



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

EVALUACIÓN DE LA CASCARA DE NARANJA CITRUS X SINENSIS COMO
BIOSORBENTE PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN MUESTRAS
SINTÉTICAS A NIVEL DE LABORATORIO, 2020

Línea de investigación: Tecnología para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Casas Champi, Rolando Julian

Asesora:

Vega Ventosilla, Violeta

(ORCID: 0000-0002-7763-6993)

Jurado:

Sánchez Carrera, Dante Pedro

Vasquez Aranda, Ahuber Omar

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA:

Dedico esta tesis a mi abuela
María Casilda Diburcio Oropeza
por apoyarme en todo momento.

AGRADECIMIENTO:

Agradezco a mi asesora Mg. Violeta Vega
Ventosilla por el apoyo brindado
desde el primer momento que se le solicito.

De igual manera mis agradecimientos
para mi amiga Giovanna Torre
por motivarme a realizar esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
TÍTULO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RECONOCIMIENTO.....	iv
INDICE.....	v
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
I. Introducción.....	10
1.1.Descripción y formulación del problema.....	10
1.2.Antecedentes.....	13
1.3.Objetivos.....	25
1.4.Justificación.....	26
1.5.Hipótesis.....	27
II. Marco teórico.....	28
2.1.Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	28
2.2.Marco conceptual.....	53
2.3.Marco Legal Ambiental.....	56
III. Método.....	62
3.1.Tipo de investigación.....	62
3.2.Ámbito temporal y espacial.....	62

3.3. Variables	63
3.4. Población y muestra.....	65
3.5. Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos.....	65
3.6. Procedimientos	66
3.7. Análisis de datos.....	68
3.8. Consideraciones éticas	69
IV. Resultados.....	70
4.1. Resultados de la dosis óptima con cascara de naranja en la remoción de plomo 70	
4.2. Resultados de la dosis óptima con cascara de naranja en la remoción de cadmio 74	
4.3. Resultados de las eficiencias de naranja con plomo	79
4.4. Resultados de la eficiencia de naranja con cadmio.....	82
4.5. Análisis estadístico	84
4.6. Análisis estadístico inferencial.....	89
4.7. Contrastación de Hipótesis de la investigación	93
V. Discusiones de resultados	94
VI. Conclusiones	98
VII. Recomendaciones	100
VIII. Referencias.....	101
IX. Anexos	104

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1	45
Figura 2	46
Figura 3	71
Figura 4	72
Figura 5	74
Figura 6	76
Figura 7	77
Figura 8	79
Figura 9	85
Figura 10	86
Figura 11	87
Figura 12	88
Figura 13	89
Figura 14	90
Figura 15	91
Figura 16	92

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1.....	36
Tabla 2.....	40
Tabla 3.....	40
Tabla 4.....	42
Tabla 5.....	47
Tabla 6.....	64
Tabla 7.....	70
Tabla 8.....	72
Tabla 9.....	73
Tabla 10.....	75
Tabla 11.....	77
Tabla 12.....	78
Tabla 13.....	80
Tabla 14.....	81
Tabla 15.....	81
Tabla 16.....	82
Tabla 17.....	83
Tabla 18.....	83
Tabla 19.....	85
Tabla 20.....	86
Tabla 21.....	87
Tabla 22.....	88
Tabla 23.....	93

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la capacidad de biosorción de la cascara de Naranja citrus x sinensis para la remoción de Plomo y Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, bajo esta premisa, la pregunta de investigación es la siguiente, ¿Cómo será la capacidad de biosorción de la cáscara de Naranja citrus x sinensis para la remoción de Plomo y Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?, en este contexto, un floculante natural o biosorbente es un compuesto orgánico capaz de remover metales pesados de un efluente industrial, cuya característica principal es su capacidad de biodegradación que tiene. **Método:** La pregunta de investigación se responde de acuerdo a pruebas experimentales desarrollado mediante unos ensayos conocidas como prueba de Jarras o Jar Test, en el cual se trabajan con diferentes dosis de floculantes o biosorbentes, y a diferentes concentraciones de Plomo y Cadmio, con el propósito de remover las mayores cantidades de las muestras en estudio. **Resultados:** Resultados finales obtenidos por el biosorbentes de Naranja muestran dosis óptimas para concentraciones de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l de Plomo y Cadmio, en 2.5 g, asimismo, sus eficiencias varían entre 60.8 y 94%, con lo cual podemos concluir que el biosorbente presenta una capacidad elevada en la remoción de los metales en estudio para concentraciones entre 0.25 y 1.0 mg/l de Plomo y Cadmio. **Conclusiones:** se recomienda desarrollar más ensayos experimentales con otros floculantes naturales, a fin de evaluar su capacidad de biosorción y remoción para otros metales.

Palabras claves: Efluentes industriales, calidad del agua, biosorbente.

ABSTRACT

Objective: for this research is to evaluate the biosorption capacity of the orange peel citrus x sinensis for the removal of Lead and Cadmium in synthetic samples at the laboratory level, under this premise, the research question is the following, How Will the biosorption capacity of Citrus x sinensis orange peel be for the removal of Lead and Cadmium in synthetic samples at the laboratory level? In this context, a natural or biosorbent flocculant is an organic compound capable of removing heavy metals from an industrial effluent, whose main characteristic is its biodegradation capacity.

Method: the research question is answered according to experimental tests developed through tests known as the Jar test or Jar Test, in which different doses of flocculants or biosorbents are used, and at different concentrations of Lead and Cadmium with the purpose of removing the largest amounts of the samples under study. **Results:** obtained by the natural flocculant or orange biosorbents show optimal doses for concentrations of 0.25, 0.5 and 1.0 mg / l of Lead and Cadmium, in 2.5 g, likewise, their efficiencies vary between 60.8 and 94%, with which we can conclude that the biosorbent has a high capacity to remove the metals under study for concentrations between 0.25 and 1.0 mg / l of Lead and Cadmium. **Conclusions:** it is recommended to develop more experimental tests with other natural flocculants, in order to evaluate their biosorption and removal capacity for other metals.

Key words: Industrial effluents, water quality, biosorbent.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. *Formulación del problema*

Durante mucho tiempo, y debido a las actividades que el hombre realiza a nivel industrial han dejado una serie de sustancias contaminantes en el ambiente como producto de sus diferentes procesos, sin embargo, el problema no sería muy complejo si todas estas sustancias fueran manejadas adecuadamente y no impactaran al ambiente, pero, por el contrario, el efecto residual expuesto resulta muchas veces perjudicial por las particularidades que presentan sobre todo los de naturaleza inorgánica, como los metales pesados, que por sus características de persistencia y solubilidad tienden a migrar hacia otros componentes ambientales como las aguas subterráneas, aguas superficiales y marinas.

Los metales pesados presentan un alto grado de toxicidad y peligrosidad por su capacidad de bioacumulación y biomagnificación que poseen, llegando a concentrarse e incrementarse en los diferentes organismos, desde los niveles tróficos inferiores hasta los superiores. Dentro de este grupo de metales tenemos al Plomo y Cadmio como dos de sus principales exponentes, el Plomo durante mucho tiempo se sabe que se acumula en las plantas, animales e incluso el hombre causando graves problemas de toxicidad. En el ser humano, cuando el plomo ingresa al organismo, las enzimas que metabolizan los aminoácidos azufrados lo transforman en sulfuro de plomo. La enfermedad conocida por intoxicación por Plomo es el Saturnismo quien genera anemia, debido a que el plomo en la sangre bloquea la síntesis de hemoglobina y altera el transporte de oxígeno a la sangre y hacia los demás órganos del cuerpo. El Cadmio, sin duda alguna es considerado también como otro de los metales más tóxicos que existe en la naturaleza debido

a su capacidad acumulativa que tiene sobre los diversos organismos en general. En el hombre el cadmio tiende a bioacumularse en el riñón, hígado y huesos, así mismo puede verse alterado la asimilación del calcio y la absorción ósea, lo que favorece situaciones de osteomalacia y/o osteoporosis, tipos de fracturas óseas, dolor en las articulaciones y formación de cálculos renales. El cadmio también ha sido calificado como agente carcinogénico de nivel I, por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.

En este sentido es importante desarrollar tecnologías que permitan remover dichos metales de los efluentes antes de que estos sean vertidos a los diferentes cuerpos receptores. Dentro de las técnicas de remoción tenemos aquellos que utilizan compuestos químicos, como una solución al problema, sin embargo, terminan incrementándolo, debido a que los reactivos químicos utilizados precipitan junto con los metales pesados.

Uno de los métodos que se vienen utilizando últimamente son aquellos que remueven metales, pero sin incrementar la presencia de sustancias químicas, así tenemos por ejemplo el uso de compuestos orgánicos, elaborados a partir de frutos desechados como es el caso de las cascaras, las cuales al ser procesadas adecuadamente permiten remover metales pesados por la capacidad de biosorción que estos poseen.

En este sentido, es necesario desarrollar métodos que permitan remover el Plomo y Cadmio de las aguas residuales de las diferentes actividades generadoras, como por ejemplo la minería, galvanizados, curtiembres, etc., dentro de los cuales se propone el uso de compuestos orgánicos como la cascara de naranja citrus x sinensis, quien puede servir como floculante natural biodegradable en lugar de

utilizar agentes químicos que incrementen la presencia de sustancias tóxicas en el ambiente.

1.1.2. Formulación del problema

- **Problema General**

- ¿Cómo será la capacidad de biosorción de la cáscara de Naranja citrus x sinensis para la remoción de Plomo y Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio 2020?

- **Problemas Específico**

- ¿Cuál será la dosis óptima de la cáscara de Naranja citrus x sinensis como biosorbente natural para la remoción de Plomo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?
- ¿Cuál será la dosis óptima de la cáscara de Naranja citrus x sinensis como biosorbente natural para la remoción de Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?
- ¿Cuál será la eficiencia de la cáscara de Naranja citrus x sinensis como biosorbente natural para la remoción de Plomo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?
- ¿Cuál será la eficiencia de la cáscara de Naranja citrus x sinensis como biosorbente natural para la remoción de Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Nacionales

Collantes (2019), en su estudio que realizó sobre “*Capacidad Biosorbente de Plomo de la Cáscara de Naranja (Citrus Sinensis (L.) Osbeck) y la Vaina de Taya (Caesalpinia Spinosa (Molina) Kuntze)*”, planteó como objetivo: Determinar la capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis (L.) Osbeck*) y la Vaina de Taya (*Caesalpinia spinosa (Molina) Kuntze*) y el porcentaje de remoción de plomo. Dentro de la metodología en la investigación se planteó el diseño de un sistema continuo en columna de lecho fijo, donde se colocaron anticipadamente 5 módulos empaquetados de cáscara de naranja y vaina de taya. Se determinaron las concentraciones iniciales de solución de plomo (0 ppm, 50 ppm, 100 ppm y 150 ppm) y el tipo de biosorbente; encontrándose constantes las variables: masa de biosorbente 60 g, tamaño de partículas entre 0.630 mm y 0.400 mm, pH 4.5, velocidad de flujo 5 ml/min y duración del proceso de 120 min. Finalmente se obtuvo como resultados que las dos biomásas son eficientes como biosorbentes de plomo, arrojando porcentaje de remoción por encima del 95 % para la cáscara de naranja y mayor al 80 % para la vaina de taya y capacidades de biosorción parecidas, lo cual demuestra su posible aplicación industrial para el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados.

Sernaqué (2018), en su estudio que desarrolló sobre “*Eficiencia de floculantes Orgánicos en la Biosorción de Plomo y Cadmio en muestras a nivel de Laboratorio, Lima – 2018*” estableció como objetivo general: Evaluar la eficiencia de los floculantes orgánicos en la biosorción de plomo y cadmio en muestras a nivel de laboratorio, en la metodología empleada, se preparó una

solución patrón de 1000 mg/l o ppm de Pb y Cd, la cual fue base para preparar las soluciones hijas de 50mg/l, 100 mg/l y 200 mg/l; para cada metal, en este estudio se desarrollaron tres concentraciones para el Pb de 0.2, 0.5 y 1 mg/l y para el Cd de 0.05, 0.25, 0.5mg/l. el instrumento que utilizó fue el test de jarras en el primer tratamiento de las muestras, empleando un volumen constante de 1L, mientras que para el floculante orgánico la concentración se varió, ya que se trabajó con 5 dosis distintas para las diferentes frutas (0.5g, 1g, 1.5g, 2g y 2.5g), se consideró para desarrollar la prueba: 1era corrida ($v_1=250$ RPM por 15 minutos), tiempo de reposo 1 ($tr_1=5$ minutos) y la 2da corrida (50 RPM por 5 minutos), tiempo de reposo final ($Tr_f=30$ minutos). Finalmente se obtuvo que la dosis que presenta mayor eficiencia fue de 2.5g para cada floculante natural. La muestra tratada fue llevada a la plancha de calentamiento, donde se utilizó una alícuota de 100ml y se le agregó 5ml de ácido nítrico, para realizar la digestión de la muestra a una temperatura de 95°C , en un tiempo de 50 minutos, donde se observó que el volumen ha reducido entre 20 y 30 ml aproximadamente, posterior a eso se dejó enfriar, para luego realizar las corridas correspondientes en el equipo espectrofotómetro de absorción atómica. Concluyéndose que los floculantes orgánicos para la remoción de Pb y Cd poseen una eficiencia de 28.37% a 89.18%, siendo la carambola la que presentó menor eficiencia 11.67 en la remoción de Pb; mientras que la cocona, naranja, pepino, manzana y uva son las frutas que presentaron una mayor eficiencia en el tratamiento de Pb, destacando la eficiencia de la manzana que presentó un 89.18%. Asimismo, se obtuvo para el Cd, siendo la mandarina, pepino, cocona, toronja y manzana las que presentaron una mayor eficiencia en la investigación y se demostró estadísticamente, que la manzana

presenta una eficiencia de 88.69%, mientras que la uva alcanzó sólo un 41.93% siendo la menor eficiencia en el tratamiento de remoción de Cd.

Salaz y Villanueva (2017), en la investigación que desarrollaron sobre: *“Eliminación de Plomo (II) y Fierro (II), por Bioadsorción con Cáscara de Naranja (CITRUS × SINENSIS) en Residuos Líquidos Procedentes del Laboratorio Químico de Southern Perú”* plantearon como objetivo general: Estudiar la capacidad Bioadsorbente de la Cáscara de Naranja Residual del Proceso de Obtención de jugo, para Reducir las concentraciones de Pb (II) y Fierro (II), en residuos líquidos procedentes del Laboratorio Químico de Southern Perú. La metodología que se desarrolló en este estudio; se basó en la recolección de la biomasa los fines de semana durante 1 mes, hasta acumular un total de 8.5 kg de cáscara de naranja, luego se procedió a realizar la clasificación descartando las cascara de naranja con residuos de pulpa, y con indicios de putrefacción, obteniendo sólo para trabajar 3kg de biomasa de cáscara de naranja (Citrus Sinensis). En la caracterización se determinó la pectina (análisis elemental), y análisis fisicoquímico (humedad, cenizas, grasa, fibra, proteína, carbohidrato, y valor calórico). El residuo se caracterizó por el método de Absorción Atómica con el equipo Varian Aligent 280- FS A, en el laboratorio de Southern Perú, en las instalaciones de Cuajone, el procedimiento se llevó a cabo con una variación de estándares; por otro lado, las muestras sintéticas las que se prepararon a partir de una solución patrón de Plomo (Pb) y Fierro (Fe) de 1000 ppm. Luego se procedió a diluir las soluciones patrón, para así contar con las muestras sintéticas de 100 y 80 ppm, de Pb y Fe. Para preparar la biomasa, se cortó las cascara de naranja, se lavaron con agua destilada para eliminar las impurezas y después se secó a temperatura ambiente durante 3 días, para finalmente ser trituradas en un molino

y tamizar el polvo obtenido en una malla ASTM N° 50, 40 y 20. Una vez realizado la 1era etapa, se pase a desarrollar la desmetoxilación de biomasa; para esto se colocó 80 gr de la biomasa seca y triturada con la granulometría específica (0.8 y 0.4 mm) en 1.750 L de solución de NaOH a 0.2M a temperatura ambiente y con una agitación constante por 2 horas, controlando el pH de 10 -11, una vez terminada la agitación se dejó reposar y se filtra haciendo lavados sucesivos con agua destilada para eliminar el exceso de NaOH, después se seca en una estufa a una temperatura de 60°C.

Para la reticulación de la biomasa se tomaron 80 gr de cáscara desmetoxilada con granulometría (0.8 y 0.4 mm) y se agrega 1.750 L de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.2M, dosificando con solución de HCL a 0.1M hasta obtener un pH de 5, esta mezcla se mantuvo a 200 rpm de agitación constante durante 24 horas a temperatura ambiente, empleando un agitador magnético. Luego de la agitación se dejó reposar, la mezcla procedió a ser lavada varias veces con agua desionizada para eliminar el exceso de calcio, seguido se filtró y se secó en la estufa a 60 °C por 2 horas, completando a 30 horas a temperatura ambiente. Para finalizar, el material resultante se pulverizó con un mortero.

Para el tratamiento de las muestras se realizó 16 experimentos por duplicado para cada metal obteniéndose un total de 32 experimentos, para las muestras sintéticas. También se realizó 8 experimentos por duplicado, arrojando un total de 16 experimentos, para muestras reales; cada muestra y vaso precipitado de 400 ml regidos bajo las condiciones del diseño experimental.

Dentro de la experimentación se pesó la cáscara de naranja, Se agregó con una probeta 0.1 L de solución contaminada, con una concentración inicial,

conocida, se encienden los agitadores y se aumenta consecutivamente las revoluciones, hasta llegar a 1500 rpm, posterior a esto se miden los valores de PH y Temperatura, controlándolas cada 30 min, se regula el PH con HCl a 0.1 N o NaOH a 0.2 M estas soluciones se agregan gota a gota, según sea el PH requerido en el diseño experimental. La temperatura es graduada con las perillas de los agitadores magnéticos. Por otro lado, la biomasa (cáscara de naranja), se encuentra en contacto con la solución contaminada aprox. por un periodo de 4 h. culminado el tiempo de agitación, se deja reposar de 30 a 40 min la muestra, para filtrar posteriormente. La solución filtrada procede a ser colocada en los tubos cónicos esterilizados. El bioadsorbente agotado, se coloca en la estufa, durante 5h, de tal manera que no presente humedad, y pueda ser descartado. Se procede a realizar la curva de calibración para el Fe y Pb, se preparan muestras patrón de diferentes concentraciones a partir de una solución madre de 1000 ppm de Pb y Fe, para realizar análisis de linealidad. Una vez optimizado y calibrado el equipo de absorción atómica; se proceder a analizar las muestras. Se concluye que los resultados alcanzados indican que la cáscara de naranja es muy eficiente para la remoción de Pb^{+2} y Fe^{+2} presentes en los efluentes del laboratorio químico de Southern Perú. Pero la cáscara de naranja presenta mayor afinidad por los iones Pb^{+2} que por los iones Fe^{+2} , gracias a su electronegatividad, también se llegó a la conclusión que el Porcentaje de remoción (%R), alcanzado por el Plomo fue: 86.49 % y para el Fe: 97.73%.

Ramírez (2016), en la investigación que desarrollo sobre: “*Bioadsorción de Cobre, Cadmio y Manganeso con cascara de naranja de las aguas de la laguna Colquicocha*”, la cual tiene como objetivo principal: Demostrar la capacidad de

Bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja en las aguas de la Laguna Colquicocha, provincia de Oyón. Dentro de la metodología en la investigación se recolectó la cáscara de naranja y para poder obtener el Bioadsorbente activado, se realizó el lavado; luego el secado en una estufa a 70 °C por tres días, se acondiciono con ácido fosfórico 1,0 M, se calcino en una mufla a 500 °C por 24 horas, se trituro y se tamizo para tener una granulometría homogénea. Durante la etapa experimental se realizaron pruebas con muestras de agua de la Laguna Colquicocha a nivel de laboratorio bajo las mismas condiciones de la Laguna ($\text{pH} = 7,5$ y $T^\circ = 7^\circ\text{C}$.); se determinó la proporción óptima de cascara de naranja y agua de Laguna. Se concluyó que La reducción del cobre, cadmio y manganeso con cascara de naranja en las aguas de la Laguna Colquicocha seria hasta 0,02 mg/L, 0.041 mg/L y 3,68 mg/L con 5 g de cascara de naranja activada para cada metal; representando una reducción del 66,67%, 84% y 53,97% respectivamente en función a la concentración inicial de cada metal (Cu, Cd y Mn).

1.2.2. Antecedentes Internacionales

Arias (2019), en su investigación que realizó sobre “*Evaluación de la capacidad de Remoción de CR (VI) en solución con una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como Bioadsorbente*” planteó como objetivo general: Evaluar la capacidad de remoción de cromo hexavalente en solución mediante adsorción con mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente. En este estudio se determinó la capacidad de remoción de Cr (VI) en agua sintética usando una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente. Dentro de la metodología utilizada, la cáscara de naranja tratada se lavó con agua tibia, agua fría y etanol; después se realizó el proceso de

desmetoxilación empleando NaOH durante 2 horas para así eliminar los azúcares y ácido cítrico; luego se secaron las cáscaras en una estufa (a 105°C), se trituraron y sumergieron en una solución de CaCl₂ durante 24 horas en un agitador shaker; cumplido este tiempo se filtró el material y se secó nuevamente para finalmente ser tamizado. Para el tratamiento de la cáscara de banano se procedió a lavarlas en una solución de NaClO durante 5 minutos, después se eliminaron los residuos de fruta, posteriormente se secaron las cáscaras durante 2 horas y media y finamente se trituró en un molino pulverizador. Una vez generado el material bioadsorbente se pasó a preparar agua sintética a una concentración de 52,46 ppm.

En esta investigación se realizaron 27 ensayos por duplicado siendo un total de 54 ensayos, a los cuales se les ajustó el pH según los valores seleccionados, se agregaron las cantidades de bioadsorbentes correspondientes para completar el valor total de mezcla y se llevó a agitación durante 24 horas. Llegando a concluir que la mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbentes en diferentes cantidades y proporciones de mezcla, potencian el porcentaje de remoción de Cr⁶⁺ que se encuentra para las muestras de agua sintética en un rango entre 82 y 97%; y para los duplicados entre 76 y 98%, la cáscara de banano tiene mejor capacidad de remoción a un pH de 5 y la cáscara de naranja a un pH de 3. Asimismo, se obtuvo que la cantidad de bioadsorbente que permitió la mayor remoción fue de 10 g (25% naranja - 75% banano) en 100 ml de solución; demostrando así que la mezcla de estos dos materiales orgánicos aumento el porcentaje de remoción de Cr y la DQO y COT arrojaron que la cáscara de naranja genera un gran aporte de carga orgánica.

Sánchez (2016), en la investigación que realizó sobre: “*Biosorción en tanque agitado de Cd^{+2} y Pb^{+2} con cáscara de cacao*”, planteó como objetivo general: Remover Pb^{+2} y Cd^{+2} de las aguas residuales mineras utilizando como Biosorbente la cáscara de cacao. Esta investigación permitió abordar el proceso de biosorción de Cd^{+2} y Pb^{+2} en efluentes mineros a través de la cáscara de cacao. Dentro de la metodología se determinó las características fisicoquímicas del biosorbente y el resultado obtenido fue: la cáscara de cacao tiene una superficie neutra, compuesta principalmente por grupos ésteres alifáticos; además se estudió los factores que afectan este proceso como son: pH, tamaño de partícula, tiempo de contacto, Temperatura, y la concentración inicial del metal. Se obtuvo que el pH óptimo para la biosorción de plomo es entre 4 y 5 y para el cadmio fue entre 5 y 6; con respecto al tiempo de contacto necesario para eliminar la mayor cantidad de iones metálicos fue de 10 minutos, siendo el resultado obtenido en la remoción tanto de cadmio como de plomo de 86,92% y 96,74% respectivamente. También se pudo observar que la temperatura no afecta significativamente el proceso de biosorción como el pH y se consideró como óptima 25°C; también se analizó que la cáscara de cacao tiene mayor afinidad por el cadmio por tener un radio iónico más pequeño que el plomo permitiéndole alcanzar poros reducidos; además al aumentar la concentración, la eliminación de cadmio disminuyó y para el plomo aumentó, pero no de forma significativa. Los datos experimentales de la biosorción de plomo y cadmio en cáscara de cacao, reproducen favorablemente el modelo cinético Pseudo Segundo Orden, con coeficientes de correlación (R^2) para Pb^{+2} de 0,999 y Cd^{+2} de 1. Finalmente, en el estudio de equilibrio el modelo de Langmuir describe el proceso de adsorción para Cd^{+2} y el modelo de Freundlich se ajustó mejor a los datos experimentales para Pb^{+2} .

Tejada et al. (2016), en el artículo científico que realizaron sobre: “*Remoción de Plomo por Biomosas Residuales de Cáscara de Naranja (Citrus sinensis) y Zuro de Maíz (Zea mays)*”, donde se estudió la adsorción como proceso para la remoción de plomo en aguas residuales industriales, usando biomasa residual, a partir de cáscara de naranja y zuro de maíz. Las biomosas fueron recolectadas en el mejor estado posible, luego fueron lavadas con abundante agua destilada y secadas en horno a 90°C, durante 24h; a continuación, el tamaño de las mismas fue reducido, mediante un molino de rodillo, durante 20min; la clasificación, se llevó a cabo en una tamizadora, obteniendo tamaños de 0,355mm, 0,5mm y 1mm.

Se realizó una comparación entre las biomosas utilizadas, variando el tamaño de partícula y el pH, con el fin de determinar las mejores condiciones de adsorción. Encontrándose que las biomosas presentaron mayor capacidad de adsorción a condiciones de tamaño de partícula de 0,5mm, para el zuro de maíz y 1mm, en la cáscara de naranja, a un pH de 6, con valores de remoción de 67,5% y 99,2%, respectivamente. Se utilizaron diferentes modelos para describir la cinética de adsorción de Pb (II), siendo el de mayor ajuste el modelo de Pseudo primer orden; por otro lado, el modelo de isoterma que se ajustó mejor a los resultados obtenidos fue el propuesto por Freundlich.

Hernández y Triviño (2016), en la investigación que realizaron sobre: “*Evaluación de la capacidad de Bioadsorción de Pb (II) y Cd (II) presentes en soluciones sintéticas independientes empleando Retamo Espinoso (Ulex europaeus) como Adsorbente*”, planteó como objetivo general: Evaluar la capacidad de Bioadsorción de plomo (II) y cadmio (II) presentes en soluciones sintéticas independientes, empleando la biomasa seca del Retamo Espinoso como

adsorbente. Dentro de la metodología se realizaron experimentos mediante reactor tipo Batch para analizar la influencia del pH y la concentración inicial del metal en la capacidad de Bioadsorción y el porcentaje de adsorción de cada metal. La capacidad máxima de bioadsorción para el Pb fue 16,75 mg/g de adsorbente, a un pH 4 y con 75 mg/L de concentración inicial; mientras el Cd obtuvo una capacidad máxima de bioadsorción de 11,44 mg/g de adsorbente, a un pH 6 y la misma concentración inicial. Los porcentajes de remoción fueron 84,55% y 82,20% para el Pb y Cd respectivamente. De la misma forma se estudió el equilibrio del proceso de adsorción, obteniéndose un mejor ajuste del comportamiento de ambos metales a la isoterma de Langmuir con un coeficiente de correlación de 0,903 para el Pb y 0,965 para el Cd y valores de capacidad máx. de bioadsorción (q_{max}) de plomo (II) y cadmio (II) de 13.5318 mg y 11,6009 mg/g de adsorbente, evidenciando una mayor afinidad del Pb con el material adsorbente. Los resultados del presente estudio sugieren que la biomasa seca del retamo espinoso *Ulex europaeus* constituye un material adecuado para el desarrollo del proceso de bioadsorción de plomo (II) y cadmio (II) presentes de forma independiente en soluciones acuosas, evidenciando una mayor afinidad por el Pb.

Ordoñez (2015), en su investigación sobre: *“Bioadsorción de Pb y Cr mediante la utilización de cáscara de naranja (Citrus Sinensis) Molida, Machala 2014”* planteó como uno de sus objetivos específicos: Evaluar la capacidad adsorción de la cáscara de naranja para la remoción de Pb y Cr en agua sintética, variando la dosis de los absorbentes y el tamaño de partícula. Dentro de la Metodología empelada en esta investigación se tuvo el proceso de preparación del adsorbente inició con la recolección de la cáscara de naranja, la cual se realizó al siguiente día después de la extracción del zumo de las naranjas en las juguerías

del mercado central del cantón Machala; se manipularon dos variables: tamaño de partícula de la biomasa (400 μm y 800 μm) y cantidad de la biomasa absorbente (4, 8, 12 y 16 g/L) con un total de 8 tratamientos, el diseño del experimento consistió en colocar diferentes concentraciones de biomasa cáscara de naranja molida con diferentes tamaños de partícula en soluciones de 50 ppm de plomo y 50 ppm de cromo. Durante el proceso se midió el pH y la concentración de plomo y cromo cada 10 horas. El proceso de Bioadsorción se realizó en reactores tipo Bach, con el objetivo de determinar los factores que influyen en la bioadsorción de los metales en estudio. Los resultados muestran un máximo porcentaje de bioadsorción de 99, 73 % \pm 2,05 para el plomo en el tratamiento de (16 gramos/Litros; 800 μm) y 91,60 % \pm 2,18 para el cromo en el tratamiento de (4 gramos/Litros; 400 μm). El tiempo de retención hidráulica para los dos metales en estudio fue de 72 horas. El análisis estadístico nos muestra que existe diferencia significativa ($p < 0,05$) en la bioadsorción de plomo con diferentes concentraciones de biomasa, a mayor concentración de bioadsorbente mayor % de bioadsorción de plomo y en el caso del cromo a menor tamaño de partícula mayor % de bioadsorción de cromo; el pH ligeramente ácido (4,5 – 3,2), lo cual favoreció a la bioadsorción, ya que el grado de protonación de la superficie aumenta y en consecuencia también aumenta la adsorción de los metales pesados.

Cardona et al. (2013), en el artículo científico que realizaron sobre: *“Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)”* presentaron como objetivo general: Evaluar la capacidad biosorbente de cáscaras de naranjas secas, trituradas y con reticulación, para la eliminación metales pesados en un medio acuoso; Analizando el impacto de las variables fisicoquímicas (pH, tamaño de la partícula, concentración de

cáscaras de naranja, tiempo de contacto y temperatura), el impacto de la concentración del contaminante y el impacto del tipo de tratamiento final en la capacidad biosorbente de las cáscaras de naranja. Todo con el fin de evaluar el porcentaje de remoción de Pb (II) y Zn (II) por medio de biosorción por cáscara de naranja.

Dentro de la metodología empleada, se realizaron 2 tratamientos: en el 1er tratamiento se cortaron las cáscaras de naranja en fracciones de aprox. 5 cm, y después se procedió a lavarlas con abundante agua para eliminar los azúcares, suciedad y elementos solubles en agua. Posteriormente se procedió a secarlas durante 24 horas en un horno de laboratorio a 60°C, para eliminar la humedad; por último, las cáscaras secadas fueron trituradas y cribadas con un tamiz.

En el 2do tratamiento se realizó lo mismo del 1er tratamiento con excepción del cribado. Después se realizó el proceso de dextrinización, para lo cual se mezclaron 30 gr de la biomasa (cáscara de naranja) en 500 ml de una solución de NaOH 0.2 M, esta mezcla se llevó a agitación continua por 2 horas, luego a reposo. Posteriormente se pasó a filtrarla realizando constantes lavados con agua desionizada para eliminar el exceso de NaOH. Finalmente se secó en la estufa a 40°C por 2 horas. En esta investigación se desarrollaron 8 muestras por duplicado para cada metal arrojando 32 muestras en total, cada muestra en un matraz Erlenmeyer a las condiciones que establece el diseño experimental, el cual fue el diseño factorial de Youden y Steiner, este diseño indica que con 8 repeticiones se puedan variar y analizar 7 factores con dos niveles: alto y bajo. Los 7 parámetros fisicoquímicos que se variaron fueron: pH, tamaño de partícula de la biomasa, concentración del contaminante –metal-, cantidad de la biomasa, temperatura, tiempo de contacto y tipo de tratamiento. Concluyéndose

que el tratamiento que presenta mayor porcentaje de remoción y mejor capacidad de biosorción para el Pb (II) fue el tratamiento 2 (reticulación de la cáscara de naranja), también se obtuvo que de los 8 experimentos realizados para el Pb (II) el experimento 4 (pH=5, tamaño de partícula=0.4mm, concentración del metal=80ppm, cantidad de cáscaras de naranja=0.5g, tiempo de contacto=2h, T=500 C, biomasa con reticulación) presentó el mejor porcentaje de remoción (99.5 %) con capacidad de remoción de 9.39 mg de Pb (II) / g de cáscara de naranja; mientras que el mejor porcentaje de remoción de Zn (II) fue 99.5% y se encontró en el experimento 3 (pH=5, tamaño de partícula=0.48mm, concentración de metal=100ppm, cantidad de cáscara de naranja=0.5g, tiempo de contacto=4h, T=250 C y biomasa sin reticulación), cuya capacidad de remoción fue de 9.95 mg de Zn (II)/ g de cáscara de naranja.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la capacidad de biosorción de la cascara de Naranja citrus x sinensis para la remoción de Plomo y Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la dosis óptima de la cascara de Naranja citrus x sinensis como biosorbente natural para la remoción de Plomo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.
- Determinar la dosis óptima de la cascara de Naranja citrus x sinensis como biosorbente natural para la remoción de Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

- Determinar la eficiencia de la cascara de Naranja citrus x sinensis como biosorbente natural para la remoción de Plomo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.
- Determinar la eficiencia de la cascara de Naranja citrus x sinensis como biosorbente natural para la remoción de Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

1.4. Justificación

En la actualidad existen diversos métodos para el tratamiento de efluentes industriales que contienen metales pesados, sin embargo, la mayoría de ellos utilizan sustancias inorgánicas para su remoción, no resultando adecuado para el ambiente, puesto que se incrementa la exposición de contaminantes por su escasa biodegradabilidad, en este sentido, es necesario el uso de sustancias biodegradables. Por lo anteriormente indicado, existe una preocupación por reducir la exposición de sustancias de naturaleza inorgánica en el ambiente, es por ello que la presente investigación permitirá dar a conocer la capacidad que tienen los floculantes orgánicos en cuanto a la biosorción de metales pesados como el Plomo y el Cadmio. Los floculantes naturales considerados de desecho como las cascara, pueden ayudar a solucionar en cierto modo el problema de remoción de metales pesados presente en los diferentes efluentes de origen industrial. La investigación pretende reemplazar el uso de un coagulante inorgánico por un orgánico, el cual es de naturaleza biodegradable, logrando de esta manera reducir la presencia de agentes químicos en el ambiente. Los efluentes generados en la etapa de producción de las diferentes industrias utilizan por lo general compuestos inorgánicos como Hidróxidos, Carbonatos, Óxidos, etc., para remover metales pesados, generando un residuo no biodegradable, en este sentido el uso de un

floculante natural elaborado a partir de las cascaras de Naranja ayudaran en la fijación de elementos catiónicos, haciendo posible su remoción. A nivel industrial puede ayudar también a reducir considerablemente el uso de coagulantes inorgánicos y reduciendo los costos operativos de manera significativa.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

- La evaluación de la capacidad de biosorción de la cáscara de Naranja citrus x sinensis permitirá conocer el nivel de remoción de Plomo y Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2020.

1.5.2. Hipótesis Específicos

- La cascara de Naranja citrus x sinensis como biosorbente natural tiene su dosis óptima entre 2 y 2.5 g. para la remoción de Plomo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.
- La cascara de Naranja citrus x sinensis como biosorbente natural tiene su dosis óptima entre 1.5 y 2.5 g. para la remoción de Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.
- La cascara de Naranja citrus x sinensis como biosorbente natural tiene una eficiencia del 70 al 80 % en la remoción de Plomo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.
- La cascara de Naranja citrus x sinensis como biosorbente natural tiene una eficiencia del 60 al 95 % en la remoción de Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. *Metales pesados*

Un metal pesado es un elemento químico con masa - peso atómico mayores a 20 y alta densidad mayor a 4 g/cm³. Los metales se dividen en dos grupos: los no esenciales y los esenciales para la vida, donde los no esenciales se consideran perjudiciales, puesto que no se pueden degradar por vía metabólica y estas se acumulan en los tejidos causando severos daños. El problema principal se presenta cuando la contaminación nace de los procesos antropogénicos y estos metales ingresan a cauces naturales.

Los metales pesados se encuentran en su forma natural sobre la corteza terrestre en concentraciones traza asociados a diferentes minerales o como depósitos. Su existencia es gracias a fenómenos naturales como alteraciones y erosión de rocas volcánicas sedimentarias, lavado de suelos orgánicos, así como a las diferentes actividades del hombre entre ellas tenemos la construcción de presas, procesos industriales y urbanización que se acompaña del desecho de efluentes contaminados. (Prieto y Méndez, 2009).

2.1.2. *Remoción de metales pesados*

Los metales pesados como el cadmio, mercurio, cobre, cromo y plomo están presentes en las aguas residuales, como producto de algunos procesos industriales y por la toxicidad que presentan sus concentraciones deben reducirse a niveles bajos antes de ser descargados al agua residual.

A pesar de que no se diseñaron procesos específicos para eliminar metales pesados, la mayoría de los tratamientos de aguas remueven cantidades considerables de metales pesados. También cabe resaltar que los metales pesados no pueden degradarse, sino transformarse o removerse del medio.

Existen varios métodos convencionales para remover metales pesados de efluentes como: electrodiálisis, intercambio iónico y ultrafiltración. Estos son algunos de los procesos que se emplean para la remoción o recuperación de elevadas concentraciones de metales pesados en efluentes y por lo general son procedimientos muy costosos. (Kuyucak, 1990)

2.1.3. Tecnologías para la Remoción de Metales Pesados

Los métodos fisicoquímicos, como, precipitación química, intercambio iónico, oxidación o reducción, tratamientos electroquímicos y filtración son empleados en la remoción de metales pesados de las descargas de diversos desechos industriales. La precipitación química se emplea como un modelo de tratamiento para extraer metales pesados a partir de soluciones acuosas en casi un 75% de las industrias de galvanoplastia. La precipitación de metales a partir de agua contaminada, significa convertir las sales solubles de los metales pesados en sales insolubles que tiendan a precipitar. Los Métodos físicos, como es la sedimentación y/o filtración, son aplicados para la remoción del precipitado del agua tratada. Este proceso necesita: que el pH se regule, se adicione un precipitante químico y floculación. Los métodos más utilizados de precipitación química en las industrias son la precipitación de sulfuros, hidróxidos y de borohidruros de sodio. Estos métodos son muy accesibles, baratos y muy útiles para la remoción de metales pesados en concentraciones

elevadas. Pero también pueden ser inadecuados si se requiere tratar aguas de desecho con concentraciones bajas de metal. La mayoría de lodos con compuestos tóxicos que resultan de este proceso es la primordial desventaja.

Por otro lado, las tecnologías de intercambio iónico se utilizan en industrias de acabados metálicos, el sistema que más es utilizado presenta resinas de intercambio iónico, las cuales son polímeros insolubles que interactúan con iones de carga opuesta de la solución externa. Las resinas de intercambio iónico realizan el intercambio de iones hidrogeno (H^+) por cationes que están en las corrientes de desecho, mientras que, para las resinas aniónicas, se realiza el intercambio de iones hidroxilo (OH^-).

También se tiene a la electrodiálisis, que es un proceso de separación, en el cual los componentes iónicos (metales pesados) se separan a través de membranas semipermeables selectivas de iones. La membrana que realiza el intercambio catiónico presenta carga negativa y es permeable a cationes, a diferencia de la membrana de intercambio aniónico que se carga positivamente y es permeable para aniones. Una serie de celdas hechas con membranas ion-selectivas son utilizadas en el agua a tratar, de modo que al colocar un par de electrodos y aplicar una corriente eléctrica, los aniones y cationes que están como solutos se desplazarán hacia el ánodo y cátodo, equitativamente, traspasando las membranas catiónica y aniónica, según pertenezca. Así se obtiene un electrolito con mayor concentración, resultando así agua libre de minerales. Pero la desventaja será la formación de hidróxidos de metales que atascan la membrana, lo cual produce un elevado costo en la operación.

Otro método tradicional que se emplea para la remoción de metales pesados de soluciones acuosas es la adsorción, este proceso comprende la separación de una sustancia que está en fase fluida, en la superficie de un adsorbente sólido. El carbón activado granular, es el adsorbente más utilizado, el cual se basa en una forma amorfa de carbón que ha sido tratado con la finalidad de aumentar el área superficial. Los procesos de adsorción son inestables, y producen un método parcialmente simple en cuanto a la remoción de contaminantes o impurezas de líquidos o gases. Los adsorbentes más utilizados a nivel industrial son: carbón activado, gel de sílice, alúmina, y aquellos que tengan una estructura superficial porosa y, por ende, una considerable área superficial. La biosorción cumple ciertos requisitos para emplear materiales naturales y residuos industriales, con diversos rendimientos que pueden compararse con el competidor comercial más importante: las resinas sintéticas de intercambio iónico. (Dávila, 2012)

2.1.4. *Procesos fisicoquímicos*

Los sistemas físico-químicos se caracterizan por los cambios que ocurren debido a la aplicación de fuerzas físicas que trabajan con reacciones químicas para obtener un efectivo tratamiento del agua residual cruda. (Cerón, 2011)

Para purificar las aguas residuales, es común realizar un tratamiento físico-químico antes de la descarga a la red de alcantarillado o a ser destinadas a cuerpo receptores (ríos, pantanos, mares, etc.) siendo el más utilizado la coagulación-floculación; la eficacia de las operaciones posteriores de tratamiento depende del éxito de este proceso. (Aguilar, 2002)

Los procesos químicos fueron los primeros en utilizarse para el tratamiento de aguas (potabilización y depuración) y son los más empleados en la depuración de aguas residuales y unido a diferentes procesos físicos complementan el tratamiento secundario y terciario de las aguas usadas. (Marín, 2012)

2.1.5. Cadmio

(Hernández y Triviño, 2016, pp.13) El Cadmio (cadmia en latín y en griego kadmeia, significa “calamina”, nombre que recibía antiguamente el carbonato de zinc) se descubrió en 1817 a partir del calentamiento del sulfuro de cadmio, el cual se encontró como impureza de muestras de carbonato de zinc (Badillo Germán, 1985). Se ubica en el grupo IIB de la tabla periódica, con número atómico 48, peso atómico 112 g/mol y una densidad de 8650 Kg/m³. Es un metal dúctil y maleable, de color blanco plateado y resistente a la corrosión. Es un elemento que no se encuentra en estado libre naturalmente, como producto de la erosión de rocas se presenta de forma escasa como sulfuro de cadmio (CdS), o greenockita, el cual está asociado por lo general a la presencia del sulfuro de Zn o esfalerita (ZnS); pero puede encontrarse en los compuestos de Pb y Cu. El Cd tiene su fuente principal en las actividades volcánicas, aportando concentraciones de hasta 90 ng/m³.

El cadmio se ha convertido en el principal componente de la tecnología, aplicándose en electrónica, comunicaciones, generación de energía e industria aeroespacial y militar (OMS. Regional Office for Europe, 2000). También es empleado para preparar estabilizantes contra el calor y la luz ultravioleta para plásticos de PVC, aleaciones para la fabricación de fusibles, alarmas contra

incendios, barras de control y recubrimiento de reactores nucleares. Está presente en la industria fotográfica, fabricación de fuegos artificiales, los lodos residuales de plantas de tratamiento, la incineración de residuos; y como componente de la materia prima en sectores industriales como el de fertilizantes fosfatados y nitrogenados, colorantes, pigmentos y pinturas fluorescentes (OMS; IOMC; IPCS; 1992), un 7% del Cd se utiliza en procesos de galvanizado y electrodeposición; donde se deposita electrolíticamente sobre metales como hierro o acero particularmente, con la finalidad de generar una superficie muy resistente a la corrosión.

2.1.6. Vías de exposición del cadmio

El Cd, en seres humanos puede adquirirse a través de dos vías de exposición: ingestión e inhalación. En la ingestión, está asociado a la contaminación ambiental mientras que en la inhalación se asocia a nivel laboral, pero también existe la vía dérmica, la que es importante solo cuando hablamos de cloruro de cadmio.

En la ingestión de Cd se deriva en primer lugar en los alimentos, en segundo lugar, del agua potable y por último en partículas contaminadas que llegan sin querer al tracto digestivo, en forma de partículas de polvo. En los vegetales el Cd se fija en las hojas si es atmosférico y en raíces si está presente en el suelo, almacenándose hasta el nivel que permita cada especie. Una vez fijado el metal en los vegetales pasa a ser utilizable para los animales, los cuales según sea sus características fisiológicas lo acumulan en diferente proporción y lugares.

Los niveles de Cd se detectan con exámenes en la sangre o en la orina, los niveles en la sangre indican una exposición reciente, mientras que los niveles en la orina indican exposición reciente o pasada, así como posibles alteraciones en los riñones. La concentración de Cd normal en el organismo está por debajo a 1ug/L ya sea en sangre u orina en no fumadores, en fumadores se encuentra entre 1,4 a 4ug/L y en trabajadores con exposición ocupacional en 50 ug/L. Una exposición ambiental puede elevar los niveles de Cd en la sangre por encima de 10 µg/L, pese a que las concentraciones máximas permisibles de Cadmio son: 5 µg/L en sangre y de 5 µg/g de creatinina en orina. (Hernández y Triviño, 2016, pp.15)

2.1.7. Efectos del cadmio en la salud

(Hernández y Triviño, 2016, pp.18) La intoxicación aguda se produce por la ingestión de elevadas concentraciones de Cd que provienen de bebidas o alimentos contaminados, produciendo efectos como trastornos gastroduodenales con náusea, diarrea, salivación, vómito, dolor abdominal y muscular, y en los casos severos la muerte. También se puede generar intoxicación aguda por vía respiratoria, en el cual los síntomas son neumonitis química (>0.5 mg/m³ con desenlace fatal en 15-20% de los casos), disnea, debilidad, fiebre, alteraciones digestivas (Desde 10 - 100 mg por ingestión de alimentos y >= 15 ppm por ingestión de líquidos), dolor torácico e insuficiencia respiratoria, que puede concluir con un edema agudo de pulmón o causar la muerte a concentraciones mayores a 350mg. Por otro lado, la hipertensión maternal y el bajo peso al nacer son asociados a niveles elevados de Cd (52.2 µg/L) en los neonatos.

De la misma manera, un envenenamiento crónico es producido particularmente por exposición a bajas concentraciones de Cd por largos períodos de tiempo, donde los más afectados son los trabajadores en la industria de refinería del metal y pobladores que viven cerca de fuentes de emisión de Cd, vertederos o lugares de disposición de residuos peligrosos.

Dentro de los efectos crónicos de la inhalación de Cd, está la bronquitis: enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) o enfisema, para exposiciones mayores a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por más de 20 años, adicional a esto se han presentado otros efectos como anemia, alteraciones hepáticas, cambios en el metabolismo de los minerales y gran daño a los riñones, incluyendo enfermedad de los túbulos renales con proteinuria (producida por concentraciones de 140-260 $\mu\text{g}/\text{día}$ por ingestión de alimentos), daño glomerular e insuficiencia renal. Así mismo se conoce una enfermedad crónica como resultado de la exposición al cadmio (5-30 años), llamada "Itai-Itai" (1 $\mu\text{g}/\text{g}$ por ingestión de alimentos y 1-4 $\mu\text{g}/\text{g}$ por ingestión de líquidos), donde sus síntomas son similares a los de la osteomalacia caracterizado por dolor lumbar, mialgia y múltiples fracturas espontáneas con deformación del hueso; acompañado de enfermedades renales como proteinuria, glucosuria y amino aciduria. El cadmio y sus compuestos son considerados como cancerígenos del grupo 1, es decir con suficiente evidencia científica para afirmar que produce cáncer en animales y humanos y se le ha atribuido un incremento en la incidencia de cáncer de próstata y asociaciones entre este metal a la aparición de otros cánceres dependientes de hormonas, como los de mama y endometrio. En la Tabla 1 se observa una síntesis de otros síntomas.

Tabla 1*Efectos en la Salud por la Exposición a Cadmio*

Órgano/ Toxicidad	Aguda	Crónica
Sistema digestivo	Trastornos gastrointestinales náuseas, vómitos y dolor abdominal, salivación diarrea y shock (García Ríos, 2008)	Alteraciones hepáticas, cambios en el metabolismo de los minerales.
Sistema nervioso	Cefalea, parestesia, contracciones musculares involuntarias, anosmia, vértigo, trastornos en el sueño, temblores, audioración (OMS; IOMC; IPCS, 1992).	
Sistema Respiratorio	Neumonitis química disnea, insuficiencia respiratoria, edema agudo de pulmón (García Ríos, 2008). Muerte por insuficiencia respiratoria. (Pérez García & Azcona Cruz, 2012).	Bronquitis, enfermedad obstructiva pulmonar o enfisema pulmonar (OMS, Regional Office for Europe, 2009)
Sistema óseo	Trastornos en el metabolismo del calcio, hipercalcemia. (Combariza Bayona, 2007)	Osteomalacia y osteoporosis (García Ríos, 2008)
Sistema urinario	Disfunción tubular renal, Proteinuria glucosuria, aminoaciduria, cambios histopatológicos y falla renal (OMS; IOMC; IPCS, 1992).	Formación de cálculos renales
Sistema circulatorio	Incremento en la presión sanguínea, efectos en el miocardio (OMS; IOMC; IPCS, 1992)	Anemia
Otros	Debilidad, fiebre (García Ríos, 2008).	

Fuente: Hernández y Triviño (2016)

2.1.8. Plomo

(Hernández y Triviño, 2016, pp.18), El Pb, proviene de la palabra plumbum, posee un número atómico 82 y peso atómico 207.19. Es un metal pesado, con una densidad relativa de 11.4 g/ml 16°C, es de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad a 327.4 °C y hierve a 1725 °C, es parcialmente resistente al ataque del ácidos sulfúrico y clorhídrico y se disuelve muy lento en ácido nítrico, el Pb es sumamente importante en la industria moderna, ya que posee bajo punto de fusión, alta densidad, baja dureza, resistencia a ácidos, estabilidad química en aire, agua y tierra. Otra de sus propiedades es la alta resistencia a la corrosión, en donde encuentra un amplio uso en la construcción, en particular en la industria química; también forma aleaciones con diferentes metales como: estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio muy importantes a nivel industrial.

El Pb es un elemento escaso en la litosfera (10 a 20 µg/kg), y su mayor concentración se encuentra en un mineral denominado galena (sulfuro de

plomo, PbS), también se encuentra en forma de anglesita (PbSO₄) y la cerusita (PbCO₃). Una fuente importante de Pb en la atmósfera, es el que se deposita mediante las erupciones de la lava meteórica. A estas fuentes naturales mencionadas, se suman las emisiones antropogénicas a lo largo del ciclo de vida del Pb desde su extracción de las minas, fundición, procesamiento, almacenamiento, transporte, utilización, reciclado y eliminación final. Actualmente el consumo anual del Pb, es de 3 millones de toneladas, de estas el 40% se emplea para la fabricación de acumuladores eléctricos y baterías que deben ser recicladas juguetes, también están las pinturas a base de plomo, cuyos residuos provienen de viejas construcciones o aplicaciones especiales, que siguen representando una fuente de contaminación. Finalmente, las emisiones originadas por otras aplicaciones del Pb son menores y se producen por abrasión y corrosión del metal o de sus compuestos, existen productos que contienen plomo como soldaduras, vidrios, PVC, entre otros; gran parte de este material termina en los rellenos sanitarios o en los sistemas de alcantarillado y contribuye a la presencia de plomo en los lodos de depuración de aguas.

2.1.9. Vías de exposición del plomo

Las principales vías de exposición de Plomo son la inhalación y a la ingestión, la inhalación alude a todas las fuentes industriales y la ingestión se da a través de los alimentos.

La inhalación viene a ser la segunda vía principal de exposición. Las concentraciones de Pb en el aire de un sitio en particular depende del tipo de la extensión y distribución de las fuentes emisoras y de las condiciones naturales de dispersión (condiciones meteorológicas), es decir, en lugares muy remotos

las mínimas concentraciones de Pb en aire es de 0.1 ng/m³, en regiones rurales alejadas de centros urbanos sube a 0.1 µg/m³, en zonas rurales muy cercanas a ciudades las concentraciones medias es de 0.21 µg/m³, en ciudades con actividad industrial y vehicular los valores varían de 1 a 10 µg/m³, en calles urbanas de elevado tránsito los valores llegan a sobrepasar los 10 µg/m³ y en zonas próximas a industrias el aire puede llegar a presentar valores por mayores a 100 µg/m³ de Pb.

En la Ingestión la fuente principal de contaminación son los alimentos, cerca del 90% del Pb ingerido se elimina por las heces; por eso la ingestión de plomo es significativa solo cuando existe un elevado índice de contaminación ambiental que repercuta en los alimentos. La cantidad de Pb que se ingiere con los alimentos es variada y depende del tipo de producto. Otros mecanismos de contaminación de alimentos con Pb son los utensilios metálicos de cocina que tengan soldaduras o pintura con Pb, puesto que libera el metal hacia el alimento, produciendo un pH ácido. Los valores medios de ingestión de Pb al día en la ración de alimentos varían de 17,8 µg/día (mínimo) y 518 µg/día (máximo). (Hernández y Triviño, 2016)

2.1.10. Efectos del plomo en la salud

En el ser humano la intoxicación va a depender del tipo de compuesto de Pb. La intoxicación crónica se presenta particularmente por la absorción de óxidos, carbonatos y otros compuestos solubles en agua mediante el tracto digestivo. La intoxicación aguda es menos frecuente y se presenta por la inhalación de partículas de óxido de plomo.

Las concentraciones de Pb en la sangre varían de 80 a 100 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ y a veces se han hallado hasta 300 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ de sangre. La toxicidad aguda se presenta después de una exposición respiratoria a altas concentraciones, con encefalopatía, insuficiencia renal y síntomas gastrointestinales, mientras que una toxicidad crónica es más frecuente y se desarrolla con compromiso multisistémico: hematopoyético, del sistema nervioso, gastrointestinal, riñón y sistema reproductor

Los trabajadores que se encuentran expuestos mucho tiempo y sin protección personal pueden desarrollar una polineuropatía periférica, que afecta los miembros superiores, más los músculos extensores que los flexores y más el lado dominante, lo que se denomina la mano del pintor, puesto que presentaban estos trabajadores por el uso de pinturas con gran contenido de plomo.

La encefalopatía plúmbica se caracteriza por un trastorno del sensorio y las convulsiones se dan en pacientes con valores de Pb en sangre mayor de 100 mg/dL . (Hernández y Triviño, 2016). La Tabla 2 muestra los efectos en la salud que tiene el plomo dependiendo de la concentración de este y del sistema en el cual se absorba.

Tabla 2*Efectos en la Salud por Exposición a Plomo*

Sistemas Sensibles al plomo	Concentraciones perjudiciales para la salud	Efecto en la salud
Neurológico	En adultos entre 100 y 200 µg/dL y en niños desde 80 µg/dL. (Saldivar, Tovar, & Namihira, 1997)	Muerte o pérdida permanente del conocimiento. Principalmente en niños: incremento en la incidencia de desajuste psicológico y neurológico. Nota: En niños con niveles de plomo sanguíneo de 50-70µg/dL se han encontrado déficits de aprox. 5 puntos en el coeficiente intelectual
Hematológico	Adultos <20µg/dL y en Niños < 5 µg/dL Inhibe en la síntesis del hemo. (Sanin, H.; et.al, 1998)	<ul style="list-style-type: none"> • Acción toxica sobre los eritrocitos y la síntesis de la hemoglobina; esto causa una anemia hipocrómica y reduce la producción de eritrocitos y su vida media (Saldivar, Tovar, & Namihira, 1997) • La inserción del hierro en la protoporfirina, que es catalizada por la ferroquelatasa • Inhibición en el nivel mitocondrial que ocurre a través de: la inhibición del transporte de hierro a través de la membrana y la acción directa inhibitoria sobre la ferroquelatasa. • Anemia franca • Reducción de la hemoglobina.
Cardiovascular	A niveles sanguíneos altos (Adultos <20µg/dL y en Niños < 5 µg/dL) (Sanin, H.; et.al, 1998)	Produce lesiones cardiacas y anomalidades en el electro-cardiograma. En adultos el incremento de plomo en sangre produce un aumento en la presión arterial (Saldivar, Tovar, & Namihira, 1997)
Renal	40 y 100 µg/dL concentración en sangre (Saldivar, Tovar, & Namihira, 1997)	Nefropatía: cambios mitocondriales y citomegalia de las células epiteliales e incremento de sodio con decremento en la excreción del ácido úrico.
Reproducción	40 y 50 µg/dL concentración en sangre (Saldivar, Tovar, & Namihira, 1997)	Afecta el esperma del hombre

Fuente: (Hernández y Triviño, 2016).

En la Tabla 3 se muestra la relación entre las concentraciones sanguíneas de plomo en µg/dL y sus efectos adversos en niños y adultos.

Tabla 3*Concentración Sanguínea de Pb para diferentes enfermedades para niños y adultos*

Efectos	Adultos µg/dL	Niños µg/dL
Encefalopatía	100-120	80-100
Anemia franca	80	70
Reducción de hemoglobina	50	40
Conducción nerviosa elevada	30	20
Alteraciones del SNC	40	<10

Fuente: (Hernández y Triviño, 2016)

2.1.11. Naranja (*Citrus x sinensis*): Origen y Taxonomía

El naranjo, naranjero o naranja dulce (*Citrus × Sinensis*), es un árbol frutal del género *Citrus*, que forma parte de la familia de las rutáceas, llega hasta los 13 m de altura, perenne, de copa grande, redonda o piramidal, con hojas ovales de 7 a 10 cm de margen entero y frecuentemente estipuladas y ramas en ocasiones con grandes espinas, tiene flores blancas denominadas azahar y su fruto es la naranja dulce.

El naranjo se reproduce por germinación de una semilla, trasplante de una estaca o por acodo, es decir partiendo de una raíz; es vulnerable a las heladas y estas pueden acabar con el fruto e incluso con el propio árbol. Por tal motivo debe evitarse su cultivo por encima de 250 msnm en el interior o de los 400 metros en la costa; y se cultiva en regiones de Clima templado y húmedo, es muy importante la calidad de la tierra; la más óptima es la de arena silícea con arcilla y cal.

Los naranjos son originarios de la India, Pakistán, Vietnam y el sureste de China y fueron traídos a occidente por los árabes. El naranjo es un híbrido entre los árboles de limonsón (*Citrus máxima*) y mandarina (*Citrus reticulata*).

En la siguiente tabla se muestra la clasificación taxonómica de la naranja.

Tabla 4*Clasificación Taxonómica de la Naranja*

Nombre Científico	Citrus sinensis L
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Sub- Clase	Rosidae
Clase	Magnoliopsida
Familia	Rutaceae
Género	Citrus
Especie	Citrus sinensis (L.)
Nombre Común	Naranja

Fuente: Guzmán y Rea (2015)

2.1.12. Bioadsorción

La Bioadsorción es la interacción física indirecta entre componentes celulares e iones, tanto de organismos vivos o muertos como microorganismos, hongos, levaduras, algas, residuos vegetales. El proceso de bioadsorción presenta una fase sólida (bioadsorbente) y una fase líquida (solvente, que es generalmente agua) que posee las especies disueltas que van a ser sorbidas (adsorbato, iones metálicos), gracias a la gran afinidad del adsorbente por las especies del adsorbato, este es atraído hacia el sólido y enlazado por diversos mecanismos. Este procedimiento se realiza hasta que se establece un equilibrio entre el adsorbato disuelto y el adsorbato enlazado al sólido (Caizapanta, 2011).

Esta tecnología se ha estudiado como una alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, y así disminuir su concentración en disoluciones a niveles de ppb ($\mu\text{g/L}$). (Caizapanta, 2011).

Por lo general en la bioadsorción se utilizan dos técnicas de laboratorio: Unidades por lotes (experimentos en reactores batch) y columnas de lecho fijo.

En las unidades por lotes se refiere a una operación discontinua, mientras que en las columnas de lecho fijo se refiere a un sistema de funcionamiento continuo. (Hernández y Triviño, 2016)

2.1.13. Bioadsorción en discontinuo

También denominada ensayos tipo Reactor Batch u operación por lotes, la bioadsorción en discontinuo se refiere a la adición del adsorbente a un volumen determinado de solución que después es agitada hasta alcanzar el equilibrio entre la fase líquida y la fase sólida, con la finalidad de poder analizar el comportamiento del adsorbente en la solución problema. Una vez que se logra retener el metal contenido en el bioadsorbente, se retira a través de un sistema de separación sólido-líquido; así dicho metal puede ser recuperado mediante el proceso de desorción o dispuesto apropiadamente, dependiendo del costo del material adsorbente, del valor económico del metal retenido y su toxicidad estos experimentos permiten obtener los valores óptimos de los distintos parámetros que influyen en el proceso de adsorción, a partir de los cuales se puede estudiar las condiciones aplicables a un proceso real mediante ensayos en continuo.

2.1.14. Bioadsorción en continuo

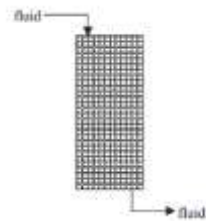
La bioadsorción en continuo, consiste en que un determinado volumen de solución problema fluye a velocidad constante mediante una columna de lecho fijo hasta que el adsorbente se satura y es necesario regenerarlo. Esta operación es la más empleada en aplicaciones industriales, puesto que es muy eficiente a bajas concentraciones del contaminante, se adecua a diversas condiciones de operación, se automatiza fácilmente y permite recuperar las

sustancias retenidas, así como regenerar el material adsorbente. De tal forma se necesita información previa sobre el equilibrio entre el adsorbato y el bioadsorbente, para poder modelar el sistema y después simular el proceso con diferentes condiciones de operación, con la finalidad de mejorar la remoción de la sustancia de interés, reducir el número de experimentos en laboratorio y el presupuesto.

La operación en columnas de lecho fijo también está influenciada por la cinética del proceso y su comportamiento hidráulico, los cuales si no se controlan adecuadamente producen efectos negativos como espacios vacíos, mala distribución de la fase líquida.

Con la finalidad de garantizar un flujo continuo y evitar el taponamiento de la columna, el tamaño de partícula del material adsorbente debe variar de 0,25mm a 3mm. El comportamiento dinámico de la columna se describe por medio de perfiles de concentración del adsorbato Vs el tiempo o volumen de la solución tratada, generando como resultado una curva que a la vez es una función de la geometría del adsorbente, las condiciones de operación y los datos del proceso de adsorción en equilibrio, conocida como curva de ruptura

Como se observa en la Figura 1, la solución problema con el adsorbato desciende a través del adsorbente empacado en la columna, saturando inicialmente la capa superior de partículas del lecho, fenómeno conocido como transferencia de masa desde la solución hacia el adsorbente.

Figura 1*Columna de Lecho Fijo*

Fuente: (Hernández, 2016)

La zona donde se presenta con mayor intensidad el fenómeno anterior se denomina “zona de transferencia de masa o zona de adsorción”, región dentro de la columna en la cual la concentración del adsorbato cambia de 90% a 10% de su valor inicial; y al igual que el fluido, se desplaza a una velocidad constante hasta la parte inferior de la columna según transcurre el tiempo de operación. No obstante, la velocidad en la Zona de transferencia de masa es menor a la del fluido y tarda cierto tiempo en establecerse, por ello el comportamiento inicial de la columna no puede ser considerado ya que representa un régimen transitorio e inestable. Cuando la zona de transferencia de masa se desarrolla por completo en el lecho, puede ser seguida a lo largo de la columna, hasta este momento el efluente está libre de adsorbato, pero al llegar al final del lecho la concentración del adsorbato empieza a incrementar gradualmente, momento conocido como el punto de ruptura.

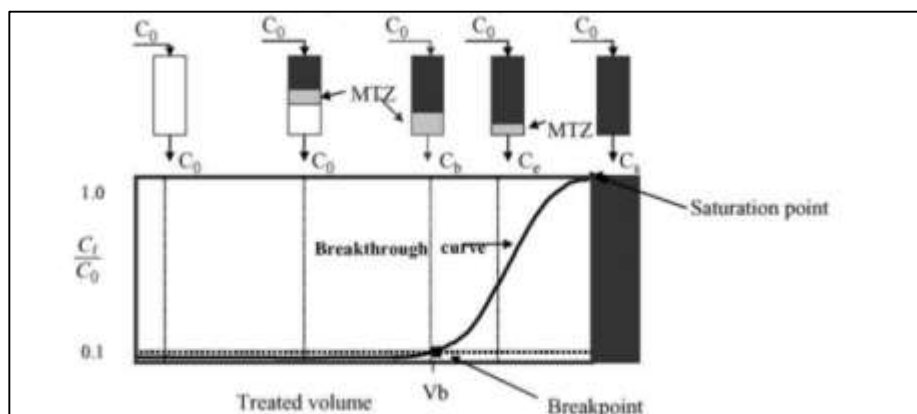
A este punto le corresponde un tiempo llamado tiempo de ruptura t_b o de servicio, a partir de este la columna debe ser regenerada puesto que aumenta la concentración del adsorbato en el efluente hasta alcanzar la concentración de entrada, es decir hasta saturar la columna; del mismo modo la cantidad de

sólido retenido en el punto de ruptura se conoce como concentración de ruptura. Cuando el frente de adsorción alcanza la salida de la columna y el adsorbente queda totalmente saturado con el adsorbato se alcanza el punto de saturación, donde las concentraciones de entrada y salida del efluente son iguales; pero de forma más práctica se establece el tiempo al que ocurre la saturación t_s cuando la concentración del efluente es mayor al 90% o 95% de la concentración inicial.

El comportamiento se refleja en la curva de ruptura, donde se grafica desde una concentración normalizada (C_t/C_0) establecida como el cociente entre las concentraciones de metal en el efluente a un determinado tiempo C_t y la concentración inicial de alimentación C_0 en función al tiempo de operación o del volumen de efluente, para una altura de lecho fija (ver Figura 2); para obtener una descripción de la velocidad de transferencia de masa del adsorbato al adsorbente. Generalmente una columna de lecho fijo se opera hasta el punto de ruptura, posteriormente se regenera el material adsorbente con la finalidad de mejorar la eficiencia del proceso. (Hernández y Triviño, 2016)

Figura 2

Curva de Ruptura Típica



Fuente: Hernández y Triviño (2016)

2.1.15. Biosorbentes

Dávila, (2012) indica que los materiales biosorbentes son aquellos materiales biológicos que demuestran afinidad por los metales pesados incluso en soluciones acuosas diluidas. Se emplearon variedad de biosorbentes para remover los metales pesados, incluyendo algas, hongos, bacterias y residuos agroindustriales (plantas, hojas, granos, etc.) algunos investigadores utilizaron biomasa de una zona específica, mientras que otros se basaron en el aislamiento de cepas de microorganismos para el estudio de sus capacidades de biosorción. También se han desarrollado estudios sobre la modificación de biomasa para poder mejorar las propiedades de biosorción. Recientes investigaciones sobre biosorción se han desarrollado empleando insumos de desecho, subproductos o residuos derivados de operación industriales de diversas magnitudes. En la Tabla 5, se muestran diferentes tipos de biomasa utilizadas en la remoción de cadmio, plomo y cobre de soluciones acuosas.

Tabla 5

Capacidad de biosorción (mmol/g) de diferentes tipos de biomasa

Tipo	Material	Fuente	Cd	Pb	Cu
Hongos	<i>Rhizopus arrhizus</i>	[48]	0.27	0.44	0.25
	<i>Penicillium chrysogenum</i>	[49]	0.10	0.56	---
	<i>Rhizopus nigricans</i>	[50]	0.17	0.80	---
	<i>Rhizopus Oligosporus</i>	[51]	---	---	2.25
Algas	<i>Ascophyllum nodosum</i>	[52]	---	---	0.85
	<i>Sargassum hemiphyllum</i>	[53]	---	---	1.10
	<i>Sargassum sp.</i>	[54]	0.76	1.16	1.03
	<i>Cystoseira indica</i>	[55]	---	---	1.97
Bacterias	<i>Bacillus sp.</i>	[56]	---	---	---
	<i>Bacillus biomass</i>	[57]	---	---	---
	<i>Bacillus biomass</i>	[57]	---	---	---
	<i>Arthrobacter sp.</i>	[58]	0.11	---	0.13
Residuos agrícolas (Plantas, hojas, frutos, granos, etc.)	Cáscara de arroz	[59]	0.19	0.06	---
	<i>Solanum elaeagnifolium</i>	[60]	0.17	0.10	0.21
	Pulpa del betabel	[61]	---	0.36	---
	Pulpa del betabel	[62]	0.17	0.36	0.33
	Té verde	[63]	---	0.09	---
	Hojas de té negro	[64]	---	---	---
	Residuos de granos de café	[65]	0.02	---	0.03
	Cáscara de café	[66]	0.06	---	0.12
	Ectodermis de <i>Opuntia sp.</i>	[67]	---	0.25	---
Ceniza de cáscara de arroz	[68]	---	27.6	---	

Fuente: (Dávila, 2012)

2.1.16. Mecanismos de bioadsorción

Gracias a la complejidad que las estructuras bioadsorbentes presentan, existen diferentes formas de capturar el metal por las paredes celulares de estos. Los mecanismos implicados en el proceso de bioadsorción son diversos y están en función al tipo de metal y de los grupos funcionales presentes en el material adsorbente.

Los mecanismos de bioadsorción se pueden presentar a nivel extracelular o en la superficie celular, A nivel extracelular se presentan la difusión y la precipitación, la primera alude al transporte del adsorbato desde la fase líquida al interior o la superficie de los poros del material sólido, impulsado por la diferencia de concentración entre ambas fases; la precipitación del metal es resultado de un cambio de pH debido a la propia presencia del adsorbente, generando que otros iones disueltos puedan ser retenidos en el precipitado por fuerzas electrostáticas, puede ocurrir también al interior de la célula , y otra posibilidad es que los iones metálicos reaccionen con las células para formar un precipitado estable o formar un coloide que posteriormente es fijado por los polímeros extracelulares.

Los mecanismos que se desarrollan en la superficie o al interior de la estructura celular, son mencionados el intercambio iónico, la quelación y la adsorción.

2.1.17. Factores que afectan el Proceso de Bioadsorción

Para eliminar metales pesados mediante bioadsorción sobre sólidos adsorbentes, se necesita conocer las condiciones más favorables en las que se lleva a cabo este fenómeno. La capacidad de bioadsorción puede ser afectada

por la naturaleza de la sustancia a eliminar, la estructura y características del sólido adsorbente, así como por las condiciones de pH, temperatura, concentración de metal, la competencia con otros iones, el tamaño de partícula y la presencia de ligandos. De la misma manera en procesos industriales puede verse afectado por condiciones de operación como el caudal de alimentación y la altura del lecho entre otros.

2.1.17.1. Influencia por el tipo de bioadsorbente

La estructura del material adsorbente influye en la capacidad de adsorción y en el tipo de mecanismo de bioadsorción. En cuanto a la capacidad de bioadsorción se ve favorecida por un material poroso, puesto que presenta mayor superficie para la retención del adsorbato. Pero si la superficie del material no es amplia, el proceso puede ser dominado por otros mecanismos que dependen de los grupos funcionales disponibles en el adsorbente y no de sus propiedades físicas, como el intercambio iónico. La importancia de cada grupo funcional en el proceso de bioadsorción depende de la cantidad de centros activos y de su accesibilidad, de su estado químico y de la afinidad con el adsorbato.

2.1.17.2 Influencia por el tamaño de partícula

El tamaño de partícula del bioadsorbente afecta la capacidad de adsorción como la velocidad de la reacción. Al disminuir el tamaño de partícula, aumenta el área superficial y asimismo los sitios activos con los que el adsorbato puede tener contacto (Izquierdo Sanchis, 2010)

2.1.17.3 Dosis del Adsorbente

La concentración del adsorbente en solución influye en la capacidad y eficiencia de adsorción de la sustancia de interés. Es así que si aumenta la cantidad del adsorbente aumenta la eficiencia de adsorción, ya que existe mayor área superficial y más sitios activos dispuestos a retener el adsorbato. Pero, la capacidad de adsorción es afectada como resultado de una menor cantidad de adsorbato en relación a los sitios activos que interactúa; y a la vez se ve favorecida cuando hay una disminución en la dosis del adsorbente, ya que el número de iones adsorbidos por unidad de masa del adsorbente es mayor. La dosis óptima de bioadsorbente, es definida como la menor cantidad que permite mayor eficiencia de remoción posible, de modo que el efluente se ajuste a la normatividad ambiental local.

2.1.17.4. Naturaleza del Adsorbato

Se refiere a la estructura química y a las propiedades fisicoquímicas que esta le confiere, lo que condiciona su comportamiento en disolución y su interacción con la superficie del adsorbente. Por este motivo los estudios de bioadsorción con varios metales y un solo adsorbente indican uno de los metales como el de mayor afinidad con el adsorbente (Dávila, 2012)

En los metales un factor importante es el radio atómico del metal, ya que, a mayor tamaño de este, disminuye la afinidad por los ligandos de la pared (Morales & Ruiz, 2008).

2.1.17.5 Influencia del pH

El pH es el factor principal que en el proceso de bioadsorción altera la química de solución de los metales, por lo general se observa que los iones

libres predominan a hidrogeno bajos, valores elevados de pH como carbonatos, hidróxido y óxidos. Para los iones libres, se observa que se adsorben con mayor destreza que las especies acomplejadas. (Wase y Forster, 1997).

2.1.17.6. Concentración Inicial del Metal

La concentración inicial del metal desarrolla un papel esencial como fuerza impulsora capaz de vencer la resistencia a la transferencia de masa entre la fase líquida y la fase sólida del sistema. Esto afecta inversamente la eficiencia de remoción, es decir disminuye con el incremento en la concentración del metal, ya que a mayor cantidad de soluto los sitios activos del adsorbente se saturan fácilmente; no obstante, en el mismo caso la capacidad de adsorción aumenta como resultado de una mayor cantidad de soluto dispuesto a ser retenido por el adsorbente, hasta que se llega a la cantidad máxima que soporta el material o capacidad máxima de adsorción, establecida en el equilibrio de las dos fases. (Ghani y Chaghaby, 2014)

2.1.17.7 Influencia tiempo de contacto

Consiste en determinar el tiempo óptimo para lograr la máxima capacidad de adsorción o tiempo de equilibrio entre las fases líquida y sólida del sistema; el cual es uno de los más importantes factores para seleccionar un sistema de tratamiento de aguas. En la bioadsorción de metales pesados, por lo general se completa en un intervalo de tiempo corto, alcanzándose el equilibrio en pocas horas (Izquierdo Sanchis, 2010).

2.1.17.8. Influencia de la Temperatura

En la bioadsorción la temperatura influye tanto en la velocidad de bioadsorción como en el grado en que la bioadsorción se produce. Su efecto depende del calor de adsorción (cambio de entalpia), siendo diferente para cada clase de sitio activo y contribuyendo de forma distinta a la unión del metal (Hidalgo Vázquez, 2010).

2.1.17.9 Presencia de otros Metales en la disolución

En las soluciones o aguas a tratar pueden encontrarse más de un tipo de metal por lo cual la remoción de un ion metálico se ve influenciada por la presencia de los otros iones, produciéndose una competencia por los sitios activos de la superficie del adsorbente. La inhibición de la bioadsorción de un metal por otros va a depender de condiciones del agua a tratar, de la concentración de los metales y de la afinidad del adsorbente con cada uno de los iones metálicos. (Alami, 2010)

2.1.18. Mecanismos de biosorción

Para que el proceso de biosorción fije metales pesados existen varios mecanismos que explican la retención o adhesión del metal en diversas partes del biosorbente.

- Adsorción física: alberga los fenómenos relacionados a fuerzas de Van der Waals. Es un proceso rápido y reversible.
- Intercambio iónico: los iones metálicos que se encuentran en los polisacáridos de las biomasas (i.e., calcio, magnesio, potasio, etc.) son intercambiados por los iones metálicos inmersos en la solución acuosa (i.e., cobre, plomo, etc.). Es un proceso rápido y reversible.

- Complejación o quelación: aquí el metal se adhiere a los centros activos de la pared celular a través de enlaces químicos produciendo determinados complejos.
- Precipitación: este proceso comprende la formación de un complejo en la pared celular que después es hidrolizado.

Por lo general se establece que en la biosorción de metales pesados pueden desarrollarse al mismo tiempo más de uno de los mecanismos ya mencionados, siendo muchas veces complicada la explicación del mecanismo de adsorción que tiene lugar en el proceso de biosorción determinado.

2.2. Marco conceptual

Para llevar a cabo la evaluación de la calidad de las aguas superficiales en general se consideran una variedad de parámetros fisicoquímicos y metales que a continuación se detallan:

2.2.1. Definición de términos

- Absorción: Proceso por el cual una sustancia tóxica atraviesa las membranas de las células de un organismo a través de la piel, pulmones, tracto digestivo o branquias y luego es transportado hacia otros órganos (MINAM).
- Biosorción: Describe a la eliminación de metales pesados a partir de soluciones acuosas por la asociación pasiva a biomasa no viva.
- Biomasa: fracción biodegradable de productos, residuos y desechos de origen biológico provenientes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura y de las industrias

conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico.

- Bioadsorción: Proceso que permite la captación activa de iones metálicos a causa de diversas biomásas muertas o vivas.
- Biosorbentes: Son materiales naturales que se encuentran en ciertos productos residuales de operaciones industriales o agrícolas, que pueden ser utilizados con el fin de capturar contaminantes, debido a su bajo costo (Vargas, 2010).
- Concentración: Relación de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia (MINAM)
- Concentración Total: Masa del elemento químico regulado por unidad de masa del suelo en estudio, expresada en términos del Sistema General de Unidades de Medida, extraído del suelo por digestión ácida (agua regia) o alcalina. (MINAM)
- Contaminación: -Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos adversos al ambiente o sobre la salud. (MINAM)
- Dosis: Cantidad de una sustancia disponible que interactúa con el proceso metabólico o biológico de los receptores una vez que ha cruzado las barreras externas del organismo. (MINAM)
- Eficiencia: Es la capacidad de lograr lo deseado con el mínimo de recursos, es decir disponer de algo para conseguir lo que queremos.

- **Floculación:** Es un proceso químico que consiste en añadir sustancias denominadas floculantes, con la finalidad de que se aglutinan las sustancias coloidales existentes en el agua, para hacer más fácil la decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y sirve para el tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería.
- **Coagulación:** Es un proceso que consiste en agregar al agua un electrolito, llamado coagulante, el cual es generalmente una sal de hierro o aluminio. En la coagulación se liberan iones positivos capaces de atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga o se forman productos de baja solubilidad que precipitan arrastrando los coloides.
- **Floculantes:** Es una sustancia que se utiliza en el proceso de floculación para la potabilización del agua, se caracteriza porque existe tipos de floculantes como catiónicos, aniónicos y sintéticos.
- **Ingestión:** Tragar (como cuando se come o se bebe). Las sustancias químicas pueden ser ingeridas en el alimento, la bebida, utensilios, manos, suelo. Luego de la ingestión, las sustancias químicas pueden ser absorbidas en la sangre y distribuidas en todas partes del cuerpo. (MINAM)
- **Inhalación:** Respiración. La exposición puede ocurrir por inhalación de los contaminantes, porque éstos se pueden depositar en los pulmones, transportarse en la sangre o ambos. (MINAM)
- **Orgánico:** A diferencia de los compuestos orgánicos son sustancias químicas denominadas moléculas orgánicas, que contienen carbono formando carbono

– hidrogeno, cabe mencionar que en muchos casos contiene nitrógeno y oxígeno.

- **Metal Pesado:** Un metal pesado es un miembro de un grupo de elementos no muy bien definido que exhibe propiedades metálicas. Se incluyen principalmente metales de transición, algunos semimetales, lantánidos, y actínidos. Muchas definiciones diferentes han propuesto basarse en la densidad, otras en el número atómico o peso atómico, y algunas en sus propiedades químicas o de toxicidad.
- **Toxicidad:** La propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de provocar efectos adversos en la salud o en los ecosistemas. (MINAM)
- **Tratamiento:** Métodos, técnicas o procesos diseñados para la remoción de sólidos y/o contaminantes de efluentes o emisiones (MINAM)

2.3. Marco Legal Ambiental

- *La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales.* La Constitución Política del Perú de 1993, en su artículo 2º, inciso 22, establece que “Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”. Asimismo, los artículos 66º, 67º, 68º y 69º establecen que los recursos naturales, renovables y no renovables son patrimonio de la Nación, siendo el Estado el promotor del uso sostenible de éstos.
- *Decreto Legislativo N°635, Código Penal del año 1991;* menciona las penas privativas de libertad a las personas que descarguen, comercialicen o viertan

desechos industriales o domésticos en zonas no autorizados, con mayor sanción si el causante es funcionario o servidor público.

- *Ley General de Salud N.º 26842, del año 1997.* Se reconoce la responsabilidad del Estado frente al cuidado de la salud del ambiente. Así tenemos en el Artículo N.º 96 del capítulo IV, se menciona que para la disposición de sustancias y productos peligrosos debe tener en cuenta todas las medidas y precauciones para evitar daños a la salud y el ambiente. Así también, los Arts. 99, 104 y 107 del Capítulo VIII, mencionan sobre los desechos y responsabilidad de las personas naturales o jurídicas a no realizar descargas de compuestos o sustancias contaminantes al aire, agua o suelo.
- *La Ley General del Ambiente, Ley N.º 28611, Conforme al artículo N.º 1.* Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y tiene el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente. Así como a sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y desarrollo sostenible del país.

En su artículo N.º 9, cuando se refiere a la Política Nacional del Ambiente que su objetivo es mejorar la calidad de vida de las personas y garantizar la permanencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales a largo plazo; y el desarrollo sustentable del país, mediante la preservación, cuidado y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento racional y sostenible de los recursos naturales, de una forma

responsable y congruente con el respeto a los derechos esenciales de la persona.

En su Artículo N.º 31 trata sobre el Estándar de Calidad Ambiental, y lo define como: La medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

Acorde al artículo N° 114. Cita que el acceso al agua para consumo humano es un derecho de la población, y que le corresponde al Estado asegurar la vigilancia y protección de aguas que se utilizan para abastecimiento de la población, sin perjuicio de las responsabilidades que correspondan a los particulares. En caso de escasez del recurso hídrico, el Estado asegura el uso preferente del agua para abastecimiento de las necesidades poblacionales, frente a otros usos.

Acorde al artículo N° 120. Establece que el Estado, tiene el deber de la protección de la calidad del recurso hídrico del país. De esta manera el Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fine de su reúso, considerando como antecedente la obtención de la calidad necesaria para su reutilización, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizaran.

Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos, del 31 de marzo de 2009, esta ley tiene por finalidad normalizar el uso y gestión integrada del agua, la participación del Estado y los privados en dicha gestión, basándose en los principios de valoración del agua, priorizar el acceso al agua, participación de

los ciudadanos y cultura del agua, seguridad jurídica, el respeto de los usos de agua por las comunidades campesinas y nativas, sustentabilidad, descentralización, prevención, eficiencia., gestión integrada y tutela jurídica; en este sentido se ha creado el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, siendo la Autoridad Nacional del Agua el ente rector y la máxima autoridad técnico normativa la cual está integrada por el Consejo Directivo, Jefatura, Tribunal de Resolución de Controversias Hídricas, Órganos Desconcentrados denominados Autoridades Administrativas del Agua y Administradores Locales del Agua; y Órganos de Apoyo.

Para el uso del agua y su vertimiento se ha fijado una retribución económica cuyas tarifas están de acuerdo al uso de infraestructuras hidráulicas mayores y menores, por el servicio de monitoreo y por la gestión de las aguas subterráneas.

La presente ley deroga el Decreto Ley N° 17752, Ley General de Aguas y su reglamento el Decreto Supremo N° 261-69-AP.

- *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 – AG*, en su Artículo 103 trata sobre la protección del agua, indica que, la protección del agua tiene como finalidad la prevención y deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de los cuerpos naturales y los ecosistemas acuáticos; implantar medidas; específicas para eliminar o minimizar progresivamente las causas que generan su contaminación y degradación.
- *D.L N.º 1083-2008-ANA*. El presente decreto legislativo establece el marco normativo para promover el aprovechamiento racional y la conservación de los recursos hídricos motivando el desarrollo de una cultura de uso

responsable entre todos los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, pública o privada. La Autoridad Nacional del Agua, fija los parámetros de eficiencia para el aprovechamiento de los recursos hídricos, los cuales son requisitos máximos y mínimos aplicables a cada tipo y forma de uso del recurso. La ANA brinda Certificados de Eficiencia en la cual consta el uso eficiente, así como Certificados de Creatividad, Innovación e Implementación para la Eficiencia del Uso del Agua. Los incentivos institucionales que promueve la Autoridad Nacional del Agua son cursos de buenas prácticas, pasantías, premios, divulgación de experiencias exitosas e impulso del uso de equipos y tecnologías innovadoras. Para los usuarios y operadores que incumplan con los parámetros de eficiencia tendrán que presentar un Plan de Adecuación para el uso eficiente de los recursos hídricos hasta cumplir en un tiempo no mayor de 5 años con los parámetros solicitados. La ANA fomenta la reversión de los excedentes de los recursos hídricos, así como el reúso de los mismos.

- *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.* Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Compila las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N°002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N°023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo.

Las categorías establecidas para los estándares de calidad ambiental para agua son:

- *Categoría 1: Poblacional y Recreacional.*
 - *Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.*
 - *Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.*
 - *Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.*
- *Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE. Aprueban Límite Máximo Permisible de Efluentes para alcantarillado de las actividades de cemento, cerveza, papel y Curtiembre. Aprueban los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Valores Referenciales aplicables por la Autoridad Competente, a las actividades industriales manufactureras de cemento, cerveza, Curtiembre y papel, en los términos y condiciones que se indican en el Anexo 1, Anexo 2 y Anexo 3, que forman parte integrante del presente Decreto Supremo.*
 - *Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, dejando sin efecto el Decreto Supremo N.º 021-2009-VIVIENDA donde se Aprobaron los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario*

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

De acuerdo al enfoque propuesto para la presente investigación y según el objetivo que se persigue es de tipo aplicada, debido a que busca generar nuevos conocimientos de tal manera que puedan ser aplicados para resolver un problema, para nuestro planteamiento se pretende encontrar la dosis óptima del floculante natural para remover ciertas concentraciones ya conocidas de Plomo y Cadmio hasta alcanzar una máxima eficiencia, dependiendo de las dosis del floculante utilizado, el cual será desarrollado en un sistema controlado donde la muestra será preparada a nivel de laboratorio. El diseño metodológico desde un enfoque cuantitativo es experimental, y debido a su grado de manipulación bajo un ambiente controlado de las variables se clasifica dentro de los experimentales puros, puesto que se manipula intencionalmente la variable independiente “Biosorción de la cascara de Naranja citrus x Sinensis” las veces que sea necesario, con la finalidad de observar cambios en el comportamiento de la variable dependiente “Remoción de Plomo y Cadmio”.

3.2. **Ámbito temporal y espacial**

3.2.1. *Ámbito espacial*

El presente trabajo de investigación de acuerdo al tipo aplicado y su diseño experimental tuvo un tiempo de desarrollo, desde la búsqueda de la información, desarrollo experimental e informe final, el mismo que iniciamos con una búsqueda bibliográfica comprendida entre los años 2013 al 2019, una experimentación de los ensayos programados entre enero y marzo del año 2020; y un informe final proyectado para diciembre del 2020.

3.2.2. *Ámbito temporal*

Para el desarrollo del trabajo de investigación como ya se indicó anteriormente no se requirió de un trabajo de campo, debido a que las características del tipo y diseño considerado corresponden a una investigación pura, en tal sentido el ámbito espacial corresponde al área y lugar donde se desarrolló toda la experimentación, siendo éste el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la UNFV. Las muestras a trabajar en el floculador programable fueron acondicionadas en el mismo laboratorio bajo un ambiente controlado por el investigador, cuyo resultado de dicha elaboración fueron las muestras sintéticas, que a la postre sería la base principal para realizar todas las pruebas o ensayos experimentales. La georreferenciación del lugar de estudio presenta las coordenadas siguientes UTM: 277097 E y 8 667 468 N, correspondientes al Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Ecoturismo-UNFV.

3.3. **Variables**

En la siguiente tabla se presenta las variables:

- Variable Independiente

Biosorción de la cascara de Naranja citrus x sinensis.

- Variable Dependiente

Remoción de Plomo y Cadmio.

Tabla 6*Operacionalización de variables de Investigación*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Independiente Biosorción de la cascara de Naranja citrus x sinensis.	El proceso de bioadsorción presenta una fase sólida (bioadsorbente) y una fase líquida (solvente) que posee las especies disueltas que van a ser sorbidas (iones metálicos), gracias a la afinidad del adsorbente por las especies del adsorbato, este es atraído hacia el sólido y enlazado por diversos mecanismos (Caizapanta, 2011)	Para realizar la bioadsorción existen factores que permiten desarrollar este proceso, estos factores son: parámetros fisicoquímicos, propiedades del contaminante, propiedades de la biomasa y condiciones del medio.	PARAMETROS DE CONTROL	Dosis	Gramos
				Tiempo	Minutos
				Velocidad de agitación	rpm
				Eficiencia	%
Variable Dependiente Remoción de Plomo y Cadmio	Existen varios métodos para la remoción de metales pesados de efluentes como: electrodiálisis, intercambio iónico y ultrafiltración. Estos son algunos procesos que se emplean para la remoción de elevadas concentraciones de metales pesados (Kuyucak, 1990)	Los metales pesados están en las aguas residuales, resultado de procesos industriales y, por su toxicidad sus concentraciones deben reducirse a niveles muy bajos, hay que resaltar que los metales pesados no pueden degradarse, sino removerse.	PARAMETRO INORGANICO (Pb)	Concentración Inicial	mg/l
				Concentración Final	mg/l
				Temperatura	° C
				Potencial de Hidrogenos	Unidad de pH
			PARAMETRO INORGANICO (Cd)	Concentración Inicial	mg/l
				Concentración Final	mg/l
				Temperatura	° C
				Potencial de Hidrogenos	Unidad de pH

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población considerada para nuestro estudio corresponde a las muestras sintéticas que se prepararán en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la UNFV, dichas muestras elaboradas tendrán diferentes concentraciones de Plomo y Cadmio, que corresponden a un volumen parcial por cada metal de 45 litros, haciendo un total de tratamiento de 90 litros para ambos metales.

3.4.2. Muestra

Para el caso de nuestro trabajo y por tratarse de una investigación experimental pura, la muestra es la misma que corresponde a la población, siendo un total de 90 litros. La unidad mínima de volumen a trabajar es de 1 litro por muestra, donde cada corrida o ensayo será de 5 litros, el cual incluirá dos repeticiones, haciendo un total de 15 litros por tratamiento. De igual forma como se desarrolló el primer tratamiento con Plomo (45 litros), se llevará a cabo el segundo tratamiento con Cadmio (45 litros), haciendo un total de 90 litros.

3.5. Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos

3.5.1. Técnicas

- Manual de laboratorio.
- Análisis de muestras

3.5.2. Instrumentos

- Fichas de recolección de datos.
- Métodos Estandarizados.

- Fichas textuales, resúmenes de informes, trabajos anteriores si hubiera.
- Estadísticas, etc.

3.5.3. Fuentes

- Informes, trabajos anteriores, estadísticas, etc.
- El propio investigador se encargará de realizar los ensayos de laboratorio.

3.6. Procedimientos

El procedimiento tomado para el desarrollo de la presente investigación, considera cuatro etapas secuenciales: Preparación de floculantes y muestras, Ensayos de Jar Test, Determinación de Plomo y Cadmio; y Análisis final.

3.6.1. Preparación de Floculantes y Muestras

En los ambientes del laboratorio de Geografía y Medio Ambiente (LAGEMA) será elaborado el floculante natural a partir de las cascara de Naranja. El proceso se inicia con un lavado general de agua potable, y posteriormente finalizar un enjuague con agua destilada, luego se llevará a cabo el secado de las mismas en la estufa eléctrica a una temperatura entre los 75 a 80 °C, por un tiempo de 24 horas. Las cascara ya secas se llevarán a un mortero para triturarlas y llevarlas hasta grano fino, para finalmente proceder a un tamizado final con el tamiz N° 80. Las dosis que se utilizarán para los ensayos de floculación serán de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g.

Para la obtención de las concentraciones de las muestras sintéticas de Plomo y Cadmio, éstas serán preparadas a partir de un soluto de Nitrato de Plomo $Pb(NO_3)_2$ y Nitrato de Cadmio $Cd(NO_3)_2$, el cual servirá para la elaboración de una solución estándar o patrón de Cadmio de 1000 ppm en medio ácido al 5% con HNO_3 . Las muestras a trabajar en los ensayos de floculación serán preparadas a

partir del patrón de Plomo y Cadmio, quienes tendrán concentraciones de 0.25, 0.5 y 1.0 ppm para un volumen de 1 litro cada uno.

3.6.2. Ensayos de prueba de jarra

Las pruebas para el tratamiento fisicoquímico serán desarrolladas mediante una prueba de jarras o Jar Test, donde se acondicionarán 5 jarras conteniendo las muestras de Plomo y Cadmio a diferentes concentraciones con un volumen de 1 litro cada uno. Las pruebas se realizarán en el floculador programable, donde se va considerar trabajar con dos revoluciones, una rápida con 200 rpm, hasta alcanzar una homogenización completa y una lenta con 50 rpm, para unión de flóculos, con tiempos de agitación de 15 minutos y de 30 minutos para la sedimentación en todos los casos. Las jarras tendrán concentraciones de 0.25, 0.5 y 1.0, mg/l de Plomo y Cadmio cada una y serán sometidas a diferentes dosis de los floculantes naturales de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g, con la finalidad de encontrar la dosis ideal, así como también conocer la eficiencia de remoción para cada uno de las pruebas. Los ensayos serán llevados a cabo en cinco jarras de un litro de capacidad y se harán adicionalmente dos repeticiones para cada prueba o corrida experimental, primero se trabajará con Plomo y todas las dosis de floculante y luego de la misma forma con Cadmio. En total tendremos 3 tratamientos por cada metal (Pb y Cd) con 5 Jarras y dos repeticiones, haciendo un subtotal de 45 litros y un total de 90 litros.

3.6.3. Determinación de plomo y cadmio

Transcurrido el tiempo de sedimentación de cada ensayo proyectado para 30 minutos, se procederá a una filtración de la muestra sobrenadante. La muestra a tomar para la determinación de Plomo y Cadmio será de 100 ml, quien

previamente antes de su determinación será digerida con ácido nítrico al 5% en la plancha de calentamiento hasta alcanzar una evaporación aproximada del 75% del volumen de muestra, y posteriormente enrasada a 100 ml con agua destilada y llevado a lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica. Antes de la lectura en el equipo de Absorción atómica, se procederá a la elaboración de la curva de calibrado con dos patrones, uno de Plomo y otro de Cadmio de 50 mg/l y estándares de 0.0, 0.5, 1.0 y 2.0 mg/l.

3.6.4. *Análisis final*

Luego de la determinación de Plomo y Cadmio en el equipo de Absorción atómica, se procederá a evaluar los resultados finales trabajados en las pruebas de jarras y analizar cuáles fueron las dosis más óptimas en cada uno de los ensayos en relación a cada una de las concentraciones iniciales y finales. Así mismo, se evaluará las eficiencias obtenidas de acuerdo a las dosis del floculante aplicado en cada una de las muestras, y con ello finalmente proceder a elaborar las tablas y graficas respectivas a fin de observar el comportamiento de cada dosis óptima registrada y sus respectivas eficiencias. De acuerdo a estos resultados finales obtenidos y evaluados analíticamente se procederá a discutir los resultados con otras investigaciones, y finalmente obtendremos las conclusiones finales para nuestro trabajo de investigación.

3.7. *Análisis de datos*

El desarrollo del análisis de datos cuantitativos se llevará a cabo teniendo en cuenta los niveles de medición de las variables y se aplicará un análisis estadístico que permitirá describir las características principales de las variables dependientes e independientes, tomadas individualmente. Se llevará a cabo un

análisis y descripción cada una de las variables para lo cual se utilizará el programa Ms. Excel 2010; además se usará para presentar la estadística descriptiva tablas y gráficas de datos. Para la presentación de la distribución de los datos se realizará empleando graficas lineales, todo esto con el propósito de conocer cuáles serán las dosis más óptimas para cada tratamiento y ensayo en particular (Pb y Cd), y determinar las eficiencias en la biosorción de Plomo y Cadmio por el floculante orgánico y probar mediante la contratación de las hipótesis.

3.8. Consideraciones éticas

Se deja constancia que en la investigación se respetó todos los derechos de autoría en cada una de las fuentes consignadas en los antecedentes y teorías, asimismo los resultados utilizados serán registrados sin manipular su contenido.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados de la dosis óptima con cascara de naranja en la remoción de plomo

De acuerdo al primer objetivo planteado, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Plomo utilizando como floculante natural la cascara de Naranja. Para el tratamiento de Plomo se utilizaron tres concentraciones diferentes de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l, a fin de determinar la dosis óptima para cada concentración en particular.

4.1.1. Tratamiento con naranja

- PRIMER ENSAYO

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los tres resultados del primer ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 7.1
- Concentración Inicial de Pb: 0.25 mg/l

Tabla 7

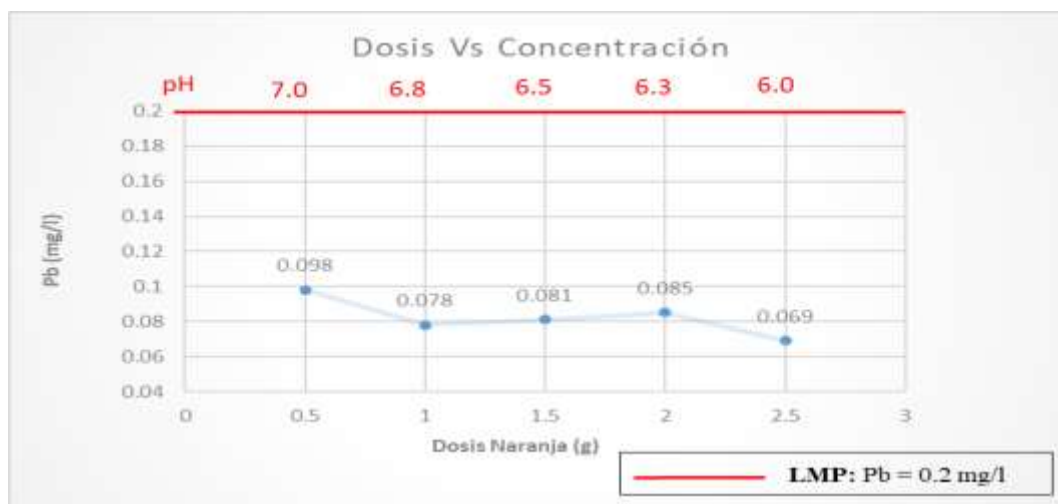
Resultados del primer ensayo: Plomo Vs Naranja

MUESTRA	Dosis Naranja (g)				
Tratamientos	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración Inicial Pb (mg/l)	0.25				
pH	7.0	6.8	6.5	6.3	6.0
Concentración Final Pb (mg/l)	0.098	0.078	0.081	0.085	0.069

Repeticiones					
1	0.097	0.078	0.081	0.085	0.068
2	0.098	0.077	0.080	0.084	0.069
PROMEDIO	0.098	0.078	0.081	0.085	0.069

Figura 3

Concentración de Pb (0.25 mg/l) Vs. Dosis de Naranja



De acuerdo al primer ensayo realizado, se puede apreciar en la figura 3, que al trabajar con una concentración inicial de 0.25 mg/l de Plomo, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 0.069 mg/l con la dosis de 2.5 g del floculante. Así mismo, se observa que al trabajar con todas las dosis de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g, se logra estar por debajo del Límite Máximo Permissible (0.2 mg Pb/l), siendo para todos los casos dosis óptimas, sin embargo, el valor más bajo (0.069 mg/l) se alcanza con la dosis de 2.5 g de floculante.

- **SEGUNDO ENSAYO**

A continuación, se muestran los tres resultados del segundo ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más.

Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.

- pH inicial: 7.1
- Concentración Inicial de Pb: 0.50 mg/l

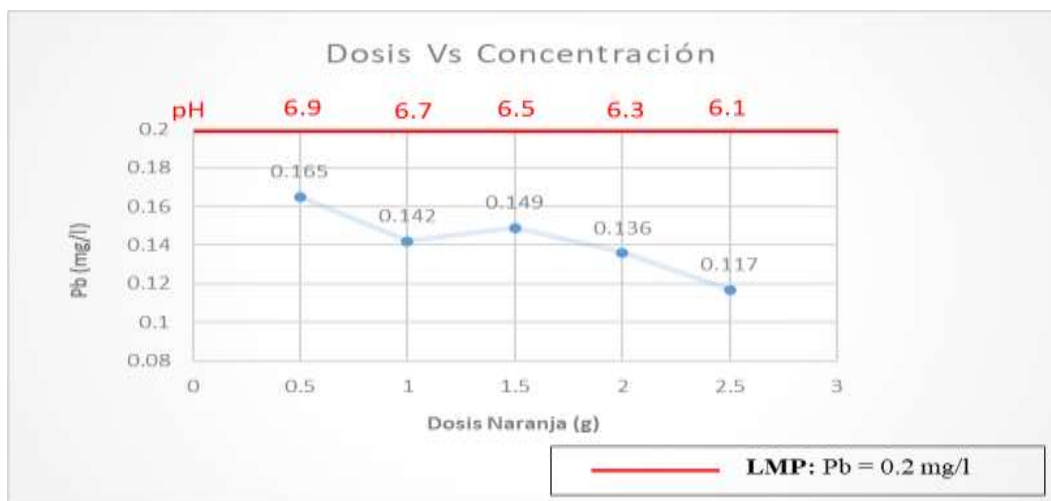
Tabla 8

Resultados del primer ensayo: Plomo Vs Naranja

MUESTRA	Dosis Naranja (g)				
Tratamientos	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración Inicial Pb (mg/l)	0.50				
pH	6.9	6.7	6.5	6.3	6.1
Concentración Final Pb (mg/l)	0.165	0.142	0.149	0.136	0.117
Repeticiones					
1	0.165	0.141	0.149	0.135	0.116
2	0.165	0.142	0.149	0.137	0.118
PROMEDIO	0.165	0.142	0.149	0.136	0.117

Figura 4

Concentración de Pb (0.50 mg/l) Vs. Dosis de Naranja



De acuerdo al segundo ensayo realizado, se puede apreciar en la figura 4, que al trabajar con una concentración inicial de 0.50 mg/l de Plomo, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 0.117 mg/l con la dosis de 2.5 g del floculante. Así mismo, se observa que al trabajar con todas las dosis de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g, se logra estar por debajo del Límite Máximo Permisible

(0.2 mg Pb/l), siendo para todos los casos dosis óptimas, sin embargo, el valor más bajo (0.117 mg/l) se alcanza con la dosis de 2.5 g de floculante. Es preciso indicar que al trabajar con la dosis de 1.5 g de floculante, tiende a incrementarse el nivel de Plomo, no siguiendo el patrón de comportamiento normal de las demás dosis, esto posiblemente asociado a una baja adsorción por parte del floculante, para una concentración de 0.5 mg/l de Pb.

- TERCER ENSAYO

A continuación, se muestran los tres resultados del tercer ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más.

Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 7.1
- Concentración Inicial de Pb: 1.0 mg/l

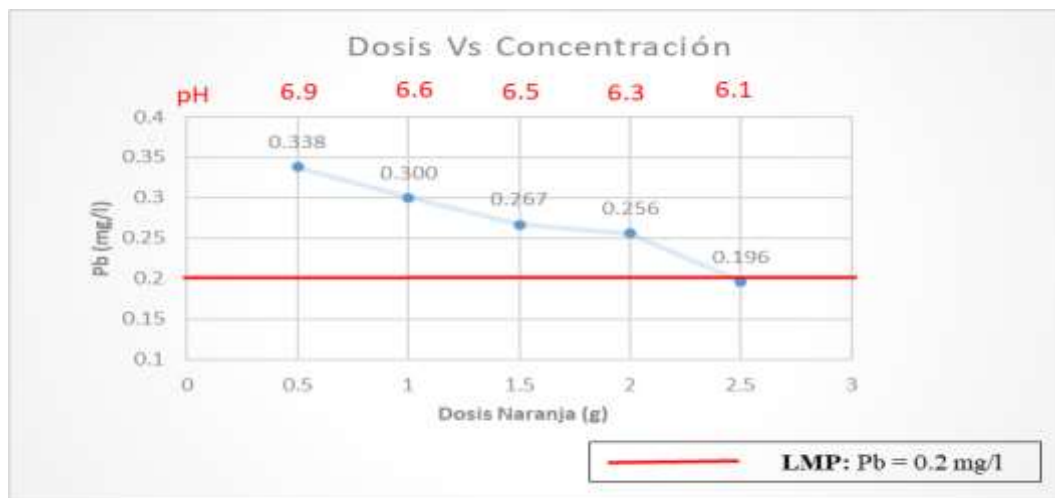
Tabla 9

Resultados del primer ensayo: Plomo Vs Naranja

MUESTRA	Dosis Naranja (g)				
Tratamientos	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración Inicial Pb (mg/l)	1.0				
pH	6.9	6.6	6.5	6.3	6.1
Concentración Final Pb (mg/l)	0.338	0.300	0.267	0.256	0.196
Repeticiones					
1	0.338	0.301	0.266	0.254	0.196
2	0.339	0.300	0.267	0.256	0.197
PROMEDIO	0.338	0.300	0.267	0.256	0.196

Figura 5

Concentración de Pb (1.0 mg/l) Vs. Dosis de Naranja



De acuerdo al tercer ensayo realizado, se puede apreciar en la figura 5, que al trabajar con una concentración inicial de 1.0 mg/l de Plomo, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 0.196 mg/l con la dosis de 2.5 g del floculante. Así mismo, se puede observar que al trabajar con las dosis de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 no se logra estar por debajo del Límite Máximo Permisible (0.2 mg Pb/l), pero con la dosis de 2.5 g si se logra estar por debajo del Límite Máximo Permisible (0.2 mg Pb/l). La dosis óptima se alcanza únicamente cuando se trabaja con 2.5 g de floculante, obteniéndose el valor más bajo (0.196 mg/l), cuya concentración cumple con el LMP.

4.2. Resultados de la dosis óptima con cascara de naranja en la remoción de cadmio

4.2.1. Tratamiento con naranja

De acuerdo al primer objetivo planteado, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Cadmio utilizando como floculante natural la cascara de Naranja. Para el tratamiento de Cadmio se utilizaron tres concentraciones

diferentes de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l, a fin de determinar la dosis óptima para cada concentración en particular.

- **PRIMER ENSAYO**

A continuación, se muestran los tres resultados del primer ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más.

Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 7.1
- Concentración Inicial de Cd: 0.25 mg/l

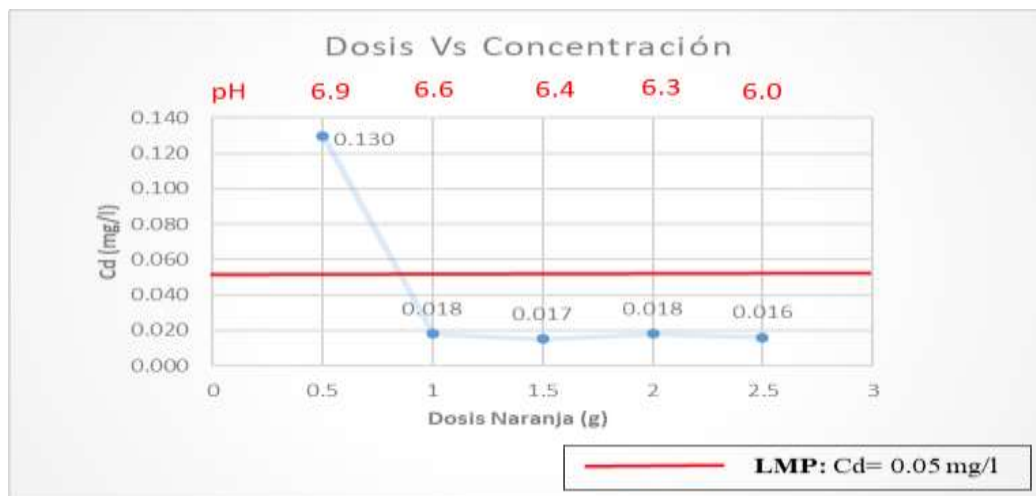
Tabla 10

Resultados del primer ensayo: Cadmio Vs Naranja

MUESTRA	Dosis Naranja (g)				
Tratamientos	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración Inicial Cd (mg/l)	0.25				
pH	6.9	6.6	6.4	6.3	6.0
Concentración Final Cd (mg/l)	0.129	0.017	0.018	0.018	0.016
Repeticiones					
1	0.130	0.018	0.017	0.017	0.016
2	0.130	0.019	0.017	0.018	0.016
PROMEDIO	0.130	0.018	0.017	0.018	0.016

Figura 6

Concentración de Cd (0.25 mg/l) Vs. Dosis de Naranja



De acuerdo al primer ensayo realizado, se puede apreciar en la figura 6, que al trabajar con una concentración inicial de 0.25 mg/l de Cadmio, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 0.016 mg/l con la dosis de 2.5 g del floculante. Así mismo, se observa que al trabajar con la dosis de 0.5 g no se logra estar por debajo del Límite Máximo Permisible (0.05 mg Cd/l), sin embargo, al trabajar con las dosis de 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g, sí se logra estar por debajo del LMP. Cabe indicar que al adicionar e ir incrementando las últimas dosis del floculante, no se aprecia una reducción significativa en las concentraciones de Cadmio, por lo cual podemos indicar que el floculante tiene un límite de adsorción para una concentración de 0.25 mg/l de Cd.

- **SEGUNDO ENSAYO**

A continuación, se muestran los tres resultados del segundo ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 7.1

- Concentración Inicial de Cd: 0.50 mg/l

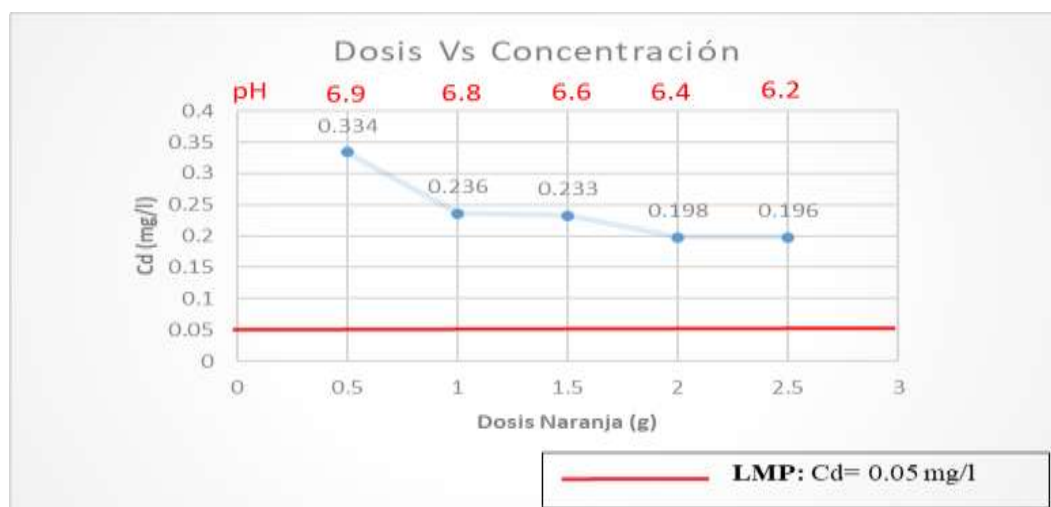
Tabla 11

Resultados del primer ensayo: Cadmio Vs Naranja

MUESTRA	Dosis Naranja (g)				
Tratamientos	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración Inicial Cd (mg/l)	0.50				
pH	6.9	6.8	6.6	6.4	6.2
Concentración Final Cd (mg/l)	0.334	0.236	0.233	0.198	0.196
Repeticiones					
1	0.334	0.236	0.233	0.198	0.196
2	0.334	0.236	0.233	0.199	0.196
PROMEDIO	0.334	0.236	0.233	0.198	0.196

Figura 7

Concentración de Cd (0.50 mg/l) Vs. Dosis de Naranja



De acuerdo al segundo ensayo realizado, se puede apreciar en la figura 7, que al trabajar con una concentración inicial de 0.50 mg/l de Cadmio, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 0.196 mg/l con la dosis de 2.5 g del floculante. Así mismo, se puede observar que al trabajar con todas las dosis de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g, no se logra estar por debajo del Límite Máximo

Permisible (0.05 mg Cd/l), siendo para todos los casos las dosis no óptimas, sin embargo, el valor más bajo (0.196 mg/l) se alcanza con la dosis de 2.5 g de floculante.

- TERCER ENSAYO

A continuación, se muestran los tres resultados del tercer ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más.

Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 7.1
- Concentración Inicial de Cd: 1.0 mg/l

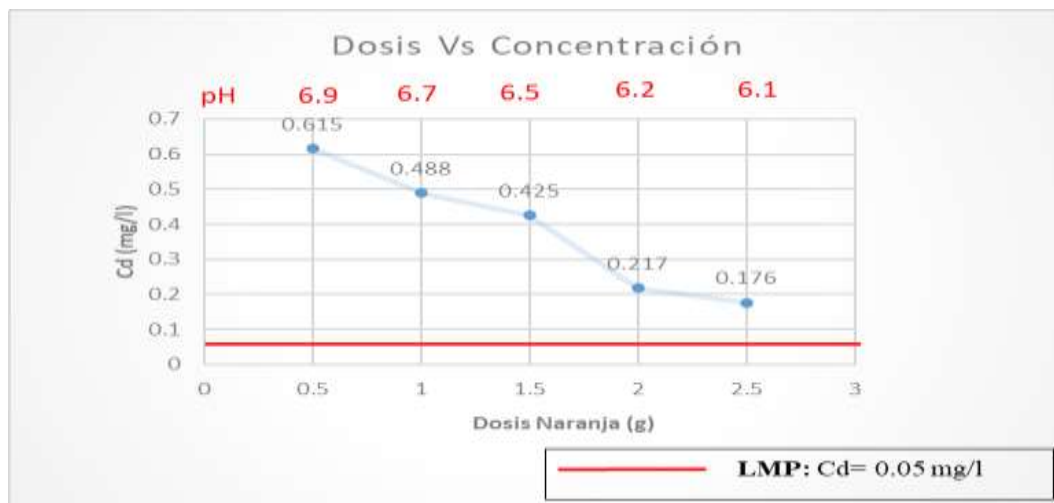
Tabla 12

Resultados del primer ensayo: Cadmio Vs Naranja

MUESTRA	Dosis Naranja (g)				
Tratamientos	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración Inicial Pb (mg/l)	1.0				
pH	6.9	6.7	6.5	6.2	6.1
Concentración Final Pb (mg/l)	0.615	0.487	0.424	0.217	0.175
Repeticiones					
1	0.615	0.488	0.426	0.218	0.176
2	0.615	0.489	0.424	0.217	0.176
PROMEDIO	0.615	0.488	0.425	0.217	0.176

Figura 8

Concentración de Cd (1.0 mg/l) Vs. Dosis de Naranja



De acuerdo al tercer ensayo realizado, se puede apreciar en la figura 8, que al trabajar con una concentración inicial de 1.0 mg/l de Cadmio, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 0.176 mg/l con la dosis de 2.5 g del floculante. Así mismo, se observa que al trabajar con todas las dosis de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g no se logra estar por debajo del Límite Máximo Permissible (0.05 mg Cd/l), sin embargo, el valor más bajo (0.176 mg/l) se alcanza con la dosis de 2.5 g de floculante. Cabe mencionar que, si bien no se alcanza reducir las concentraciones de cadmio hasta alcanzar el LMP, los resultados obtenidos en la figura muestran reducciones significativas de Cadmio para las últimas dosis de 2.0 y 2.5 g.

4.3. Resultados de las eficiencias de naranja con plomo

De acuerdo al tercer objetivo propuesto se determinaron las eficiencias finales de cada una de las dosis de cascara de Naranja para cada ensayo correspondiente.

A continuación, se muestran los resultados de los tres ensayos correspondiente al tratamiento de Plomo con cascara de Naranja como floculante natural:

- **PRIMER ENSAYO**

En la Tabla 13, se muestran los resultados obtenidos del primer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 0.25 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.098, 0.078, 0.081, 0.085 y 0.069 mg/l de Plomo, de acuerdo a cada dosis utilizada de floculante.

Tabla 13

Eficiencias del primer ensayo: Plomo 0.25 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Pb (mg/l)	0.25				
Dosis de Naranja (g)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Pb (mg/l)	0.098	0.078	0.081	0.085	0.069
Biosorción (mg/l)	0.152	0.172	0.169	0.165	0.181
Eficiencia (%)	60.8	68.8	67.6	66.0	72.4

- **SEGUNDO ENSAYO**

En la Tabla 14, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 0.5 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.165, 0.142, 0.149, 0.136 y 0.117 mg/l de Plomo, de acuerdo a cada dosis utilizada de floculante.

Tabla 14*Eficiencias del segundo ensayo: Plomo 0.5 mg/l*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Pb (mg/l)	0.5				
Dosis de Naranja (g)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Pb (mg/l)	0.165	0.142	0.149	0.136	0.117
Biosorción (mg/l)	0.335	0.358	0.351	0.364	0.383
Eficiencia (%)	67.0	71.6	70.2	72.8	76.6

- TERCER ENSAYO

En la Tabla 15, se muestran los resultados obtenidos del tercer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 1.0 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.338, 0.300, 0.267, 0.256 y 0.196 mg/l de Plomo, de acuerdo a cada dosis utilizada de floculante.

Tabla 15*Eficiencias del tercer ensayo: Plomo 1.0 mg/l*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Pb (mg/l)	1.0				
Dosis de Naranja (g)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Pb (mg/l)	0.338	0.300	0.267	0.256	0.196
Biosorción (mg/l)	0.662	0.700	0.733	0.744	0.804
Eficiencia (%)	66.2	70.0	73.3	74.4	80.4

4.4. Resultados de la eficiencia de naranja con cadmio

A continuación, se muestran los resultados de las eficiencias de los tres ensayos correspondientes al tratamiento de Cadmio con cascara de Naranja como floculante:

- PRIMER ENSAYO

En la se muestran los resultados obtenidos del primer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 0.25 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.130, 0.018, 0.015, 0.018 y 0.016 mg/l de Cadmio, de acuerdo a cada dosis utilizada de floculante.

Tabla 16, se muestran los resultados obtenidos del primer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 0.25 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.130, 0.018, 0.015, 0.018 y 0.016 mg/l de Cadmio, de acuerdo a cada dosis utilizada de floculante.

Tabla 16

Eficiencias del primer ensayo: Cadmio 0.25 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Cd (mg/l)	0.25				
Dosis de Naranja (g)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Cd (mg/l)	0.130	0.018	0.017	0.018	0.016
Biosorción (mg/l)	0.120	0.232	0.233	0.232	0.234
Eficiencia (%)	48.0	92.8	93.2	92.8	93.6

- SEGUNDO ENSAYO

En la tabla 17, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 0.5 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.334, 0.236, 0.233, 0.198 y 0.196 mg/l de Cadmio, de acuerdo a cada dosis utilizada de floculante.

Tabla 17

Eficiencias del segundo ensayo: Cadmio 0.5 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Cd (mg/l)	0.5				
Dosis de Naranja (g)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Cd (mg/l)	0.334	0.236	0.233	0.198	0.196
Biosorción (mg/l)	0.166	0.264	0.267	0.302	0.304
Eficiencia (%)	33.2	52.8	53.4	60.4	60.8

- TERCER ENSAYO

En la Tabla 18, se muestran los resultados obtenidos del tercer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 1.0 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.615, 0.488, 0.425, 0.217 y 0.176 mg/l de Cadmio, de acuerdo a cada dosis utilizada de floculante.

Tabla 18

VARIABLES	MUESTRAS
Concentración Inicial de Cd (mg/l)	1.0

Dosis de Naranja (g)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Cd (mg/l)	0.615	0.488	0.425	0.217	0.176
Biosorción (mg/l)	0.385	0.512	0.575	0.783	0.824
Eficiencia (%)	38.5	51.2	57.5	78.3	82.4

Eficiencias del tercer ensayo: Cadmio 1.0 mg/l

4.5. Análisis estadístico

4.5.1. Caracterizando la muestra en su análisis inicial

Para poder tener una base de las muestras se preparó en el laboratorio agua sintética contaminada con Pb y Cd con concentraciones de Pb 0.025, 0.5 y 1.0 mg/l y pH inicial 7.1, y de igual forma, como base inicial de las muestras de Cd con 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l y pH 7.1.

4.5.2. Análisis Estadístico Descriptivo Comparativo

Se aplica la remoción de Pb y Cd con la utilización de floculante Natural en base de cascara de Naranja, para poder evaluar la dosis optima y la eficiencia de remoción de los mismos, presentando:

- **Tratamiento con Cascara de Naranja para remover Pb, Dosis optima:**

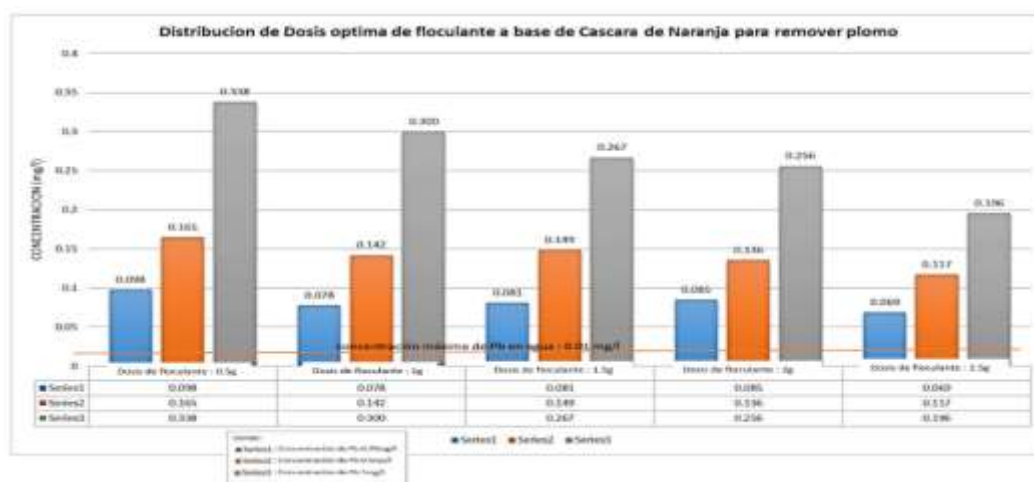
Tabla 19

Análisis Estadístico Descriptivo del Tratamiento de Remoción de Plomo con Bioadsorbente a base de Cascara de Naranja

Pb (mg/l)	Dosis de Floculante (g)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.25	0.098	0.078	0.081	0.085	0.069
0.5	0.165	0.142	0.149	0.136	0.117
1.00	0.338	0.300	0.267	0.256	0.196

Figura 9

Distribución de dosis óptima para remoción de Plomo



Según el análisis realizado se observa que la dosis de bioadsorbente a base de cascara de naranja para remover Pb se visualiza que las dosis optima de remoción es de 0.196 mg/l con concentración de bioadsorbente de 2.5g y cantidad de Pb en agua de 1mg/l.

- **Tratamiento con Cascara de Naranja para remover Cd, Dosis optima:**

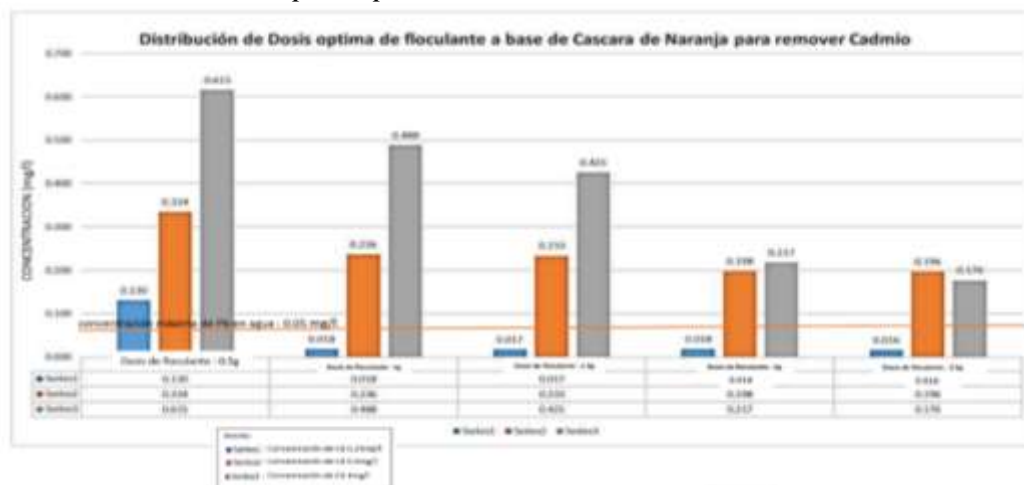
Tabla 20

Análisis Estadístico Descriptivo del Tratamiento de Remoción de Cadmio con Bioadsorbente a base de Cascara de Naranja

Cd (mg/l)	Dosis de Flocculante (g)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.25	0.130	0.018	0.017	0.018	0.016
0.5	0.334	0.236	0.233	0.198	0.196
1.00	0.615	0.488	0.425	0.217	0.176

Figura 10

Distribución de dosis óptima para remoción de Cadmio



Según el análisis realizado se observa que la dosis de bioadsorbente a base de cascara de naranja para remover Cd se visualiza que las dosis optima de remoción es de 0.016 mg/l con concentración de bioadsorbente de 2.5g y cantidad de Cd en agua de 0.25mg/l.

- **Eficiencia de tratamiento con Bioadsorbente a base cascara de naranja para remover Pb:**

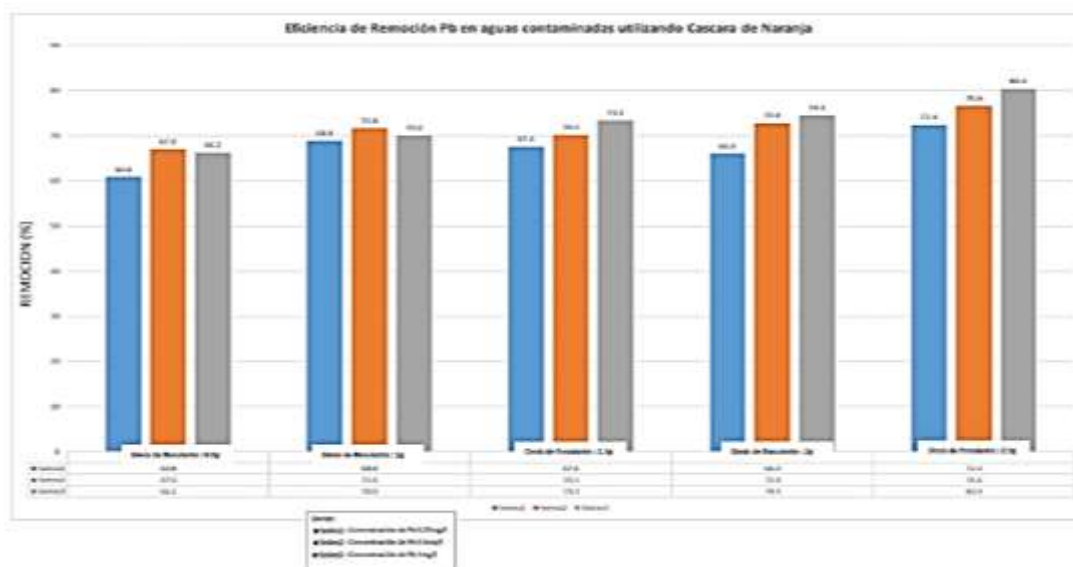
Tabla 21

Análisis estadístico descriptivo de la eficiencia de remoción de Plomo con biosorbente a base de cascara de naranja

Pb (mg/l)	Dosis de Flocculante (g)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.25	60.8	68.8	67.6	66.0	72.4
0.5	67.0	71.6	70.2	72.8	76.6
1.00	66.2	70.0	73.3	74.4	80.4

Figura 11

Eficiencia de remoción de Plomo con biosorbente de Naranja



Según el análisis realizado se observa que la eficiencia del bioadsorbente para remover Pb a base de cascara de naranja es de 80.4% de remoción cadmio y una concentración de bioadsorbente de 2.5g, con dosis de pb en agua de 1mg/l.

- **Eficiencia de tratamiento con Bioadsorbente a base cascara de naranja para remover Pb:**

Tabla 22

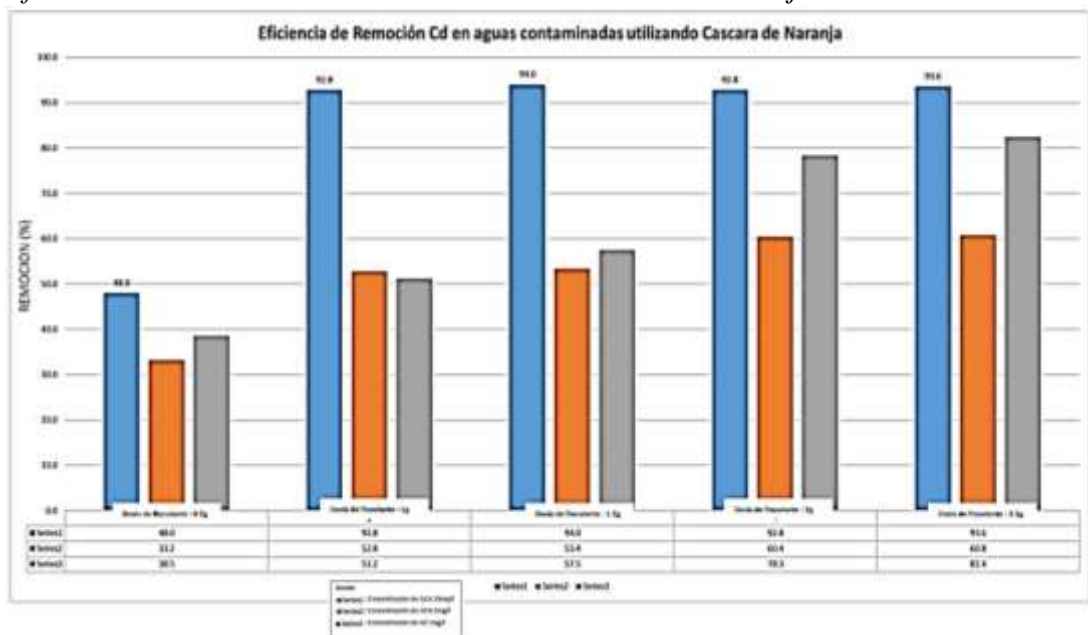
Análisis Estadístico Descriptivo de la eficiencia de Remoción de Cadmio con Bioadsorbente a base de Cascara de Naranja

Pb (mg/l)	Dosis de Flocculante (g)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.25	48.0	92.8	94.0	92.8	93.6
0.5	33.2	52.8	53.4	60.4	60.8
1.00	38.5	51.2	57.5	78.3	82.4

Nota. Los resultados se encuentran en mg/l

Figura 12

Eficiencia de remoción de Cadmio con biosorbente de Naranja



Según el análisis realizado se observa que la eficiencia del bioadsorbente para remover Cd a base de cascara de naranja es de 93.6% de remoción cadmio y una concentración de bioadsorbente de 2.5g, con dosis de Cd en agua de 0.25mg/l.

4.6. Análisis estadístico inferencial

Después de analizar estadísticamente la muestra se quiere afirmar que la dosis optima está ubicada entre las dosis 2 y 2.5g para ellos se aplica la prueba ANOVA de un solo factor la cual se evaluara la significancia de las dosis aplicadas tanto para disminuir concentraciones de Pb y Cd en aguas sintéticas contaminadas usando cascara de naranja.

Figura 13

ANOVA para dosis de bioadsorbente a base de cascara de naranja para remover Plomo en agua sintética contaminada

Método		Resumen del modelo				
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales	0.185719	23.13%	0.00%	0.00%	
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$					
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>						
Información del factor		Medias				
Factor	Niveles Valores	dosis	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
dosis	5 1; 2; 3; 4; 5	1	3	0.360	0.244	(0.121; 0.599)
		2	3	0.247	0.235	(0.008; 0.486)
		3	3	0.225	0.204	(-0.014; 0.464)
		4	3	0.1443	0.1098	(-0.0946; 0.3832)
		5	3	0.1273	0.0641	(-0.1116; 0.3662)
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
dosis	4	0.1038	0.02594	3.89	0.009	
Error	10	0.3449	0.03449			
Total	14	0.4487				
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%						
dosis	N	Media	Agrupación			
1	3	0.36	A			
2	3	0.247	A			
3	3	0.225	A			
4	3	0.1443	B			
5	3	0.1273	B			
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.						

De lo resultado se puede apreciar que con un 95% de confianza se fundamenta que existen por lo menos una media significativa y que las dosis 2 y 2.5 presentan mayor remoción de plomo con un $F=3.89$ que asegura su efectividad

estadística, utilizando bioadsorbente a base de cascara de naranja en aguas sintéticas contaminadas.

Figura 14

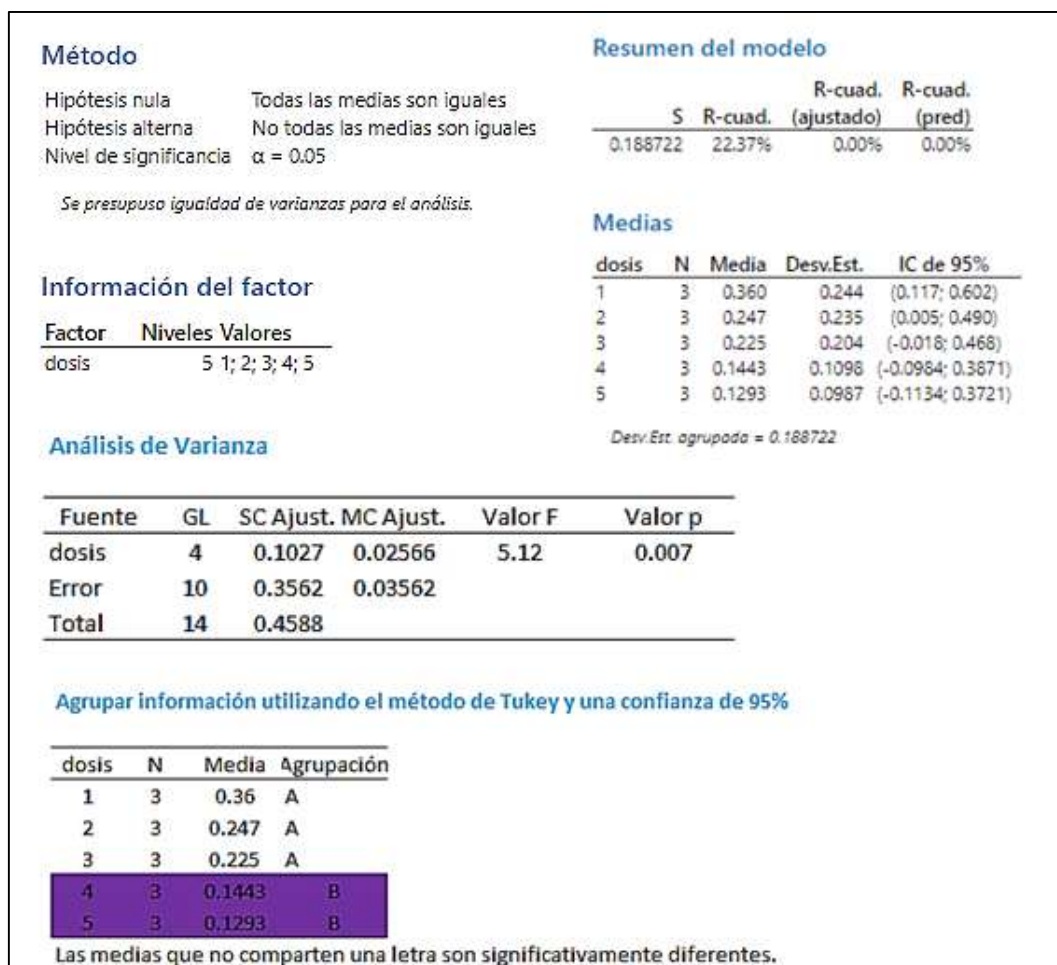
ANOVA respecto a la eficiencia de tratamiento para remover plomo en aguas contaminadas sintéticas con bioadsorbente a base de cascara de naranja

Método		Resumen del modelo					
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)		
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales	3.38812	64.69%	50.56%	20.55%		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$						
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>							
Información del factor			Medias				
Factor	Niveles	Valores	dosis	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
dosis	5	1; 2; 3; 4; 5	1	3	64.67	3.37	(60.31; 69.03)
			2	3	70.133	1.405	(65.775; 74.492)
			3	3	70.37	2.65	(66.01; 74.73)
			4	3	71.07	4.46	(66.71; 75.43)
			5	3	76.47	4.00	(72.11; 80.83)
						<i>Desv.Est. agrupada = 3.38812</i>	
Análisis de Varianza							
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p		
dosis	4	210.3	52.57	4.58	0.023		
Error	10	114.8	11.48				
Total	14	325.1					
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%							
dosis	N	Media	Agrupación				
5	3	76.47	A				
4	3	71.07	A B				
3	3	70.37	B				
2	3	70.133	A B				
1	3	64.67	B				
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.							

Del resultado se puede apreciar que con un 95% de confianza se fundamenta que existen por lo menos una media significativa y que las dosis 2.5 presentan mayor eficiencia de remoción de plomo con un $F=4.58$ que asegura su efectividad estadística, utilizando a base de cascara de naranja en aguas sintéticas contaminadas.

Figura 15

ANOVA para dosis de bioadsorbente a base de cascara de naranja para remover Cadmio en agua sintética contaminada



Nota. Elaboración propia.

De lo resultado se puede apreciar que con un 95% de confianza se fundamenta que existen por lo menos una media significativa y que las dosis 2 y 2.5 presentan mayor remoción de cadmio con un $F=5.12$ que asegura su efectividad estadística, utilizando bioadsorbente a base de cascara de naranja en aguas sintéticas contaminadas.

Figura 16

ANOVA respecto a la eficiencia de tratamiento para remover cadmio en aguas contaminadas sintéticas con bioadsorbente a base de cascara de naranja

Método		Resumen del modelo				
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales	18.1807	47.04%	25.86%	0.00%	
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$					
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>						
Información del factor		Medias				
Factor	Niveles Valores	dosis	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
dosis	5 1; 2; 3; 4; 5	1	3	39.90	7.50	(16.51; 63.29)
		2	3	65.6	23.6	(42.2; 89.0)
		3	3	68.3	22.4	(44.9; 91.7)
		4	3	77.17	16.23	(53.78; 100.55)
		5	3	78.93	16.67	(55.55; 102.32)
<i>Desv.Est. agrupada = 18.1807</i>						
Análisis de Varianza						
Fuente	GL	MC Ajust.	SC Ajust.	Valor F	Valor p	
dosis	4	2936	734	4.79	0.01	
Error	10	3305	330.5			
Total	14	6241				
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%						
dosis	N	Media	Agrupación			
5	3	78.93	B			
4	3	77.17	B			
3	3	68.3	A			
2	3	65.6	A			
1	3	39.9	A			
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.						

Nota. Elaboración propia.

De lo resultado se puede apreciar que con un 95% de confianza se fundamenta que existen por lo menos una media significativa y que las dosis 2 y 2.5 presentan mayor eficiencia de remoción de cadmio con un $F=4.79$ que asegura su efectividad estadística, utilizando bioadsorbente a base de cascara de naranja en aguas sintéticas contaminadas.

4.7. Contrastación de Hipótesis de la investigación

Para poder contrastar las hipótesis tanto general como específica se tiene en la siguiente tabla

Tabla 23

Contrastación de hipótesis

HIPOTESIS GENERAL	ARGUMENTACION	CONTRASTACION
La evaluación de la capacidad de biosorción de la cáscara de Naranja <i>Citrus sinensis</i> permitirá conocer el nivel de remoción de Plomo y Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2020.	Determinando la dosis optima permite conocer los niveles de remoción de plomo y cadmio y la eficiencia esto permite reconocer si el proceso es o no efectivo para la eliminación de ambos contaminantes en el agua	Verdadera
HIPOTESIS ESPECIFICAS	ARGUMENTACION	CONTRASTACION
La cascara de Naranja <i>Citrus sinensis</i> como biosorbente natural tiene su dosis óptima entre 2 y 2.5 g. para la remoción de Plomo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.	Con un F= 3.89 y un p-valor=0.009 se puede afirmar que la dosis optima aplicado bioadsorbente para remover plomo a base de cascara de naranja es 2.5g	Verdadera
La cascara de Naranja <i>Citrus sinensis</i> como biosorbente natural tiene su dosis óptima entre 1.5 y 2.5 g. para la remoción de Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.	Con un F= 5.12 y un p-valor=0.007 se puede afirmar que las dosis optima aplicado bioadsorbente para remover cadmio a base de cascara de naranja es 2.5g	Verdadera
La cascara de Naranja <i>Citrus sinensis</i> como biosorbente natural tiene una eficiencia del 70 al 80 % en la remoción de Plomo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.	Con un F= 4.58 y un p-valor=0.023 se puede afirmar que la eficiencia de remoción de plomo en aguas sintéticas utilizando bioadsorbente a base de cascara de naranja es de 80.4 % con una dosis optima de bioadsorbente de 2.5g	Verdadera
La cascara de Naranja <i>Citrus sinensis</i> como	Con un F= 4.79 y un p-valor=0.01 se puede afirmar	Verdadera

biosorvente natural tiene una eficiencia del 60 al 95 % en la remoción de Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.	que la eficiencia de remoción de cadmio en aguas sintéticas utilizando bioadsorbente a base de cascara de naranja es de 93.6% con una dosis optima de bioadsorbente de 2.5g
---	---

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIONES DE RESULTADOS

Sánchez (2016), en su investigación “Biosorción en tanque agitado de Cd+2 y Pb+2 con cáscara de cacao”, planteó como objetivo Remover *Pb+2* y *Cd+2* de las aguas residuales mineras utilizando como Biosorbente la cáscara de cacao, los resultados obtenidos indicaron que el pH óptimo para la biosorción de plomo estuvo entre 4 y 5, y para el caso del Cadmio fue entre 5 y 6; con respecto al tiempo de contacto necesario para eliminar la mayor cantidad de iones metálicos fue de 10 minutos, siendo el resultado obtenido en la remoción tanto de cadmio como de plomo de 86.92% y 96.74% respectivamente. Para el caso de nuestra investigación, cuando se trabajó con concentraciones de Cadmio de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l, se alcanzaron pH óptimos de 6.0, 6.2 y 6.1 respectivamente; y al trabajar con concentraciones de Plomo de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l, se alcanzaron pH óptimos de 6.0, 6.1 y 6.1 respectivamente. Asimismo, las eficiencias para el caso de las tres concentraciones de Cadmio presentaron valores de 94, 60.8 y 82.4%; y para el caso de las tres concentraciones de Plomo se presentaron eficiencias del 72.4, 76.6 y 80.4%.

En la investigación de Hernández y Triviño (2016) sobre “Evaluación de la capacidad de Bioadsorción de Pb 2+ y Cd 2+ presentes en soluciones sintéticas independientes empleando Retamo Espinoso (*Ulex europaeus*) como Adsorbente” plantean como objetivo, evaluar la capacidad de Bioadsorción de Plomo (II) y

Cadmio (II) presentes en soluciones Sintéticas independientes, empleando la biomasa seca del Retamo Espinoso como adsorbente. Dentro de la metodología se realizaron experimentos mediante reactor tipo Batch para analizar la influencia del pH y la concentración inicial del metal en la capacidad de Bioadsorción y el porcentaje de adsorción de cada metal. La capacidad máxima de bioadsorción para el Pb fue 16,75 mg/g de adsorbente, a un pH 4 y con 75 mg/L de concentración inicial; mientras el Cd obtuvo una capacidad máxima de bioadsorción de 11,44 mg/g de adsorbente, a un pH 6 y la misma concentración inicial. Los porcentajes de remoción fueron 84,55% y 82,20% para el Pb y Cd respectivamente. En el desarrollo de nuestra investigación, cuando se trabajó con concentraciones de Cadmio de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l, se obtuvo una bioadsorción óptima de 0.234, 0.304 y 0.824 mg/l a pH de 6.0, 6.2 y 6.1 respectivamente; y para el caso de las concentraciones de Plomo de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l, se obtuvo una bioadsorción óptima de 0.181, 0.383 y 0.804 mg/l a pH de 6.0, 6.1 y 6.1 respectivamente. Así mismo, los porcentajes de remoción de Cadmio para 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l, presentaron valores de 94, 60.8 y 82.4%; y para el caso de las concentraciones de Plomo de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l, presentaron porcentajes de remoción de 72.4, 76.6 y 80.4%.

Ramírez (2016), en su investigación “Bioadsorción de Cobre, Cadmio y Manganeso con cascara de naranja de las aguas de la laguna Colquicocha”, planteó como objetivo, demostrar la capacidad de Bioadsorción de Cobre, Cadmio y Manganeso con cáscara de naranja en las aguas de la Laguna Colquicocha, provincia de Oyón. Durante la etapa experimental se realizaron pruebas con muestras de agua de la laguna Colquicocha a nivel de laboratorio bajo las mismas condiciones de la laguna ($\text{pH} = 7,5$ y $T^\circ = 7^\circ\text{C}.$); se determinó la proporción

óptima de cascara de naranja y agua de laguna. Finalmente, se concluyó que la reducción del Cobre, Cadmio y Manganeso con cascara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha sería hasta 0,02 mg/l, 0.041 mg/l y 3,68 mg/l con 5 g de cascara de naranja activada para cada metal; representando una reducción del 66,67%, 84% y 53,97% respectivamente en función a la concentración inicial de cada metal. En nuestra investigación desarrollada a nivel de laboratorio las concentraciones iniciales de Cadmio de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l, fueron removidas hasta concentraciones finales de 0.016, 0.196, 0.176 mg/l respectivamente, utilizando una dosis de bioadsorbente de 2.5 g, y donde los porcentajes de remoción o eficiencia fueron de 94, 60.8 y 82.4%. Asimismo, las concentraciones iniciales de Plomo de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l, fueron removidas hasta concentraciones finales de 0.069, 0.117, 0.196 mg/l respectivamente, utilizando una dosis de bioadsorbente de 2.5 g, y donde los porcentajes de remoción o eficiencia fueron de 72.4, 76.6 y 80.4%.

En su trabajo de Investigación, Sernaqué (2018), trata sobre la “Eficiencia de floculantes Orgánicos en la Biosorción de Plomo y Cadmio en muestras a nivel de Laboratorio, Lima, 2018”, en el cual establece como objetivo evaluar la eficiencia de los floculantes orgánicos en la biosorción de plomo y cadmio en muestras a nivel de laboratorio, concluyendo que los floculantes orgánicos para la remoción de Pb y Cd poseen una eficiencia de 28.37% a 89.18%, siendo la carambola la que presentó menor eficiencia 11.67 en la remoción de Pb; mientras que la cocona, naranja, pepino, manzana y uva son las frutas que presentaron una mayor eficiencia en el tratamiento de Pb, destacando la eficiencia de la manzana con 89.18%. Asimismo, mostró que, para el caso del Cadmio, la mandarina, pepino, cocona, toronja y manzana presentaron una mayor eficiencia, así también

demostró que la manzana presenta una eficiencia de 88.69%, mientras que la uva alcanzó sólo un 41.93% siendo la menor eficiencia en el tratamiento de remoción de Cd. En la presente investigación para el caso del Cadmio los porcentajes de remoción o eficiencia fueron de 94, 60.8 y 82.4%, mientras que para el Plomo y utilizando el mismo bioadsorbente se obtuvieron porcentajes de remoción de 72.4, 76.6 y 80.4% considerando las concentraciones iniciales para ambos casos (Cd y Pb) de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l.

VI. CONCLUSIONES

- En relación a nuestro primer objetivo planteado se concluye que para remover Plomo de una concentración inicial de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l hasta una concentración final de 0.069, 0.117 y 0.196 mg/l respectivamente, se requirió de una dosis óptima de bioadsorbente de Naranja de 2.5 g.
- De acuerdo al segundo objetivo planteado, también se concluye que para remover Cadmio de una concentración inicial de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l hasta una concentración final de 0.016, 0.196 y 0.176 mg/l respectivamente, se requirió de una dosis óptima de bioadsorbente de Naranja de 2.5 g.
- Del tercer objetivo tenemos que la eficiencia alcanzada por el biosorbente de Naranja en la remoción de Plomo de 0.25 hasta 0.069 mg/l fue del 72.4%, asimismo para remover Plomo de 0.5 hasta 0.117 mg/l la eficiencia alcanzada fue del 76.6%, y finalmente para remover Plomo de 1.0 hasta 0.196 mg/l la eficiencia obtenida fue del 80.4%.
- Del cuarto objetivo planteado tenemos que la eficiencia alcanzada por el biosorbente de Naranja en la remoción de Cadmio de 0.25 hasta 0.016 mg/l fue del 94%, asimismo para remover Cadmio de 0.5 hasta 0.196 mg/l la eficiencia alcanzada fue del 60.8%, y finalmente para remover Cadmio de 1.0 hasta 0.176 mg/l la eficiencia obtenida fue del 82.4%.
- De forma general se concluye que la dosis óptima del Bioadsorbente de Naranja para el Plomo y Cadmio es de 2.5 g, y presenta una eficiencia para ambos metales que varía entre un mínimo del 60.8% y un máximo del 94%.

De lo visto anteriormente, de la información procesada y del análisis de las estaciones de muestreo, se presentan las siguientes conclusiones:

VII. RECOMENDACIONES

Para la presente investigación se presenta las siguientes recomendaciones:

- A fin de comprobar si existe una mayor capacidad de remoción de Plomo y Cadmio se recomienda experimentar con dosis de bioadsorbente de naranja mayores a 2.5 gramos.
- De manera que se pueda observar si existen mayores eficiencias con el biosorbente de Naranja se recomienda desarrollar ensayos experimentales con concentraciones superiores a 1.0 mg/l de Plomo y Cadmio.
- Conociendo las eficiencias mostradas por el biosorbente de Naranja de acuerdo a la granulometría utilizada de 180 μm (Tamiz #80), se recomienda realizar ensayos con tamaños de malla inferiores a las utilizadas en la presente investigación, a fin de comprobar si se puede obtener una mayor eficiencia.
- De acuerdo a nuestro trabajo de investigación se muestra una alta eficiencia del bioadsorbente de Naranja para la remoción de Plomo y Cadmio, en tal sentido se recomienda desarrollar más ensayos con otros floculantes naturales que sean considerados de desecho, a fin de evaluar su capacidad de biosorción y remoción de otros metales pesados.

VIII. REFERENCIAS

- Arias, L. (2019) “*Evaluación de la capacidad de Remoción de CR (VI) en solución con una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como Bioadsorbente.* Bogotá- Colombia
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2111&context=ing_ambiental_sanitaria
- Caizapanta, A. (2011). *Estudio Isotérmico de Biosorción de cromo y cadmio en solución acuosa utilizando residuos de césped.* Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Cardona et al. (2013). “Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)” Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. 17(1), 1-9 pp. Mérida – México. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46729718001.pdf>
- Carro de Diego, L. (2012). Eliminación del Mercurio de Efluentes acuosos con materiales de bajo coste: Proceso combinado de biosorción- reducción
- Collantes, L. (2019). “*Capacidad Biosorbente de Plomo de la Cáscara de Naranja (Citrus Sinensis (L.) Osbeck) y la Vaina de Taya (Caesalpinia Spinosa (Molina) Kuntze)*” Cajamarca – Perú.
<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3392/TESIS%20BIOSORCI%C3%93N%20-%20UNIVERSIDAD%20NACIONAL%20DE%20CAJAMARCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dávila, N. (2012). “*Caracterización del Proceso de Biosorción de Metales Pesados Mediante Residuos Sólidos de Café*” Nuevo León – México.
<http://eprints.uanl.mx/2728/1/1080237535.pdf>
- Garcés, L. y Coavas, S. (2012) “*Evaluación de la Capacidad de Adsorción en la Cáscara de Naranja (Citrus Sinensis) modificada con Quitosano para la Remoción de CR (VI) en aguas Residuales*” Cartagena de Indias – Colombia.
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/140/tesis%20Garces-Coavas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, C. y Triviño, L. (2016). “Evaluación de la capacidad de Bioadsorción de Pb (II) y Cd (II) presentes en soluciones sintéticas independientes empleando Retamo Espinoso (Ulex europaeus) como adsorbente” Bogotá – Colombia.
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3797/Hern%C3%A1ndezRodr%C3%ADguezCarolBrigitte2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kuyucak, N. y Volesky, B. (1990). Biosorbents for recovery of metals from industrial solutions. Biotech. Lett. Pp. 10:137-142
- Marín. R. (2013). Procesos Físicoquímicos en Depuración de Aguas. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos S.A.
<https://books.google.com.pe/books?id=fOuODwAAQBAJ&printsec=frontc>

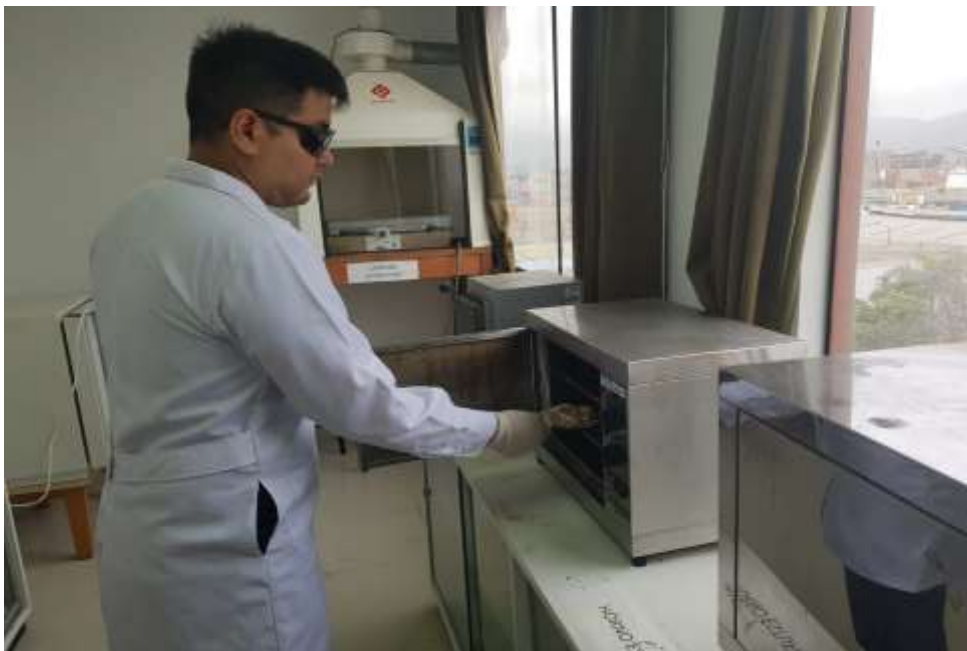
over&dq=proceso+fisicoquimicos&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi2saWQt9TuAhVWHrkGHeEYD9AQ6AEwAXoECAyQA#v=onepage&q=proceso%20fisicoquimicos&f=false/handle/20.500.12692/4668/Mu%C3%B1iz_RJA.pdf?

- Marshall, R. y Espinoza, J., (2014) “*Evaluación del poder Biosorbente de las Cáscaras de Cítricos (Limón y Toronja) para Eliminación de Metales Pesados; Plomo (Pb) y Mercurio (Hg) en aguas residuales sintéticas*” Guayaquil – Ecuador.
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18100/1/401-1208%20-%20Evaluaci%C3%B3n%20del%20poder%20biosorbente%20de%20las%20c%C3%A1scaras%20de%20c%C3%ADtricos.pdf>
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (2010). Límites Máximos Permisibles para Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas. D.S. 010-2010-MINAM.
- Morales et al. (2008). *Determinación de la capacidad de remoción de cadmio y plomo y níquel por hongos de la podredumbre blanca inmovilizados*. Bogotá, Colombia.: Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana.
- Ordoñez, A. (2015) “Bioadsorción de Pb y Cr mediante la utilización de cáscara de naranja (Citrus Sinensis) Molida, Machala 2014” Machala- Ecuador.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1897/1/CD00308.pdf>
- Ramírez, M. (2016) “*Bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cascara de naranja de las aguas de la laguna Colquicocha*” Callao – Perú.
[http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/1733/Michael_Tesis_T%C3%ADtuloprofesional_2016%20\(2\).pdf?sequence=1](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/1733/Michael_Tesis_T%C3%ADtuloprofesional_2016%20(2).pdf?sequence=1)
- Salas, P. y Villanueva, L., (2017). “*Eliminación de Plomo (II) y Fierro (II), por Bioadsorción con Cáscara de Naranja (CITRUS × SINENSIS) en Residuos Líquidos Procedentes del Laboratorio Químico de SOUTHERN PERÚ*” Arequipa – Perú.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4618/IQsapapr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, N. (2016) “*Biosorción en tanque agitado de CD +2 Y Pb+2 con cascara de Cacao*” Cuenca – Ecuador.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25242/3/Tesis.pdf>
- Sanchis, M. (2010). *Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso*. Valencia, España: Tesis Doctoral de la Universidad de Valencia
- Sernaqué, F. (2018) “*Eficiencia de floculantes Orgánicos en la Biosorción de Plomo y Cadmio en muestras a nivel de Laboratorio, Lima – 2018*”. Lima – Perú.
<http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/3001/SERNAQU%C3%89%20AUCCA%20HUALSI%20FERNANDO%20ANTONIO%20-%20DOCTORADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Tejada et al. (2016). “Remoción de Plomo por Biomosas Residuales de Cáscara de Naranja (*Citrus Sinensis*) y Zuro de Maíz (*Zea mays*)”. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica* 19 pp: 169 – 178. Cartagena – Colombia. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n1/v19n1a20.pdf>
- Volesky, B. (2003). *Biosorption process simulation tools*. Hydrometallurgy. Department of Chemical Engineering, Canada H3A 2B2, 179 – 190

IX. ANEXOS

Secado inicial del Biosorbente de Naranja



Secado final del Biosorbente de Naranja



Trituración inicial del Biosorbente de Naranja



Trituración final del Biosorbente de Naranja



Pesaje del Biosorbente de Naranja



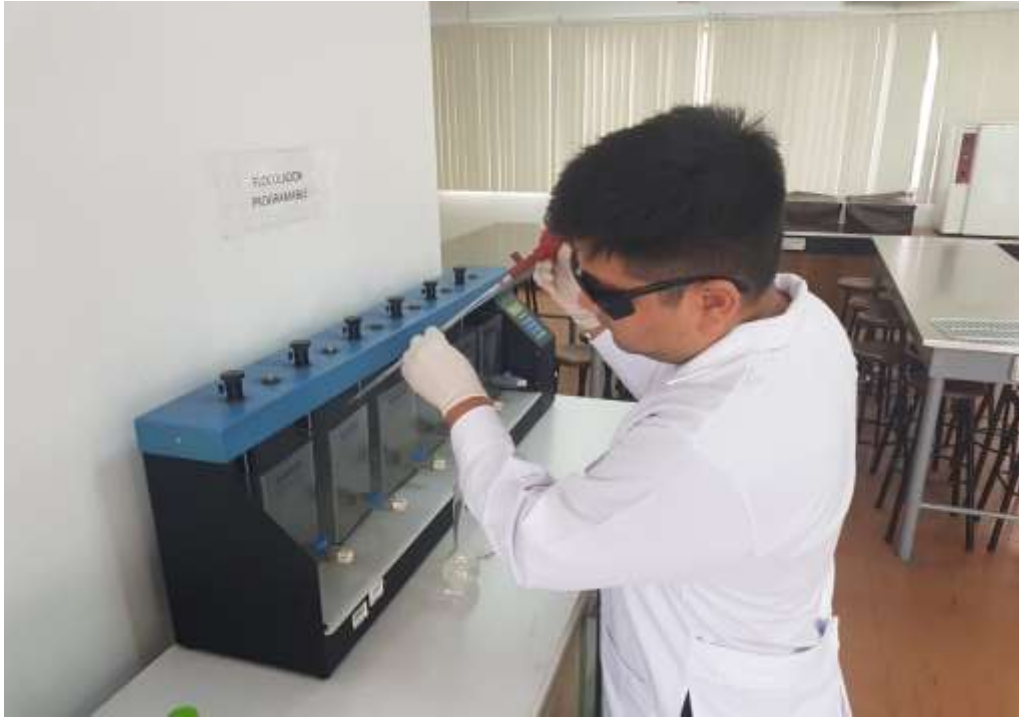
Preparación del Floculador Programable



Preparación de muestras para el proceso de Floculación.



Acondicionamiento de muestras a flocular.



Acondicionamiento de muestras a flocular.



Acondicionamiento de muestras a flocular.



Acondicionamiento de muestras de 0.25 mg/l.



Acondicionamiento de muestras de 0.5 mg/l.



Acondicionamiento de muestras de 1.0 mg/l.



Tiempo de sedimentación de la muestra



Toma de muestra final floculada



Toma de muestra final para análisis.

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Independiente Biosorción de la cascara de Naranja citrus x sinensis.	El proceso de bioadsorción presenta una fase sólida (bioadsorbente) y una fase líquida (solvente) que posee las especies disueltas que van a ser sorbidas (iones metálicos), gracias a la afinidad del adsorbente por las especies del adsorbato, este es atraído hacia el sólido y enlazado por diversos mecanismos (Caizapanta, 2011)	Para realizar la bioadsorción existen factores que permiten desarrollar este proceso, estos factores son: parámetros fisicoquímicos, propiedades del contaminante, propiedades de la biomasa y condiciones del medio.	PARAMETROS DE CONTROL	Dosis	Gramos
				Tiempo	Minutos
				Velocidad de agitacion	rpm
				Eficiencia	%
Variable Dependiente Remoción de Plomo y Cadmio	Existen varios métodos para la remoción de metales pesados de efluentes como: electrodiálisis, intercambio iónico y ultrafiltración. Estos son algunos procesos que se emplean para la remoción de elevadas concentraciones de metales pesados (Kuyucak, 1990)	Los metales pesados están en las aguas residuales, resultado de procesos industriales y, por su toxicidad sus concentraciones deben reducirse a niveles muy bajos, hay que resaltar que los metales pesados no pueden degradarse, sino removerse.	PARAMETRO INORGANICO (Pb)	Concentraión Inicial	mg/l
				Concentraión Final	mg/l
				Temperatura	° C
			PARAMETRO INORGANICO (Cd)	Potencial de Hidrogenos	Unidad de pH
				Concentraión Inicial	mg/l
				Concentraión Final	mg/l
Temperatura	° C				
Potencial de Hidrogenos	Unidad de pH				

Matriz de consistencia