	Concentración corregida (mg/L)	Porcentaje removido %
5	2,0	30	0,382	92,36
5	2,0	60	0,374	92,52
5	2,0	120	0,356	92,88
5	2,0	180	0,301	93,98
5	2,0	240	0,309	93,82

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Después de haber realizado las pruebas de tiempo de contacto para nitrato de mercurio II en contacto con el tamaño de partícula de 2,0 mm se logró obtener los resultados mostrados anteriormente, en los cuales podemos observar que al igual que en las pruebas anteriores se tiene un porcentaje de remoción constante, es por esto que se tomó como el tiempo ideal los primeros 180 minutos de contacto, puesto que en ese intervalo de tiempo se obtuvo el mayor porcentaje de remoción con un 93,98 %; es así que se pudo demostrar que dicho tamaño de partícula actúa de igual manera en todo el tiempo de contacto, al igual que el tamaño de partícula de 0,5 mm no sufre de saturación rápida, por lo tanto la cantidad de biosorbente aplicada en estas pruebas podría considerarse como la más adecuada y también podría ser empleado para los análisis sin ninguna objeción.

4.2.1. *Análisis de tamaño de partícula*

Para la realización de las pruebas de tamaño de partícula se procedió a utilizar los tiempos de contacto ideales, obtenidos en las pruebas anteriores en los que demostraron una mayor absorbancia del metal para someterlos a diferentes concentraciones y demostrar en cuál de ellas y en qué tiempo se obtuvo mejores resultados. Se aplicó un análisis por triplicado.

4.3. **Datos de concentraciones corregidas Nitrato de Plomo II**

Tabla 4-8: Absorbancia en tamaño de partícula 0,5 mm.

C. inicial Nitrato de plomo II (ppm)	Tamaño (mm)	Tiempo (min)	Concentración corregida (mg/L)	Porcentaje removido %
20	0,5	30	0,529	97,36
40	0,5	30	4,144	89,64
60	0,5	30	11,327	81,12
80	0,5	30	25,091	68,64
100	0,5	30	41,701	58,30

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Una vez elaborados los análisis de tiempo de contacto ideal para la remoción en relación con el tamaño de partícula de 0,5 mm en relación con las soluciones a diferentes concentraciones y luego de haber realizado las pruebas por triplicado se determinó que a 20 ppm se obtiene una concentración corregida de 0,529 mg/L representando un porcentaje de remoción del 97,36 %; en 40 ppm se obtuvo 4,144 mg/L representando así el 89,64 %; a 60 ppm fueron 11,327 mg/L con un porcentaje de 81,12 %; en 80 ppm el resultado fue 25,091 mg/L con un porcentaje del 68,64 % y por último a 100 ppm una concentración del 41,701 mg/L mismo que representó un porcentaje de remoción del 58,30 %.

Tabla 4-9: Absorbancia en tamaño de partícula 1,0 mm.

C. inicial Nitrato de plomo II (ppm)	Tamaño (mm)	Tiempo (min)	Concentración corregida (mg/L)	Porcentaje removido %
20	1,0	240	0,396	98,02
40	1,0	240	1,333	96,67
60	1,0	240	4,805	91,99

80	1,0	240	15,576	80,53
100	1,0	240	18,492	81,51

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Luego de realizar los análisis de tiempo de contacto ideal para la remoción en relación con el tamaño de partícula de 1,0 mm en relación con las soluciones a diferentes concentraciones y luego de haber realizado las pruebas por triplicado se determinó que a 20 ppm se obtiene una concentración corregida de 0,396 mg/L representando un porcentaje de remoción del 98,02 %; en 40 ppm se obtuvo 1,333 mg/L representando así el 96,67 %; a 60 ppm fueron 4,805 mg/L con un porcentaje de 91,99 %; en 80 ppm el resultado fue 15,576 mg/L con un porcentaje del 80,53 % y por último a 100 ppm una concentración del 18,492 mg/L mismo que representó un porcentaje de remoción del 81,51 %.

Tabla 4-10: Absorbancia en tamaño de partícula 2,0 mm.

C. inicial Nitrato de plomo II (ppm)	Tamaño (mm)	Tiempo (min)	Concentración corregida (mg/L)	Porcentaje removido %
20	2,0	240	0,917	95,42
40	2,0	240	2,232	94,42
60	2,0	240	4,658	92,24
80	2,0	240	9,689	87,89
100	2,0	240	15,312	84,69

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Después de haber realizado los análisis de tiempo de contacto ideal para la remoción en relación con el tamaño de partícula de 2,0 mm en relación con las soluciones a diferentes concentraciones y luego de haber realizado las pruebas por triplicado se determinó que a 20 ppm se obtiene una concentración corregida de 0,917 mg/L representando un porcentaje de remoción del 95,42 %; en 40 ppm se obtuvo 2,232 mg/L representando así el 94,42 %; a 60 ppm fueron 4,658 mg/L con un porcentaje de 92,24 %; en 80 ppm el resultado fue 9,689 mg/L con un porcentaje del 87,89 % y por último a 100 ppm una concentración del 15,312 mg/L mismo que representó un porcentaje de remoción del 84,69 %.

Con estos análisis se logró demostrando que dependiendo del tamaño de partícula se podría tener mayor o menor absorción del contaminante, mientras mayor sea la concentración se tendrá una saturación más rápida, por lo tanto, existe menor remoción del contaminante y como se mencionó anteriormente se necesitaría emplear mayor cantidad de biosorbente.

4.4. Datos de concentraciones corregidas Nitrato de mercurio II

Tabla 4-11: Absorbancia en tamaño de partícula 0,5 mm.

C. inicial Nitrato de mercurio II (ppm)	Tamaño (mm)	Tiempo (min)	Concentración corregida (mg/L)	Porcentaje removido %
1	0,5	30	0,191	80,93
3	0,5	30	0,352	88,26
5	0,5	30	0,985	80,31
7	0,5	30	0,843	87,95
9	0,5	30	1,204	86,62

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Una vez realizados los análisis de tiempo de contacto ideal para la remoción en relación con el tamaño de partícula de 0,5 mm en relación con las soluciones a diferentes concentraciones y luego de haber realizado las pruebas por triplicado se determinó que a 1 ppm se obtiene una concentración corregida de 0,191 mg/L representando un porcentaje de remoción del 80,93 %; en 3 ppm se obtuvo 0,352 mg/L representando así el 88,26 %; a 5 ppm fueron 0,985 mg/L con un porcentaje de 80,31 %; en 7 ppm el resultado fue 0,843 mg/L con un porcentaje del 87,95 % y por último a 9 ppm una concentración del 1,204 mg/L mismo que representó un porcentaje de remoción del 86,62 %.

Tabla 4-12: Absorbancia en tamaño de partícula 1,0 mm.

C. inicial Nitrato de mercurio II (ppm)	Tamaño (mm)	Tiempo (min)	Concentración corregida (mg/L)	Porcentaje removido %
1	1,0	240	0,153	84,69
3	1,0	240	0,321	89,31
5	1,0	240	0,394	92,13
7	1,0	240	0,644	90,80
9	1,0	240	0,710	92,11

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Luego de realizar los análisis de tiempo de contacto ideal para la remoción en relación con el tamaño de partícula de 1,0 mm en relación con las soluciones a diferentes concentraciones y luego de haber realizado las pruebas por triplicado se determinó que a 1 ppm se obtiene una concentración corregida

de 0,153 mg/L representando un porcentaje de remoción del 84,69 %; en 3 ppm se obtuvo 0,321 mg/L representando así el 89,31 %; a 5 ppm fueron 0,394 mg/L con un porcentaje de 92,13 %; en 7 ppm el resultado fue 0,644 mg/L con un porcentaje del 90,80 % y por último a 9 ppm una concentración del 0,710 mg/L mismo que representó un porcentaje de remoción del 92,11 %.

Tabla 4- 13: Absorbancia en tamaño de partícula 2,0 mm.

C. inicial Nitrato de mercurio II (ppm)	Tamaño (mm)	Tiempo (min)	Concentración corregida (mg/L)	Porcentaje removido %
1	2,0	180	0,109	89,14
3	2,0	180	0,251	91,62
5	2,0	180	0,426	91,48
7	2,0	180	0,501	92,84
9	2,0	180	0,582	93,53

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Después de haber realizado los análisis de tiempo de contacto ideal para la remoción en relación con el tamaño de partícula de 2,0 mm en relación con las soluciones a diferentes concentraciones y luego de haber realizado las pruebas por triplicado se determinó que a 1 ppm se obtiene una concentración corregida de 0,109 mg/L representando un porcentaje de remoción del 89,14 %; en 3 ppm se obtuvo 0,251 mg/L representando así el 91,62 %; a 5 ppm fueron 0,426 mg/L con un porcentaje de 91,48 %; en 7 ppm el resultado fue 0,501 mg/L con un porcentaje del 92,84 % y por último a 9 ppm una concentración del 0,582 mg/L mismo que representó un porcentaje de remoción del 93,53 %.

4.4.1. Análisis de interacción de tiempo de contacto y tamaño de partícula

Se aplicó el análisis estadístico de varianza (ANOVA) mediante el software estadístico SPSS. El objetivo principal fue establecer la importancia estadística de cada efecto a través de la comparación de su cuadrado medio con una estimación de error experimental. Este proceso se llevó a cabo para adquirir valores de parámetros significativos sobre los tiempos de contacto relacionados con los procesos de absorción de N_2O_6Pb y $Hg(NO_3)_2$. Para determinar la significancia de los efectos o parámetros relacionados con los procesos de absorción, se estableció un nivel de confianza del 95% con un error máximo permisible del 5%.

Tabla 4-14: Análisis estadístico de varianza (ANOVA) para tiempo de contacto de N2O6Pb

Tamaño		Media	Desviación estándar	N
0.5	30 minutos	45,349100		1
	60 minutos	49,951000		1
	120 minutos	50,466100		1
	180 minutos	52,135900		1
	240 minutos	47,515700		1
	Total	49,083560	2,6638799	5
1	30 minutos	62,063200		1
	60 minutos	55,982600		1
	120 minutos	52,918300		1
	180 minutos	54,014700		1
	240 minutos	47,598800		1
	Total	54,515520	5,2383858	5
2	30 minutos	78,563700		1
	60 minutos	74,165500		1
	120 minutos	65,780300		1
	180 minutos	63,879800		1
	240 minutos	56,704500		1
	Total	67,818760	8,6448300	5
Total	30 minutos	61,992000	16,6074145	3
	60 minutos	60,033033	12,6051581	3
	120 minutos	56,388233	8,2256616	3
	180 minutos	56,676800	6,3083182	3
	240 minutos	50,606333	5,2813307	3
	Total	57,139280	9,8786577	15

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Tabla 4- 15: Análisis estadístico de varianza (ANOVA) para tiempo de contacto de Hg(NO₃)₂

Tamaño		Media	Desviación estándar	N
0.5	30 minutos	0,471800		1
	60 minutos	0,536600		1
	120 minutos	0,536000		1

	180 minutos	0,497200		1
	240 minutos	0,581200		1
	Total	0,524560	0,0418811	5
1	30 minutos	0,589600		1
	60 minutos	0,729500		1
	120 minutos	0,548500		1
	180 minutos	0,570700		1
	240 minutos	0,524900		1
	Total	0,592640	0,0802470	5
2	30 minutos	0,382100		1
	60 minutos	0,374100		1
	120 minutos	0,355500		1
	180 minutos	0,301400		1
	240 minutos	0,308600		1
	Total	0,344340	0,0372734	5
Total	30 minutos	0,481167	0,1040666	3
	60 minutos	0,546733	0,1779166	3
	120 minutos	0,480000	0,1080012	3
	180 minutos	0,456433	0,1392015	3
	240 minutos	0,471567	0,1439132	3
	Total	0,487180	0,1203991	15

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Se empleó el análisis estadístico de varianza (ANOVA) mediante el software estadístico SPSS. El objetivo principal fue establecer la importancia estadística de cada efecto a través de la comparación de su cuadrado medio con una estimación de error experimental. Este proceso se llevó a cabo para adquirir valores de parámetros significativos sobre los tamaños de partícula relacionados con los procesos de absorción de N_2O_6Pb y $Hg(NO_3)_2$. Para determinar la significancia de los efectos o parámetros relacionados con los procesos de absorción, se estableció un nivel de confianza del 95% con un error máximo permisible del 5%.

Tabla 4-16: Análisis estadístico de varianza (ANOVA) para tamaño de partícula de N₂O₆Pb

Tamaño		Media	Desviación estándar	N
0.5	20 inicial	0,529000		1
	40 inicial	4,144000		1
	60 inicial	11,327000		1
	80 inicial	25,091000		1
	100 inicial	41,701000		1
	Total	16,558400	16,9069670	5
1	20 inicial	0,396000		1
	40 inicial	1,333000		1
	60 inicial	4,805000		1
	80 inicial	15,576000		1
	100 inicial	18,492000		1
	Total	8,120400	8,3648534	5
2	20 inicial	0,917000		1
	40 inicial	2,232000		1
	60 inicial	4,658000		1
	80 inicial	9,689000		1
	100 inicial	15,312000		1
	Total	6,561600	5,9283381	5
Total	20 inicial	0,614000	0,2707009	3
	40 inicial	2,569667	1,4355989	3
	60 inicial	6,930000	3,8086230	3
	80 inicial	16,785333	7,7718895	3
	100 inicial	25,168333	14,4057246	3
	Total	10,413467	11,5050367	15

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

Tabla 4-17: Análisis estadístico de varianza (ANOVA) para tamaño de partícula de Hg(NO₃)₂

Tamaño		Media	Desviación estándar	N
0.5	1 inicial	0,191000		1
	3 inicial	0,352000		1

	5 inicial	0,985000		1
	7 inicial	0,843000		1
	9 inicial	1,204000		1
	Total	0,715000	0,4285878	5
1	1 inicial	0,153000		1
	3 inicial	0,321000		1
	5 inicial	0,394000		1
	7 inicial	0,644000		1
	9 inicial	0,710000		1
	Total	0,444400	0,2307949	5
2	1 inicial	0,109000		1
	3 inicial	0,251000		1
	5 inicial	0,426000		1
	7 inicial	0,501000		1
	9 inicial	0,582000		1
	Total	0,373800	0,1919966	5
Total	1 inicial	0,151000	0,0410366	3
	3 inicial	0,308000	0,0517397	3
	5 inicial	0,601667	0,3323618	3
	7 inicial	0,662667	0,1717624	3
	9 inicial	0,832000	0,3284570	3
	Total	0,511067	0,3184385	15

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

4.5. Comprobación de la hipótesis

Una vez realizados los análisis estadísticos se logró comprobar que la hipótesis planteada en un principio para tiempo de contacto es nula debido a que no presenta mayor variación en los niveles de significancia con respecto a los análisis, mientras que para tamaño de partícula es una hipótesis alternativa debido a que en dichos análisis es donde se cuenta con la mayor cantidad de variaciones de los niveles de significancia.

4.5.1. Gráficas de interacción de representación del proceso de absorción de la cáscara de naranja.

La ilustración 5-4 trata sobre la variable de mayor impacto en la absorción de N_2O_6Pb , que es la relación (min). La relación entre estas dos variables no es directamente proporcional, por lo que al aumentar la relación puede aumentar o disminuir el porcentaje de absorción de N_2O_6Pb . La eficacia de la retención de N_2O_6Pb por parte de la piel de naranja depende de factores como el tamaño de las partículas y el contacto de la biomasa con la solución. Un mayor contacto entre la biomasa de piel de naranja y la solución que contiene iones Pb conduce a una mayor eficiencia de retención de N_2O_6Pb . Esto, a su vez, aumenta la viabilidad de los sitios de retención activa.

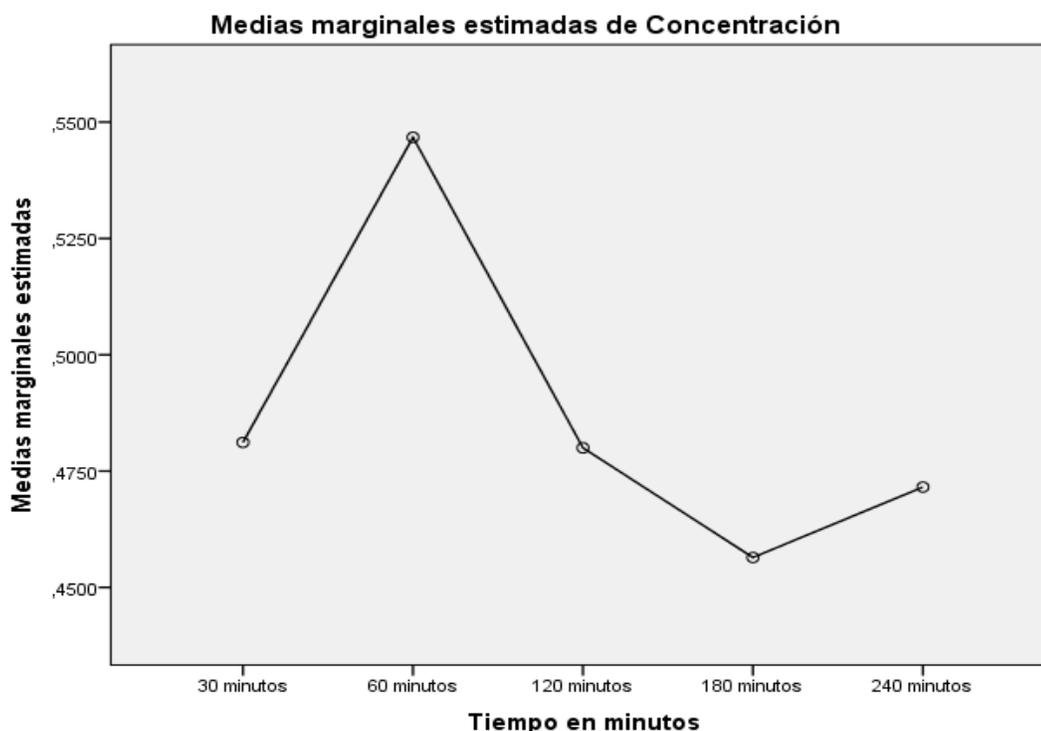


Ilustración 4-1: Gráfico de interacción de las medias de tiempo de contacto para N_2O_6Pb .

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

La ilustración 6-4 la variable con mayor impacto en la absorción de $Hg(NO_3)_2$, que es la relación (min). Como las dos variables tienen una relación directamente proporcional, lo que significa que al aumentar la relación aumenta la absorción de $Hg(NO_3)_2$. La eficacia de la retención de $Hg(NO_3)_2$ por parte de la piel de naranja depende de factores como el tamaño de las partículas y el contacto de la biomasa con la solución. Un mayor contacto entre la biomasa de piel de naranja y la solución que

contiene iones de Hg puede conducir a una mayor eficiencia de retención. Esto, a su vez, puede aumentar la viabilidad de los sitios de retención activa.

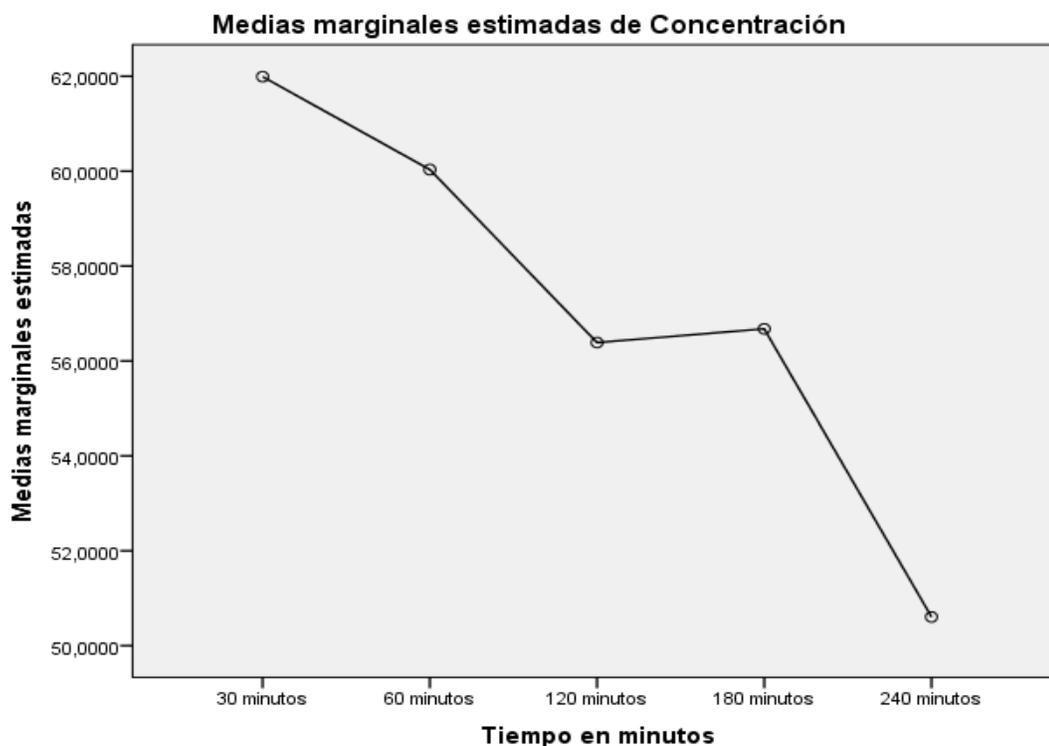


Ilustración 4-2: Gráfico de interacción de las medias de tiempo de contacto para $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

En la ilustración 7-4 la variable con mayor impacto en la absorción de $\text{N}_2\text{O}_6\text{Pb}$, que es el tamaño de partícula. Las dos variables tienen una relación inversamente proporcional, por lo que al aumentar la concentración se reduce el porcentaje de absorción de $\text{N}_2\text{O}_6\text{Pb}$. Vale la pena señalar que el tamaño de partícula utilizado en la solución de iones de Pb (II) afecta el proceso de biosorción al influir en los sitios de la superficie primaria. Los tamaños de partículas más grandes dan como resultado una saturación más rápida, por lo que es una consideración importante para tener en cuenta.

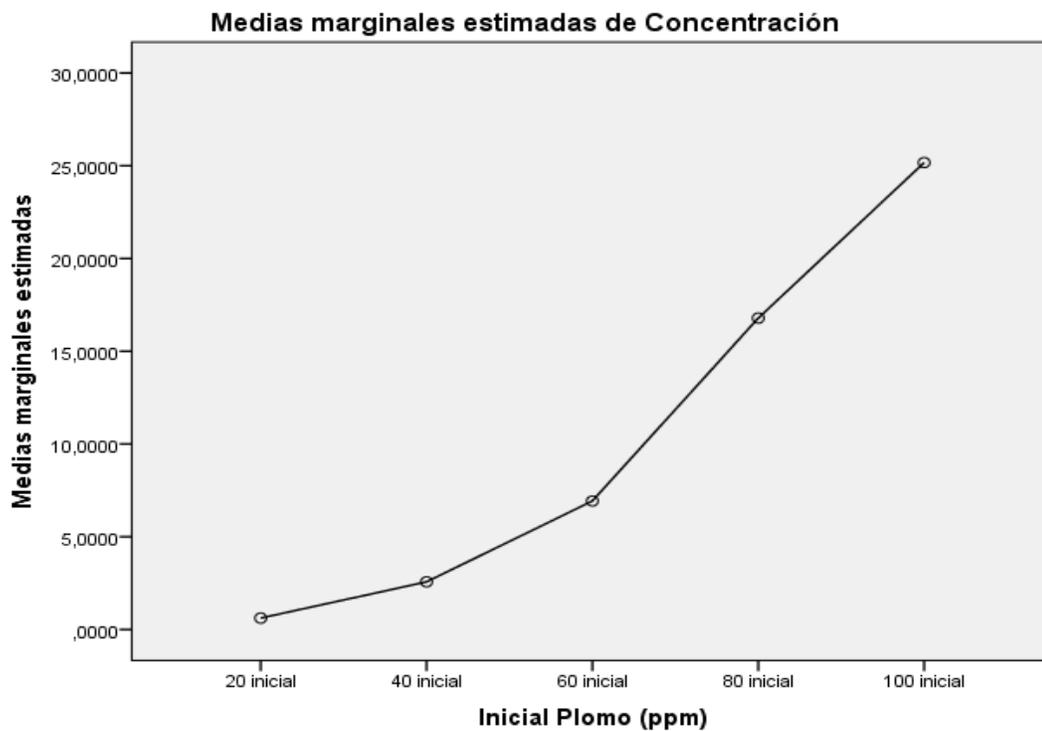


Ilustración 4-3: Gráfico de interacción de las medias de tamaño de partícula para N_2O_6Pb

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

En la ilustración 4-3 la variable con mayor influencia en la absorción de $Hg(NO_3)_2$, que es el tamaño de partícula. Estas variables tienen una relación inversamente proporcional, por lo que un aumento de la concentración provoca una disminución del porcentaje de absorción de $Hg(NO_3)_2$. Es importante tener en cuenta que el tamaño de las partículas utilizadas en la solución de iones de $Hg(II)$ afecta el proceso de biosorción al afectar los sitios de la superficie primaria. Las partículas más grandes conducen a una saturación más rápida y, por lo tanto, son un factor esencial para considerar.

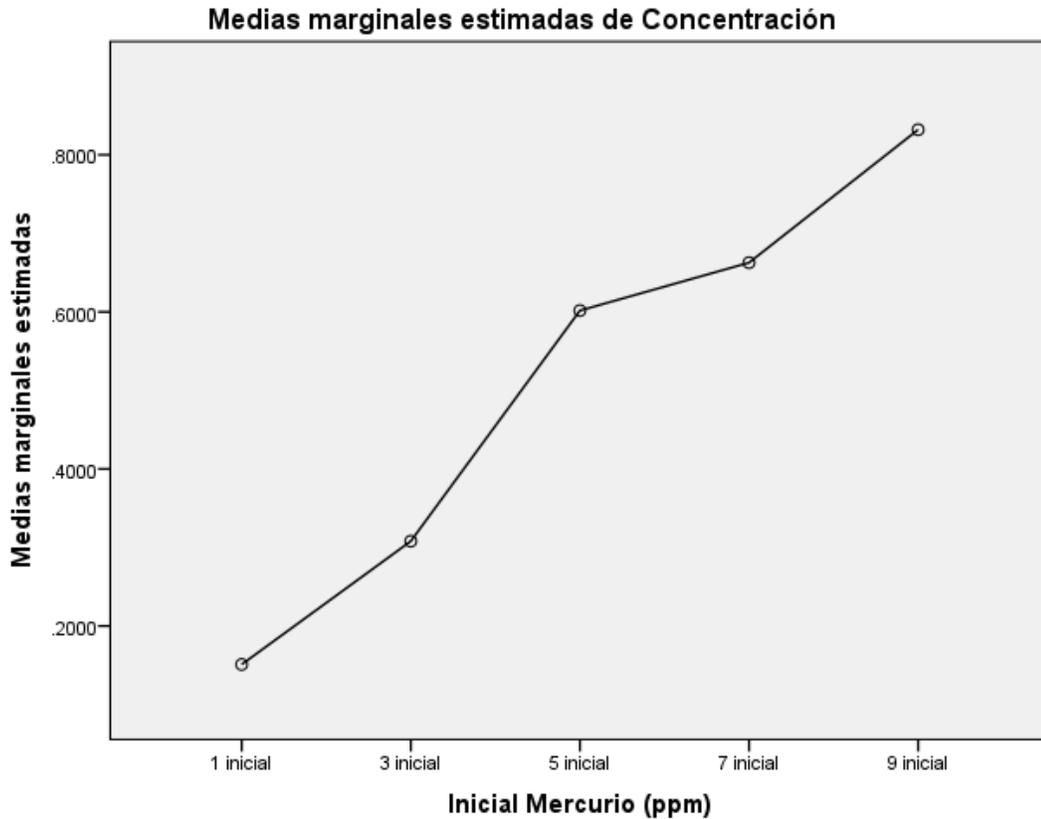


Ilustración 4-4: Gráfico de interacción de las medias de tamaño de partícula para $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$

Realizado por: Bustamante J. & Salazar S., 2023.

4.6. Discusión

Varios estudios han comprobado que algunos de los residuos agrícolas que normalmente son desechados contienen propiedades biosorbentes capaces de poder eliminar cantidades significativas de metales pesados en aguas. Según los valores resultantes de laboratorio con respecto al tamaño de partícula ideal de *Citrus Sinensis* para la remoción de Pb, siendo este el tamaño de partícula más grande (2,0 mm). Estos datos concuerdan con lo analizado por (Cardona, Cabañas y Zepeda 2013, p. 87) donde se explica que obtuvieron una mayor cantidad de remoción en el tamaño de partícula más grande debido a la relación directamente con las propiedades de la naranja como la pectina que se encuentra atribuida a la pared celular de los cítricos.

Los datos representativos sobre efecto que tiene el tiempo de contacto en el porcentaje de remoción de plomo fueron en los 30 min y 240 minutos obteniendo valores de remoción de 45,349 y 47,516 mg/L con el uso de tamaño de partícula más pequeño 0,5 mm. Así mismo (Cardona, Cabañas y Zepeda

2013, pp. 45-46) en su investigación “Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)” explican que el tiempo de contacto está directamente relacionado con el tamaño de partícula y la concentración del metal.

El tiempo de contacto es un parámetro importante que influye en la eficacia de la absorción de los metales pesados por la cáscara de naranja. Los resultados de este estudio coinciden con los hallazgos de (Chen, W., Liu, Y., Huang, C., Zhang 2017), que demostraron que un aumento en el tiempo de contacto aumenta la eficiencia de absorción de los metales pesados. Esto se debe a que el tiempo de contacto prolongado permite una mayor interacción entre los contaminantes y la superficie del absorbente, lo que resulta en una mayor eliminación de los metales pesados del agua.

El tamaño de partícula también es un factor crítico en el proceso de absorción. Los resultados del estudio indican que la eficacia de absorción del mercurio aumenta a medida que el tamaño de partícula de la cáscara de naranja aumenta. Este resultado cuenta con variaciones en los porcentajes de remoción debido a que los niveles de remoción del contaminante no tuvieron el éxito esperado, por lo que al momento de realizar las mediciones en el espectrofotómetro de absorbancia atómica se tuvo que realizar diluciones de las alícuotas tomadas inicialmente dependiendo de la concentración inicial de cada solución. Está en línea con los hallazgos de otros estudios similares. Por ejemplo, (Wang, L., Yang, M., & Cao 2019, p. 58) estudiaron la eliminación de mercurio de soluciones acuosas utilizando cáscaras de naranja y encontraron que el tamaño de partícula de la cáscara de naranja afectaba significativamente la eficacia de absorción de mercurio. Así mismo un estudio realizado por (Gao, J., Wang, Y., & Wang 2020, p. 86), se demostró que el tiempo de contacto afecta significativamente la eficacia de adsorción de mercurio en cáscaras de naranja. En general, un tiempo de contacto más prolongado permitió una mayor interacción entre los contaminantes y la superficie del absorbente, lo que resulta en una mayor eliminación de mercurio del agua.

Además, los ácidos orgánicos presentes en la cáscara de naranja, como el ácido cítrico, pueden mejorar la capacidad de adsorción de los metales pesados. (Ghaedi, M., Shojaeipour, E., Ghaedi, A. M., Ansari, A., & Sahraei 2015, p. 73) demostraron que el ácido cítrico tiene una capacidad quelante para formar complejos con los metales pesados, lo que resulta en una mayor eliminación de los metales pesados del agua. Por lo tanto, es posible que la presencia de ácido cítrico en la cáscara de naranja haya contribuido a su capacidad de adsorción de los metales pesados en este estudio.

Los resultados de esta investigación sugieren que la cáscara de naranja es un absorbente natural efectivo para la eliminación de plomo y mercurio del agua contaminada. El efecto del tiempo de contacto y tamaño de partícula en la eficiencia de remoción de metales pesados debe considerarse cuidadosamente al utilizar cáscaras de naranja como absorbentes naturales. Además, se necesitan más estudios para investigar la capacidad de las cáscaras de naranja para la eliminación de otros metales pesados y su aplicabilidad en grandes escalas.

CONCLUSIONES

- En conclusión, la cáscara de naranja es una alternativa prometedora y económica para la eliminación de metales pesados en aguas contaminadas. La evaluación del efecto del tamaño de partícula y tiempo de contacto en la remoción de plomo y mercurio presentes en aguas contaminadas utilizando cáscara de naranja como absorbente natural es una contribución importante para la investigación ambiental.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se comprobó que la cáscara de naranja presenta un gran potencial para la remoción de plomo y mercurio en aguas contaminadas, el tiempo de contacto y el tamaño de partícula son factores críticos que deben optimizarse para mejorar la eficacia de la absorción. Sin embargo, el tamaño de partícula ideal para la remoción de dichos contaminantes es aquellos que tienen menor dimensión, también se logró determinar que debido a cuestiones de saturación a mayor concentración será necesario emplear mayor cantidad de biomasa ya que en estos presentan mayor efecto de absorbancia del contaminante.
- Según los análisis realizados para la determinación de tiempo de contacto se logró determinar que la mayor absorbancia del contaminante como plomo con un tamaño de partícula de 0,5 mm se dio en los primeros 30 min, para 1,0 y 2,0 mm se obtuvo mayor remoción en los 240 min, mientras que para mercurio el tiempo de contacto ideal para 0,5 mm fue en los primeros 30 min, para 1,0 mm fue en los 240 min presentando un mayor porcentaje de remoción del contaminante y por último para 2,0 mm fue a 180 minutos, ya que en dicho tiempo de contacto se produce la mayor cantidad de absorbancia, obteniendo así una remoción casi total de los contaminantes antes mencionados.
- La mayor cantidad absorbida de plomo fue usando un peso de biosorbente de 1,4 g, a 20 ppm de solución de Pb (II), bajo agitación constante de 200 rpm a temperatura ambiente. Mientras que para Hg (II) fue usando el mismo peso del biosorbente, en 9 ppm de solución, bajo la misma agitación y temperatura.
- Una vez obtenidos los resultados mediante el análisis de varianza (ANOVA) se pudo determinar que el tiempo de contacto varía en función del tamaño de partícula y la saturación de esta ya que el proceso de absorción se encuentra directamente ligado al área de contacto del absorbente y la

fase líquida. La varianza que existen entre los valores de las concentraciones tanto para nitrato de plomo (II) como para nitrato de mercurio (II) demuestran que a mayor concentración existirá menor remoción en y por lo tanto la velocidad de saturación será mayor.

RECOMENDACIONES

- Gracias al éxito en la realización de la investigación y con los resultados obtenidos, recomendamos la utilización de residuos orgánicos como absorbentes naturales para futuras investigaciones ya que sería una alternativa económicamente viable.
- Así mismo, se recomienda seguir realizando análisis a concentraciones variadas y con otros metales que sean comunes en aguas industriales para comprobar si la cáscara de naranja tiene el mismo efecto o varía.
- Se necesitan más estudios para determinar la eficacia de la cáscara de naranja en diferentes situaciones de contaminación del agua y para explorar su potencial en la eliminación de otros contaminantes del agua.
- Se recomienda realizar análisis variando la cantidad del material biosorbente para determinar cuál es la cantidad más adecuada y mayormente recomendable para obtener una remoción casi total o total del material contaminante.

BIBLIOGRAFÍA

ABID, MUHAMMAD et al. “Arsenic(V) biosorption by charred orange peel in aqueous environments.” *International journal of phytoremediation*, vol. 18, n° 5 (2016): 442-9. doi:10.1080/15226514.2015.1109604

ADEGBOLA, Ifeoluwa; et al. “ Health risk assessment and heavy metal accumulation in fish species (*Clarias gariepinus* and *Sarotherodon melanotheron*) from industrially polluted Ogun and Eleyele Rivers, Nigeria”. *Toxicology Reports*, vol. 8, USA, (2021) pp. 1445-1460

AGUILAR SALAS, Melizza Beatriz, & FLORES RODRIGUEZ, Cynthia Pamela Evaluación De La Cáscara De Naranja (*Citrus Cinensis*) Como Material Adsorbente Natural De Ion Metálico Cu(II). [En línea], Universidad Nacional De San Agustín, Facultad De Ingeniería De Procesos Escuela Profesional De Ingeniería Química, Arequipa - Perú, 2018, pp 29-64 [Consulta 2022-07-24]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/06e679d2-1af2-4143-83ec-eae8ccc4952e/content>

AL-GHOUTI, MOHAMMAD et al “The use of orange peel for remediation of aqueous solutions contaminated with mercury”, *Journal of hazardous materials*, vol. 306, (2016).

ALI AZADI et al, “Contamination of lead (Pb) in the coastal sediments of north and south of Iran: a review study.”, *Chemistry and Ecology*, vol. 34, n° 9, ISSN 10290370. DOI 10.1080/02757540.2018.1508462.

CÁRDENAS VERA, Walter Omar, *Caracterización Físico Química Y Sensorial De Una Bebida De Naranja (Citrus X Sinensis) Tipo Vino*. 2021. Tesis Doctoral. Universidad Agraria Del Ecuador, Facultad De Ciencias Agrarias, Carrera De Ingeniería Agrícola Mención Agroindustrial. Milagro – Ecuador, 2021.

CABAÑAS, Dulce et al, “Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)”. *Ingeniería*, vol. 17, n° 1, (2013), (México), pp. 1-9.

CHEN, Wang et al, “Adsorption of Pb (II) ions from aqueous solution by waste orange peel”, *Journal of Chemistry*,(2017).

CHEN, Wang et al, “Preparation of porous carbon nitride from urea and melamine for enhanced photocatalytic activity under visible light”, *Journal of Colloid and Interface Science*, vol 490, (2017).

DARREN, George; & MALLERY, Paul. 2018. "IBM SPSS Statistics 25 paso a paso: una guía y referencia sencillas". *Routledge*, vol. 15. (2018) pp. 404-406.

DENG, J, et al, “Highly efficient removal of malachite green from aqueous solution by graphene oxide supported magnetic chitosan nanoparticles”, *Journal of Molecular Liquids*, vol 250, (2018).

FIELD, Andy, *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. [En línea]. n° 5, Sussex- Reino Unido; Sage Edge, 2017 [Consulta 2022-07-26]. Disponible en: <https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/discovering-statistics-using-ibm-spss-statistics/book257672>

FU, Shourong; et al, “Highly efficient removal of heavy metals by polymer-supported nanosized hydrated ferric oxide from aqueous solution.”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol 4, n° 2,(2017).

FANG, Zheng; et al. “Conversión de desechos sólidos biológicos en biocarbón que contiene grafeno para la remediación del agua: una revisión crítica”. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 390, n° 1, (2020) p. 124611.

GALLEGOS, Wilma et al. “Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos”. *La Granja*, vol. 15, n° 1, (2012), (Ecuador) pp. 19-29.

GAMERO, Carlos, “Contaminación por plomo”, *Revista de Comunicación Vivat Academia*, vol 5, n° 34, (2002), (Perú) pp. 7-60.

GHAEDI, M et al. “Optimization of ultrasonic assisted adsorption of malachite green using gold nanoparticles loaded on activated carbon: Central composite design”. *Journal of Industrial and*

Engineering Chemistry, [en línea], 2014, vol 25, pp 3-18, [Consulta: 20 agosto 2022]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24041530/>

GHAEDI, M et al. “Removal of malachite green by gold nanoparticles loaded on activated carbon and multiwalled carbon nanotubes: A comparative study”. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, [en línea], 2015, vol 28, pp 5-23, [Consulta: 21 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6549752/>

HAIR, J. F. et al. *Multivariate data analysis*. [en línea]. vol 8, Cengage Learning, Porto Alegre-Brasil, Bookman, 2019. [Consulta: 25 agosto 2022]. Disponible en: https://scholar.google.com.ec/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&cluster=9380122124811599956

HOSSAIN, M.A et al. “A critical review of the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: issues, progress, and techniques.”. *Sustainability*, vol. 9, n° 8.

JIMÉNEZ MORENO, María. *Desarrollo de métodos analíticos para especiación de mercurio y su aplicación a la comarca de almadén*. Toledo - España. UCLM, 2009, pp 107- 225.

JORGE DAGNINO, S. “Análisis de varianza”. *Revista Chilena de Anestesia*, [en línea], 2014, (Chile), vol. 43, n° 4, pp 2-5. [Consulta: 27 agosto 2022]. ISSN 07164076. DOI 10.2307/j.ctvvn8k0.7. Disponible en: <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>

LOPEZ, J.Á.S. “Biorefinery of waste orange peel”. *Critical Reviews in Biotechnology*, vol. 30, n° 1, (2010), pp 63-69, ISSN 07388551. DOI 10.3109/07388550903425201.

MARTÍNEZ, X. El mercurio como contaminante global: Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente. (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España, 2004, pp. 156-200, [Consulta: 29 agosto 2022] Disponible en: <https://www.tesisenred.net/handle/10803/3174#page=1>

MOÍMA MERINO, Ángel Josue, Actualización del Plan de Movilidad sostenible de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). (Trabajo de titulación). (Grado). Escuela Superior

Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2017 pp. 30 - 75, [Consulta: 30 agosto 2022]
Disponibile en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6761>

MONCHO, Joaquín. "Análisis de la varianza. ANOVA". *Estadística aplicada a las ciencias de la salud*, vol 2, (2014), España, pp. 18-60.

MONTALVO PINELA, Wilfrido Alexander. "Diagnóstico De La Tecnología Local De La Producción De La Naranja (Citrus Sinensis L) En Caluma Provincia De Bolívar"
(Trabajo de titulación). (Grado académico). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2018, pp. 45-56, [Consulta: 1 septiembre 2022] Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29043>

MUÑOZ CARPIO, Juan Carlos. "Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "citrus cinensis" pretratada." (Trabajo de titulación). (Grado académico). Universidad Nacional Mayor De San Marcos, Lima, Perú, 2007, pp. 56-64, [Consulta: 1 septiembre 2022] Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/391>

ORDÓÑEZ ROMERO, Annabell E. "Biosorción de Pb y Cr mediante la utilización de cáscara de naranja (Citrus sinensis) molida". (Trabajo de titulación). (Grado académico). Universidad Técnica de Machala, Machala - Ecuador, 2015, pp. 36-56, [Consulta: 3 septiembre 2022] Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/1897>

PALLANT, J. *SPSS survival manual*. [en línea], 6 ed , New York- USA, *McGraw Hill Education*, 2016. [Consulta: 3 septiembre 2022] Disponible en: [https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2050871](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2050871)

RAMIREZ, Tibisay; et al. "Pectina de residuos de naranja aplicando el principio de las 3R". *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería*, vol. 8, n° 2, (2020), (Venezuela) pp.1-8.

REDDY, Benjaram; et al. "Abatement of gas-phase mercury-recent developments". *Catalysis Reviews - Science and Engineering*, vol. 54, n° 3, (2012), (Francia) pp. 45-70.

RODRIGUEZ RODRIGUEZ, Karol Aminta, & ROMAN HENRIQUEZ, Adán Manrique, Extracción y evaluación de pectina a partir de la cascara de la naranja de las variedades Citrus sinensis y Citrus paradisi y propuesta de diseño de una planta piloto para su producción. (Trabajo de titulación). (Grado académico) Universidad de El Salvador, Facultad de Química y Farmacia, El Salvador - El Salvador, [Consulta: 3 septiembre 2022] Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5623/1/10127872.pdf>

RODRÍGUEZ, V; et al. “Evaluación del proceso de biosorción con cáscaras de naranja para la eliminación del colorante comercial Lanazol Navy CE en aguas residuales de la industria textil”. *Ingeniería*, [en línea], 2009, (México) vol. 13, no. 3, pp. 3-6, [Consulta: 3 septiembre 2022]. ISSN: 1665-529X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46712187005>

RUIZ PIRAQUIVE, Diego Alejandro, & MONROY PEDRAZA, Diego Felipe, Remoción de Compuestos Orgánicos Persistentes y Mercurio en Aguas Residuales de la Industria Textil por Medio de Nanopartículas Magnéticas (Mnps) y Biomasa Residual De Plátano. (Trabajo de titulación). (Grado académico), Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá – Colombia, [Consulta: 4 septiembre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10983/26629>

SALAS, Cindy; et al. “Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención”. *Revista Argentina de Endocrinología y Metabolismo*, vol. 8, n°. 5, pp.5-13, [Consulta: 5 septiembre 2022]. ISSN 1665-0204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/813/81359562002/81359562002.pdf>

SALGADO, Luis; & HERNÁNDEZ, Carlos. “Medición de la absorbancia óptica de soluciones acuosas mediante la instrumentación virtual y el control”. *Scientia et Technica*, vol. 19, no. 1, pp.2-6. [Consulta: 5 septiembre 2022]. ISSN 0122-1701. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84930900008.pdf>

SILVATEAM, ¿Qué es la pectina? [blog]. Mondovi, Silvateam, 2023, [Consulta: 5 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.silvateam.com/es/productos-y-servicios/aditivos-alimentarios/pectina/qu-es-la-pectina.html>.

TEJADA, Candelaria; et al. “Remoción de plomo por biomasa residual de cáscara de naranja y zuro de maíz (*Zea mays*)”. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 19, n° 1, (2016), (Cartagena) pp.1-10.

TOVAR ARCE, Ana Karen. Valorización integral de cáscaras de naranja mediante extracción de pectina y elaboración de carbón activado. [en línea] (Trabajo de titulación), (grado académico). Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. Santiago de Querétaro – México, 2017. [Consulta: 6 septiembre 2022]. Disponible en: <http://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1021/191>

VALLÉS, Martí; et al. *El plomo: un problema medioambiental y para la salud.* [blog]. Barcelona, Barcelona investigación e innovación. 2018. [Consulta: 10 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/el-plomo-un-problema-medioambiental-y-para-la-salud-1345680342040.html?noticiaid=1345777559254>

VARGAS, Karen. “Evaluación De Un Adsorbente Natural a Partir De Residuos De Cascara De Mandarina Para La Adsorción De Mercurio De Aguas Residuales Artificiales”. *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, n°. 9, (2019). (Bogotá) pp. 3-15.

WANG, Li; et al. “Adsorption of mercury from aqueous solutions by orange peel modified with sodium hydroxide”. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 7, n° 3, (2019), (Sevilla) pp.2-10.

ZAMBRANO CANTOS, Rosa Isabel. Conservación de zumo de naranja (*citrus sinensis*) utilizando dosis de miel de abeja y canela como conservante natural. [en línea] (Trabajo de titulación). (grado académico) Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Agroindustrial. (Manabí – Ecuador), 2014 pp. 36-65. [Consulta: 13 septiembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/116>



ANEXOS

ANEXO A: CONCENTRACIONES PARA ESTÁNDARES DE PLOMO

C1	V1	C2	V2
1000	0,75	30	25

C1	V1	C2	V2
30	1	0,6	50
30	2	1,2	50
30	3	1,8	50
30	5	3	50

Realizado por: Bustamante, J.; Salazar, S. 2023.

ANEXO B: CONCENTRACIONES PARA ESTÁNDARES DE MERCURIO

C1	V1	C2	V2
100	0,5	1	50

Ppm	mL	ppm	mL
1	1	0,01	100
1	2	0,02	100
1	3	0,03	100
1	5	0,05	100

500mL agua acidulada (10mL HCl)

Realizado por: Bustamante, J.; Salazar, S. 2023.

ANEXO C: ANÁLISIS TUKEY – TIEMPO DE CONTACTO PB

(I) Tiempo en minutos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
30 minutos	60 minutos	1,958967	4,1926519	0,988
	120 minutos	5,603767	4,1926519	0,679
	180 minutos	5,315200	4,1926519	0,716
	240 minutos	11,385667	4,1926519	0,137
60 minutos	30 minutos	-1,958967	4,1926519	0,988
	120 minutos	3,644800	4,1926519	0,900
	180 minutos	3,356233	4,1926519	0,923
	240 minutos	9,426700	4,1926519	0,254
120 minutos	30 minutos	-5,603767	4,1926519	0,679
	60 minutos	-3,644800	4,1926519	0,900
	180 minutos	-,288567	4,1926519	1,000
	240 minutos	5,781900	4,1926519	0,656
180 minutos	30 minutos	-5,315200	4,1926519	0,716
	60 minutos	-3,356233	4,1926519	0,923
	120 minutos	,288567	4,1926519	1,000
	240 minutos	6,070467	4,1926519	0,618
240 minutos	30 minutos	-11,385667	4,1926519	0,137
	60 minutos	-9,426700	4,1926519	0,254
	120 minutos	-5,781900	4,1926519	0,656
	180 minutos	-6,070467	4,1926519	0,618

Realizado por: Bustamante, J.; Salazar, S. 2023.

ANEXO D: Análisis TUKEY – Tiempo De Contacto Hg

(I) Tiempo en minutos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
30 minutos	60 minutos	-0,065567	0,0445919	0,606
	120 minutos	0,001167	0,0445919	1,000
	180 minutos	0,024733	0,0445919	0,978
	240 minutos	0,009600	0,0445919	0,999
60 minutos	30 minutos	0,065567	0,0445919	0,606
	120 minutos	0,066733	0,0445919	0,591
	180 minutos	0,090300	0,0445919	0,335
	240 minutos	0,075167	0,0445919	0,491
120 minutos	30 minutos	-0,001167	0,0445919	1,000
	60 minutos	-0,066733	0,0445919	0,591
	180 minutos	0,023567	0,0445919	0,982
	240 minutos	0,008433	0,0445919	1,000
180 minutos	30 minutos	-0,024733	0,0445919	0,978
	60 minutos	-0,090300	0,0445919	0,335
	120 minutos	-0,023567	0,0445919	0,982
	240 minutos	-0,015133	0,0445919	0,997
240 minutos	30 minutos	-0,009600	0,0445919	0,999
	60 minutos	-0,075167	0,0445919	0,491
	120 minutos	-0,008433	0,0445919	1,000
	180 minutos	0,015133	0,0445919	0,997

Realizado por: Bustamante, J.; Salazar, S. 2023.

ANEXO E: ANÁLISIS TUKEY – TAMAÑO DE PARTÍCULA PB

(I) Inicial Plomo (ppm)		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
20 inicial	40 inicial	-1,955667	4,8292323	0,993
	60 inicial	-6,316000	4,8292323	0,695
	80 inicial	-16,171333	4,8292323	0,058
	100 inicial	-24,554333*	4,8292323	0,006
40 inicial	20 inicial	1,955667	4,8292323	0,993
	60 inicial	-4,360333	4,8292323	0,888
	80 inicial	-14,215667	4,8292323	0,101
	100 inicial	-22,598667*	4,8292323	0,010
60 inicial	20 inicial	6,316000	4,8292323	0,695
	40 inicial	4,360333	4,8292323	0,888
	80 inicial	-9,855333	4,8292323	0,329
	100 inicial	-18,238333*	4,8292323	0,032
80 inicial	20 inicial	16,171333	4,8292323	0,058
	40 inicial	14,215667	4,8292323	0,101
	60 inicial	9,855333	4,8292323	0,329
	100 inicial	-8,383000	4,8292323	0,465
100 inicial	20 inicial	24,554333*	4,8292323	0,006
	40 inicial	22,598667*	4,8292323	0,010
	60 inicial	18,238333*	4,8292323	0,032
	80 inicial	8,383000	4,8292323	0,465

Realizado por: Bustamante, J.; Salazar, S. 2023.

ANEXO F: ANÁLISIS TUKEY – TAMAÑO DE PARTÍCULA HG

(I) Inicial Mercurio (ppm)		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
1 inicial	3 inicial	-0,157000	0,1224903	0,709
	5 inicial	-0,450667*	0,1224903	0,037
	7 inicial	-0,511667*	0,1224903	0,019
	9 inicial	-0,681000*	0,1224903	0,004
3 inicial	1 inicial	0,157000	0,1224903	0,709
	5 inicial	-0,293667	0,1224903	0,209
	7 inicial	-0,354667	0,1224903	0,107
	9 inicial	-0,524000*	0,1224903	0,017
5 inicial	1 inicial	0,450667*	0,1224903	0,037
	3 inicial	0,293667	0,1224903	0,209
	7 inicial	-0,061000	0,1224903	0,985
	9 inicial	-0,230333	0,1224903	0,397
7 inicial	1 inicial	0,511667*	0,1224903	0,019
	3 inicial	0,354667	0,1224903	0,107
	5 inicial	0,061000	0,1224903	0,985
	9 inicial	-0,169333	0,1224903	0,654
9 inicial	1 inicial	0,681000*	0,1224903	0,004
	3 inicial	0,524000*	0,1224903	0,017
	5 inicial	0,230333	0,1224903	0,397
	7 inicial	0,169333	0,1224903	0,654

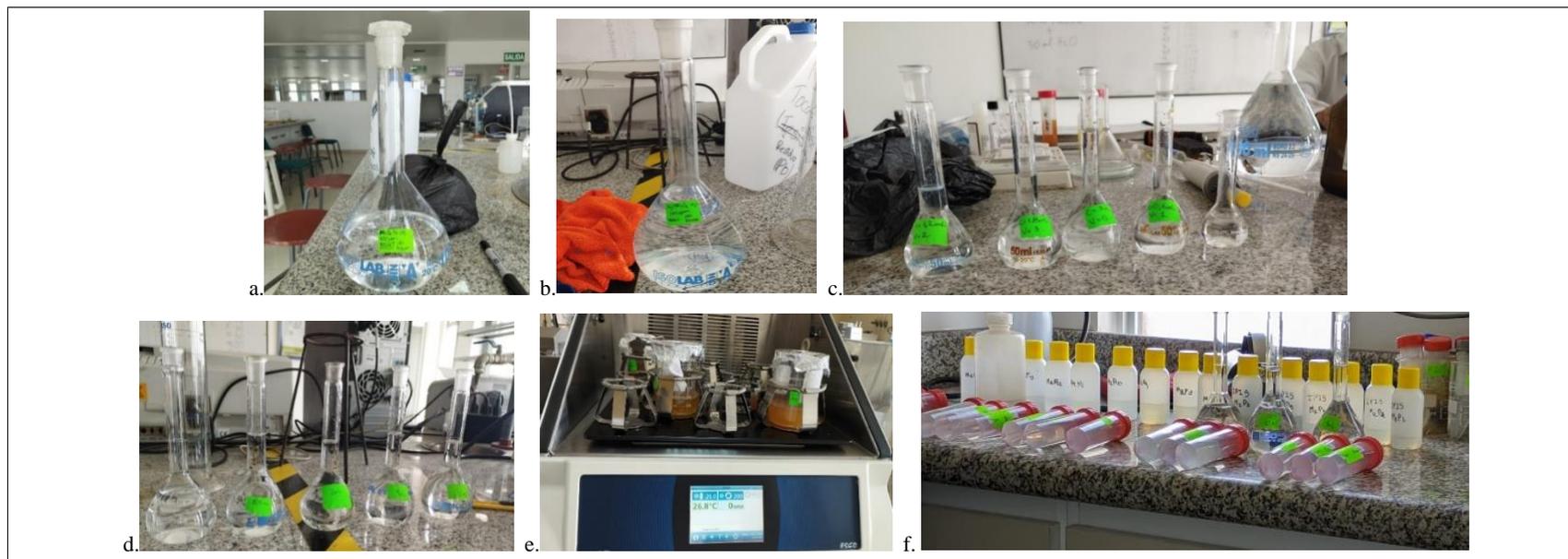
Realizado por: Bustamante, J.; Salazar, S. 2023.

ANEXO G: PREPARACIÓN DE MATERIAL BIOSORBENTE



<p>NOTAS:</p> <p>a. Cáscaras de naranja preparadas para iniciar el proceso.</p> <p>b. Cáscaras de naranja sometidas a un proceso de secado.</p> <p>c. Cáscaras de naranja secas y listas para su trituración.</p> <p>d. Tamizaje de cáscaras molidas.</p> <p>e. Tamizaje de las cáscaras molidas</p> <p>f. Pesaje del material biosorbente.</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p> <p><input type="checkbox"/> Información</p> <p><input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS</p> <p>INGENIERÍA AMBIENTAL</p> <p>ELABORADO POR:</p> <p>Bustamante J & Salazar S.</p>	<p>Proceso de elaboración del material biosorbente.</p>		
			LAM:	ESC:	FECHA
			1	1:2	2023/02/27

ANEXO H: PREPARACIÓN DE SOLUCIONES CONTAMINANTES Y SUS RESPECTIVOS ESTÁNDARES DE MEDICIÓN



NOTAS: a) Solución inicial contaminante de Plomo. b) Solución inicial contaminante de Mercurio. c) Estándares para medición de Plomo. d) Estándares para medición de Mercurio. e) Agitación durante los intervalos de tiempo establecidos. f) Medición de concentraciones obtenidas una vez realizado el proceso.	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS INGENIERÍA AMBIENTAL ELABORADO POR: Bustamante J & Salazar S.	Proceso de preparación de las sustancias contaminantes y medición de las concentraciones obtenidas.		
			LAM:	ESC:	FECHA
			2	1:2	2023/02/27



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 09 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Josselyn Mishell Bustamante Sarango Sharon Stefania Salazar Villarroel
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1625-DBRA-UPT-2023

