

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“BIOSORCIÓN DE IONES Zn (II) MEDIANTE LA
CÁSCARA DE NARANJA (CITRUS SINENSIS)
TRATADA”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERÍA QUÍMICA

BACH. MONCADA AZABACHE, ELBA VANESSA

BACH. POMIANO BOCANEGRA, KATHERIN JANET

Callao, Enero, 2018

PERÚ

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por las señoritas Bachiller **POMIANO BOCANEGRA KATHERIN JANET** y **MONCADA AZABACHE ELBA VANESSA** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

ING° ÓSCAR RODRIGUEZ TARANCO	PRESIDENTE
ING° RICARDO RODRIGUEZ VILCHEZ	SECRETARIO
ING° CALIXTO IPANAQUE MAZA	VOCAL
ING° GUMERCINDO HUAMANÍ TAIPE	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas N° 1 de Tesis con Ciclo de Tesis Folio N° 32 y Acta N° 31 de fecha **VEINTICINCO DE ENERO DE 2018**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 309-2017-CU de fecha 24 de octubre de 2017 y en su Cuarta Disposición Transitoria, norman los requisitos de los expedientes para la obtención del Grado Académico de Bachiller

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi abuelita Eugenia, *In memoriam*, que me enseñó siempre a ser perseverante y lograr mis objetivos a pesar de las dificultades.

Katherin P.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia por siempre impulsarme a crecer como persona y profesional.

Vanessa M.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mi papá Román por el apoyo en este camino profesional, así mismo a mi familia por los valores inculcados desde mi niñez.

Katherin P.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la sabiduría para realizar esta tesis, a mi padre Juan y mi madre Esperanza por su apoyo incondicional, a mis hermanos por sus consejos diarios, a Danilo que con su amor me impulsa día a día a mejorar. A mis profesores que contribuyeron con su conocimiento en mi formación y demás trabajadores de mí siempre Alma Mater la Universidad Nacional del Callao

Vanessa M.

ÍNDICE

TABLA DE CONTENIDO	4
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
1.1. Identificación del problema.....	10
1.2. Formulación del problema	10
1.2.1. Problema General	10
1.2.2. Problemas específicos	10
1.3. Objetivos de la investigación.....	11
1.3.1. Objetivo General	11
1.3.2. Objetivos Específicos	11
1.4. Justificación	12
1.5. Importancia.....	13
II. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Antecedentes del estudio.....	14
2.2. Base Teórica.....	17
2.2.1 Biosorción	17
2.2.2 Adsorción	17
2.2.3 Tipos de adsorción	17
2.2.4 Cinética de Biosorción	18
2.3 Marco Conceptual	24
2.3.1 Generalidades de la cáscara de naranja	24
2.3.2 Polisacáridos de pared celular:	27
2.3.3 La cáscara de naranja como sorbente	32
2.3.4 Metales pesados	33
2.3.5 Generalidades del Zn	34
2.3.6 Límites Máximos Admisibles del Zinc:	36
2.3.7 Métodos convencionales para la eliminación de metales pesados.	36
2.3.8 Efecto de las principales variables involucradas en el proceso de biosorción.....	38

2.4.	Definiciones de términos.....	40
III.	VARIABLES E HIPÓTESIS	42
3.1.	Variables de la investigación:	42
3.2.	Operacionalización de variables	43
3.3.	Hipótesis general e hipótesis específicas.	44
3.3.1.	Hipótesis general	44
3.3.2.	Hipótesis específicas.....	44
IV.	METODOLOGÍA	45
4.1.	Tipo de investigación.	45
4.2.	Diseño de la investigación.	45
4.2.1.	Diseño Experimental.....	47
4.3.	Población y Muestra:	50
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos:	50
4.4.1	Lugar de ejecución:	50
4.4.2	Materiales, reactivos y equipos	50
4.5.	Procedimiento de Recolección de datos	52
4.6.	Procesamiento Estadístico y Análisis de Datos	62
V.	RESULTADOS	69
5.1.	Caracterización fisicoquímica de la cáscara de naranja	69
5.2.	Biosorción de iones Zn (II) de la cáscara de naranja tratada.	76
5.2.1	Biosorción de iones Zn (II) de la cáscara de naranja no tratada.....	80
5.3.	Modelo cinético de adsorción de iones Zinc (II) a partir de la cáscara tratada	81
5.3.1.	Modelo cinético de Pseudo- Primer orden.....	83
5.3.2.	Modelo cinético de Pseudo- Segundo orden.....	85
5.3.3.	Modelo cinético de Elovich	86
5.3.4.	Modelo cinético de Difusión Intraparticular.....	87
5.4.	Isotermas de adsorción a partir de la cáscara tratada	88
5.4.1.	Isoterma de Langmuir.....	89
5.4.2.	Isoterma de Freundlich.....	90
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	92
6.1.	Contrastación de Hipótesis con los resultados	92

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares.....	93
VII. CONCLUSIONES	97
VIII. RECOMENDACIONES	98
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
X. ANEXOS	104
10.1. Matriz de consistencia.....	104
10.2. Tratamiento de la cáscara de naranja	106
10.3. Modelos cinéticos de Adsorción.	109
10.4. Cuadros de las bandas de absorción características para los grupos funcionales más comunes.	110
10.5. Cuadro resumen de los Modelos Cinéticos	111
10.6. Gráfica de dispersión.....	112
10.7. Gráfica de Interacción.....	113
10.8. Caracterización de la cáscara de naranja tratada y sin tratar	114
10.9. Informe de Ensayo 1 (Biosorción de Zinc (II))	114
10.10. Informe de Ensayo 2 (Biosorción de Zinc (II) con respecto al tiempo)	114

TABLA DE CONTENIDO

CUADRO

2.1: Compuestos principales que constituyen la estructura del albedo de naranja.....	26
2.2: Contenido porcentual de la cascara de naranja.....	27
2.3: Contenido de C, H Y N de diversos Bioadsorbente.....	25
2.4: Clasificación de la peligrosidad de los metales.....	33
2.5: Industrias con mayor presencia de iones metálicos en los efluentes.....	34
2.6: Propiedades químicas del Zinc.....	35
2.7: Límites Máximos Admisibles para descargas al sistema de alcantarillado.....	37
2.8: Métodos convencionales para el tratamiento de Aguas Residuales.....	38
3.1: Operacionalización de variables.....	44
4.1: Matriz de experimentos.....	48
5.1: Datos del Espectro Infrarrojo de la cáscara de naranja tratada.....	67
5.2: Datos del Espectro Infrarrojo de la cascara de naranja sin tratar.....	70
5.3: Porcentaje de remoción con cáscara tratada.....	75
5.4: Capacidad de Adsorción de la cáscara tratada.....	79
5.5: Porcentaje de Remoción con cáscara no tratada.....	79
5.6: Capacidad con respecto al tiempo.....	81
5.7: Parámetros cinéticos Pseudo Primer Orden.....	84
5.8: Parámetros cinéticos Pseudo Segundo Orden.....	85
5.9: Parámetros cinéticos de Elovich.....	86
5.10: Parámetros cinéticos Difusión Intraparticular.....	88
5.11: Reporte de datos para las isotermas.....	88
5.12: Parámetros característicos del modelo de Langmuir.....	90

5.13: Parámetros característicos del modelo de Freundlich.....	91
7.1: Caracterización de la cáscara de naranja.....	97
7.2: Mejores parámetros.....	98
7.3: Modelo Cinético.....	98
7.4: Isotherma de Langmuir.....	99

FIGURAS

2.1: Mecanismo de adsorción de un metal	24
2.2: Partes de la fruta de Naranja.....	25
2.3: Diagrama de la Pectina en forma de canales.....	28
2.4: Representación esquemática modelo caja de huevo.....	29
2.5: Fórmula química de la Pectina.....	30
2.6: Fórmula química de la Celulosa.....	31
2.7: Fórmula química de la Hemicelulosa.....	32
3.1: Definición de variables.....	44
4.1: Metodología.....	48
4.2: Diseño experimental.....	49
4.3: Diseño de experimento para el modelo cinético.....	50
4.4: Diseño de experimento para la Isoterma.....	51
4.5: Materia prima.....	54
4.6: Cortado y lavado.....	55
4.7: Limpieza.....	56
4.8: Secado.....	56
4.9: Reducción.....	57
4.10: Demetilación.....	58
4.11: Reticulación de la cáscara de naranja y secado.....	59
4.12: Tamizado del Biosorbente.....	60
4.13: Reposo de las muestras	61
4.14: Filtrado de las muestras.....	62
4.15: Envasado de las muestra.....	62
4.16: Ensayo de Biosorción con respecto al tiempo.....	63
5.1: Espectroscopia de Infrarrojo de la cáscara de naranja tratada.....	71
5.2: Espectroscopia de Infrarrojo de la cáscara de naranja sin tratar.....	74
5.3: Espectros Infrarrojos superpuesto.....	76

GRÁFICOS

5.1:	Influencia del peso del Biosorbente.....	76
5.2:	Influencia del pH.....	77
5.3:	Influencia del tamaño del biosorbente.....	78
5.4:	Concentración en solución de iones Zinc (II) frente al tiempo.....	81
5.5:	Cantidad adsorbida de iones Zinc (II) con respecto al tiempo.....	82
5.6:	Ajuste al modelo cinético de Pseudo primer orden linealizado.....	83
5.7:	Ajuste al modelo cinético de Pseudo segundo orden linealizado.....	84
5.8:	Ajuste del modelo cinético de Elovich linealizado.....	86
5.9:	Ajuste del modelo cinético de Difusión Intraparticular.....	87
5.10:	Concentración en equilibrio vs capacidad de Adsorción.....	89
5.11:	Ajuste al modelo de la isoterma de Langmuir linealizado.....	89
5.12:	Ajuste al modelo de la isoterma de Freundlich linealizado.....	90

RESUMEN

La presente tesis establece las condiciones necesarias para la biosorción de iones Zinc (II) con cáscara de naranja tratada.

La metodología de la investigación consistió en tratar la cáscara de naranja física y químicamente, esto se evaluó mediante el FTIR. Luego se realizaron ensayos de biosorción a distintas condiciones de pH, peso de biosorbente y tamaño del biosorbente, donde se concluye al final que se obtuvo una mayor biosorción de iones Zinc(II) con la cáscara de naranja tratada a las condiciones de pH=5,5; peso del biosorbente 1g y tamaño de biosorbente 1mm que con la cáscara de naranja no tratada. Por tanto, el porcentaje de remoción fue de 95,86% con capacidad de remoción de 9,860 mg de Zn (II) / g de cascara de naranja.

Finalmente, el modelo cinético de adsorción que mejor se ajustó fue el de Pseudo segundo orden. Asimismo, la Isoterma que describe al sistema fue de Langmuir.

Palabras Claves: Biosorción, tratamiento químico, Absorción Atómica, remoción.

ABSTRACT

The present thesis establishes the necessary conditions for the Biosorption of Zinc ions (II) by using orange peel.

The methodology of the research consisted in treating the orange peel physically and chemically, this process was evaluated by the FTIR analysis. Subsequently, biosorption test were performed at different pH conditions, biosorbent weight and size, where it was concluded that a greater bisorption of Zinc ions (II) was obtained with the orange peel treated at the conditions of pH =5,5; biosorbent weight: 1g and biosorbent size: 1mm, compared to the untreated orange peel. Therefore, the removal percentage was 95.86% with a removal capacity of 9,860 mg of Zinc (II) /g of orange peel.

Finally, The Kinetic model of adsorption that was best adjusted was that of pseudo second order. Likewise, The Isotherm that describes the system was that of Langmuir.

Key words: Biosorption, chemical modification, atomic absorption, removal.

CAPITULO I

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

Dentro de los efluentes de galvanotecnia y pinturas al óleo uno de los componentes que afecta al medio ambiente es el metal pesado Zn (II). Entre los procesos comúnmente utilizados para tratar efluentes se encuentran: carbón activado, intercambio iónico, extracción con solventes, ósmosis inversas y flotación no convencional, siendo algunos de estos procesos muy caros, implicando altos costos de operación y requerimientos energéticos, por tanto, nosotros proponemos el uso de la cáscara de naranja como biomasa para la adsorción del metal pesado Zn (II), la cual es una materia prima abundante provenientes del comercio ambulatorio de jugo de Naranja. La cáscara de naranja fue tratada químicamente debido a que posee mejor fijación de los iones de Zn (II) en sus centros activos logrando una mayor capacidad de adsorción en comparación a la de una cascara de naranja sin tratar.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cuáles serán las condiciones para la biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la cáscara de naranja tratada y no tratada?

- b) ¿Cómo verificamos que los parámetros del proceso actúan mejor en la cascara de naranja tratada que con la cáscara no tratada?
- c) ¿Cuál el modelo cinético que describe el comportamiento del sistema?
- d) ¿Cuál sería la Isoterma que obedece a la biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Establecer las condiciones para la biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar las características fisicoquímicas de la cáscara de naranja tratada y no tratada.
- b) Verificar que los parámetros del proceso actúan mejor en la cáscara de naranja tratada, que en la cáscara de naranja no tratada.
- c) Establecer el comportamiento del sistema mediante un modelo Cinético.
- d) Establecer la isoterma que obedece a la biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada.

1.4. Justificación

Los resultados de la investigación que se propone desarrollar, tendrán valiosos aportes en los siguientes contextos:

a) Legal:

En el Perú existen normativas vigentes de Gestión Ambiental (Decreto Supremo N° 001 2015 – MVCS) para la prevención y control de la contaminación del agua, que indican los límites máximos Admisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas de ciertos contaminantes tales como el zinc.

b) Tecnológica:

La comunidad científica ha desarrollado diferentes métodos para el tratamiento de efluentes líquidos industriales contaminados por iones metales pesados, entre los cuales están: precipitación, oxido- reducción, intercambio iónico entre otros, que tienen la capacidad de concentrar en sus estructuras diversos iones metálicos como el zinc.

c) Económica:

Entre las ventajas de nuestra alternativa en comparación con las técnicas convencionales se propone un método de bajo costo, además de tener una alta eficiencia y usos mínimos de productos químicos; asimismo, la materia prima se encuentra en abundancia.

d) Ambiental:

Se dio la reutilización de cascaras de naranjas (materia prima de origen biológico) provenientes del comercio ambulatorio de jugo de Naranja, siendo bastante accesible, Como resultado del presente estudio se generó

una alternativa más accesible a pequeñas industrias establecidas en zonas urbanas o industrias carentes de plantas de tratamiento, entre otros.

1.5. Importancia

Actualmente, se conoce diferentes tipos de biomasas biosorbentes (vivas o muertas) de bajo costo para reducir las concentraciones de metales pesados en efluentes. En esta investigación se elaboró un biosorbente a base de la cáscara de naranja obtenida del desecho del comercio ambulatorio de jugos de naranja, el cual también nosotras reutilizamos a modo de contribuir con la reducción de la contaminación Ambiental tanto como del metal pesado como de la misma cáscara de Naranja.

CAPITULO II

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Los antecedentes se basan en las siguientes investigaciones, tales como: Romero et al. (2016) en la investigación de **“Preparation of orange peels by instant controlled pressure drop and chemical modification for its use as biosorbent of organic pollutants”**, evaluaron un tratamiento físico y posterior modificación química para incrementar la capacidad de adsorción de cáscara de naranja para dos compuestos orgánicos modelo (colorante-azo y fenol). Se emplearon Descompresión Instantánea Controlada (DIC), una tecnología de secado combinada con descompresión al vacío como la estructura del material, incrementando su porosidad y por tanto su área superficie. La combinación de esta técnica con una modificación química posterior incrementa la capacidad de adsorción del material. Los resultados muestran la presencia de grupos R-OH, R-COOH y R-COOCH₃ en las cáscaras los cuales pueden incrementarse y modificarse con la preparación.

Villabona et al. (2015) en una investigación titulada **“Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico”** demostró que el uso de biomasa residual aplicada a este proceso de adsorción no genera lodos químicos además considera que los factores como el pH de la solución, tamaño de partícula, temperatura y la concentración del metal influye en el proceso.

Cardona et al. (2013) presentó el estudio **“Evaluación del poder biosorbente de cascara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)”** evaluó la capacidad de biosorción de la cáscara de naranja y el porcentaje de remoción de estos metales para ello trabajó con 7 factores fisicoquímicos, los mejores resultados para el zinc se dio con pH=5, tamaño de partícula=0,48, concentración del metal=100 ppm, cantidad de la biosorbente=0,5, temperatura=25°C, tiempo de contacto=4h y tipo de tratamiento biosorbente sin reticulación, esto se determinó mediante la adsorción Atómica. El mejor porcentaje de remoción de Zn (II) y Pb (II) para ambos fue de 99,5%.

Feng y Guo (2012) presentaron el estudio **“Characterization of adsorptive capacity and mechanisms on adsorption of copper, lead and zinc by modified orange peel”**, se estudió una simple y económica preparación de la cáscara de naranja como absorbente y se realizaron experimentos de adsorción para determinar sus mecanismos. El comportamiento de adsorción Cu (II), Pb (II) y Zn (II) con la cáscara de naranja fueron estudiados variando los parámetros como pH y la concentración inicial de los metales. El equilibrio fue descrito por la ecuación Langmuir con la máxima capacidad de adsorción para el Cu (II), Pb (II) y Zn (II) fueron 70,73; 209,8; 56,18 mg/g respectivamente.

Feng et al. (2010) Sostuvieron la investigación **“Bisorption of heavy metals from aqueous solutions by chemically modified orange peel”**, en donde estudiaron el equilibrio, cinético y termodinámica de los iones Pb (II), Cd (II) y Ni (II) en soluciones acuosas usando la cáscara de naranja tratada por Copolimeración injertada, asimismo, estudiaron las influencias de los parámetros del pH y tiempo de contacto, reportando que la capacidad máxima de los iones fue 476,1; 293,3 y 162.6 mgg⁻¹ respectivamente en comparación a la cáscara sin tratar .De igual manera menciona que la biosorción siguió la cinética de Pseudo segundo orden. Finalmente, FTIR demostró que carboxilo e hidroxilo son los grupos que estuvieron involucrados en la biosorción de los iones metálicos

Tapia et al. (2003) presentan el estudio **“Biosorción de Pb (II) por cascara de Naranja, Citrus Sinensis, modificada”** han investigado los parámetros óptimos para que se dé la biosorción de Pb (II) mediante la cáscara de naranja modificada, además se ajusta muy bien con la isoterma de Langmuir, se determinó que el equilibrio se alcanzó a las 4 horas. El pH óptimo para la Biosorción del Pb (II) se encuentra entre 4,5 y 5,0.

2.2. Base Teórica

2.2.1 Biosorción

La biosorción es un proceso fisicoquímico que incluye el fenómeno de adsorción de moléculas e iones. Este método poco convencional busca principalmente la remoción de metales, usando como sorbente diferentes materiales de origen biológico (vivo o muerto), tales como: algas, hongos, bacterias, cáscaras de frutas, productos agrícolas y algunos tipos de biopolímeros.¹ (Balanta.P, 2010)

2.2.2 Adsorción

El proceso de adsorción involucra una fase sólida (biomasa) y una fase líquida (agua) que contiene disueltos la sustancia de interés que será adsorbida (en este caso, los iones de los metales pesados). Para que el proceso de adsorción se pueda realizar con éxito, debe existir una gran afinidad entre los grupos funcionales de la biomasa y el contaminante, ya que este último debe ser atraído hacia el sólido y enlazado por diferentes mecanismos.²(Balanta.P, 2010)

2.2.3 Tipos de adsorción

Atendiendo a las fuerzas de interacción entre las moléculas de adsorbente y adsorbato, se acepta la existencia de dos tipos fundamentales de adsorción:

- **Adsorción física (Fisorción):** Son debido a las fuerzas de Van Der Waals (interacciones intermoleculares débiles entre sólido y el

¹ También lo cita los autores Marshall y Sánchez

² También lo cita los autores Marshall y Sánchez

fluido). La molécula adsorbida no está fija en un lugar específico de la superficie, sino está libre de trasladarse en la interface. No es de naturaleza específica (sitios activos) formación de multicapas, el adsorbato conserva su identidad.³

- **Adsorción química (Quimisorción):** Cuando las fuerzas son enlaces covalentes, iónicos o metálico. En este el adsorbato forma enlaces fuertes en los centros activos del adsorbente, se asemeja a una reacción química y requiere una transferencia de electrones entre adsorbente y adsorbato. Es de naturaleza específica (sitios activos) formación de monocapas, el adsorbato puede perder su identidad.

2.2.4 Cinética de Biosorción

Los factores que afectan al proceso de biosorción de metales pesados se encuentra uno que merece especial atención: el tiempo de contacto entre la biomasa y el metal, porque es muy importante evaluar el tiempo de contacto necesario para que se alcance el equilibrio.

El estudio cinético del proceso nos permite determinar la velocidad de adsorción, o entendido también como la velocidad a la cual el metal es retirado de la disolución. La eliminación de iones metálicos de disoluciones acuosas por biosorción depende de varios mecanismos, que a su vez dependen del tipo de ion metálico y los centros activos.

³ También lo cita los autores Marshall y Sánchez

La cinética de la biosorción indica principalmente que etapa controla el proceso: reacción química o transferencia de materia (Volesky, 2003).

Cada modelo cinético tiene sus propias limitaciones de acuerdo a las especificaciones experimentales y los supuestos teóricos asumidos.

Los modelos cinéticos más importantes se describen a continuación:

➤ ***Ecuación de pseudo-primer orden o de Lagergren:***

Este modelo es ampliamente utilizado en bibliografía para la adsorción de iones metálicos en disolución por sólidos. Se expresa generalmente según la Ecuación 2.1. (Febrianto et al., 2009):

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (2.1)$$

La Ecuación (2.1) denominada Pseudo Primer orden y a la que se ajustan bastante bien muchos datos experimentales de diferentes sistemas.

Donde:

- **q_e**, Capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g).
- **q_t**, Capacidad de adsorción en equilibrio a un tiempo t (min).
- **k₁**, Constante cinética pseudo primer orden (min⁻¹)
- **t**: tiempo

➤ ***Ecuación de pseudo-segundo orden***

Capaz de predecir el comportamiento del proceso en un amplio margen de condiciones de operación.

Se expresa generalmente según la ecuación (2.2):

$$q_t = \frac{t}{\left(\frac{1}{K_2 \cdot q_e^2}\right) + K_2/q_e} \quad (2.2)$$

Donde:

- K_2 , Constante de pseudo segundo orden (g/mg*min).
- q_e , Capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g).
- q_t , Capacidad de adsorción en equilibrio a un tiempo t (min)
- t: tiempo.

➤ **Ecuación de Elovich**

Utilizada normalmente en la cinética de adsorción química de gases sobre sólidos y en raras ocasiones para la adsorción en líquidos. Los sitios activos del biosorbente son heterogéneos, basándose en un mecanismo de reacción de segundo orden para un proceso de reacción heterogénea⁴ (Cheung et al., 2001). Se expresa generalmente según la ecuación (2.3):

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \cdot \beta) + \frac{1}{\beta} \ln(t) \quad (2.3)$$

Donde:

- α , Constante de la ecuación de Elovich (mg/g.min).
- β , Exponente en la ecuación de Elovich (g/mg).
- q_t , Capacidad de adsorción en equilibrio a un tiempo t (min)
- t: tiempo.

⁴ También lo menciona Ríos Elizalde

➤ **Modelo de difusión intrapartícula o de Weber y Morris:**

Está basado en el transporte de soluto a través de la estructura interna de los poros del adsorbente y la difusión propiamente dicha en el sólido, lo que conlleva a que el adsorbente posea una estructura porosa homogénea⁵ (Febrianto et al., 2009). Se expresa generalmente según la ecuación (2.4):

$$q_t = k \cdot \sqrt{t} \quad (2.4)$$

Donde:

- K, Constante de difusión.
- q_t , Capacidad de adsorción en equilibrio a un tiempo t (min)
- t: tiempo.

2.2.5 Isotermas de Adsorción

La isoterma de adsorción es una relación analítica que correlaciona la cantidad de un determinado componente adsorbido en una interface con la concentración de este componente en el seno de la fase.

➤ **Isoterma de Langmuir**

La isoterma de adsorción de Langmuir describe cuantitativamente el depósito de una gran capa de moléculas sobre una superficie adsorbente como una función de la concentración del material adsorbido en el líquido con el que está en contacto.

⁵ También lo menciona Ríos Elizalde

Supone que la adsorción máxima corresponde a una monocapa saturada de moléculas⁶ de adsorbato, no pudiendo migrar las moléculas adsorbidas a través de la superficie del adsorbente. Asimismo, supone que las moléculas se adsorben en lugares definidos en la superficie y que la energía de adsorción es constante (superficie homogénea). (I. Langmuir, 1918)

$$q_e = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b \cdot C_e} \quad (2.5)$$

La Ecuación (2.5) denominada isoterma de Langmuir y a la que se ajustan bastante bien muchos datos experimentales de diferentes sistemas.

Donde:

- q_{\max} : Es la cantidad máxima del ion metálico por unidad de peso de biosorbente para formar una monocapa completa en la superficie (mg/g),
- b : Es una constante relacionada con la afinidad de los sitios de unión con los iones metálicos.
- C_e : Es la concentración del metal remanente en la solución.

➤ **Isoterma de Freundlich:**

Una de las ecuaciones más utilizadas es la isoterma de Freundlich, la cual es empírica, como se muestra en la ecuación (2.6):

$$q_e = k f C_t^{1/n} \quad (2.6)$$

⁶ También lo menciona Ríos Elizalde

La isoterma de adsorción de Freundlich o ecuación de Freundlich es una isoterma de adsorción, que consiste en una curva que relaciona la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto⁷.

Donde:

- **K_f**: Es un indicador de la capacidad de absorción.
- **n**: Indica el efecto de la concentración en la capacidad de absorción y representa la intensidad de absorción.
- **C_e**: Es la concentración del metal remanente en la solución.

2.2.6 Mecanismo de Adsorción de un metal por el pectinato de calcio

La remoción de un metal por el pectinato de Calcio se debe fundamentalmente a un proceso de Intercambio iónico entre el Ca (II) y los iones del metal. De esta forma el Ca (II) inicialmente unido a la cadena poligulurónica es desplazado por metal hasta alcanzar las concentraciones de equilibrio en ambas fases. Este proceso de Intercambio Iónico (**Metal / Calcio**), se muestra en la siguiente ecuación:



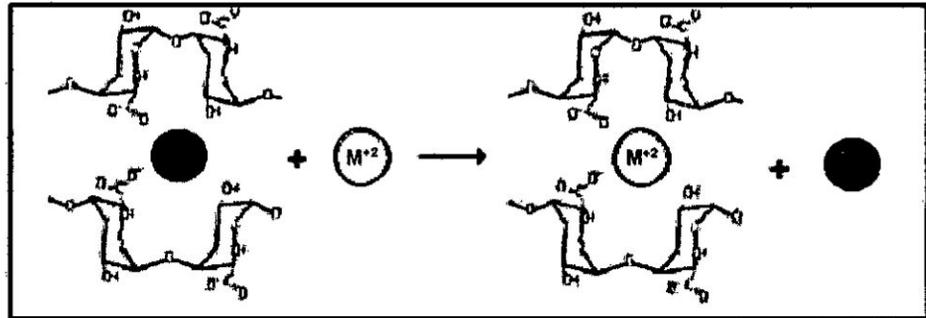
Donde:

- **R₂**: Radical, pectinato de Calcio.
- **M⁺²**: Ion metal.
- **Ca⁺²**: Ion calcio.

⁷ También lo cita Yalico Bances

Para explicar este proceso de biosorción se ha propuesto el siguiente modelo utilizando el ion M^{+2} . (Véase, figura N° 2.1)

FIGURA N° 2.1
MECANISMO DE ADSORCIÓN DE UN METAL



Fuente: Hang A., Smidsrod O, 1970.

El modelo se basa en dos pasos básicos: Inicialmente, un rápido mecanismo de migración del ion M^{+2} metal hacia la superficie del bioadsorbente y en la segunda etapa, más lenta, la migración del ion M^{+2} hacia el sitio activo desplazando al ion Ca^{+2} .

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Generalidades de la cáscara de naranja

La naranja específicamente conocida como *Citrus Sinensis*, el fruto es globoso y achatado, está compuesta de pericarpio y semilla (véase la figura N° 2.2 en la página 27). Las paredes, del ovario originan el pericarpio, y bien resguardada dentro de este, se hallará la semilla, resultado de la maduración del óvulo.

Las partes de pericarpio son:

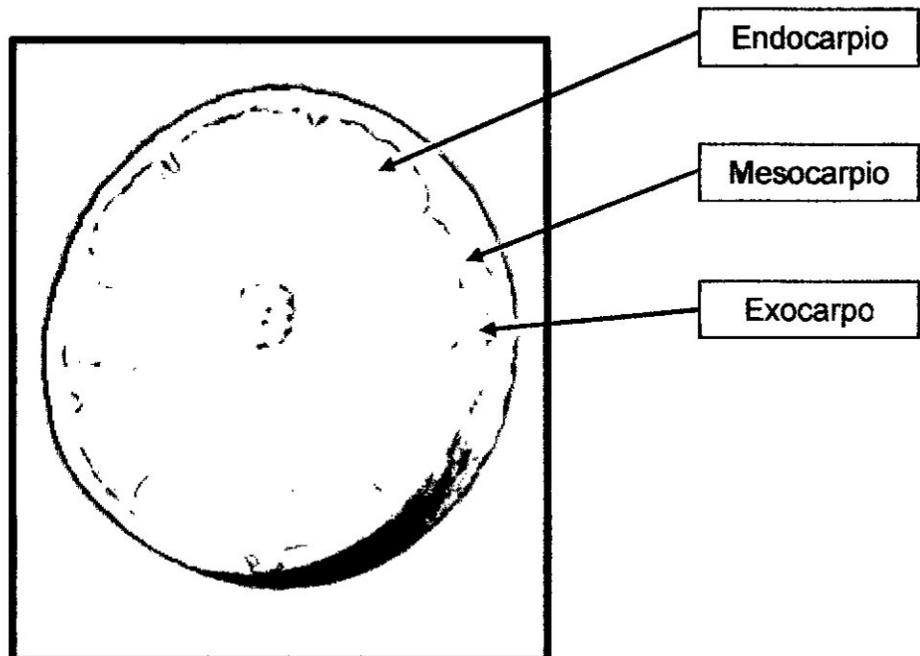
- **Exocarpo** (flavedo; presenta vesículas que contienen aceites esenciales).

- **Mesocarpo** (albedo; pomposo y de color blanco) .
- **Endocarpo** (pulpa; presenta tricomas con jugo)⁸.

En el caso de la naranja tenemos que la fruta cítrica es bastante compleja. Está compuesta por una cáscara gruesa que le proporciona protección contra los daños.

La superficie exterior se conoce como exocarpo y contiene el aceite y los pigmentos de la cáscara. Seguidamente está la capa blanca esponjosa llamada mesocarpo, que es rica en pectina. El jugo interior que contiene el endocarpo está dividido en varios segmentos donde se encuentran los sacos de jugo individuales y las semillas, si las hay. Por último, hay un centro esponjoso o placenta.

FIGURA N° 2.2
PARTES DE LA FRUTA DE NARANJA



⁸ También lo cita los autores Marshall y Sánchez

Estructura del albedo

El albedo o mesocarpio de la naranja es la parte blanca esponjosa que se encuentra entre el endocarpo (pulpa) y el exocarpo (flavedo) y cuya finalidad es de servir de unión entre las partes mencionadas. (Véase el cuadro N°2.1) indica los compuestos que conforman la estructura del albedo indicando que los compuestos que prevalecen son los azúcares, entre los cuales predomina la glucosa (63%), la fructosa (20%) y la sacarosa (16%).

CUADRO N°2.1
COMPUESTOS PRINCIPALES QUE CONSTITUYEN LA ESTRUCTURA
DEL ALBEDO DE NARANJA

COMPOSICIÓN DEL ALBEDO	
Agua	75,0 %
Azúcares	9,0%
Celulosa y lignina	6,5%
Sustancias pépticas	4,0%
Glucósidos (principalmente hesperidina)	3,5%
Ácidos orgánicos	1,5%
Otras sustancias	0,5%
TOTAL	100,0%

Fuente: Fálder Rivero, 2003

Tradicionalmente, las cáscaras de naranjas eran procesadas para obtener las fracciones volátiles y no volátiles de los aceites esenciales y aromas en las bebidas gaseosas, helados, pasteles, ambientadores, perfumes y los productos cosméticos⁹. La cáscara de naranja está compuesta por los

⁹ También lo cita Polo Salazar

polisacáridos de la pared celular, tales como: pectina, hemicelulosa, celulosa y azúcares esenciales. (Véase el cuadro N°2.2), (Foo K.Y 2011).

CUADRO N° 2.2
CONTENIDO PORCENTUAL DE LA CASCARA DE NARANJA

COMPONENTES	CONTENIDO PORCENTUAL
Azúcares solubles	16,90%
Celulosa	9,21%
Hemicelulosa	10,50%
Pectina	42,50%

Fuente: Rincón A., 2010

2.3.2 Polisacáridos de pared celular:

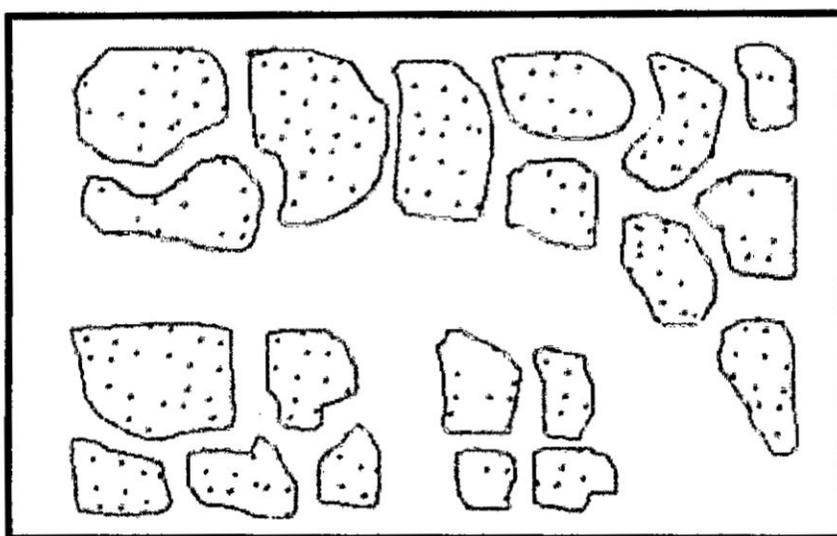
Pectina: Deriva de la palabra griega "Pekos" (denso, espeso, coagulado), es una sustancia mucilaginoso de las plantas superiores. Esta sustancia se asocia con la celulosa y le otorga a la pared celular la habilidad de absorber grandes cantidades de agua. La celulosa tiene un importante rol en la estructura ya que le da rigidez a las células, mientras que la pectina contribuye a su textura. La pectina cítrica se obtiene del extracto en ácido diluido del mesocarpio (porción blanca de la corteza), de frutos cítricos.

Las pectinas son una mezcla de polímeros ácidos y neutros muy ramificados. Constituyen el 30 % del peso seco de la pared celular primaria de células vegetales. Determinan la porosidad de la pared, y por tanto el grado de disponibilidad de los sustratos de las enzimas implicadas en las modificaciones de la misma. Las pectinas también proporcionan superficies

cargadas que regulan el pH y el balance iónico¹⁰. Consiste principalmente en ácidos poligalactúricos parcialmente metoxilados.

Las sustancias pécticas llenan los espacios intercelulares, o sea, la laminilla central, en los tejidos vegetales. En los tejidos jóvenes, especialmente los frutos, las pectinas se encuentran presentes en cantidades tan abundantes que a menudo forman canales anchos, apartando entre sí a las células (véase la figura N° 2.3). En el madurado de la fruta ocurren variaciones en la metilación, es decir con la maduración disminuye el grado de metilación. (Beatriz H. S., UNAM).

FIGURA N° 2.3
DIAGRAMA DE LA PECTINA EN FORMA DE CANALES



Fuente: Beatriz H. S

La pectina precipita fácilmente en soluciones acuosas mediante el agregado de alcohol o acetona, con la formación de un coágulo gelatinoso, el cual se disolverá nuevamente en agua. (Braverman, 1980).

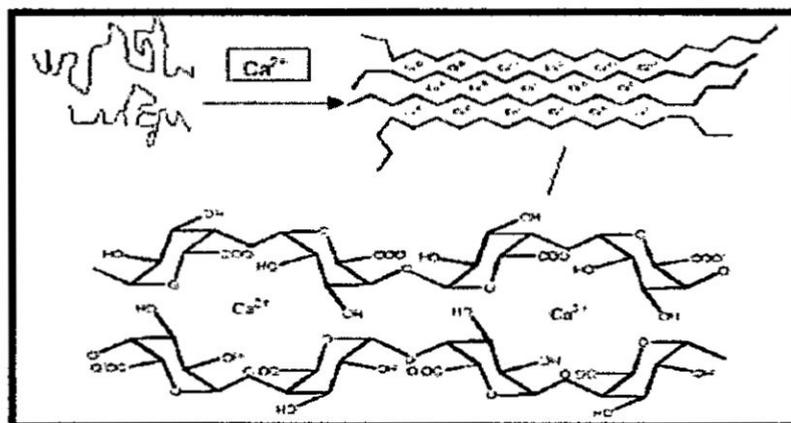
¹⁰ También lo menciona Ríos Elizalde

Las pectinas derivadas de distintas fuentes varían ampliamente en sus propiedades gelificantes debido a las diferentes longitudes de sus cadenas de ácido poligalacturónico y al distinto grado de metanol de su carboxilo.

Las pectinas pueden sufrir hidrólisis por ácidos o álcali o por la acción de enzimas apropiadas. La primera etapa de dicha hidrólisis es la eliminación de un número variable de grupos metoxilos, quedando finalmente como ácido poligalacturónico, también llamado ácido péctico, completamente libre de metoxil. Los numerosos compuestos intermedios, que aún posee un número variable de estos grupos, dan origen a una gran cantidad de ácidos pectínicos.

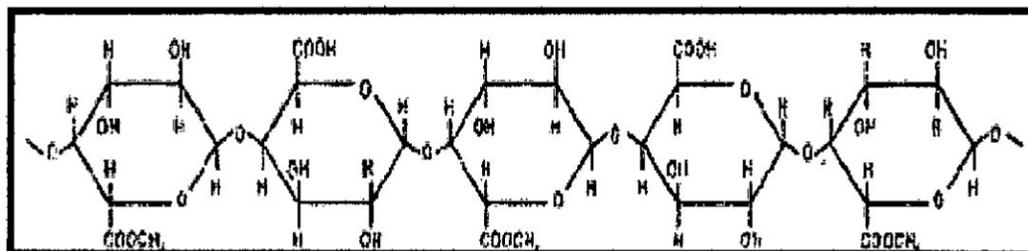
Los enlaces de calcio implican otros grupos funcionales aparte de los grupos carboxilo. En este sentido, la interacción fuerte entre el calcio con los átomos de oxígeno de los grupos hidroxilo de la pectina ha sido descrita como una estructura llamada caja de huevo. (Véase la figura N° 2.4 y figura N° 2.5) (Rees, 1982).

FIGURA N°2.4
REPRESENTACION ESQUEMÁTICA MODELO CAJA DE HUEVO



Fuente: Beatriz H. S.

FIGURA N°2.5
FÓRMULA QUÍMICA DE LA PECTINA



Fuente: Tapia N., 2003

En el cuadro 2.3, se presenta la composición elemental de la cáscara de naranja y otras biomásas utilizadas para el proceso de adsorción de metales pesados en aguas residuales industriales.

CUADRO N°2.3
CONTENIDO DE C, H Y N DE DIVERSOS BIOADSORBENTES

MATERIA VEGETAL	ELEMENTO (%)		
	C	H	N
Caña de río	40,99	5,64	0,42
Tallos de algodón	42,49	5,29	0,96
Pino Carrasco	48,75	6,23	0,52
Sarmiento de Parra	45,47	5,27	0,80
Cascara de Naranja	44,43	6,41	0,89

Fuente: Soler (1981), Pinzón L. (2005), Pérez C. (2003)

Degradación de las pectinas

La pectina cítrica se puede degradar de dos maneras diferentes, las cuales son Despolimerización y Demetilación.

➤ Despolimerización

El calentamiento en medio ácido o la acción de las hidrolasas (pectinasas), origina algunas incisiones de la cadena en trozos más

cortos. La acción de estas enzimas se lleva a cabo a un pH óptimo de 4 o menos. En la despolimerización sólo se produce la ruptura de los restos de ácido galacturónico no metilado. (Beatriz H. S., UNAM).

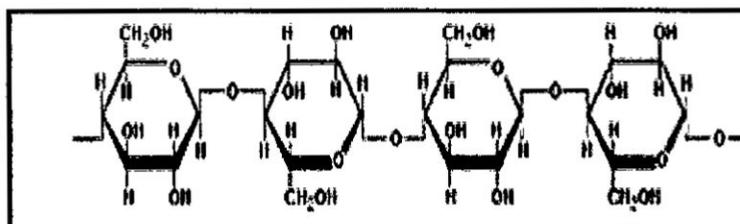
➤ Demetilación

La demetilación es una reacción química caracterizada por la eliminación de un grupo metilo (-CH₃) de una molécula.

Asimismo, consiste en aumentar el contenido de grupos carboxílicos (-COO-) aumentando la fuerza electrostática entre COO- y los iones de metales pesados, con este proceso se favorece la capacidad de sorción

Celulosa: La celulosa es un polímero con cadenas largas sin ramificaciones de βD-Glucosa y se distingue del almidón por tener grupos -CH₂OH alternando por arriba y por debajo del plano de la molécula. La ausencia de cadenas laterales permite a las moléculas de celulosa acercarse unas a otras para formar estructuras rígidas. (Véase la figura N° 2.6)

FIGURA N°2.6
FÓRMULA QUÍMICA DE LA CELULOSA

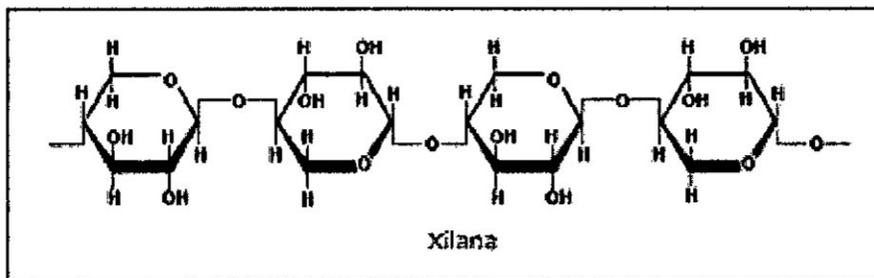


Fuente: Méndez K., 2008

Hemicelulosa: Las hemicelulosas son polisacáridos que, excluyendo la celulosa, constituyen las paredes celulares de las plantas y se pueden extraer con soluciones alcalinas diluidas. Las hemicelulosas forman

aproximadamente una tercera parte de los carbohidratos en las partes maderosas de las plantas. La estructura química de las hemicelulosas consiste de cadenas largas con una gran variedad de pentosas, hexosas, y sus correspondientes ácidos irónicos¹¹. (Véase la figura N°2.7)

FIGURA N°2.7
FÓRMULA QUÍMICA DE LA HEMICELULOSA



Fuente: Méndez K., 2008

2.3.3 La cáscara de naranja como sorbente

Actualmente hay expectativa en la utilización de desechos o residuos generadas por el comercio, en especial existe en nuestro país un notorio comercio de jugo de naranja, las cuales obviamente generan desechos que no tienen ninguna utilidad; entre los desechos podemos encontrar lo que comúnmente se denomina cáscara de naranja que está conformada por dos partes claramente visibles, el flavedo (parte externa de color naranja) y el albedo (parte interna esponjosa de color blanco), este último es de interés dentro de los estudios de sorción puesto que contiene pectina en su estructura y que junto con las manzanas y uvas se consideran como potenciales materiales sorbentes, pero además se considera que el fruto cítrico es la más promisorio entre las otras (Schiewer y Patil , 2007) .

¹¹

2.3.4 Metales pesados

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua destacamos mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo. (Véase el cuadro N° 2.4)

CUADRO N°2.4
CLASIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD DE LOS METALES

PRIORIDAD	RIESGO AMBIENTAL	AGOTAMIENTO DE RESERVA	COMBINACIÓN DE LOS FACTORES ANTERIORES
ALTA	Cd, Pb, Hg, Cr	Cd, Pb, Hg, Zn	Cd, Pb, Hg, Cr, Zn
MEDIA	Cu, Ni, Co	Co, Cu, Ni	Co, Cu, Fe
BAJA	Al, Fe	Fe	Al, Fe

Fuente: Volesky 2001

Asimismo, los metales más utilizados en los sectores industriales (véase el cuadro N° 2.5)

CUADRO N°2.5
INDUSTRIA CON MAYOR PRESENCIA DE IONES METALICOS EN LOS EFLUENTES

INDUSTRIAS	METAL
Operaciones de minería	Cu, Zn, Pb, Mn, U, Cr, As, Se, V
Operaciones de electrodeposición	Cr, ni, Cd, Zn
Procesamiento de metal	Cu, Zn, Mn
Generación de energía	Cu, Cd, Mn, Zn
Industria nuclear	U, Th, Ra, Sr, Eu, Am
Operaciones especiales	Hg, Au y metales preciosos

Fuente: Volesky 2001

2.3.5 Generalidades del Zn

Es un metal maleable, dúctil y de color gris. Las propiedades químicas del Zinc, (Véase el cuadro N°2.6).

- El zinc ocupa el lugar 25 en orden de abundancia entre los elementos.
- Su principal mineral es la blenda, marmatita o esfalerita de zinc, ZnS.
- Es un metal químicamente activo. Puede encenderse con alguna dificultad produciendo una flama azul verdosa en el aire y liberando óxido de zinc en forma de humo
- Los usos más importantes del zinc los constituyen las aleaciones y el recubrimiento protector de otros metales. El hierro o el acero recubiertos con zinc se denominan galvanizados, y esto puede hacerse por inmersión.
- El zinc es siempre divalente en sus compuestos, excepto algunos cuando se une a otros metales, que se denominan aleaciones de zinc. Además, el zinc puro es dúctil y maleable pudiéndose enrollar y tensar,

CUADRO N°2.6
PROPIEDADES QUIMICAS DEL ZINC

NOMBRE	ZINC
Numero Atómico	30
Estado de oxidación	+2
Masa atómica (g/mol)	65,37
Densidad /g/mol)	7,14
Punto de ebullición (C°)	906
Punto de fusión (C°)	419,5

Fuente: Lenntech (2017)

❖ ***Efectos ambientales del Zinc***

El Zinc ocurre de forma natural en el aire, agua y suelo, pero las concentraciones están aumentando por causas no naturales, debido a la adición de Zinc a través de las actividades humanas. La mayoría del Zinc es adicionado durante actividades industriales, como es la minería, la combustión de carbón y residuos y el procesado del acero. La producción mundial de Zinc está todavía creciendo. Esto significa básicamente que más y más Zinc termina en el ambiente.

El agua es contaminada con Zinc, debido a la presencia de grandes cantidades de Zinc en las aguas residuales de plantas industriales. Estas aguas residuales no son depuradas satisfactoriamente. Una de las consecuencias es que los ríos están depositando fango contaminado con Zinc en sus orillas. El zinc puede también incrementar la acidez de las aguas.

Algunos peces pueden acumular Zinc en sus cuerpos, cuando viven en cursos de aguas contaminadas con Zinc, cuando el Zinc entra en los cuerpos de estos peces este es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria. El Zinc soluble en agua que está localizado en el suelo puede contaminar el agua subterránea. (Lenntech, 2017)

❖ ***Efectos del Zinc en la salud.***

El Zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Cuando la gente absorbe poco Zinc estos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor. Pequeñas llagas,

y erupciones cutáneas. La acumulación del Zinc puede incluso producir defectos de nacimiento, puede también causar úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles alto de Zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis. (Cañizares, 2000)

2.3.6 Límites Máximos Admisibles del Zinc:

El 10 de Enero del 2015, el Ministerio de vivienda aprobó los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado (véase el cuadro N°2.7).

CUADRO N°2.7
LÍMITES MÁXIMOS ADMISIBLES PARA DESCARGAS AL
SISTEMA DE ALCANTARILLADO

ELEMENTO	LEY DE AGUAS (mg/L)
Pb	0,5
Cu	3
Zn	10
Cd	0,2

Fuente: Decreto supremo N° 001-2015-M.V.C.S.

2.3.7 Métodos convencionales para la eliminación de metales pesados.

En vista de los graves problemas de salud y ambientales que surgen por la presencia de altas concentraciones de cromo en cuerpos de agua, como consecuencia de los diversos procesos industriales, alrededor del mundo se han estudiado los métodos y procesos más eficaces para remover este metal, de hecho, existen métodos convencionales para el tratamiento de aguas residuales con metales que incluyen: precipitación, oxidación-reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico,

tecnologías de membrana y adsorción¹².(Mendez,2009) (Véase el cuadro N°2.8)

CUADRO N°2.8
MÉTODOS CONVENCIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES

PROCESO	DESCRIPCIÓN
Precipitación	Formación de un sólido, por acción de un reactivo a compuestos insolubles de los elementos indeseables contenidos en una solución.
Oxidación- reducción	Una reacción de Oxido- Reducción es una reacción en la que se transfieren electrones desde una molécula dadora a una aceptora. Típicamente los oxidantes o reductores se agregan para llevar adelante operaciones de desinfección de agua, blanqueo, destrucción de cianuros, reducción de cromo y grabado de metales.
Intercambio iónico	Se trata de un mecanismo de interacción electrostática, debido a las fuerzas de atracción de Coulomb que tienen lugar cuando un ión de una disolución se intercambia por otro ión de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil.
Filtración	La filtración es una de las técnicas de separación más antiguas. Es un método físico-mecánico para la separación de mezclas de sustancias compuestas de diferentes fases.
Tratamiento electroquímico	Los tratamientos electroquímicos utilizan la transformación entre la energía eléctrica y la energía química. En otras palabras, las reacciones químicas que se dan en la interface de un conductor eléctrico (llamado electrodo, que puede ser un metal o un semiconductor) y un conductor iónico (el electrolito) pudiendo ser una disolución y en algunos casos especiales, un sólido.
Tecnologías de Membranas	La membrana actúa como un filtro muy específico que dejará pasar el agua, mientras que retiene los sólidos suspendidos y otras sustancias.
Adsorción	La adsorción se utiliza para eliminar de forma individual los componentes de una mezcla gaseosa o líquida. El componente a separar se liga de forma física o química a una superficie sólida.

Fuente: Rodríguez. J, 2009

¹² También lo menciona Ríos Elizalde

2.3.8 Efecto de las principales variables involucradas en el proceso de biosorción

La biosorción es una reacción física / química entre iones metálicos cargados positivamente o negativamente y grupos aniónicos o catiónicos, se espera la captación metálica por el biosorbente sea influenciada por las condiciones experimentales, tales como:

➤ Efecto del pre-tratamiento del biosorbente

Son necesarios ciertos tratamientos previos al biosorbente, se distinguen dos tratamientos: físicos (cortado, lavado, secado, molienda y tamizado) y químicos (demetilación y reticulación).

Estos tratamientos permiten entrecruzar el polímero, para así generar formación de mallas tridimensionales en el interior y así incrementar la estabilidad mecánica del biosorbente.

➤ Influencia del pH

Una de las variables más importantes que afectan el proceso de biosorción es el valor del pH en la solución así, mientras la "Biosorción de cationes suele estar favorecida por valores de pH superiores a 4,5" (Schiewer y Volesky, 1996). "La adsorción de aniones prefiere valores bajos de pH entre 1.5 y 4¹³ (Martin, 2008). "Para valores menores de pH los sitios activos de la biomasa están protonados y consiguientemente ocurre la competición entre los protones e iones metálicos por los sitios de sorción" (Tobin, 1981)." Para valores suficientemente bajos de pH, casi todos los

¹³ También lo cita Castro

sitios activos son protonados y es posible una completa desorción de los iones metálicos ligados”

➤ **Tiempo de Equilibrio**

El tiempo de equilibrio es el instante a partir del cual se satura el biosorbente, por lo que no aumenta la cantidad de metal adsorbido. La evaluación del efecto del tiempo de contacto necesario para alcanzar el equilibrio, como paso previo a la cinética de biosorción de metales pesados nos sirve para determinar la naturaleza del proceso.

Horsfakk y Abia (2003) han observado que el mecanismo de eliminación del metal es un proceso que se desarrolla en cuatros pasos:

1. Migración de los iones de metal desde la solución a la superficie del sorbente.
2. Difusión a través de la capa superficial de la biomasa.
3. Fijación del grupo activo.
4. Difusión intra-partículas hacia el interior de la biomasa.

En general la mayoría de los investigadores señalan que el proceso de biosorción es un proceso rápido ya que entre los 15 y 30 minutos de la operación se ha retirado un porcentaje considerable del metal de la solución, viendo todo esto parece sugerir que probablemente “La unión de los iones metálicos con los sitios activos del biosorbente tienen lugar preferentemente en la superficie del sólido, sin que predomine la difusión hacia el interior “. (Mashitah et al, 1999)

❖ **Reticulación:**

Proceso que permite entrecruzar el polímero (cadenas poligalacturónicas), producir la formación de mallas tridimensionales en la parte interna para así aumentar la estabilidad mecánica del material.¹⁵

❖ **Tratamiento químico:**

Cáscara de naranja tratada con soluciones de Na(OH) y CaCl₂.

❖ **Metales pesados:**

Se aplica a cualquier elemento metálico que tenga una densidad relativamente alta y que sea tóxico o venenoso, aun en bajas concentraciones.¹⁶

❖ **Sorbente:**

Sustancia o material utilizado para absorber o adsorber.

❖ **Pectina:**

Cadena Poligalacturónica en su mayor parte constituida por 150-500 unidades de ácido galacturónico.

❖ **Reticulación:**

Consiste en crear el entrecruzamiento de las moléculas formando mallas tridimensionales.

❖ **Capacidad de adsorción:**

Cantidad sorbida (mg) por gramo de biosorbente.

¹⁵ También lo cita los autores Marshall y Sánchez

¹⁶ También lo cita Castro

CAPITULO III

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación:

La presente investigación posee las siguientes variables, esquematizadas en la figura N°3.1.

FIGURA 3.1

DEFINICION DE VARIABLES

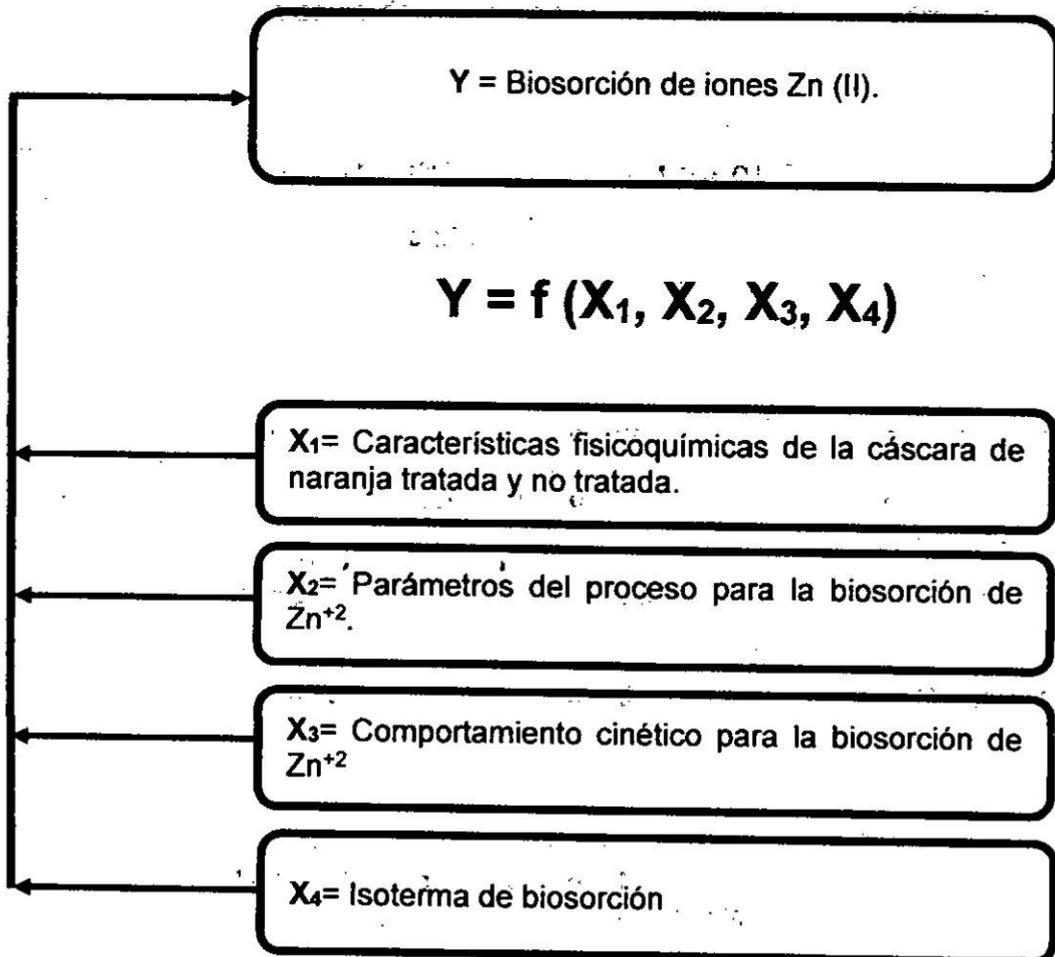
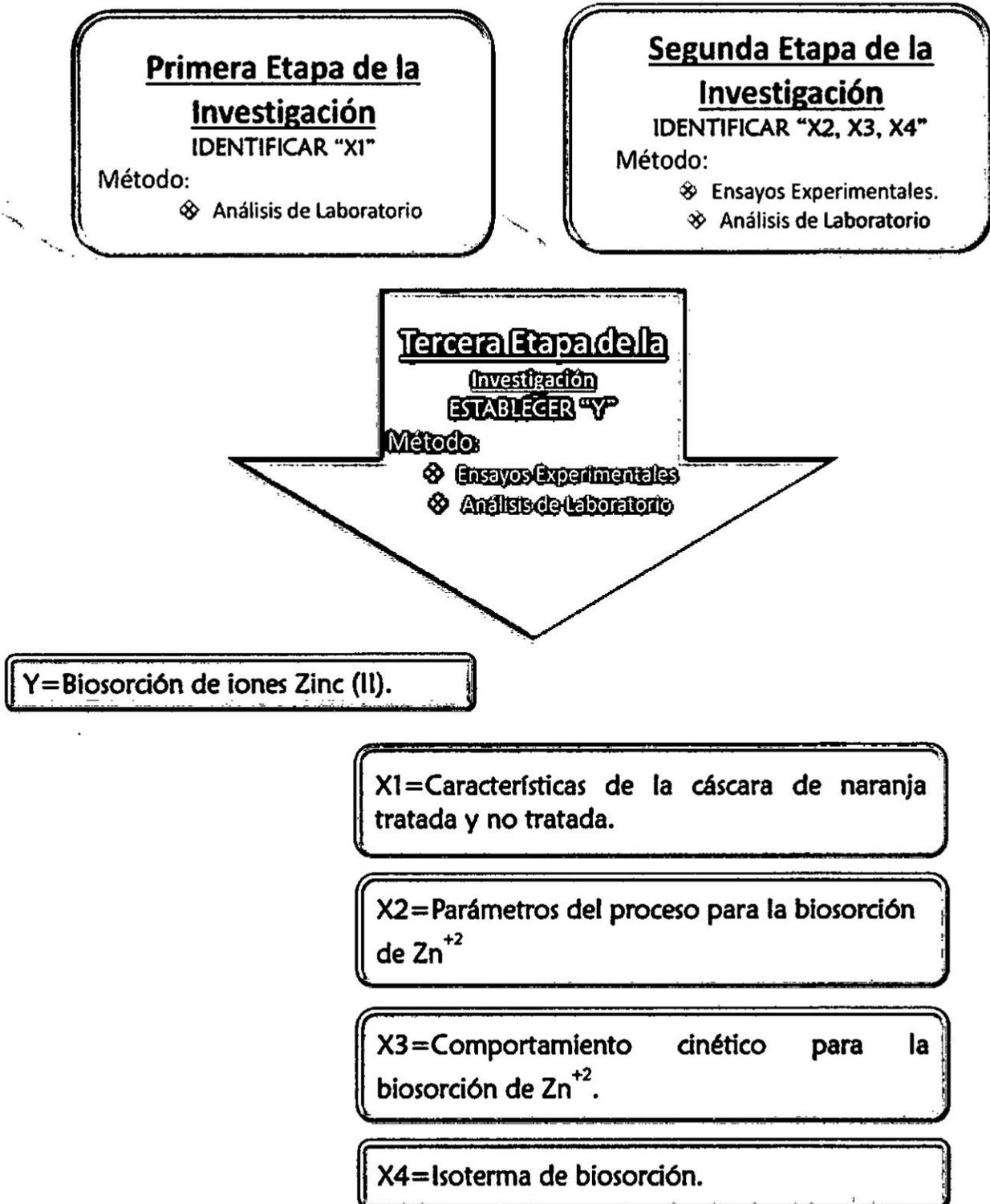


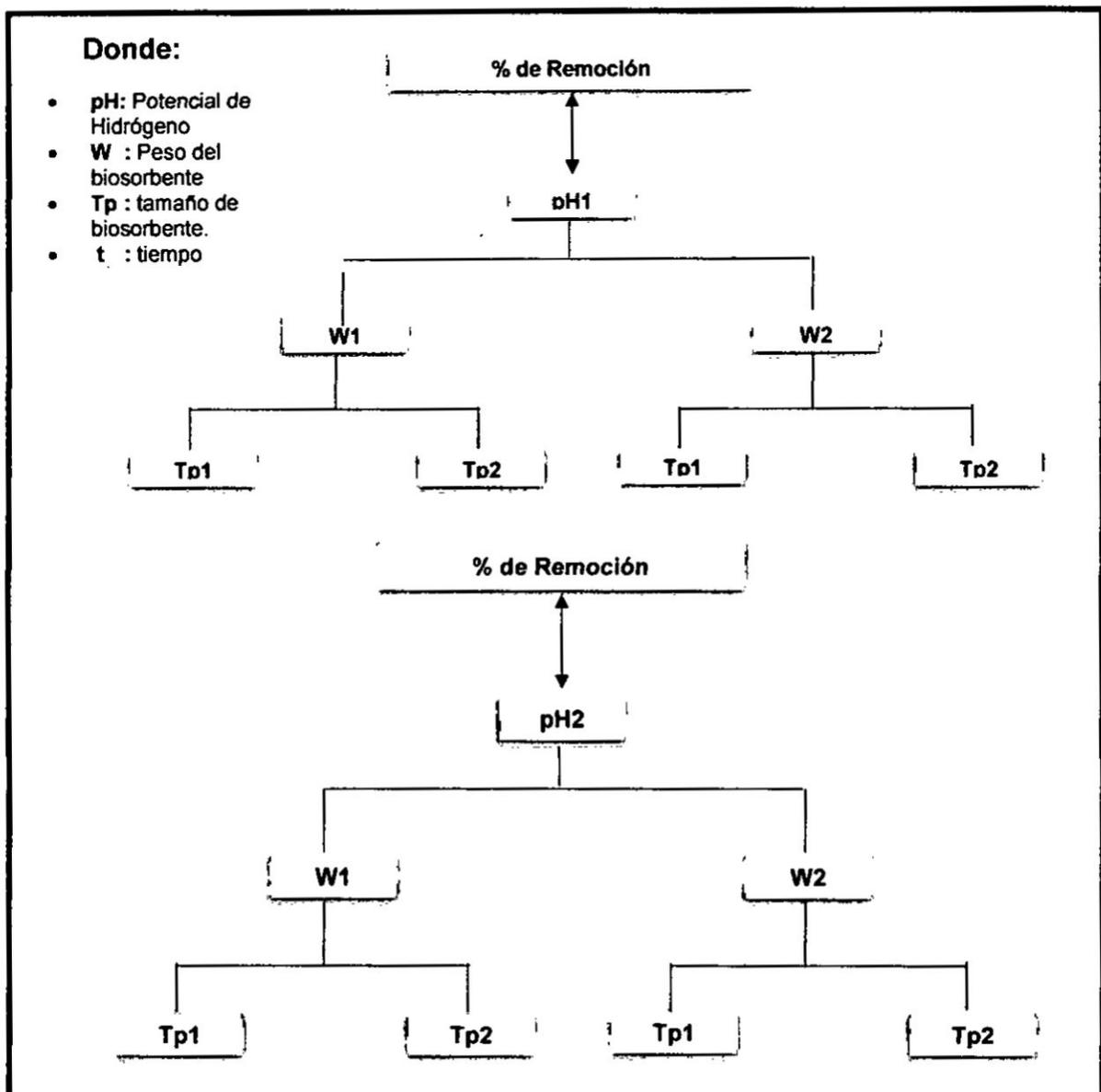
FIGURA N°4.1
METODOLOGÍA



4.2.1. Diseño Experimental

A continuación, se muestra la figura N°4.2 la cual nos da a conocer el diseño factorial de 2 niveles (alto y bajo), además de 3 factores, tales como; pH, peso del biosorbente y el tamaño de biosorbente (2^3) siendo un total de 8 experimentos (véase el cuadro N°4.1, página 48) utilizados para realizar los ensayos de biosorción.

FIGURA N°4.2
DISEÑO EXPERIMENTAL

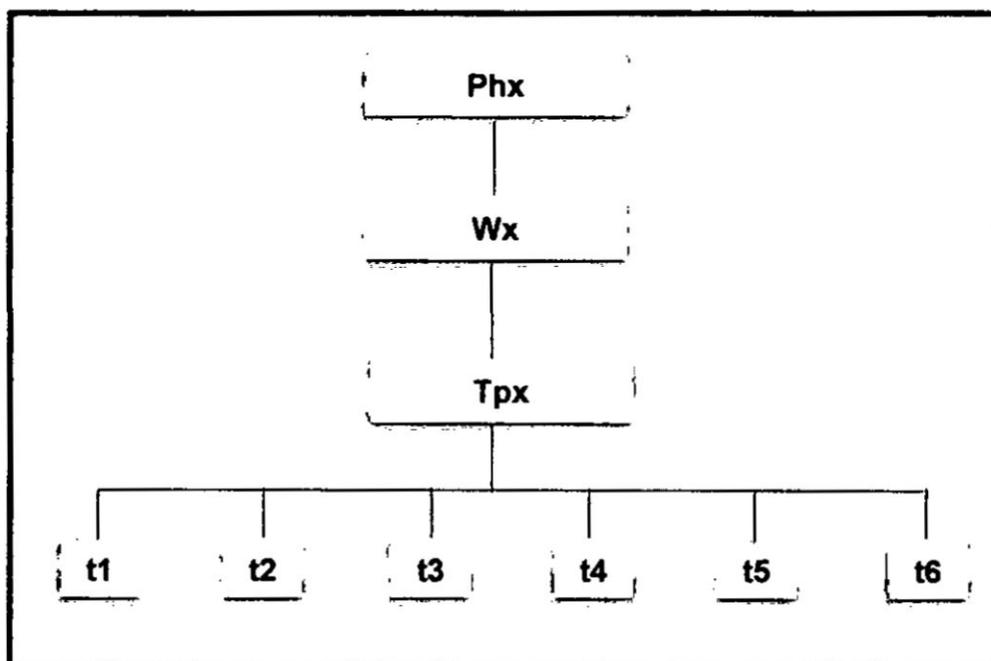


CUADRO N°4.1
MATRIZ DE EXPERIMENTOS

N°	pH	Tamaño de partícula del biosorbente.(mm)	Peso del biosorbente(g)
1	3,5	1	0,5
2	3,5	1	1
3	3,5	2	0,5
4	3,5	2	1
5	5,5	1	0,5
6	5,5	1	1
7	5,5	2	0,5
8	5,5	2	1

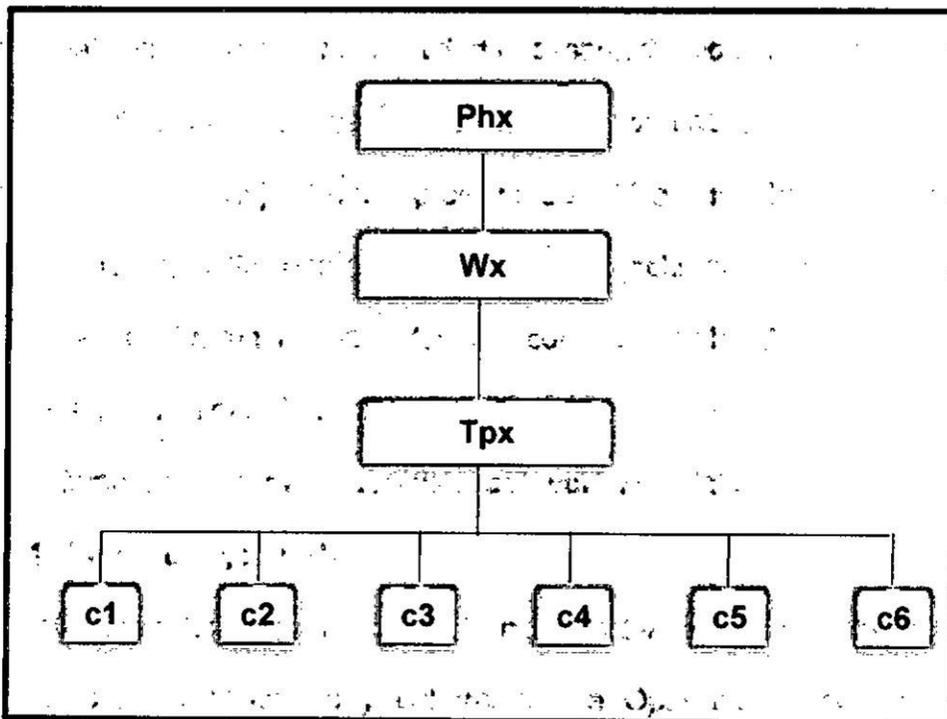
Asimismo, en la figura N°4.3 se observa el diseño de experimento con los mejores parámetros tomados del ensayo anterior, los cuales fueron experimentados con respecto al tiempo para determinar el modelo cinético que se ajusta a nuestro sistema.

FIGURA N°4.3
DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA EL MODELO CINÉTICO



Por último, en la figura N°4.4 se observa el diseño de experimentos con los mejores parámetros tomados del ensayo anterior, los cuales fueron experimentados variando las concentraciones iniciales para determinar la isoterma que se ajusta a nuestro sistema.

FIGURA N°4.4
DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA LA ISOTERMA



b) Materiales

- Cuchillos
- Recipiente hondo
- Colador de plástico
- Crisoles
- Embudo
- Picetas
- Papel filtro
- Espátulas
- Baguetas
- Bombillas para pipetas
- Vaso de precipitado 100 ml
- Fiola 1000 ml
- Pipetas 1ml,5ml,10ml y 20ml
- Envases de plástico 100 ml

c) Reactivos

- Ácido clorhídrico QP.
- Agua desionizada
- Hidróxido de sodio
- Cloruro de calcio

d) Equipos

- Hornilla eléctrica
- Balanza electrónica

- Peachimetro (electrodo)
- Molino manual
- Estufa (secado a 40°)
- Tamices (malla 10-18)
- Ro-Tap
- Agitador magnético (magnetos)
- Equipo para filtración

4.5. Procedimiento de Recolección de datos

A) Preparación del biosorbente de la cáscara de la naranja

- **Obtención de la cáscara de naranja**

Se recolectó la cáscara de naranja proveniente del comercio ambulatorio de jugo de Naranja. Los comerciantes usan la naranja "**Morocho**". Cultivadas en la región de Chanchamayo-Perú.

- **Preparación del material biosorbente**

La naranja recolectada fue sometida a varias etapas las cuales serán mencionadas a continuación:

1. Tratamiento Físico

- **Selección:** En esta etapa se seleccionó las cáscaras de naranja (Véase la figura N°4.5, en la página 53) que se encontraron en mejor estado (libre de magulladuras), inicialmente se tomó una muestra de 1000 gramos de cáscara de naranja al finalizar la etapa de selección obtuvimos 900 gramos de cáscara de naranja.

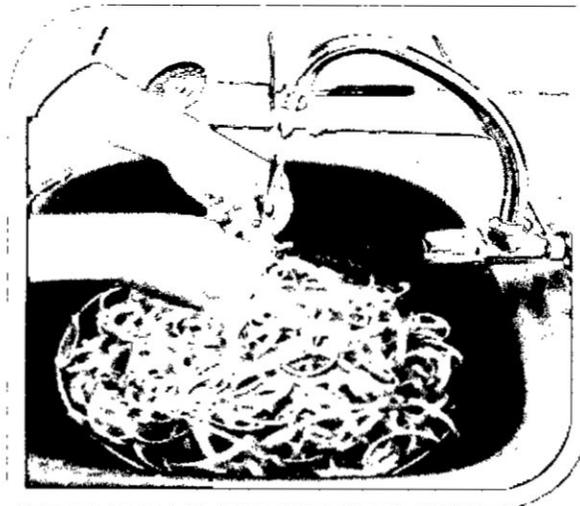
**FIGURA N°4.5
MATERIA PRIMA**



Fuente: Laboratorio de Alimentos-UNAC

- **Cortado y lavado:** Las cáscaras de naranjas fueron lavados y cortados en trozos de aproximadamente 5 cm de forma manual para así facilitar la manipulación en las etapas siguientes (Véase la figura N°4.6), además se lavó con abundante agua potable varias veces para quitar suciedad y elementos solubles en agua.

**FIGURA N°4.6
CORTADO Y LAVADO**



Fuente: Laboratorio de Alimentos-UNAC

- **Limpieza:** La cáscara de naranja ya lavada se sometió a un siguiente lavado utilizando en este caso agua desionizada a una temperatura de 60° y agitación constante durante una hora cambiando el agua pasada la media hora (Véase la figura N°4.7). Con el fin de eliminar impurezas y compuestos como taninos, resinas, aceites y agentes colorantes.

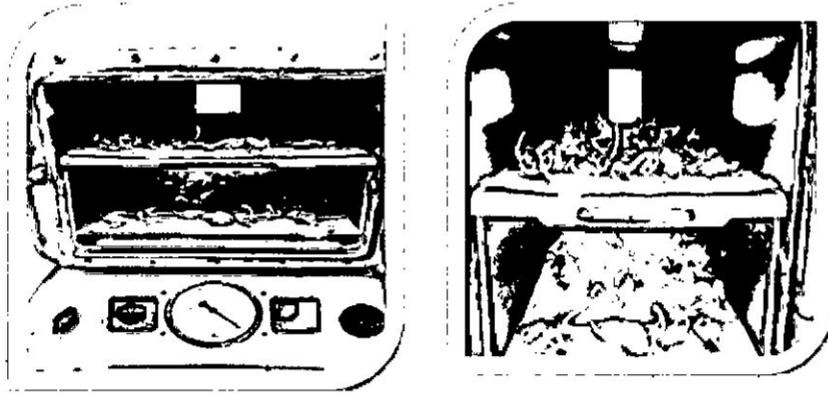
FIGURA N°4.7
LIMPIEZA



Fuente: Laboratorio de Alimentos-UNAC

- **Secado:** Ya limpia la cáscara de naranja se procedió a secar utilizando una estufa de laboratorio de Alimentos a una temperatura de 60° alrededor de 15 horas (Véase la figura N°4.8 en la página 55). Para así eliminar la humedad, de los 900 gramos que obtuvimos en la etapa de selección solo se secó 500 gramos quedando un peso al final de 96 g, lo cual equivale a un 19,20% del peso inicial de secado.

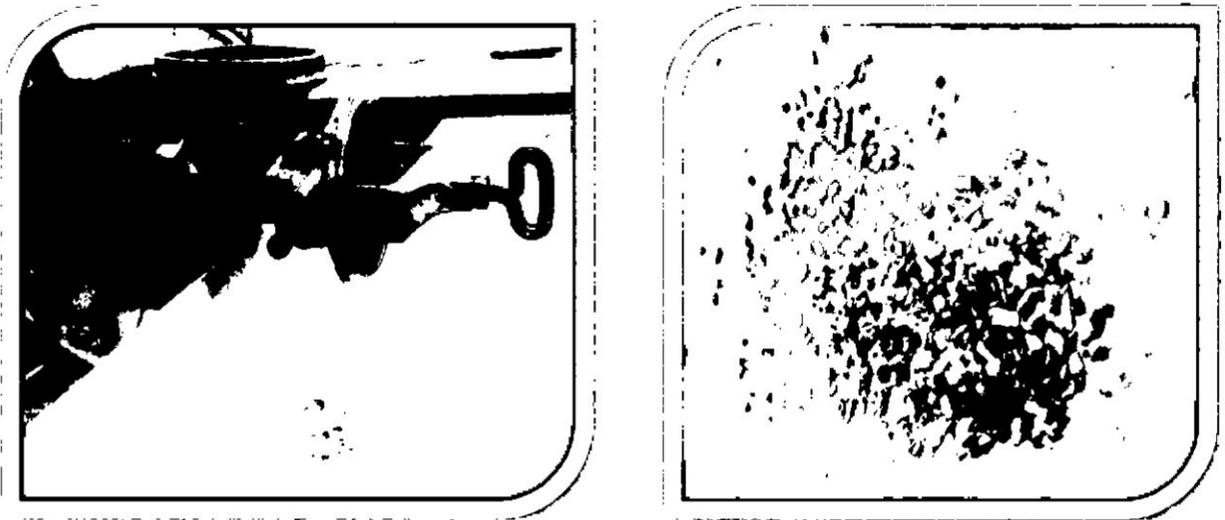
FIGURA N°4.8
SECADO



Fuente: Laboratorio de Alimentos UNAC

- **Reducción:** Para reducir el tamaño de la cáscara de naranja seca se utilizó un molino manual. (Véase la figura N°4.9)

FIGURA N°4.9
REDUCCIÓN

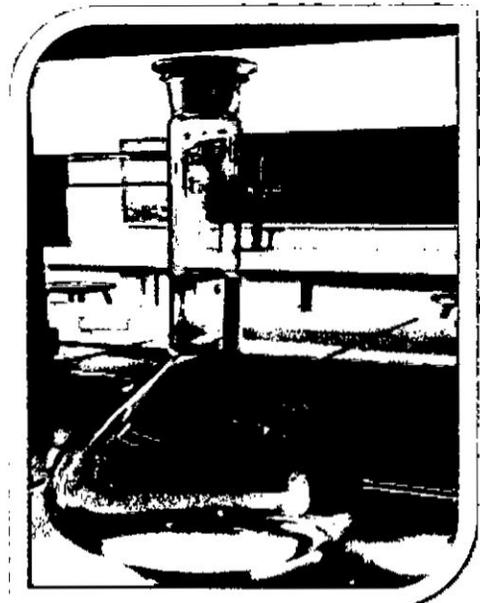


Fuente: Laboratorio de Alimentos-UNAC

2. Tratamiento Química:

- **Demetilación:** Se tomaron 60 gramos de cáscara de naranja, la cual se mezcló con 1000 ml de hidróxido de sodio 0,20 M la mezcla se sometió a una agitación constante utilizando un agitador magnético alrededor de 2 horas. Se procedió a filtrar realizando lavados sucesivos con agua desionizada para reducir el exceso de hidróxido de sodio. Posteriormente se procedió a secar en una estufa a 40° durante 2 horas. (Véase la figura N°4.10)

**FIGURA N°4.10
DEMETILACIÓN**

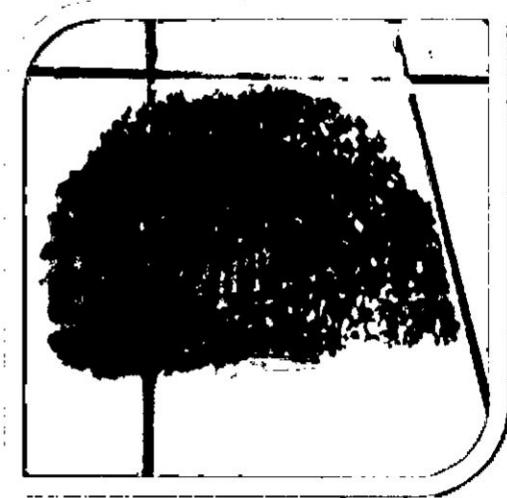
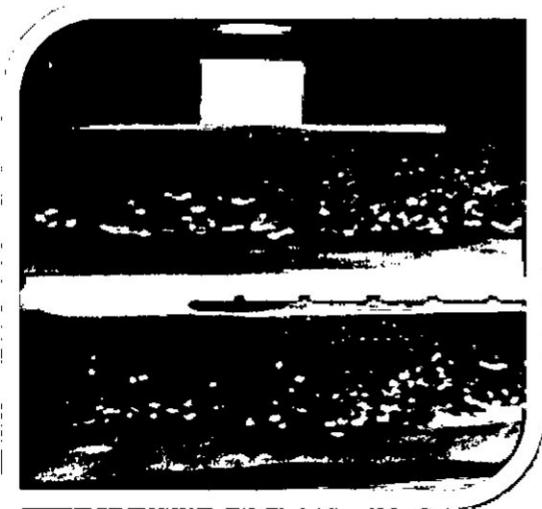


Fuente: Laboratorio de Alimentos-UNAC

- **Reticulación de la cáscara de Naranja:** A 40 gramos de la cáscara de naranja demetilada se le agregó 1000 mL de una solución de CaCl_2 0,20 M, ajustando el pH a 5 con ácido clorhídrico 0,10 M. Se sometió a agitación durante unas horas para dejarlo posteriormente en reposo hasta el día siguiente. Con la finalidad de producir la formación de mallas tridimensionales. Después se lavó varias veces para eliminar el exceso de calcio, se filtró y secó en una estufa de laboratorio a 60°C alrededor de 6 horas. (Véase la figura N°4.11)

FIGURA N°4.11
RETICULACIÓN DE LA CÁSCARA DE NARANJA Y SECADO





Fuente: Laboratorio de Alimentos-UNAC

- **Tamizado:** Por último, se tamizó el material biosorbente resultante del paso anterior, con tamices de mallas # 10 (2 mm de poro) y malla # 18 (1 mm de poro). (Véase la figura N°4.12)

**FIGURA N°4.12
TAMIZADO DEL BIORSOBENTE**



Fuente: Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios.

B) Caracterización de la materia prima

Para caracterizar la cáscara de naranja sin tratar y tratada se determinó los grupos funcionales responsables de la adsorción de iones Zinc (II), a través de la Espectroscopía de Infrarrojo por la transformada de Fourier (FTIR), el cual se realizó por el laboratorio LABICER (Laboratorio de Investigación y Certificaciones). En la figura N°5.1 y 5.2 (véase en la página 70 y 73 respectivamente) podemos observar los espectros infrarrojos para la cáscara de naranja sin tratar y tratada.

C) Preparación de la solución de metal

La solución acuosa se adquirió del laboratorio ALAB (Analytical Laboratory E.I.R.L.) la concentración fue de 100 mg/L de iones zinc.

D) Ensayos de Biosorción

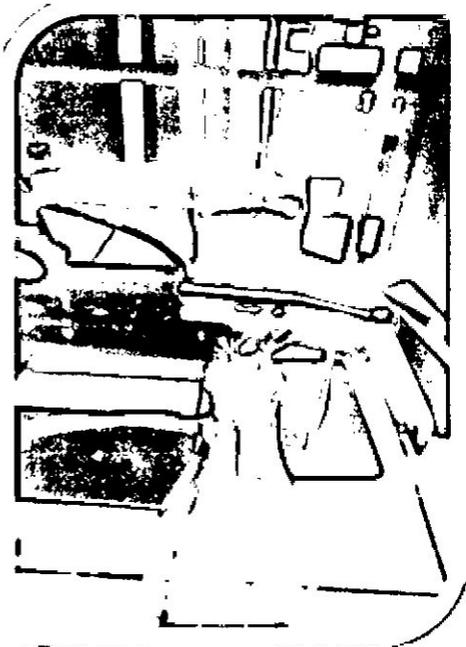
Para llevar a cabo los experimentos de biosorción se trabajó en base a los datos de la matriz de experimentos (Véase el cuadro N°4.1, en la página 48) cada muestra fue preparada, dando intervalos de 10 minutos entre muestra y muestra, la mezcla (100 mg Zinc (II) /L más el biosorbente) se puso en contacto mediante agitación magnética. El pH se modificó a los valores deseados con la adición de ácido clorhídrico e hidróxido de sodio. Las muestras permanecieron en contacto durante 4h, posteriormente se filtró al vacío, se envasó (Véase la figura N°4.15 en la página 61) y envió a analizar al laboratorio (Analytical Laboratory E.I.R.L.) siendo realizada por el método de absorción atómica.

FIGURA N°4.13
REPOSO DE LAS MUESTRAS



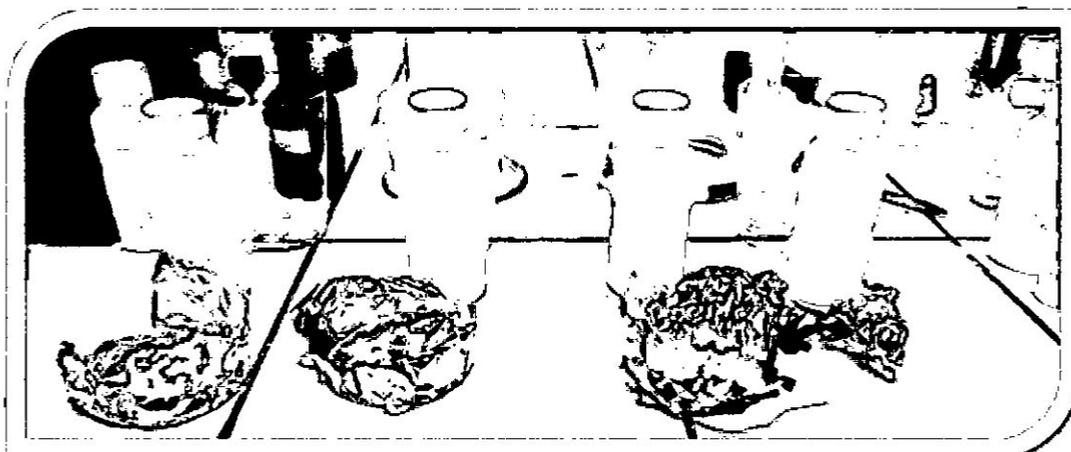
Fuente: Laboratorio de Físicoquímica-UNAC

FIGURA N°4.14
FILTRADO DE LAS MUESTRAS



Fuente: Laboratorio de Físicoquímica-UNAC

FIGURA N°4.15
ENVASADO DE LAS MUESTRAS



Fuente: Laboratorio de Fisicoquímica-UNAC

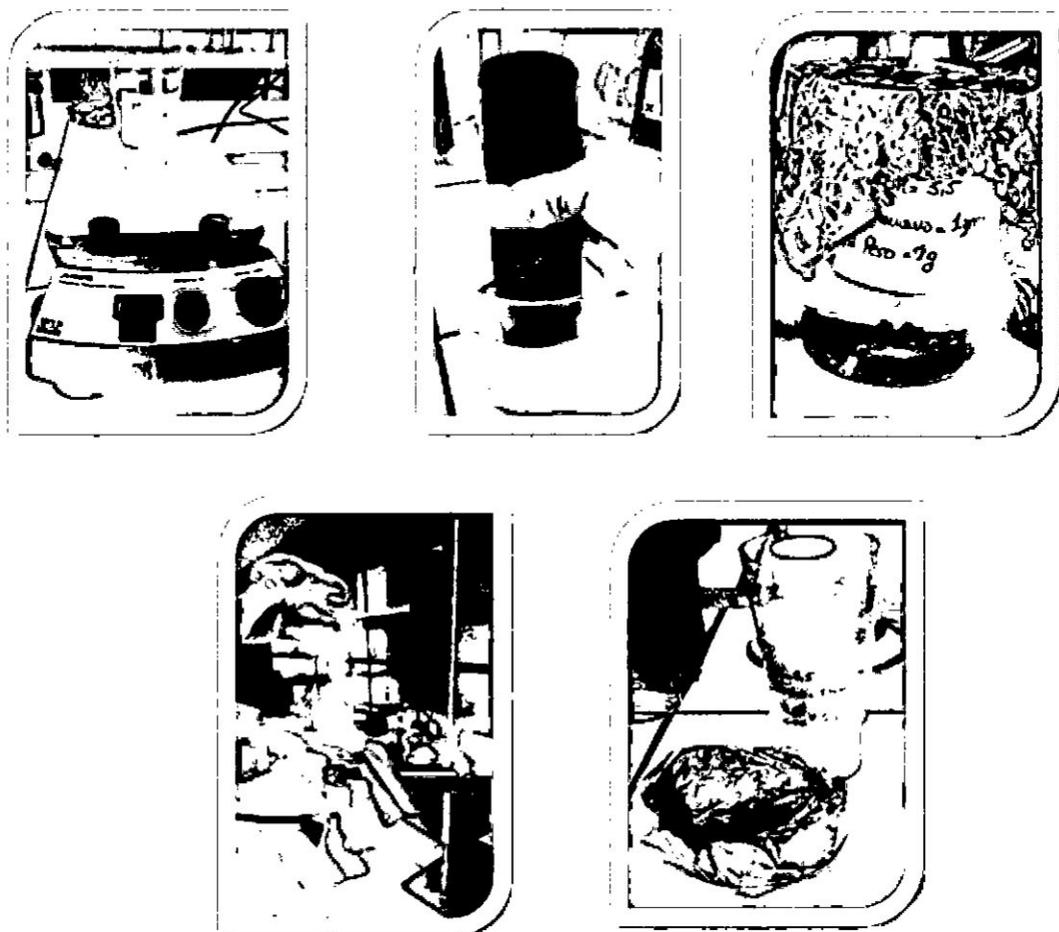
E) Ensayos Biosorción para la cinética e Isoterma:

En relación con la cinética se realizaron ensayos de biosorción de la misma manera como el procedimiento anterior, pero en este caso tomando en cuenta el tiempo.

Para poder evaluar la adsorción de iones Zinc (II) con respecto al tiempo se tomaron intervalos de 30 minutos hasta alcanzar el equilibrio, estos ensayos se realizaron con los mejores parámetros obtenidos del mayor porcentaje de remoción de iones Zinc (II) de la experimentación anterior.

De igual manera se procedió para determinar la Isoterma que se ajusta al sistema, en este caso se varió las concentraciones iniciales dentro de un rango de 20-90 ppm de Zinc (II) (Véase la figura N°4.16 en la página 62).

FIGURA N°4.16
ENSAYO DE BIOSORCIÓN PARA LA CIENTICA E ISOTERMA



Fuente: Laboratorio de Físicoquímica-UNAC

4.6. Procesamiento Estadístico y Análisis de Datos

Por la naturaleza de la investigación el presente informe se ha priorizado métodos cuantitativos, la recolección de datos se da mediante la experimentación, los cuales serán analizados en forma directa y a través del uso de un software especializado como el Minitab y Excel, los cuales son de gran ayuda para el análisis de datos, gráficos estadísticos, regresión, etc.

- **Porcentaje de Remoción (%R):**

Para determinar la cantidad de Zinc (II) que la cascara de naranja logro remover en la muestra (biosorbente-solución de Zinc (II)), necesitaremos de la concentración inicial de Zinc (II) y la concentración final de Zinc (II) (obtenida después de reposar y filtrar la muestra), como se puede ver en la ecuación 4.1:

$$\%R = \frac{([C_i]-[C_f])}{[C_i]} * 100\% \quad (4.1)$$

De donde:

- ❖ **C_i**: concentración inicial (mg/L).
- ❖ **C_f**: concentración final (mg/L).

- **La capacidad de adsorción (q):**

De la misma manera para determinar la capacidad de adsorción necesitaremos de la concentración inicial de Zinc (II) y la concentración final de Zinc (II) (obtenida después de reposar y filtrar la muestra), además del peso del biosorbente y el volumen de la muestra, como se puede ver en la ecuación 4.2:

$$q = \frac{([C_i]-[C_f])*V}{[W_b]} \text{ (mg/g)} \quad (4.2)$$

De donde:

- ❖ **C_i**: concentración inicial (mg/L).
- ❖ **C_f**: concentración final (mg/L).
- ❖ **V**: volumen tomado (L).
- ❖ **W_b**: masa del biosorbente seco (g).

- **Modelo cinético de Pseudo- Primer orden**

Con el objetivo de verificar si el proceso de adsorciones de iones Zinc, cumple con la expresión matemática de primer orden reversible, lo cual se base en que cada ion Zinc se le asigna un sitio activo¹⁷ de adsorción en el biosorbente, para ello se realizó el ajuste no lineal de los datos experimentales (Véase el cuadro N° 5.4, en la página 80).

Sea la ecuación del modelo cinético de Pseudo Primer orden (véase la ecuación (2.1), en la página 19)

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t})$$

La linealidad de la ecuación (2.1) tomando el logaritmo se obtuvo la ecuación (4.3):

$$\log(q_t - q_e) = -k_1 t + \log q_e \quad (4.3)$$

- ❖ q_t , Capacidad de adsorción en el tiempo (mg/g).
- ❖ q_e , Capacidad de biosorción en equilibrio (mg/g).
- ❖ k_1 , Constante de pseudo primer orden (min⁻¹).
- ❖ t , tiempo (min).

- **Modelo cinético de Pseudo- Segundo orden**

Tomando en cuenta la revisión bibliográfica, los datos experimentales obtenidos del proceso de adsorción desde una fase líquida a una fase sólida, el modelo cinético que se ajusta es el de Pseudo- Segundo orden, esto nos dice que un ion metálico puede ser adsorbido por dos sitios activos

¹⁷ También lo menciona Ríos Elizalde

del biosorbente, para ello se realizó el ajuste no lineal de los datos experimentales (Véase la cuadro N° 5.6, en la página 82).

Sea la ecuación del modelo cinético de Pseudo segundo orden, (véase la ecuación (2.2), en la página 20).

$$q_t = \frac{t}{\left(\frac{1}{k_2 \cdot q_e^2}\right) + K_2/q_e}$$

La linealidad de la ecuación (2.2) se da tomando el logaritmo y se obtuvo la ecuación (4.4):

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (4.4)$$

- ❖ K_2 , Constante de pseudo segundo orden (g/mg.min).
- ❖ q_e , Capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g).
- ❖ q_t , cantidad de zinc retenida por el biosorbente (mg/g).
- ❖ t , tiempo (min).

- ***Ecuación de Elovich***

La identificación del mecanismo controlante en procesos de adsorción de un soluto en fase líquida a partir de un sólido adsorbente, el cual supone que los sitios activos del bioadsorbente son heterogéneos y por ello exhiben diferentes energías de activación a lo largo del proceso de adsorción.

Sea la ecuación linealizada del modelo cinético de Elovich, (véase la ecuación (2.3) en la página 20).

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \cdot \beta) + \frac{1}{\beta} \ln(t)$$

La linealidad de la ecuación

$$Y = aX + b$$

$$x = \ln(t) ; y = q_t$$

Donde:

- ❖ α , Constante de la ecuación de Elovich (mg/g.min).
- ❖ β , Exponente en la ecuación de Elovich (g/mg).
- ❖ q_t , Capacidad de adsorción en equilibrio en un tiempo t (min).
- ❖ t : tiempo.

• ***Modelo difusión Intraparticular.***

La difusión intraparticular se caracteriza por la dependencia entre la adsorción específica y la raíz cuadrada del tiempo, siendo la pendiente la velocidad de difusión intraparticular. Con base en lo anterior, la ecuación que define la difusión intraparticular¹⁸ (véase la ecuación 2.4, en la página 21):

$$q_t = k \cdot \sqrt{t}$$

La linealidad de la ecuación

$$Y = aX + b \quad (4.4)$$

$$x = t^{1/2} ; y = q_t$$

- ❖ q_t , Capacidad de adsorción en equilibrio en un tiempo (min).
- ❖ t : tiempo (min).

¹⁸También lo menciona Ríos Elizalde

- **Isoterma de Langmuir:**

Esta Isoterma supone una monocapa de adsorción con una distribución homogénea de sitios de adsorción.

Sea la ecuación del Isoterma de Langmuir, (véase la ecuación (2.5), en la página 22)

$$q_e = \frac{q_{m\acute{a}x} b C_e}{1 + b \cdot C_e}$$

La linealidad de la ecuación:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{m\acute{a}x}} + \frac{1}{q_{m\acute{a}x} b \cdot C_e} \quad (4.5)$$

Donde:

- ❖ **q**: Cantidad adsorbida (mg/g).
- ❖ **q_{max}** : Es la cantidad máxima del ion metálico por unidad de peso de biomasa para formar una monocapa completa en la superficie (mg/g).
- ❖ **b**: Es una constante relacionada con la afinidad de los sitios de unión con los iones metálicos (mg/g).
- ❖ **C_e**: Es la concentración del metal remanente en la solución (mg/L).

- **Isoterma de Freundlich:**

La isoterma de Freundlich es aplicable a superficies heterogéneas considerando la formación de multicapas en la superficie de la biomasa.

Sea la ecuación del Isoterma de Freundlich, (véase la ecuación (2.6), en la página 22).

$$q_e = kfC_t^{1/n}$$

La linealidad de la ecuación

$$\ln q = \ln K + \frac{1}{n} \ln C_{eq} \quad (4.6)$$

Donde:

- ❖ **q**: Es la cantidad del ion metálico por unidad de peso del biosorbente para formar una monocapa completa en la superficie (mg/g).
- ❖ **K**: Es una constante relacionada con la afinidad de los sitios de unión con los iones metálicos (L/mg)
- ❖ **n**: Constante específica del modelo.
- ❖ **Ce**: Es la concentración del metal remanente en la solución (mg/L)

CAPITULO V

V. RESULTADOS

5.1. Caracterización fisicoquímica de la cáscara de naranja

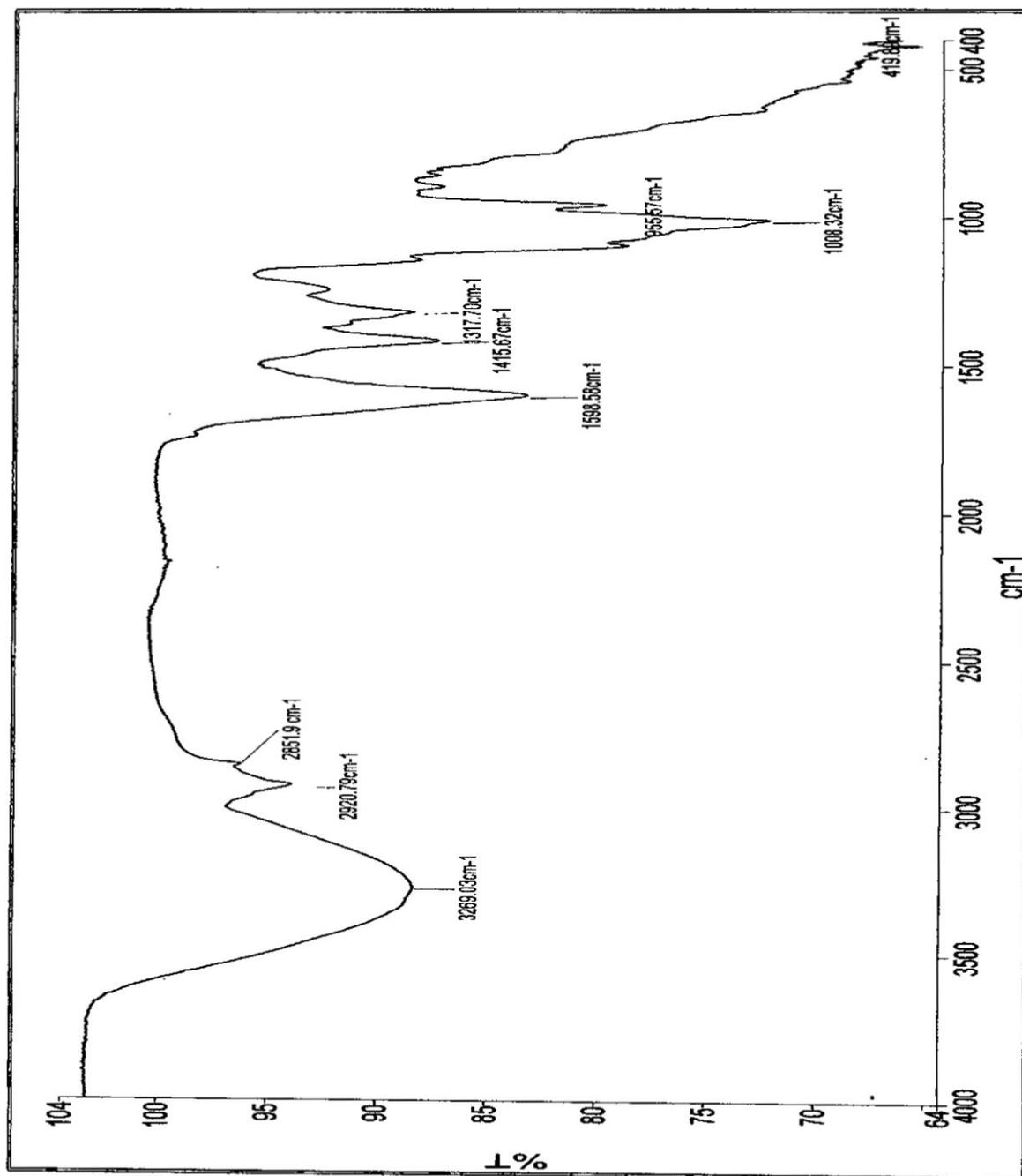
Para determinar los grupos funcionales responsables de la adsorción de los iones Zinc (II) en la cáscara de naranja, se mandó analizar mediante la técnica de espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), (véase el anexo 10.1) para identificar los grupos funcionales de la cáscara de naranja tratada y no tratada, además de conocer de manera general la estructura química del biosorbente.

CUADRO N°5.1
DATOS DEL ESPECTRO INFRARROJO DE LA CÁSCARA DE
NARANJA TRATADA

LONGITUD DE ONDA (cm ⁻¹)	GRUPO FUNCIONAL	RANGO (cm ⁻¹)
3269,03	Estiramiento de grupos hidroxilos	3340 - 3600
2920,79	Vibraciones C-H de estiramiento metilo, metileno y grupos metoxi	2923,78
2851,90	Vibraciones C-H de estiramiento metilo, metileno y grupos metoxi	2923,78
1598,58	Estiramiento C=C	1636,17
1415,67	C-H alifáticos y aromáticos	1444,43
1008,32	C-O de alcoholes y ácidos carboxílicos	1333,24-1022

Fuente: LABICER (ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN)

FIGURA N°5.1
ESPECTROSCOPIA DE INFRAROJO DE LA CÁSCARA DE NARANJA
TRATADA



Fuente: LABICER (ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN)

En la figura 5.1, se muestra lo espectros de infrarrojo para la cáscara de naranja sin tratamiento en este espectro se muestran unos picos muy anchos lo cual es un indicador de la compleja naturaleza del material adsorbente.

El largo e intenso pico a $3285,02\text{ cm}^{-1}$, que se muestra en el espectro de la cáscara de naranja sin tratamiento indica que hay estiramiento de grupos hidroxilos. (celulosa, agua absorbida, pectina, hemicelulosa y lignina)

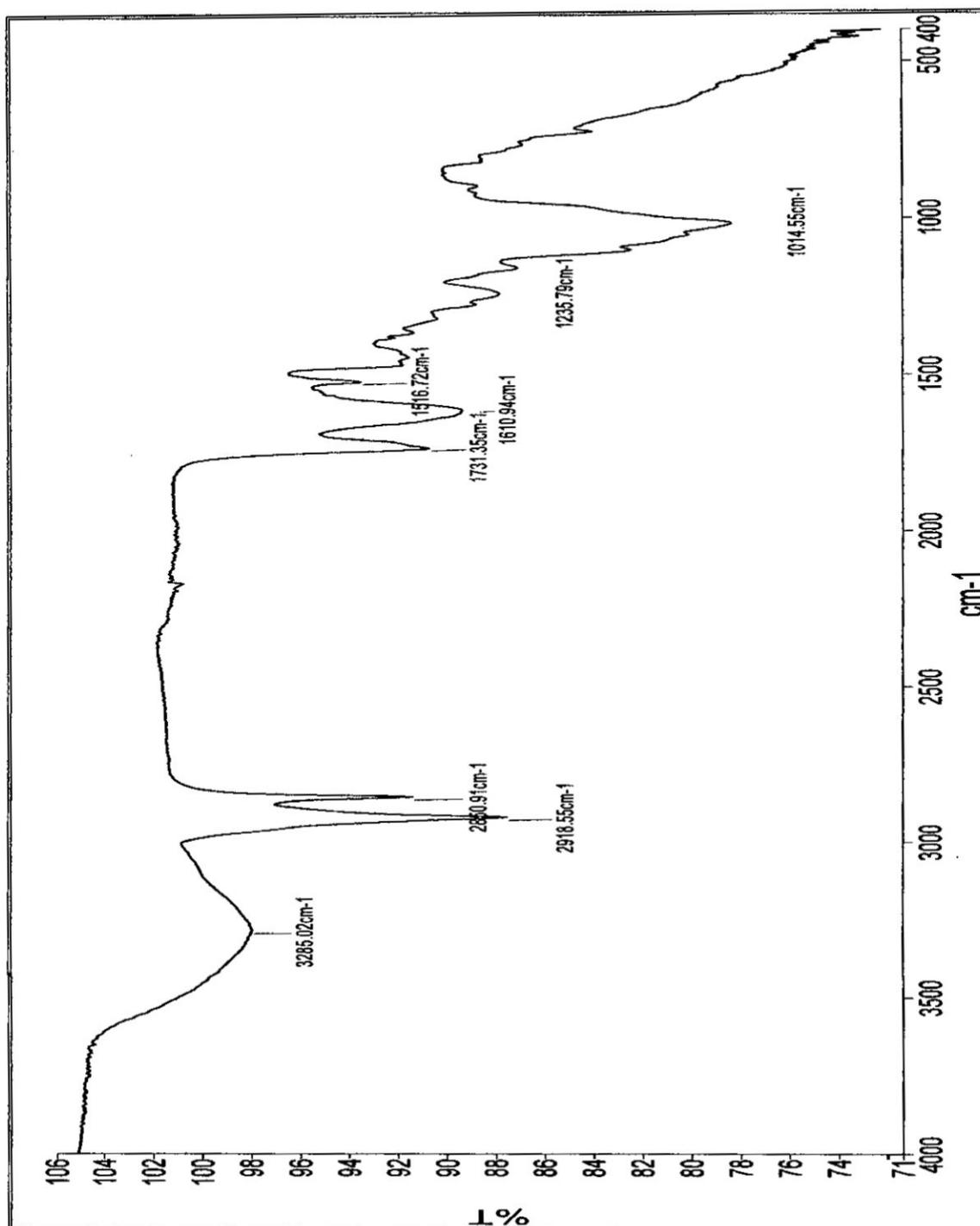
El pico observado a $2918,55\text{ cm}^{-1}$ y $2850,91\text{ cm}^{-1}$ se atribuye a las vibraciones C-H de estiramiento metilo, metileno y grupos metoxi. Los picos alrededor de $1731,35\text{ cm}^{-1}$ en el espectro corresponden al estiramiento carbonilo C=O que hace referencia a los grupos funcionales de carboxilo de pectina, hemicelulosa y lignina. El pico de $1610,94\text{ cm}^{-1}$ se produce por el estiramiento de enlaces C=C se debe posiblemente la presencia de benceno o aromático anillo en lignina. El pico alrededor de $1516,72\text{ cm}^{-1}$ podría deberse a la presencia de C-H alifáticos y aromáticos, las vibraciones de metilo, metileno y grupos metoxi corresponden al grupo de enlace C-O de alcoholes y ácidos carboxílicos estos comprenden desde $1235,79\text{ cm}^{-1}$ hasta $1014,55\text{ cm}^{-1}$. (véase el cuadro N° 5.1, en la página 69)

CUADRO N°5.2
DATOS DEL ESPECTRO INFRARROJO DE LA CÁSCARA DE
NARANJA SIN TRATAR

LONGITUD DE ONDA (cm ⁻¹)	GRUPO FUNCIONAL	RANGO DE LONGITUD DE ONDA (cm ⁻¹)
3285,02	Estiramiento de grupos hidroxilos	3340 - 3600
2918,55	Vibraciones C-H de estiramiento metilo, metileno y grupos metoxi	2923,78
2850,91	Vibraciones C-H de estiramiento metilo, metileno y grupos metoxi	2923,78
1731,35	Estiramiento carbonilo	1748,15
1610,94	Estiramiento C=C	1636,17
1516,72	C-H alifáticos y aromáticos	1444,43
1014,55	C-O de alcoholes y ácidos carboxílicos	1333,24-1022

Fuente: LABICER (ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN)

FIGURA N°5.2
ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO DE LA CÁSCARA DE NARANJA SIN TRATAR

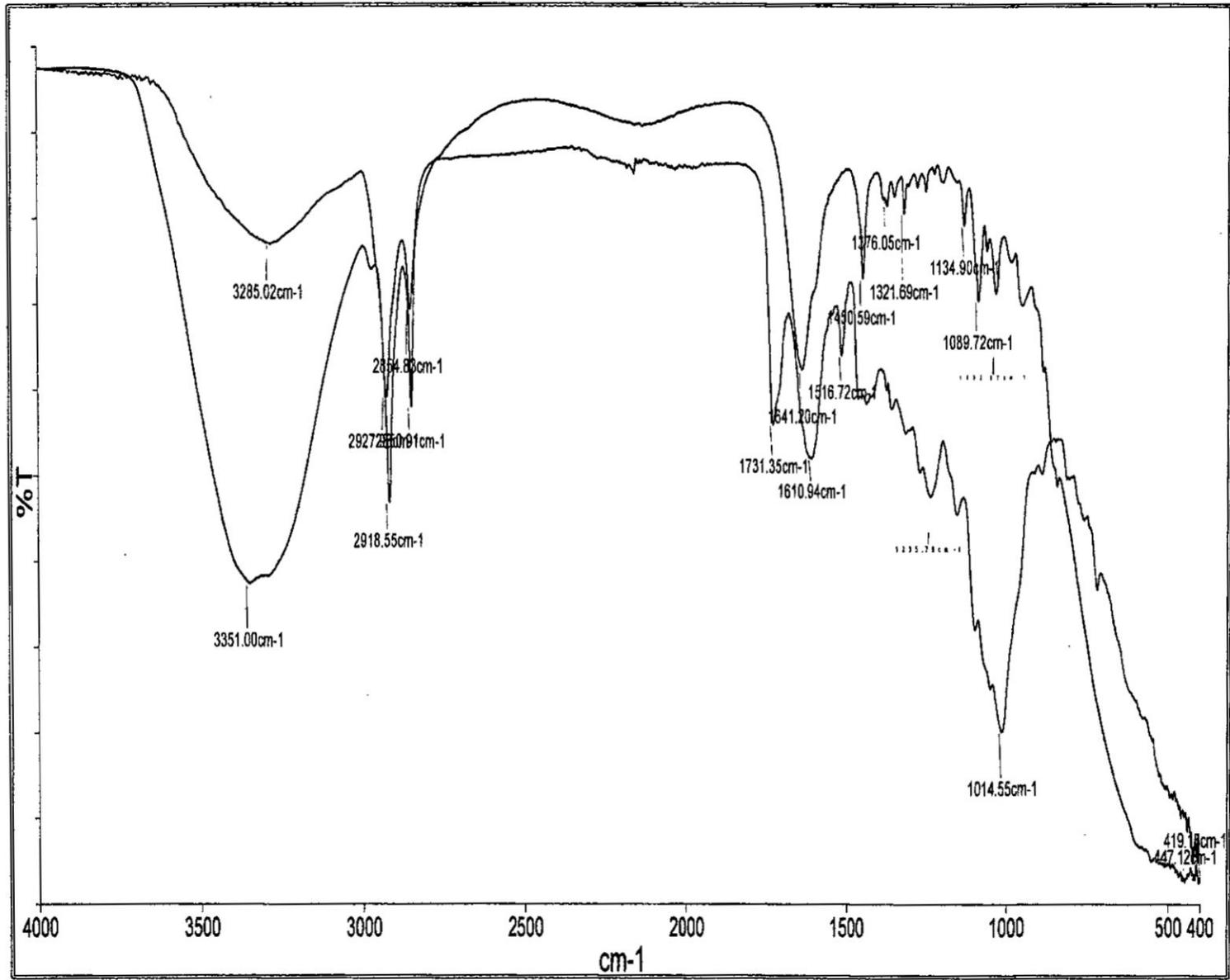


Fuente: LABICER (ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN)

Para determinar los grupos funcionales de la adsorción de iones zinc (II) en la cáscara de naranja tratada, se procedió al análisis FTIR del material. En la figura 5.2 se muestra los espectros de infrarrojo de la cáscara de naranja tratada muestra picos $3269,03\text{ cm}^{-1}$ corresponde a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H de compuestos poliméricos como celulosa, pectina hemicelulosa y lignina. El pico observado a $2920,79\text{ cm}^{-1}$ y $2851,90\text{ cm}^{-1}$ puede atribuirse a las vibraciones de enlaces C-H de los grupos -C-H, -C-H₂ y -C-H₃. La intensidad de este pico se ve modificado en el espectro señalando una disminución de estos grupos posiblemente debido al tratamiento aplicado.

Las vibraciones alrededor de $1598,58\text{ cm}^{-1}$ se producen por el estiramiento de enlaces C=C como consecuencia de la presencia de benceno o aromático anillo en lignina. Las vibraciones alrededor de $1415,67\text{ cm}^{-1}$ pueden corresponder a grupos alifáticos y aromáticos C-H. Las bandas en el rango $1008,32\text{ cm}^{-1}$ hasta $419,89\text{ cm}^{-1}$ pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento de los enlaces C-O de ácidos carboxílicos y alcoholes. véase el cuadro N° 5.2 en la página 72)

FIGURA N°5.3
ESPECTROS INFRARROJOS SUPERPUESTOS



Fuente: LABICER (ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN)

Como podemos observar en la figura N° 5.3 de los espectros superpuestos, se puede observar que la superficie de la cáscara de naranja tratada es más irregular que la cáscara de naranja sin tratar, lo que indica que el hidróxido de sodio y el cloruro de calcio han tratado la superficie de la cáscara de naranja.

5.2. Biosorción de iones Zn (II) de la cáscara de naranja tratada.

Para la investigación fue necesaria analizar la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja tratada a las condiciones de operación encontradas de la bibliografía para determinar los mejores parámetros de la adsorción de iones zinc. Con los mejores parámetros (pH, peso del biosorbente, tamaño de biosorbente) del proceso de biosorción que ocurre con la cáscara tratada a manera de comparación se realizó una experimentación con dichos parámetros antes mencionados con la cáscara de naranja sin tratar para determinar cuál es el biosorbente más efectivo para la remoción de iones zinc (II) a estas condiciones. (véase el cuadro N° 5.3)

CUADRO N°5.3
PORCENTAJE DE REMOCIÓN CON CÁSCARA TRATADA

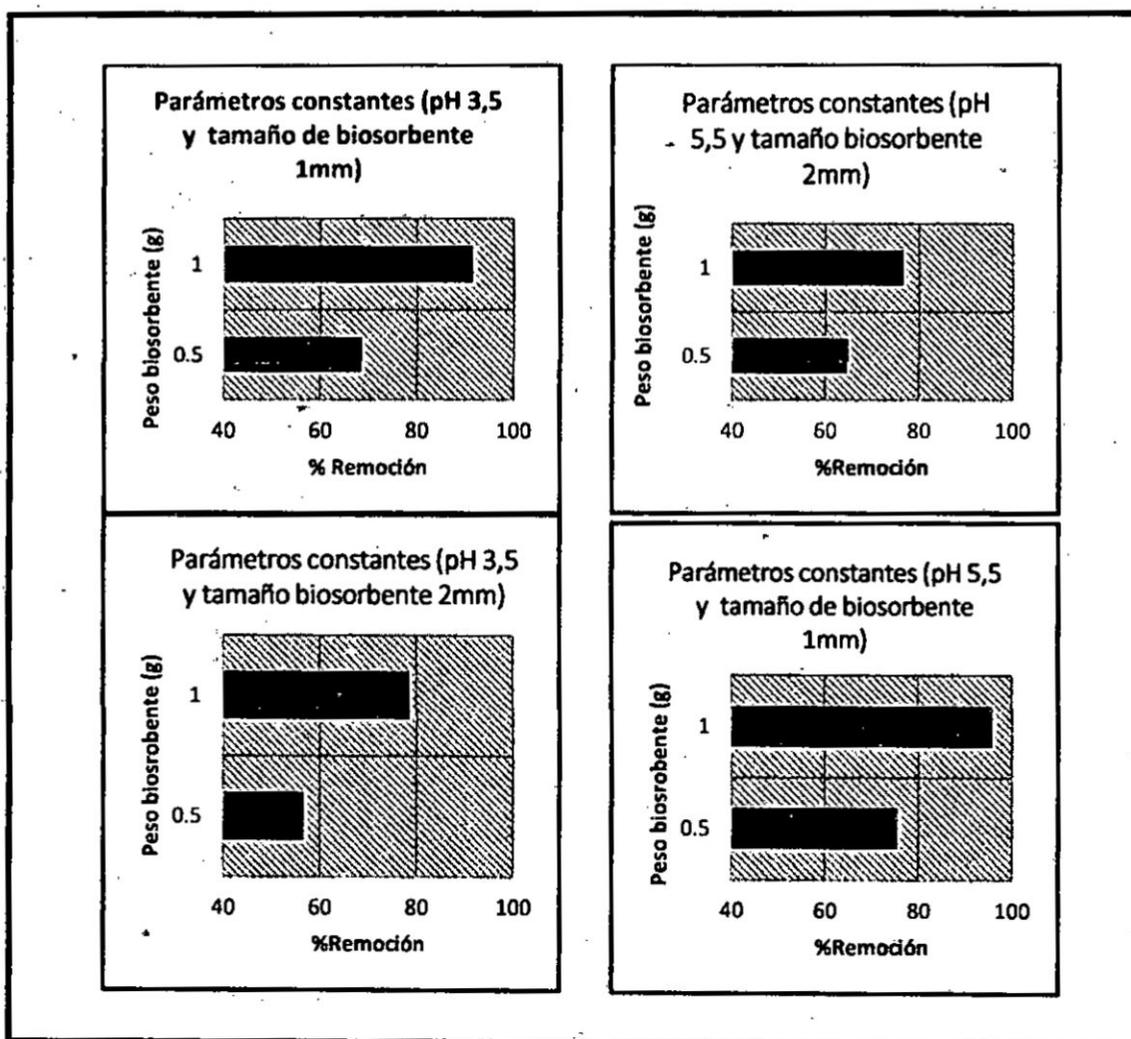
N°	pH	Tamaño(mm)	Peso(g)	%Remoción
1	3,5	1	0,5	68,54
2	3,5	1	1	91,62
3	3,5	2	0,5	56,74
4	3,5	2	1	78,58
5	5,5	1	0,5	75,58
6	5,5	1	1	95,86
7	5,5	2	0,5	64,62
8	5,5	2	1	76,7

Fuente: Datos calculados del informe de laboratorio ALAB

❖ Con respecto al efecto de los parámetros que se trabajaron en la investigación se graficó la influencia de estos mismos. Se presentan a continuación:

a) Como podemos observar en el gráfico N° 5.1, si tenemos constante el pH y el tamaño de biosorbente, se observa la influencia del peso del biosorbente. Por tanto, a mayor peso del biosorbente existe mayor porcentaje de remoción en el proceso.

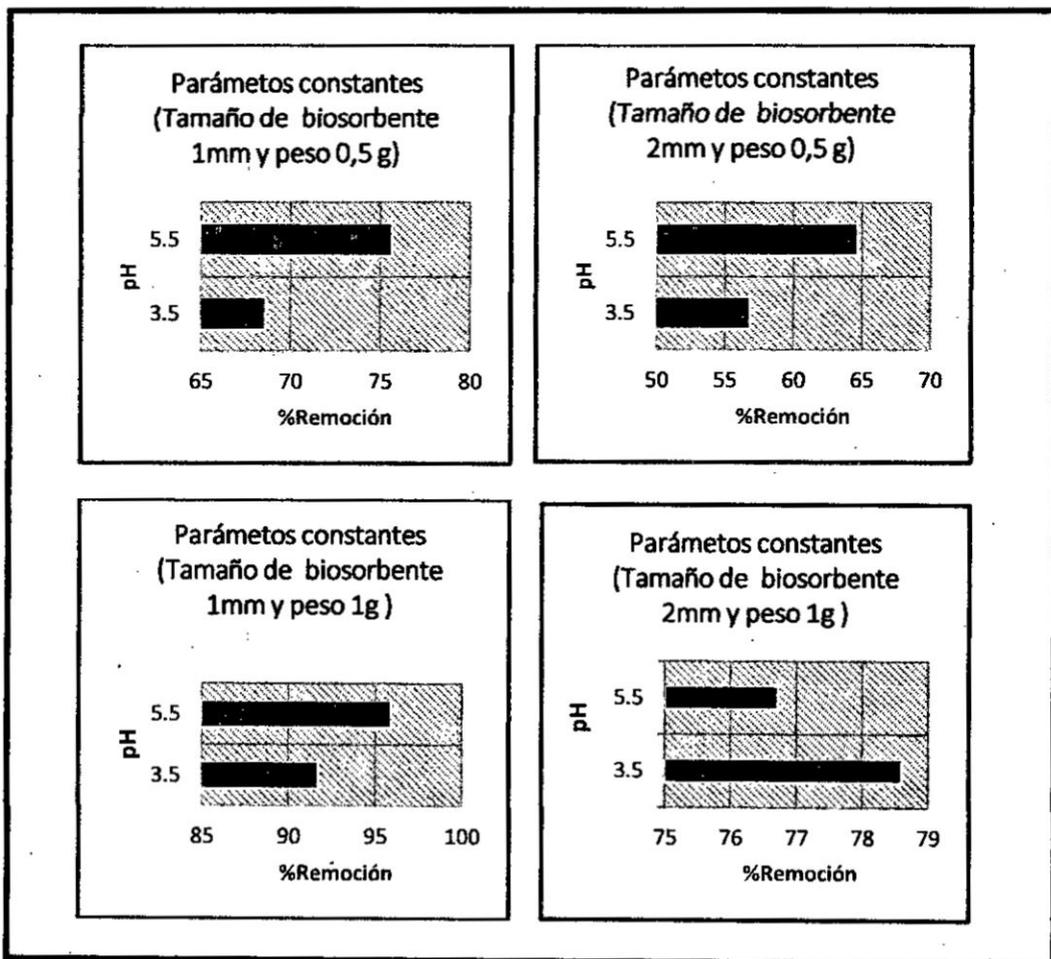
GRÁFICO N°5.1
INFLUENCIA DEL PESO DEL BIOSORBENTE



Fuente: Datos tomados del cuadro N°5.3

b) Como podemos observar en el gráfico N° 5.2, si tenemos constante el peso del biosorbente y el tamaño de biosorbente, se observa la influencia del pH. Por tanto, a mayor pH existe mayor porcentaje de remoción en el proceso.

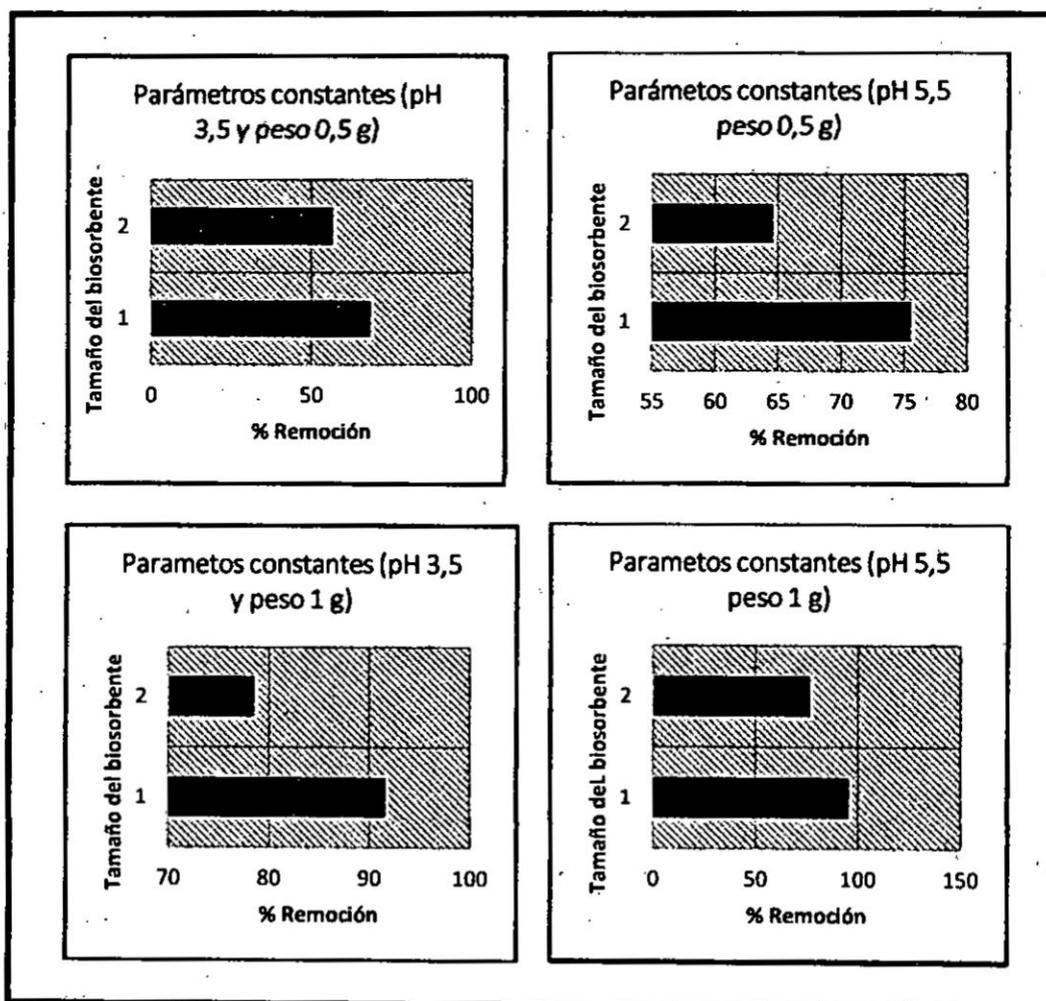
GRÁFICO N°5.2
INFLUENCIA DEL pH



Fuente: Datos tomados del cuadro N°5.3

c) Como podemos observar en el gráfico N° 5.3, si tenemos constante el peso del biosorbente y el pH se observa la influencia del tamaño de biosorbente. Por tanto, a menor tamaño de biosorbente existe mayor porcentaje de remoción en el proceso.

GRÁFICO N°5.3
INFLUENCIA DEL TAMAÑO DEL BIOSORBENTE



Fuente: Datos tomados del cuadro N°5.3

❖ Con los datos reportados (véase el cuadro N°5.3, en la página 76) procedemos a calcular la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja tratada en el proceso, dichos valores se encuentran a continuación; (Véase el cuadro N° 5.4)

CUADRO N°5.4
CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE LA CÁSCARA TRATADA

N°	pH	Tamaño (mm)	Peso (g)	Concentración (mg/L)		Volumen (L)	Capacidad adsorbida (g) (mg/g)
				inicial	final		
1	3,5	1	0,5	100	31,46	0,1	13,708
2	3,5	1	1	100	8,38	0,1	9,1620
3	3,5	2	0,5	100	43,26	0,1	11,348
4	3,5	2	1	100	21,42	0,1	7,8580
5	5,5	1	0,5	100	24,42	0,1	15,116
6	5,5	1	1	100	4,14	0,1	9,5860
7	5,5	2	0,5	100	35,38	0,1	12,924
8	5,5	2	1	100	23,30	0,1	7,6700

Fuente: Datos calculados del informe de laboratorio ALAB.

5.2.1 Biosorción de iones Zn (II) de la cáscara de naranja no tratada.

Los datos registrados en el cuadro (véase, cuadro N° 5.3, en la página 76), se observó que, a un pH de 5,5, tamaño de biosorbente 1 mm y 1 g de biosorbente tendremos una mejor remoción de iones Zinc (II). Estos mismos parámetros se experimentaron a la cáscara de naranja no tratada, el cual nos un porcentaje de remoción fue 79.16%. (véase el cuadro N° 5.5)

CUADRO N°5.5
PORCENTAJE DE REMOCIÓN CON CÁSCARA NO TRATADA

N°	pH	Tamaño (mm)	Peso (g)	%Remoción
1	5,5	1	1	79,16%.

Fuente: Datos calculados del informe de laboratorio ALAB

5.3. Modelo cinético de adsorción de iones Zinc (II) a partir de la cáscara tratada

Los modelos cinéticos nos permiten explicar el fenómeno de adsorción dentro de un proceso específico, para ello se procedió al ajuste con los modelos cinéticos de Pseudo-primer orden, Pseudo-segundo orden, Elovich y Difusión Intraparticular. Con los resultados obtenidos experimentalmente se procedió analizar matemáticamente para determinar el modelo cinético que mejor se ajuste a este proceso de adsorción, asimismo con los datos obtenidos se hizo el ajuste no lineal y lineal en Microsoft Excel. (Véase gráfico N°5.6, en la página 84).

La adsorción de iones Zinc (II) con cáscara de naranja tratada se realizó en función al tiempo de contacto versus la capacidad de adsorción (Véase gráfico N°5.5, en la página 83).

De los datos experimentales que se muestran en el cuadro N° 5.6 se observa que a los 30 min de haber empezado el proceso de biosorción hay una adsorción considerable (Véase gráfico N°5.4, en la página 82). A partir de los 240 min se observó que el proceso se torna muy lento y el equilibrio se alcanza después de 360 min.

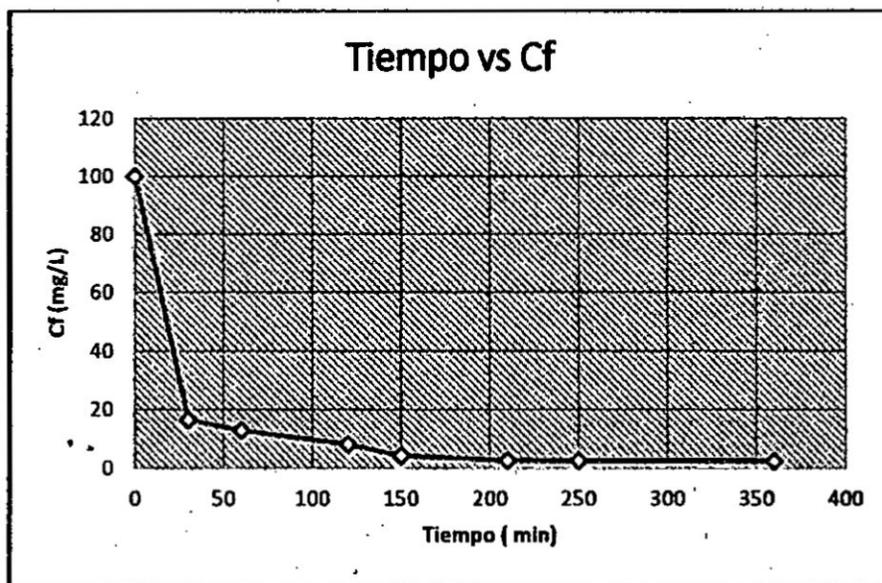
Al transcurrir el tiempo los espacios libres se van saturando lo que hace más lento y menos eficiente el proceso, además depende de otros factores, tales como: transporte de iones hacia la superficie y la parte interna de los gránulos, destrucción de la capa solvatación y de la atmosfera iónica que rodea a los iones (Tapia, 2003).

CUADRO N° 5.6
CONCENTRACIÓN FINAL Y CAPACIDAD CON RESPECTO AL TIEMPO

PARAMETROS			
pH = 5.5	Tamaño (mm) = 1	Peso (g) = 1	
N°	T (min)	Cf (mg/L)	Capacidad (q)
0	0	100	0
1	30	16,46	8,354
2	60	12,8	8,720
3	120	8,16	9,184
4	150	4,24	9,576
5	210	2,69	9,731
6	250	2,65	9,735
7	360	2,44	9,756

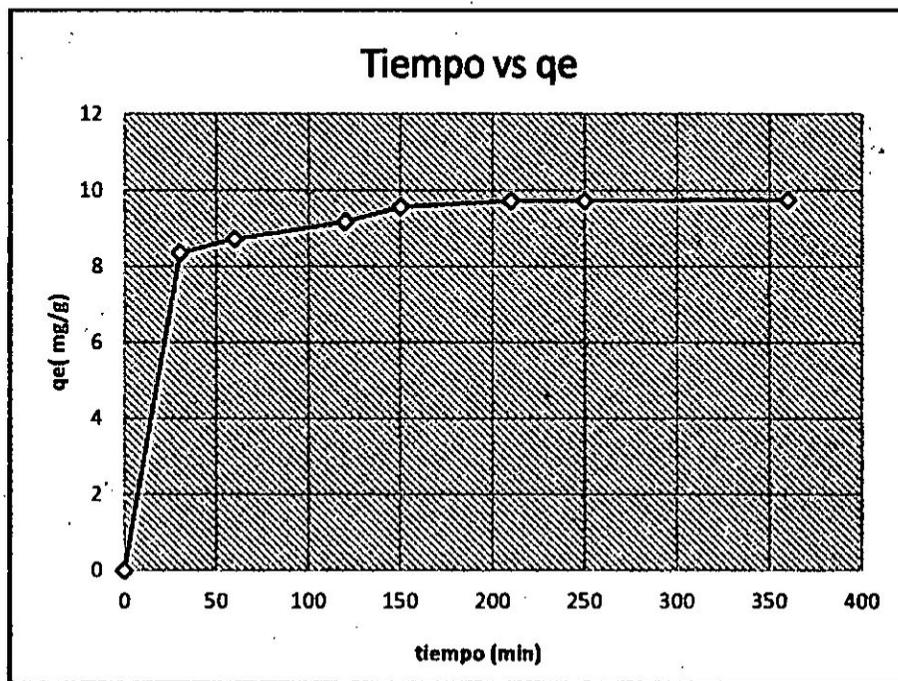
Fuente: Datos calculados del informe de laboratorio ALAB

GRÁFICO N°5.4
CONCENTRACIÓN EN SOLUCIÓN DE IONES ZINC (II) FRENTE AL TIEMPO



Fuente: Datos tomados del cuadro N° 5.6

GRÁFICO N°5.5
CANTIDAD ADSORBIDA DE IONES ZINC (II) CON RESPECTO AL
TIEMPO

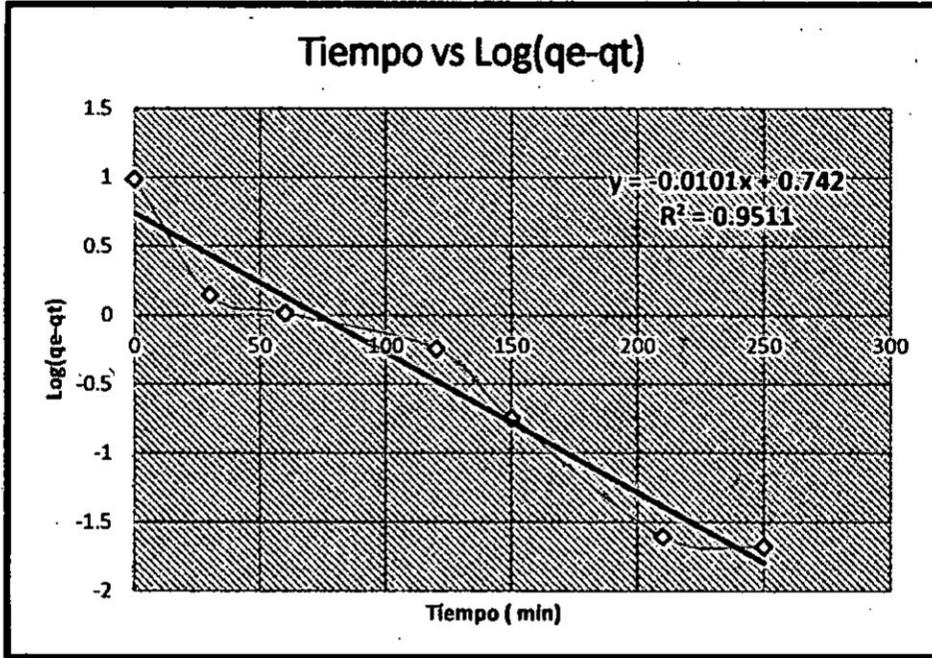


Fuente: Datos tomados del cuadro N° 5.6

5.3.1. Modelo cinético de Pseudo- Primer orden

De lo antes mencionado (véase página 81) y utilizando los datos experimentales, se realizó el ajuste lineal (véase figura N°5.6 en la página 84) para la ecuación del modelo cinético de Pseudo Primer orden, en consecuencia, obtendremos los parámetros de dicha ecuación (véase la ecuación N°4.4 en la página 66).

GRÁFICO N°5.6
AJUSTE AL MODELO CINÉTICO DE PSEUDO PRIMER ORDEN
LINEALIZADO



Fuente: Datos tomados del cuadro N° 5.6

En la figura N° 5.6 se observó que los datos experimentales no se ajustan a la linealidad en forma aceptable, obteniendo un coeficiente de correlación (R^2) de 0.9511, de manera que corrobora el bajo coeficiente de correlación encontrada en la literatura R^2 de 0.9791 (Feng et. al, 2010). Los valores de los parámetros característicos para este modelo se observan a continuación en el cuadro N° 5.7.

CUADRO N°5.7
PARAMETROS CINÉTICOS PSEÚDO PRIMER ORDEN

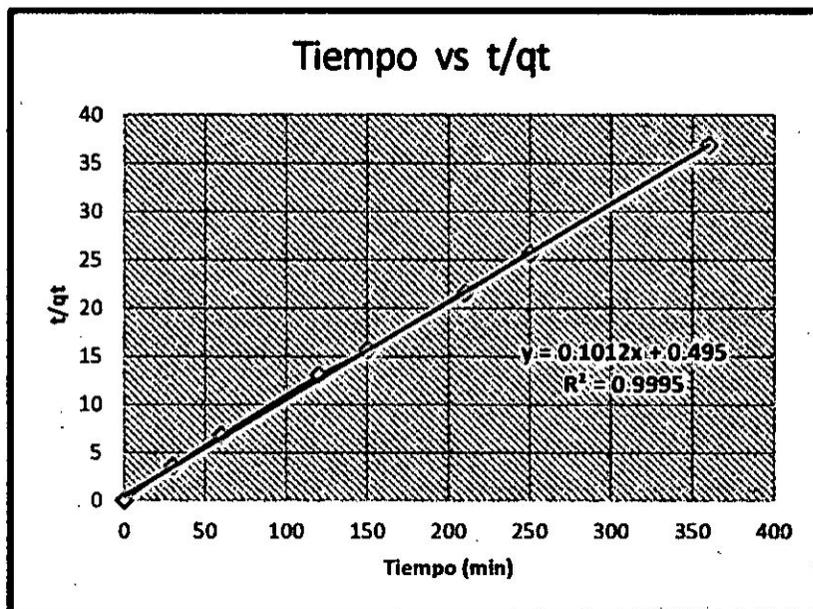
Modelo	Valores
<i>Pseudo primer orden</i>	
q_e (mg/g)	5,5207
K_1 (min^{-1})	0,0101
R^2	0,9511

Fuente: Datos obtenidos del gráfico N° 5.6

5.3.2. Modelo cinético de Pseudo- Segundo orden

Se obtuvo los parámetros que necesitamos para la ecuación del modelo cinético de Pseudo Segundo orden, utilizando los datos experimentales de la adsorción, se graficó su linealización (véase gráfico N°5.7) obtenida de la ecuación N° 4.6.

GRÁFICO N° 5.7
AJUSTE AL MODELO CINÉTICO DE PSEUDO SEGUNDO ORDEN
LINEALIZADO



Fuente: Datos tomados del cuadro N° 5.6

En el gráfico N°5.7 observamos que el coeficiente de correlación (R^2) para este modelo fue 0,9995, datos similares se han obtenido por anteriores investigaciones, por ejemplo; la adsorción Cu (II) mediante la cascara de naranja tratada (se tomó como referencia ya que es un metal pesado y tiene la misma carga iónica) se obtuvo un coeficiente de correlación (R^2) de 0,9988 (Lu et al, 2008)

CUADRO N° 5.8
PARÁMETROS CINÉTICOS PSEUDO SEGUNDO ORDEN

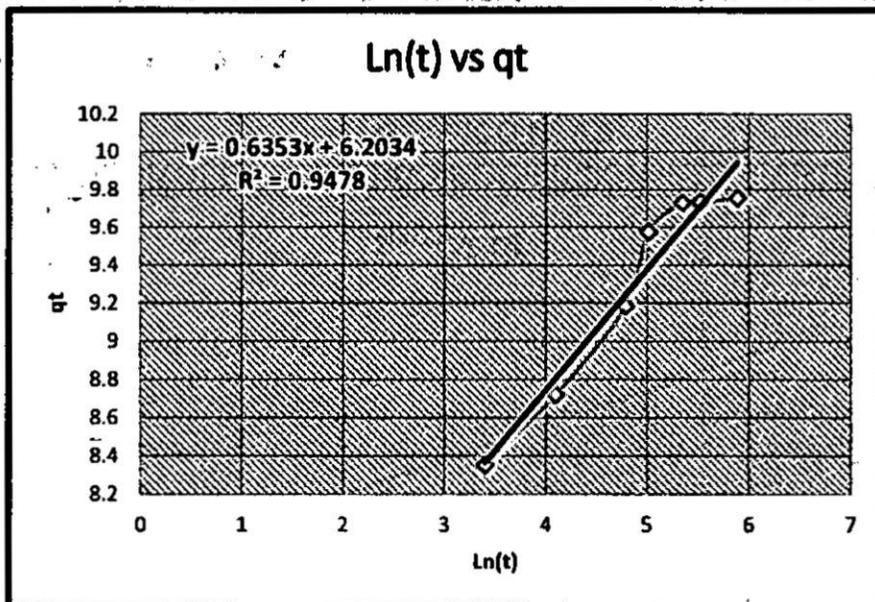
Modelo	Valores
<i>Pseudo segundo orden</i>	
Q_e (mg/g)	9,8814
K_2 (g/mg.min)	0,0206
R^2	0,9995

Fuente: Datos tomados del gráfico N° 5.7

5.3.3. Modelo cinético de Elovich

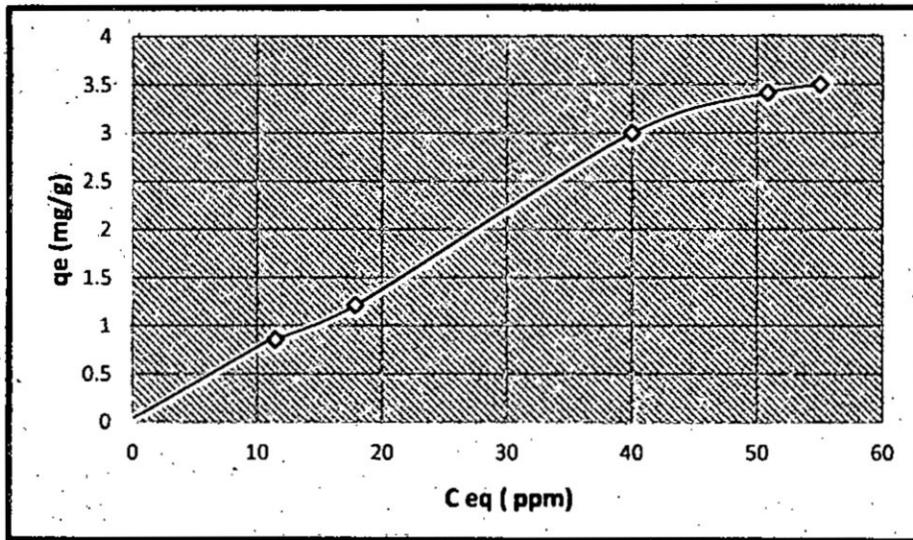
El modelo cinético de Elovich se desarrolló haciendo uso de la ecuación N° 2.3 y de los puntos tomados del cuadro N° 5.6; a continuación, se muestra en el gráfico N° 5.8.

GRÁFICO N° 5.8
AJUSTE DEL MODELO CINÉTICO DE ELOVICH LINEALIZADO



Fuente: Datos tomados del cuadro N° 5.6

GRÁFICO N° 5.10
CONCENTRACIÓN EN EQUILIBRIO VS CAPACIDAD DE ADOSRCIÓN

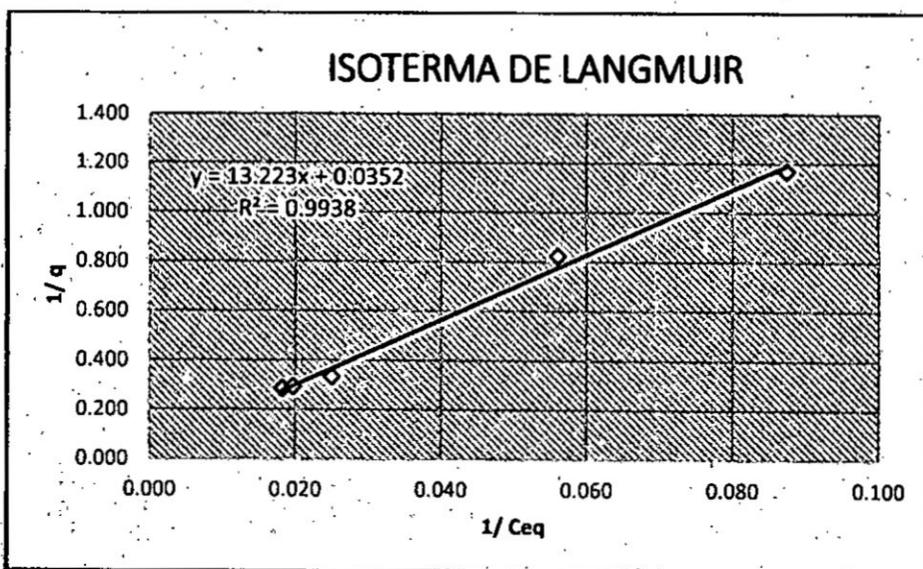


Fuente: Datos tomados del cuadro N°5.11

5.4.1. Isoterma de Langmuir

Se presenta a continuación el ajuste al modelo linealizado de la isoterma de Langmuir utilizando la ecuación N°4.5.

GRÁFICO 5.11
AJUSTE AL MODELO DE LA ISOTERMA DE LANGMUIR LINEALIZADO



Fuente: Datos tomados del cuadro N°5.11

En el gráfico N°5.11 observamos que el coeficiente de correlación (R^2) para esta isoterma fue 0,9938.

CUADRO N° 5.12
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MODELO DE LANGMUIR

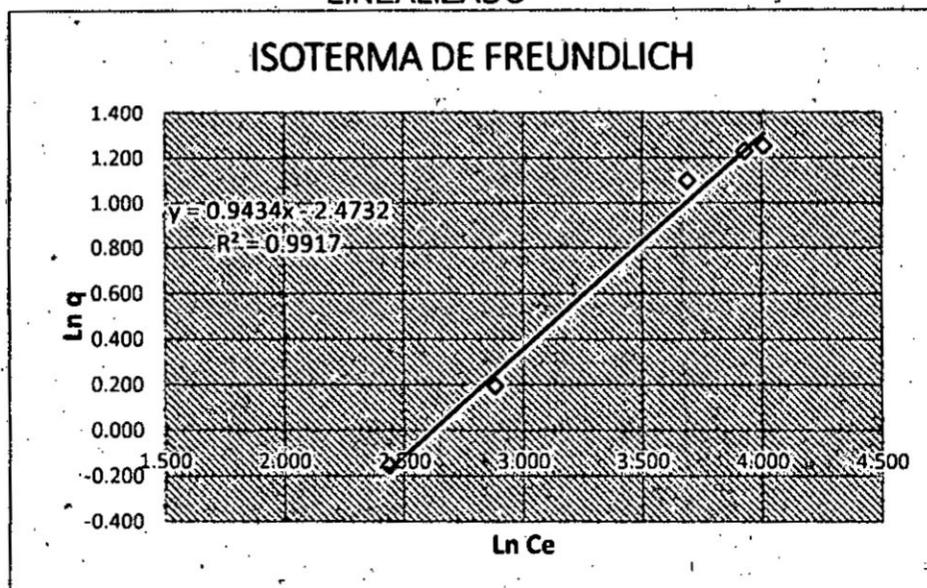
Modelo	Valores
<i>Langmuir</i>	
Q máx	28,409
K_L	0,00266
R^2	0,9938

Fuente: Datos tomados del gráfico N° 5.11

5.4.2. Isotherma de Freundlich

Se presenta a continuación el ajuste al modelo linealizado de la isoterma de Langmuir utilizando la ecuación N°4.6.

GRÁFICO 5.12
AJUSTE AL MODELO DE LA ISOTERMA DE FREUNDLICH LINEALIZADO



Fuente: Datos tomados del cuadro N°5.11

En el gráfico N°5.12 observamos que el coeficiente de correlación (R^2) para esta isoterma fue 0,9917.

CUADRO N° 5.13
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MODELO DE FREUNDLICH

Modelo	Valores
<i>Freundlich</i>	
n	1,0599
K_F	0,0843
R^2	0,9917

Fuente: Datos tomados del gráfico N° 5.11

CAPITULO VI

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de Hipótesis con los resultados

A) Hipótesis General

En el cuadro N°5.3 (véase página 76) se observa que la mayor biosorción de iones Zn(II) mediante la cáscara de naranja tratada se da a las condiciones de un pH 5.5, tamaño de biosorbente de 1 mm y peso 1 g.

B) Hipótesis Específicas

- a) Según los resultados de los análisis fisicoquímicos que se realizó por espectroscopia de Infrarrojo (véase el figura N°5.2, en la página 73) a la cáscara de naranja sin tratar muestra por tanto un pico de $2918,55\text{ cm}^{-1}$ y $2850,91\text{ cm}^{-1}$, esto se puede atribuir a las vibraciones C-H de estiramiento metilo, metileno y grupos metoxi. Asimismo, en el figura N° 5.1 de la cáscara de naranja tratada se observa vibraciones de pico a $2920,79\text{ cm}^{-1}$ y $2851,90\text{ cm}^{-1}$, lo que se atribuye a enlaces C-H de los grupos -C-H, -C-H₂ y -C-H₃. La intensidad de este pico se ve modificado en el espectro señalando una disminución de estos grupos debido al tratamiento con soluciones de hidróxido de sodio y cloruro de calcio, siendo un mejor bioadsorbente la cáscara naranja tratada que la cascara de naranja no tratada.
- b) Según los resultados que se muestran en el cuadro N°5.3 (véase la página 76) se deduce que, los parámetros del proceso como

el pH 5,5, tamaño de biosorbente 1mm y peso del biosorbente 1g, influyen mejorando el resultado de la remoción de iones Zinc (II) en la cáscara de naranja tratada por lo cual el porcentaje de remoción fue 95.86%. Por el contrario, la cáscara de naranja no tratada tuvo una remoción de 79.16%, por lo tanto, los parámetros actúan mejor en la cáscara de naranja tratada.

- c) En cuanto al comportamiento cinético para la biosorción de iones Zn^{+2} por la cáscara de naranja tratada se comprobó que está representado por el modelo Cinético Pseudo Segundo orden debido a que muestra el mejor coeficiente de correlación (R^2) de 0.9995, en comparación de los otros modelos cinéticos estudiados.
- d) De acuerdo a los resultados obtenidos la isoterma que obedece la biosorción fue el modelo de Langmuir, debido que presentó el mayor coeficiente de correlación en comparación al otro modelo.

6.2. Contratación de resultados con otros estudios similares

En esta tesis se ha estudiado las condiciones para obtener una mayor biosorción de iones Zinc (II) mediante la cáscara de naranja tratada, de manera que dio un porcentaje de remoción de 95.86%, a las condiciones de pH =5.5, tamaño de biosorbente =1mm y peso de biosorbente =1g obteniendo resultados similares con respecto a la biosorción de los iones Zinc (II) en el estudio **“Evaluación del poder biosorbente de cascara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)”**, reportó que el porcentaje de remoción de Zn (II) fue de 99.5%, a las

condiciones de pH= 4, tamaño de biosorbente=1mm y peso =1 g, sin embargo en nuestro caso se esperó tener un mayor porcentaje de remoción, esto no ocurrió debido a que las cáscaras tratadas pasaron mucho tiempo almacenadas y se fueron degradando con agentes externos como la humedad o algún elemento presente cerca del área de almacenamiento.

- a) En el estudio realizado por Romero et al. (2016) que lleva por título **“Preparation of orange peels by instant controlled pressure drop and chemical modification for its use as biosorbent of organic pollutants”**, concluyó que la tratamiento química de la cáscara de naranja muestra la presencia de grupos R-OH, R-COOH y R-COOCH₃, lo cual se comparó con los resultados obtenidos en la espectroscopia por Infrarrojo de la cáscara de naranja tratada (véase el cuadro N°5.1, en la página 69) donde muestra picos a 1014,55 cm⁻¹ indicando la presencia de enlaces C-O de alcoholes y ácidos carboxílicos contribuyendo y garantizando así la adsorción.

- b) Con respecto a los parámetros que reportaron un mayor porcentaje de remoción fueron pH= 5.5, tamaño de biosorbente =1mm y cantidad de biosorbente = 1g , según el punto de vista del Autor (Muñoz, 2003) con respecto al pH, asegura que a mayor pH dentro de los rangos de 2-6 incrementan más grupos funcionales que están disociados y se adsorben mayor número de iones zinc (II), debido a

que hay menos competencia de iones hidronio el cual es un fuerte competidor por sitios activos de sorción frente al Zinc (II).

Con relación al tamaño de partícula según la bibliografía (Garcés, 2012) reporta que al disminuir el tamaño del bioadsorbente aumenta la capacidad de adsorción de los iones, ya que este proceso está directamente relacionado con el área de superficial de contacto (cantidad de poros por unidad de masa) entre el material adsorbente y la fase líquida.

Finalmente, con respecto al peso del biosorbente el autor (Kardirvelu et. al. 2000) menciona que al aumentar la masa del bioadsorbente aumenta también la cantidad de iones adsorbidos, debido a un incremento tanto en el área superficial como en los sitios activos disponibles.

- c) Se observa en el gráfico N° 5.4 en la página 82, que al cabo de 30 minutos después de iniciado el proceso de biosorción se da la mayor capacidad de remoción y al cabo de los 150 min se empieza a estabilizar, acerca del modelo cinético que mejor describe el sistema fue de Pseudo segundo orden, igualmente en el estudio titulado **“Biosorption of heavy metals from aqueous solutions by chemically modified orange peel”** describe que el equilibrio de la biosorción fue a 150 min y el proceso está seguido por el modelo cinético de Pseudo Segundo orden.
- d) En el gráfico N°5.10, se verificó que la isoterma de Langmuir fue la que mejor describe el sistema, con lo cual se comprobó que el

proceso de bioadsorción está controlado por reacción química, además la adsorción máxima corresponde a una monocapa saturada de moléculas de adsorbato. Datos similares han sido obtenidos por anteriores investigaciones como **"Biosorption from aqueous solutions by sour orange residue"** donde la isoterma que describe mejor fue la de Langmuir dando su coeficiente de correlación R^2 0,99.

CAPITULO VII

VII. CONCLUSIONES

- a) Las condiciones para la mayor biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada se da a un pH de 5.5, tamaño de biosorbente de 1mm y peso del biosorbente de 1g.
- b) De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la Espectroscopia Infrarrojo (FTIR), se verificó que en la cáscara de naranja tratada se redujo los grupos metilos en comparación de la cáscara de naranja sin tratar.
- c) Los parámetros del proceso actúan mejor en la cáscara naranja tratada donde se obtuvo un porcentaje de Remoción de 95,86 % en comparación a la cáscara de naranja no tratada el cual fue de 78.16%.
- d) El Modelo Cinético que mejor describe el comportamiento del sistema fue de Pseudo Segundo Orden.
- e) La isoterma que obedece a la biosorción de iones zinc (II) mediante la cáscara de naranja tratada fue de Langmuir.

CAPITULO VIII

VIII. RECOMENDACIONES

- a) Recomendamos se profundice el estudio de la biosorción a diferentes temperaturas para poder ver la influencia de la misma.
- b) Investigar un método de desorción para la cáscara de naranja tratada, de manera que pueda retirar los iones zinc (II) retenido en la cáscara.
- c) Averiguar un adecuado almacenamiento de la cáscara de naranja tratada para evitar o reducir la humedad.
- d) Estudiar el sistema en planta piloto con la finalidad de llevarse a producción industrial, ya que esto sería una forma de contribuir al cuidado del medio ambiente.
- e) Se recomienda investigar otros tipos de modificaciones

CAPITULO IX

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1.] BALANTA.P, **Caracterización y aplicaciones del quitosano**, en *Iberoamericana de Polímeros*. Vol.11: 297 a 316. Septiembre 2010
- [2.] BEATRIZ HATTA SAKODE. **Tecnología de Alimentos III**, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- [3.] BRAVERMAN, J.B.S. **Introducción a la bioquímica de los alimentos**, en *Manual modern*, Mexico 1980.
- [4.] CAÑIZARES R. **Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana**, en *Revista Latinoamericana de Microbiología*.Vol.42:131 a 143. Año 2000.
- [5.] CARDONA GUTIÉRREZ A.F, CABAÑAS VARGAS D.D, ZEPEDA PEDREGUERA A. **Evaluación del poder biosorbente de cascara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)**, en *Revista Académica de la FI-UADY* Vol: 17:1 a 9. Febrero 2013.
- [6.] CHEUNG C. W., PORTER J. F., MCKAY G. **Sorption kinetic analysis for the removal of cadmium ions from effluents using bone char**, en *Water Research*. Vol. 35:605 a 612, 2001.
- [7.] Decreto Supremo N° 001-2015-MVCS, Normas Legales, **El Peruano**, 10 de Enero del 2015, Lima, Perú.
- [8.] FÁLDER RIVERO ANGEL. **Enciclopedia de los Alimentos**, en *Distribución y consume*, ISSN. Vol.13: 118 a 120, 2003.

- [9.] FEBRIANTO J, KOSASIH AN, SUNARSO J, JU YH, INDRASWATI N, ISMADJI S. **Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbente**, en *Journal of Hazardous Materials*. Vol.162: 616 a 645, 2009.
- [10.] CARDONA GUTIÉRREZ A.F, CABAÑAS VARGAS D.D, ZEPEDA PEDREGUERA A. **Evaluación del poder biosorbente de cascara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)**, en *Revista Académica de la FI-UADY* Vol: 17:1 a 9. Febrero 2013.
- [11.] COSME PECHO RENZON DANIEL. **Biorremoción de Plomo de efluente líquido usando cáscara de trigo**. Tesis para maestría. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 2016.
- [12.] FENG NING-CHUAN, XUEYI GUO, SHA LIANG, YANSHU ZHU, JIANPING LIU. **Biosorption of heavy metals from aqueous solutions by chemically modified orange peel**, en *journal of hazardous materials*. Vol. 185:49 a 54. Agosto 2010.
- [13.] FOO K.Y., HAMEED B.H., **Preparation, characterization and evaluation of adsorptive properties of orange peel based activated carbon via microwave induced K₂CO₃ activation**, en *Bioresource Technology*.2011.
- [14.] GARCÉS JARABA LUZ ERCILIA, COAVAS ROMERO SUSANA CECILIA. **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**. Tesis para obtener el

- grado ingeniero, Cartagena de Indias. Universidad de Cartagena, 2012.
- [15.] **HANG A., SMIDSRØD O. Selectivity of Some Anionic Polymers for Divalent Metal Ions**, en *Acta Chem. Scand.* Vol 24 (3):843 a 854, año 1970.
- [16.] **KRATOCHVIL D, VOLESKY B. Advances in the biosorption of heavy metals**, en *Trends in Biotechnology.* Vol.16: 291 a 300, año 1998.
- [17.] **MARSHALL R. y ESPINOZA J. 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.** Tesis para titulación.
- [18.] **MARTÍN A. Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados.** Tesis doctoral. España. Universidad de Granada. 2008.
- [19.] **MÉNDEZ K. Adsorción del cromo (VI) usando citrus sinensis como biomasa residual**, en *Biotechnology and Bioengineering.* Vol. 67:1045 a 1054, año 2008.
- [20.] **NELSON J. TAPIA, JUAN CARLOS MUÑOZ, FRANCISCO TORRES D., ALEJANDRO YARANGO R “Biosorción de Pb (II) por cascara de naranja Citrus Cinesis, modificada”,** en *Revista Peruana Química.* Vol.5: 48 a 53, 2003

- [21.] PINZÓN-BEDOYA M.L. **Eliminación de Cadmio, Cinc y Cromo de Efluentes Líquidos por Biosorción mediante Posidonia Oceánica.** Tesis Doctoral. España. Universidad de Murcia. 2005.
- [22.] Polo R. **Purificación de aguas residuales con cactus, cáscara de plátano, cáscara de naranja como un método de tratamiento.** Trabajo de investigación. Ancash. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.2013.
- [23.] REES, D. A., MORRIS, E. R., THOM, D. Y MADDEN, J. K.; **Shapes and interactions of carbohydrate chains.** Nueva York, en Academic Press. Vol. 1., año 1982.
- [24.] RIOS P. **Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo.** Tesis para titulación. Machala. Universidad Técnica de Machala.2014.
- [25.] RINCÓN. A. Facultad de Farmacia Universidad Central de Venezuela, 2010.
- [26.] RODRIGUEZ. J. Mediciones y procesos de tratamientos confiables. Educational Psychologist. Vol. 4: 243 a 253 .2009.
- [27.] ROMERO CANO, GONZÁLEZ GUTIERREZ, BALDENEGRO PEREZ, MEDINA MONTES, **“Preparation of orange peels by instant controlled pressure drop and chemical modification for its use as biosorbent of organic pollutants”**, en *Revista de Ingeniería*. Vol.15: 481 a 491. México 2016.

- [28.] SCHIEWER S. PATIL SB. **Pectin-rich fruit wastes as biosorbents for heavy metal removal: equilibrium and kinetics**, en *Bioresour technol.* Vol. 1 abril 2008.
- [29.] SOLER A.; GÓMEZ D. y RUBIO M. **Caracterización de residuos agrícolas del sureste español como biomásas energéticas**. Vol.13: 73 a 78, año 1981
- [30.] VILLABONA ORTIZ ANGEL, CANDELARIA TEJADA TOVAR & LUZ GARCÉS JARABA, **“Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando material de origen biológico”**, en Revista Tecnológicas. Vol. 18: 109 a 123. Colombia 2015.
- [31.] VOLESKY B. **Biosorption and me**. *Water Research*. Vol.41: 4017 a 4029, año 2007
- [32.] VOLESKY B. **Sorption and biosorption**, en Montreal: BV Soorbex, Vol.1, año 2003.
- [33.] Yalico A. **Estudio técnico de la adsorción de mercurio mediante carbon activado sulfurizado para el diseño de adsorbedores**. Tesis para titulación .Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 2014.

X. ANEXOS

10.1. Matriz de consistencia

“BIOSORCIÓN DE IONES DE Zn (II) MEDIANTE LA CÁSCARA DE NARANJA (CITRUS SINENSIS) TRATADA”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	MÉTODO
¿Cuáles serán las condiciones para la biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada?	Establecer las condiciones para la biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada.	Las condiciones para biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada es posible a un pH de 4, tamaño de biosorbente de 1mm y rango de peso de biosorbente de 0.5 g y 1 g.	Y1= Evaluación de la biosorción de iones Zn (II).	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de remoción de iones Zn (II). 	<ul style="list-style-type: none"> Adimensional 	<ul style="list-style-type: none"> Absorción Atómica
SUB PROBLEMAS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	MÉTODO
¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la cáscara de naranja tratada y no tratada?	Determinar las características fisicoquímicas de la cáscara de naranja tratada y no tratada.	Las características fisicoquímicas de la cáscara de naranja tratada biosorben mejor que de la cáscara no tratada.	X1=Características fisicoquímicas de la cáscara de naranja tratada y no tratada.	<ul style="list-style-type: none"> Longitud de onda 	<ul style="list-style-type: none"> cm⁻¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Espectroscopia de IR
¿Cómo verificamos que los parámetros del proceso actúan mejor en la cáscara de naranja tratada que en la cáscara de naranja no tratada?	Verificar que los parámetros del proceso actúan mejor en la cáscara de naranja tratada, que en la cáscara de naranja no tratada.	Los parámetros del proceso para la biosorción actúan mejor en la cáscara de naranja tratada, que en la cáscara de naranja no tratada.	X2=Parámetros del proceso para la biosorción de Zn+2.	<ul style="list-style-type: none"> pH Peso de biosorbente Tamaño de partícula del biosorbente. 	<ul style="list-style-type: none"> Escala g de biomasa mm 	<ul style="list-style-type: none"> Potenciómetro. Medición directa Medición directa.
¿Cuál el modelo cinético que describe el comportamiento del sistema?	Establecer el comportamiento del sistema mediante un modelo Cinético.	El comportamiento cinético para la biosorción de Zn ⁺² por la cáscara de naranja tratada está representada por el modelo Cinético Pseudo Segundo orden.	X3=Comportamiento cinético para la biosorción de Zn+2.	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> min 	<ul style="list-style-type: none"> Cronómetro Método analítico
¿Cuál sería la Isoterma que obedece a la biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada?	Establecer la isoterma que obedece a la biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada.	La isoterma que obedece a la biosorción es la de Langmuir.	X4=Isoterma de biosorción.	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo. Concentración de Zn+2. 	<ul style="list-style-type: none"> Min Mg de Zn+2/g de CN tratada. 	<ul style="list-style-type: none"> Cronómetro Método analítico

X. ANEXOS

10.1. Matriz de consistencia

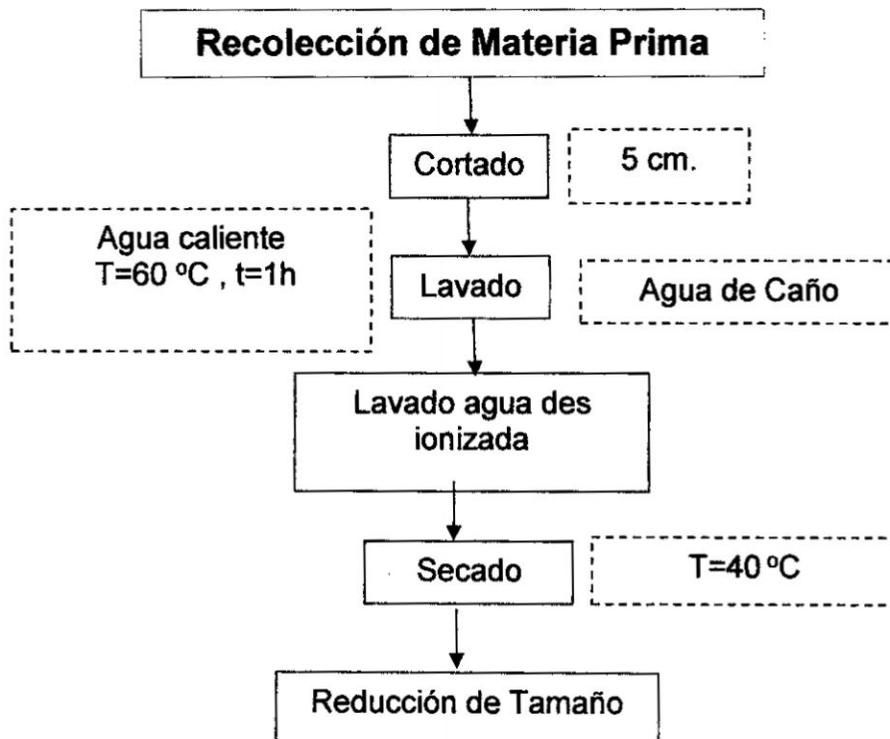
“BIOSORCIÓN DE IONES DE Zn (II) MEDIANTE LA CÁSCARA DE NARANJA (CITRUS SINENSIS) TRATADA”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	MÉTODO
¿Cuáles serán las condiciones para la biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada?	Establecer las condiciones para la biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada.	Las condiciones para biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada es posible a un pH de 4, tamaño de biosorbente de 1mm y rango de peso de biosorbente de 0.5 g y 1 g.	Y1= Evaluación de la biosorción de iones Zn (II).	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de remoción de iones Zn (II). 	<ul style="list-style-type: none"> Adimensional 	<ul style="list-style-type: none"> Absorción Atómica
SUB PROBLEMAS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	MÉTODO
¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la cáscara de naranja tratada y no tratada?	Determinar las características fisicoquímicas de la cáscara de naranja tratada y no tratada.	Las características fisicoquímicas de la cáscara de naranja tratada biosorben mejor que de la cáscara no tratada.	X1=Características fisicoquímicas de la cáscara de naranja tratada y no tratada.	<ul style="list-style-type: none"> Longitud de onda 	<ul style="list-style-type: none"> cm⁻¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Espectroscopia de IR
¿Cómo verificamos que los parámetros del proceso actúan mejor en la cáscara de naranja tratada que en la cáscara de naranja no tratada?	Verificar que los parámetros del proceso actúan mejor en la cáscara de naranja tratada, que en la cáscara de naranja no tratada.	Los parámetros del proceso para la biosorción actúan mejor en la cáscara de naranja tratada, que en la cáscara de naranja no tratada.	X2=Parámetros del proceso para la biosorción de Zn+2.	<ul style="list-style-type: none"> pH Peso de biosorbente Tamaño de partícula del biosorbente. 	<ul style="list-style-type: none"> Escala g de biomasa mm 	<ul style="list-style-type: none"> Potenciómetro. Medición directa Medición directa.
¿Cuál el modelo cinético que describe el comportamiento del sistema?	Establecer el comportamiento del sistema mediante un modelo Cinético.	El comportamiento cinético para la biosorción de Zn ⁺² por la cáscara de naranja tratada está representada por el modelo Cinético Pseudo Segundo orden.	X3=Comportamiento cinético para la biosorción de Zn+2.	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> min 	<ul style="list-style-type: none"> Cronómetro Método analítico
¿Cuál sería la Isoterma que obedece a la biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada?	Establecer la isoterma que obedece a la biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja tratada.	La isoterma que obedece a la biosorción es la de Langmuir.	X4=Isoterma de biosorción.	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo. Concentración de Zn+2. 	<ul style="list-style-type: none"> Min Mg de Zn+2/g de CN tratada. 	<ul style="list-style-type: none"> Cronómetro Método analítico

10.2. Tratamiento de la cáscara de naranja

TRATAMIENTO FÍSICO

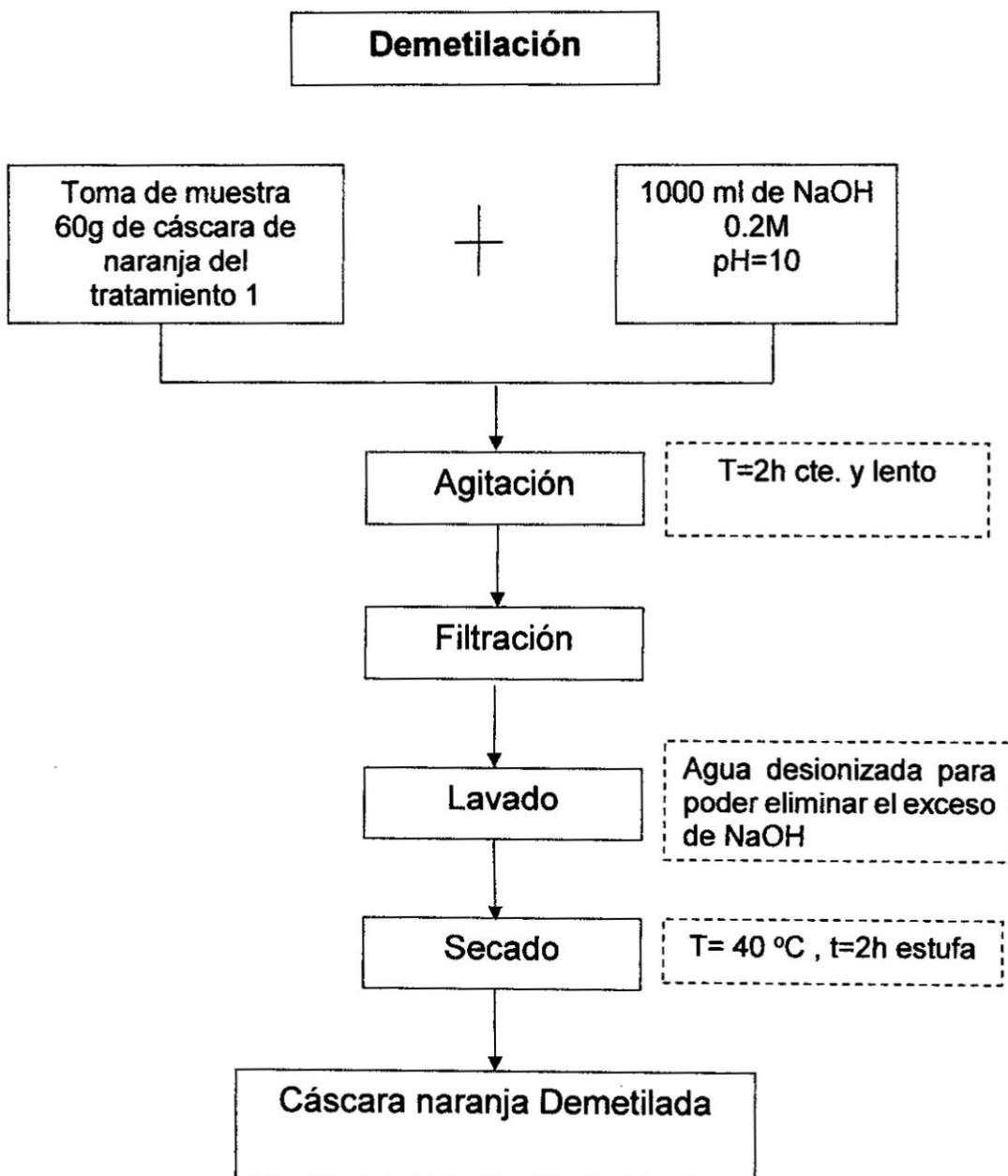
Tratamiento 1:



TRATAMIENTO QUIMICO

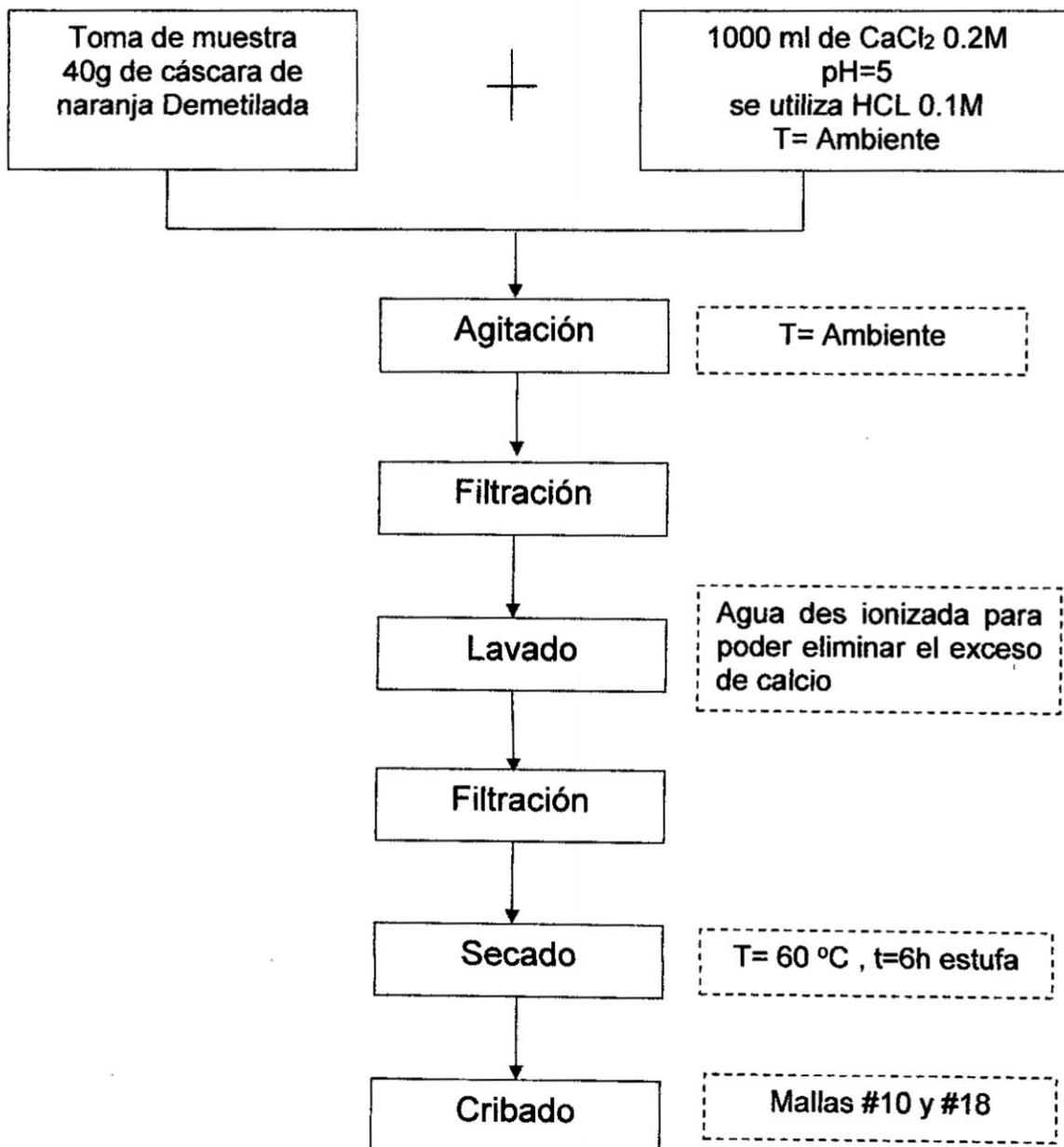
Tratamiento 2:

DEMETILACIÓN (de la pectina)



Reticulación (de la pectina)

Reticulación de la cáscara naranja Demetilada



10.3. Modelos cinéticos de Adsorción.

Los diferentes modelos cinéticos de adsorción que son comúnmente usadas son el modelo de Pseudo primer orden, Pseudo segundo orden, Elovich y difusión intraparticular. (Véase en el cuadro N° 2.1.)

MODELOS CINÉTICOS ADSORCIÓN

Modelo cinético	Ecuación	Parámetros
Pseudo-primer orden	$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t})$	q_e , (Capacidad de adsorción en equilibrio(mmol/g)) k_1 , (Constante de pseudo primer orden (min ⁻¹))
Pseudo-segundo orden	$q_t = \frac{t}{\left(\frac{1}{K_2 \cdot q_e^2}\right) + K_2/q_e}$	K_2 , (Constante de pseudo segundo orden (g/mmol.min)) q_e , Capacidad de adsorción en equilibrio(mmol/g)
Ecuación de Alovich	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \cdot \beta) + \frac{1}{\beta} \ln(t)$	α , (Constante de la ecuación de Elovich (mmol/g.min)) β , (Exponente en la ecuación de Elovich(g/mmol))
Difusión intraparticular	$q_t = k \cdot \sqrt{t}$	K , (Constante de difusión)

Fuente: Foo K.Y., Hameed B.H., 2011

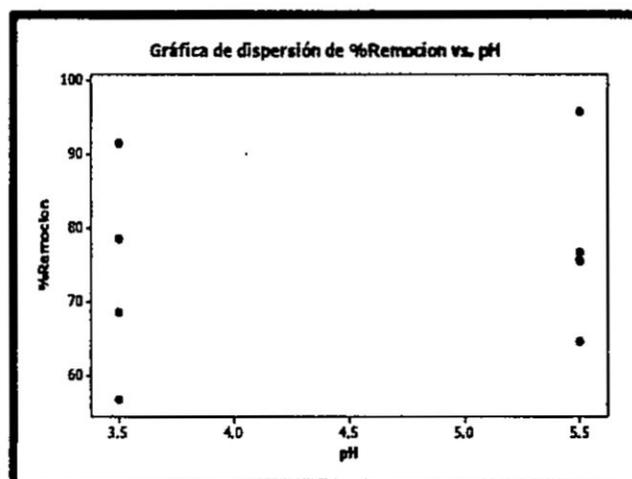
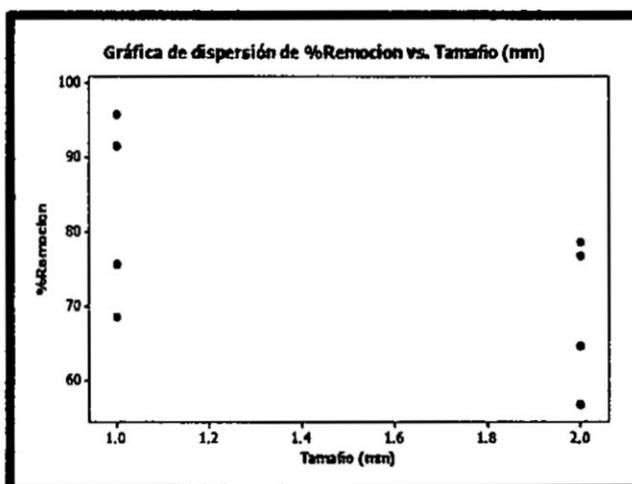
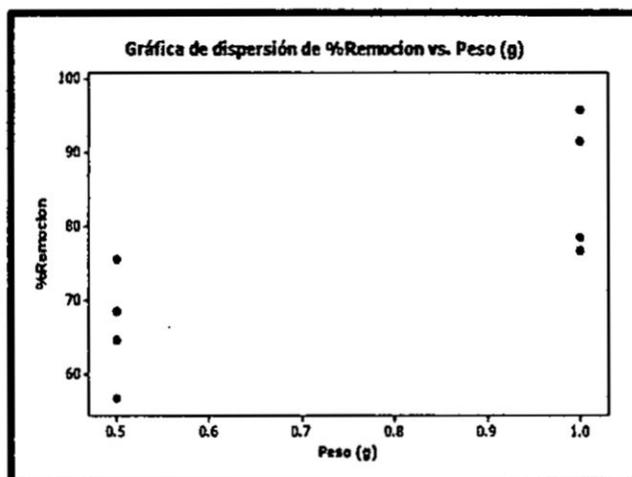
10.4. Cuadros de las bandas de absorción características para los grupos funcionales más comunes.

Grupo funcional	Banda (cm^{-1})
C-H	2960-2850
C=C-H	3100-3020
C=C	1680-1620
C \equiv C-H	3350-3300
R-C \equiv C-R'	2260-2100
Ar-H	3030-3000
	1600, 1500
OR-H	3650-3400
-C-O-	1150-1050
C=O	1780-1640
R ₂ N-H	3500-3300
-C-N-	1230-1030
-C \equiv N	2260-2210
RNO ₂	1540

10.5. Cuadro resumen de los Modelos Cinéticos

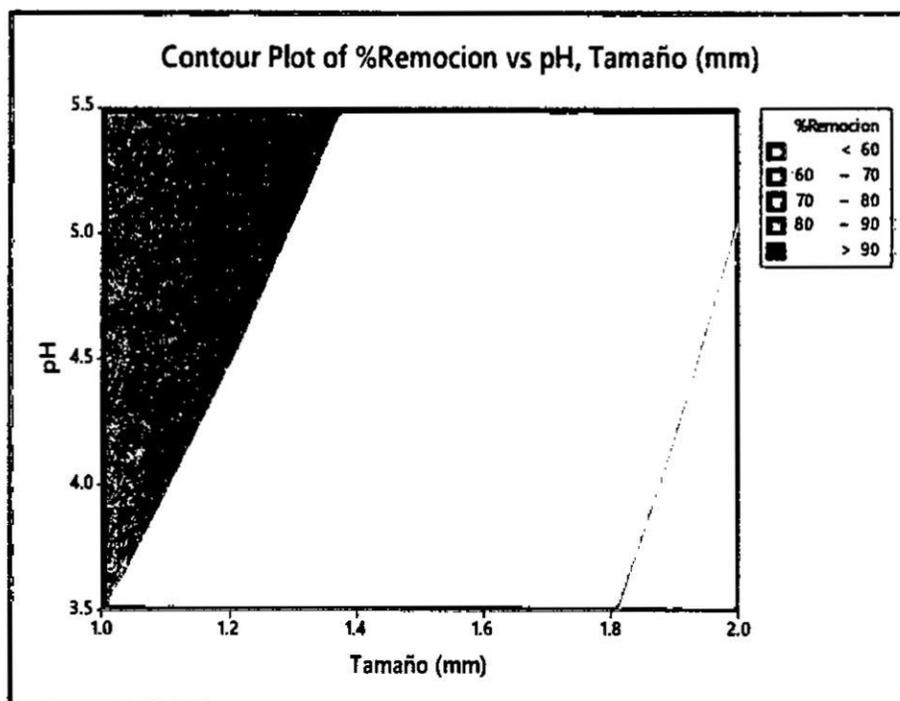
Modelo	Valores
<i>Pseudo primer orden</i>	
Q _e (mg/g)	5,5207
K ₁ (min ⁻¹)	0,0101
R ²	0,9511
<i>Pseudo segundo orden</i>	
Q _e (mg/g)	9,8814
K ₂ (g/mg.min)	0,0206
R ²	0,9995
<i>Elovich</i>	
α (mg/g. min)	11053,814
β (g/mg)	1.5740
R ²	0.9478
<i>Difusión Intraparticula</i>	
K	0.1128
R ²	0.8741

10.6. Gráfica de dispersión

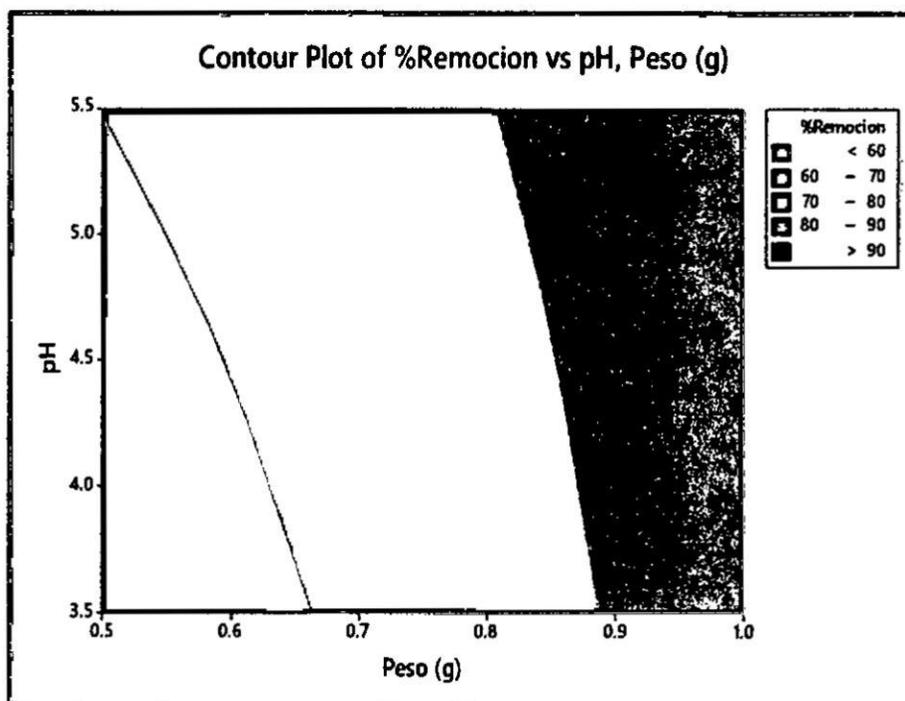


10.7. Gráfica de Interacción

- ❖ Menor Tamaño de partícula y mayor pH, MAYOR ADSORCIÓN



- ❖ Mayor peso del biosorbente y mayor pH, MAYOR ADSORCIÓN





INFORME TÉCNICO N° 1775 - 17 - LAB. 12

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : KATHERIN POMIANO BOCANEGRA
ELBA MONCADA AZABACHE
 - 1.2 DNI : 45870951
45841158
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 07 / 12 / 2017
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 11 / 12 / 2017
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 11 / 12 / 2017
3. SERVICIO SOLICITADO : ANÁLISIS DE INFRARROJO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 02 MUESTRAS DE CASCARA DE NARANJA

CODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
M1	CASCARA DE NARANJA SIN MODIFICAR
M2	CASCARA DE NARANJA MODIFICADA

- 4.2 TESIS : "EVALUACIÓN DE LA BIOSORCIÓN DE IONES Zn(II) MEDIANTE LA CASCARA DE NARANJA (CITRUS SINESIS) MODIFICADA"
5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 22 °C; Humedad relativa: 59%
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro Infrarrojo PERKINELMER, Frontier
8. RESULTADOS

8.1 ESPECTRO INFRARROJO DE LA CASCARA DE NARANJA SIN MODIFICAR

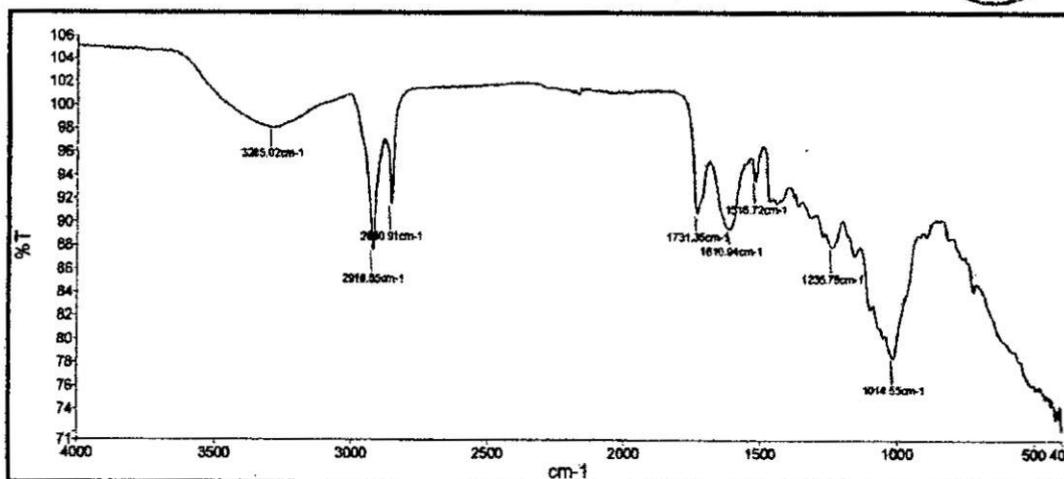


TABLA N°1: DATOS DEL ESPECTRO INFRARROJO DE LA CASCARA DE NARANJA

LONGITUD DE ONDA (cm ⁻¹)	GRUPO FUNCIONAL	RANGO DE LONGITUD DE ONDA (cm ⁻¹)
3285,02	Estiramiento de grupos hidroxilos	3340 - 3600
2918,55	Vibraciones C-H de estiramiento metilo, metileno y grupos metoxi	2923,78
2850,91	Vibraciones C-H de estiramiento metilo, metileno y grupos metoxi	2923,78
1731,35	Estiramiento carbonilo	1748,15
1610,94	Estiramiento C=C	1636,17
1516,72	C-H alifáticos y aromáticos	1444,43
1014,55	C-O de alcoholes y ácidos carboxílicos	1333,24-1022

8.2 ESPECTRO INFRARROJO DE LA CASCARA DE NARANJA MODIFICADA

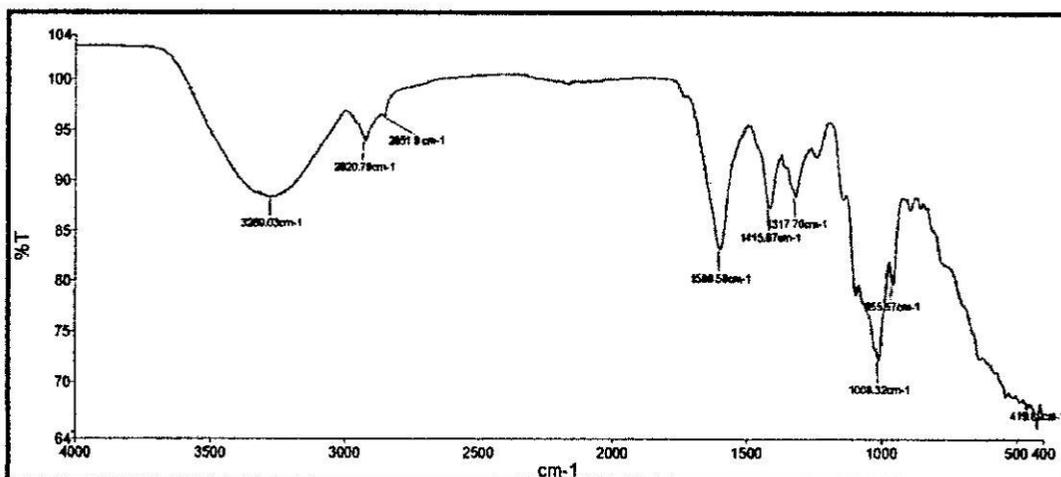
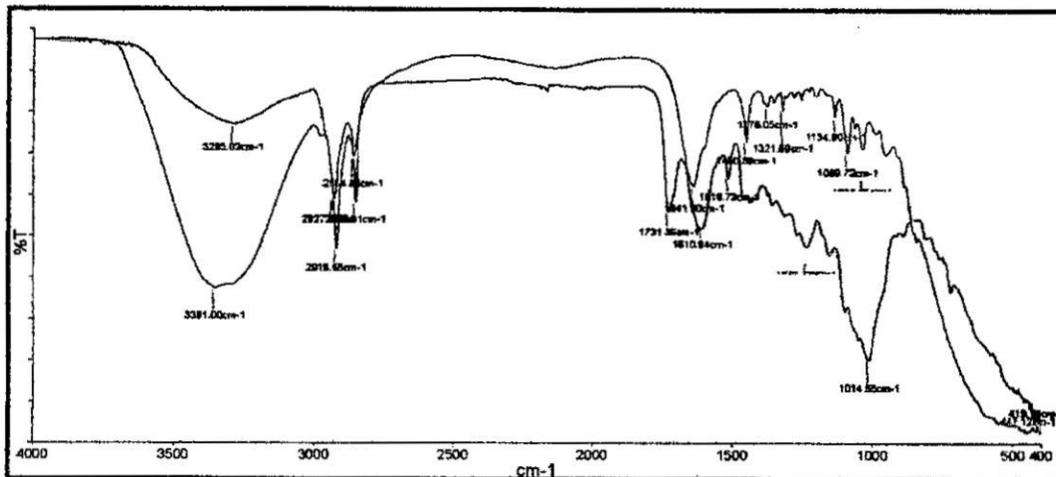


TABLA N°1: DATOS DEL ESPECTRO INFRARROJO DE LA CASCARA DE NARANJA MODIFICADA

LONGITUD DE ONDA (cm ⁻¹)	GRUPO FUNCIONAL	RANGO (cm ⁻¹)
3269,03	Estiramiento de grupos hidroxilos	3340 - 3600
2920,79	Vibraciones C-H de estiramiento metilo, metileno y grupos metoxi	2923,78
2851,90	Vibraciones C-H de estiramiento metilo, metileno y grupos metoxi	2923,78
1598,58	Estiramiento C=C	1636,17
1415,67	C-H alifáticos y aromáticos	1444,43
1008,32	C-O de alcoholes y ácidos carboxílicos	1333,24-1022



8.3 ESPECTROS INFRARROJOS SUPERPUESTOS



9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

Bach. Jesús Utano Reyes
Analista Químico
LABICER - UNI



M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Responsable del análisis
Jefe de Laboratorio
CQP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-17-2964

I. DATOS DEL SERVICIO

1. RAZÓN SOCIAL : GEHSIMA S.A.C.
2. DIRECCIÓN : JR. GEMINIS NRO. 915 INT. PIS1 URB. MERCURIO LIMA - LIMA -
LOS OLIVOS
3. PROYECTO : EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD BIOSORBENTE DE IONES ZINC
4. PROCEDENCIA : LABORATORIO FISICOQUÍMICA
5. SOLICITANTE : GEHSIMA S.A.C.
6. ORDEN DE SERVICIO N° : OS-17-0990
7. PLAN DE MONITOREO : NO APLICA
8. MUESTREO POR : EL CLIENTE
9. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2017-12-12

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1. MATRIZ : AGUA
2. NÚMERO DE MUESTRAS : 8
3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2017-12-05
4. PERÍODO DE ENSAYO : 2017-12-05 al 2017-12-12

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
Zinc(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 E. / Part 3111 B, 23 rd. 2017	Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Nitric Acid Digestion / Direct Air - Acetylene Flame Method


Marco A. Valencia Huerta
Ing. Químico
Gerente General
N° CIP: 152207

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

IV. RESULTADOS

ITEM			1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-17-3510	M-17-3511	M-17-3512
CÓDIGO DEL CLIENTE:			1	2	3
COORDENADAS UTM WGS 84:			NO INDICA		
MATRIZ:			AGUA		
GRUPO:			NO INDICA		
SUBGRUPO:			NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			NO APLICA		
MUESTREO	FECHA:		2017-12-05	2017-12-05	2017-12-05
	HORA:		11:00	11:00	11:00
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS		
Zinc (*)	mg/L	0.05	31.46	8.38	43.26

IV. RESULTADOS

ITEM			4	5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-17-3513	M-17-3514	M-17-3515
CÓDIGO DEL CLIENTE:			4	5	6
COORDENADAS UTM WGS 84:			NO INDICA		
MATRIZ:			AGUA		
GRUPO:			NO INDICA		
SUBGRUPO:			NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			NO APLICA		
MUESTREO	FECHA:		2017-12-05	2017-12-05	2017-12-05
	HORA:		11:00	11:00	11:00
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS		
Zinc (*)	mg/L	0.05	21.42	24.42	4.14

"L.C.M" : Límite de Cuantificación del Método

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

IV. RESULTADOS

ITEM			7	8
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-17-3516	M-17-3517
CÓDIGO DEL CLIENTE:			7	8
COORDENADAS UTM WGS 84:			NO INDICA	
MATRIZ:			AGUA	
GRUPO:			NO INDICA	
SUBGRUPO:			NO INDICA	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			NO APLICA	
MUESTREO	FECHA:		2017-12-05	2017-12-05
	HORA:		11:00	11:00
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS	
Zinc (*)	mg/L	0.05	35.38	23.30

"L.C.M" : Límite de Cuantificación del Método

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

"FIN DEL DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-17-3057

I. DATOS DEL SERVICIO

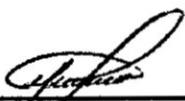
1. RAZÓN SOCIAL : GEHSIMA S.A.C.
2. DIRECCIÓN : JR. GEMINIS NRO. 915 INT. PIS1 URB. MERCURIO LIMA - LIMA -
LOS OLIVOS
3. PROYECTO : DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN Zn+2
4. PROCEDENCIA : LABORATORIO FISICOQUÍMICA
5. SOLICITANTE : GEHSIMA S.A.C.
6. ORDEN DE SERVICIO N° : OS-17-1039
7. PLAN DE MONITOREO : NO APLICA
8. MUESTREADO POR : EL CLIENTE
9. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2017-12-19

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1. MATRIZ : AGUA
2. NÚMERO DE MUESTRAS : 8
3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2017-12-13
4. PERÍODO DE ENSAYO : 2017-12-13 al 2017-12-19

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
Zinc(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 E. / Part 3111 B, 23 rd. 2017	Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Nitric Acid Digestion / Direct Air - Acetylene Flame Method



Marco A. Valencia Huerta
Ing. Químico
Gerente General
N° CIP: 152207

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

IV. RESULTADOS

ITEM			1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-17-3777	M-17-3778	M-17-3779
CÓDIGO DEL CLIENTE:			1	2	3
COORDENADAS UTM WGS 84:			NO INDICA		
MATRIZ:			AGUA		
GRUPO:			NO INDICA		
SUBGRUPO:			NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			NO APLICA		
MUESTREO	FECHA:		NO INDICA		
	HORA:		NO INDICA		
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS		
Zinc (*)	mg/L	0.05	16.46	8.16	2.44

IV. RESULTADOS

ITEM			4	5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-17-3780	M-17-3781	M-17-3782
CÓDIGO DEL CLIENTE:			4	5	6
COORDENADAS UTM WGS 84:			NO INDICA		
MATRIZ:			AGUA		
GRUPO:			NO INDICA		
SUBGRUPO:			NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			NO APLICA		
MUESTREO	FECHA:		NO INDICA		
	HORA:		NO INDICA		
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS		
Zinc (*)	mg/L	0.05	2.65	4.24	2.69

"L.C.M" : Límite de Cuantificación del Método

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

IV. RESULTADOS

ITEM			7	8
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-17-3783	M-17-3784
CÓDIGO DEL CLIENTE:			7	8
COORDENADAS UTM WGS 84:			NO INDICA	
MATRIZ:			AGUA	
GRUPO:			NO INDICA	
SUBGRUPO:			NO INDICA	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			NO APLICA	
MUESTREO			NO INDICA	
FECHA:			NO INDICA	
HORA:			NO INDICA	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS	
Zinc (*)	mg/L	0.05	12.80	20.84

"L.C.M" : Límite de Cuantificación del Método

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

"FIN DEL DOCUMENTO"