Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

EVALUACIÓN DE LA ADSORCIÓN DE PARTES ÓSEAS DE RES EN UN DISPOSITIVO DE FLUJO CONTINUO, PARA LA REMOCIÓN DE IONES DE CALCIO, MAGNESIO, ALUMINIO, HIERRO, SULFATO, CARBONATO Y CLORURO; A ESCALA DE LABORATORIO

Luis Carlos López Quintana
Asesorado por el Ing. Zenón Much Santos

Guatemala, marzo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE LA ADSORCIÓN DE PARTES ÓSEAS DE RES EN UN DISPOSITIVO DE FLUJO CONTINUO, PARA LA REMOCIÓN DE IONES DE CALCIO, MAGNESIO, ALUMINIO, HIERRO, SULFATO, CARBONATO Y CLORURO; A ESCALA DE LABORATORIO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS CARLOS LÓPEZ QUINTANA
ASESORADO POR EL ING. ZENÓN MUCH SANTOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordoñez
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE LA ADSORCIÓN DE PARTES ÓSEAS DE RES EN UN DISPOSITIVO DE FLUJO CONTINUO, PARA LA REMOCIÓN DE IONES DE CALCIO, MAGNESIO, ALUMINIO, HIERRO, SULFATO, CARBONATO Y CLORURO; A ESCALA DE LABORATORIO.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 11 de agosto de 2015.

Luis Carlos López Quintana

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 22 de octubre de 2015

Ingeniero
Víctor Monzón
Director Escuela de Ingeniería Química
Su Despacho

Por medio de la presente le informo que he revisado y aprobado el trabajo de tesis **"Evaluación de la Adsorción de Partes Óseas de Res en un Dispositivo de Flujo Continuo, para la Remoción de Iones de Calcio, Magnesio, Aluminio, Hierro, Sulfato, Carbonato y Cloruro; a Escala de Laboratorio"**, realizado por el estudiante **Luis Carlos López Quintana** con carné 2009-24519 el cual llena los requisitos exigidos de investigación tanto por la Facultad de Ingeniería como por la Universidad de San Carlos, por lo que lo someto a su consideración para que continúe con los tramites requeridos por la Escuela de Ingeniería Química.

Agradeciendo la atención a la presente, le saluda respetuosamente,

M. Sc. Ing. Zenón Much Santos
Asesor de Tesis
Jefe del Laboratorio Unificado
De Química y Microbiología Sanitaria
"Dra. Alba Tabarini Molina"

ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y RECURSOS HIDRAULICOS
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO UNIFICADO DE QUIMICA Y MICROBIOLOGIA SANITARIA "DRA. ALBA TABARINI MOLINA"
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

Guatemala, 26 de noviembre de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.088.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **019-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Luis Carlos López Quintana.**
Identificado con número de carné: **2009-24519.**
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DE LA ADSORCIÓN DE PARTES ÓSEAS DE RES EN UN DISPOSITIVO DE FLUJO CONTINUO, PARA LA REMOCIÓN DE IONES DE CALCIO, MAGNESIO, ALUMINIO, HIERRO, SULFATO, CARBONATO Y CLORURO; A ESCALA DE LABORATORIO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Zenón Much Santos.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Gerardo Ordoñez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

ESCUELA INGENIERIA QUIMICA
AREA
TRABAJOS
DE
GRADUACION
FIUSAC

C.c.: archivo

Ref.EIQ.TG.012.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de el estudiante, **LUIS CARLOS LÓPEZ QUINTANA** titulado: **"EVALUACIÓN DE LA ADSORCIÓN DE PARTES ÓSEAS DE RES EN UN DISPOSITIVO DE FLUJO CONTINUO, PARA LA REMOCIÓN DE IONES DE CALCIO, MAGNESIO, ALUMINIO, HIERRO, SULFATO, CARBONATO Y CLORURO; A ESCALA DE LABORATORIO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECTOR
ESCUELA
INGENIERÍA QUÍMICA
U. S. A. C.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director a.i.
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, marzo 2016

Cc: Archivo
WGAM/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 108.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **ELABORACIÓN DE LA ADSORCIÓN DE PARTES ÓSEAS DE RES EN UN DISPOSITIVO DE FLUJO CONTÍNUO, PARA LA REMOCIÓN DE IONES DE CALCIO, MAGNESIO, ALUMINIO, HIERRO, SULFATO, CARBONATO Y CLORURO; A ESCALA LABORATORIO,** presentado por el estudiante universitario: **Luis Carlos López Quintana,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

FACULTAD DE INGENIERÍA
DECANO

Guatemala, marzo de 2016

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Pueblo de Guatemala Por ser el objetivo al que todo sancarlista debe enfocarse, sin excluirnos, me refiero a los pueblos que día con día sufren los embates de la injusticia de las cúpulas corruptas de Guatemala, de lo cual, siendo meros observadores de eso, nos convertimos en cómplices de esa injusticia.

Mi madre Sandra Quintana, por su sacrificio y apoyo en todo momento, a pesar de las adversidades, un ejemplo de vida para mi persona.

Mi padre Jorge López, por sus consejos y apoyo incondicional.

Mi hermano Jorge López, por ser una guía y por su apoyo.

Mi pareja Fernanda Estrada, por su comprensión y ser más que una pareja, una compañera a lo largo de nuestra vida.

Familia Por forjar mi persona desde el nacimiento, soy vivo reflejo y esto es el resultado de sus consejos, regaños y muestras de cariño;

especialmente: Byron Solórzano, Irasema de Solórzano, Otto Quintana, Etelvina Corzo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Alma máter que me vio entrar con un sueño y ahora me ve salir, con ese sueño cumplido, esperando que esta siga siendo la dadora del conocimiento y abanderada de la academia.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Mis amigos de la Facultad	José Pérez, María Díaz, Clara Domínguez, entre otros.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES V
LISTA DE SÍMBOLOS VII
GLOSARIO IX
RESUMEN XI
OBJETIVOS XIII
Hipótesis XIV
INTRODUCCIÓN XV

1. ANTECEDENTES 1

2. MARCO TEÓRICO 3
2.1. Contaminación 3
2.1.1. Contaminación hídrica 3
2.1.2. Contaminación industrial 4
2.1.2.1. Tratamientos de aguas de origen industrial 5
2.2. Industria cárnica 6
2.2.1. Mataderos o rastros 6
2.2.2. Desechos en la industria cárnica 7
2.2.2.1. Huesos de res 8
2.3. Adsorción 8
2.3.1. Adsorción química 9
2.3.2. Adsorción física 9
2.3.3. Adsorción iónica 9

2.3.4. Adsorción en orocesos de descontaminación hídrica....10
2.3.5. Medición de adsorción 10

3. DISEÑO METODOLÓGICO....13
3.1. Variables 13
3.1.1. Variables de operación....13
3.1.1.1. Temperatura....13
3.1.1.2. Presión 13
3.1.1.3. Volumen de control 14
3.1.1.4. Área superficial....14
3.1.2. Variables de proceso....15
3.1.2.1. Reactivos de analísis 15
3.1.2.2. Concentración de teactivos 16
3.1.2.3. Número de tamiz 16
3.2. Delimitación de campo de estudio 17
3.2.1. Industria cárnica....17
3.2.2. Proceso 17
3.3. Recursos humanos disponibles 18
3.4. Recursos materiales disponibles....18
3.4.1. Equipo 18
3.4.2. Cristalería....19
3.4.3. Reactivos y materia prima....20
3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa....22
3.5.1. Técnica cualitativa....22
3.5.2. Técnica cuantitativa....22
3.6. Recolección y ordenamiento de la información....23
3.6.1. Determinación de las concentraciones de los reactivos de carácter catiónico empleados....24

3.6.1.1. Determinación de calcio 25
3.6.1.2. Determinación de magnesio 25
3.6.1.3. Determinación de aluminio 26
3.6.1.4. Determinación de hierro 26
3.6.2. Determinación de las concentraciones de los reactivos de carácter aniónico empleados..... 27
3.6.2.1. Determinación de sulfato 27
3.6.2.2. Determinación de carbonato..... 27
3.6.2.3. Determinación de cloruro..... 29
3.7. Análisis estadístico 29

4. RESULTADOS 33

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... 37

CONCLUSIONES 41
RECOMENDACIONES..... 43
BIBLIOGRAFÍA..... 45
APÉNDICES 47
ANEXOS..... 53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Diagrama de recolección y ordenamiento de los datos para el proceso general 24
2. Eficiencia de la adsorción en reactivos aniónicos. 33
3. Eficiencia de la adsorción en reactivos catiónicos. 33
4. Adsorción relativa al área superficial del material adsorbente, para calcio y magnesio. 34
5. Adsorción relativa al área superficial del material adsorbente, para hierro y aluminio. 35
6. Adsorción relativa al área superficial del material adsorbente, para aniónicos. 36
7. Esquema de la elaboración práctica del estudio. 60
8. Requisitos académicos. 61
9. Diagrama Ishikawa 62

TABLAS

I. Datos medidos y resultados para la obtención del área superficial empleada en los dispositivos de adsorción. 15
II. Concentraciones iniciales de cada solución. 16
III. Cuadro de análisis de variables. 17
IV. Relaciones de alcalinidad para componentes e indicadores. 28
V. Valores de media, desviación estándar y varianza; para el estudio del grupo de catiónicos. 30

VI. Valores de media, desviación estándar y varianza; para el estudio del grupo de aniónicos. 31
VII. Límites de exclusión de resultados, mediante prueba de desviación estándar. 31
VIII. Datos para realizar la comparación entre los grupos aniónico y catiónico, mediante la prueba F o método de Fisher. 32
IX. Adsorción relativa al área superficial del material adsorbente, para reactivos catiónicos. 34
X. Adsorción relativa al área superficial del material adsorbente, para reactivos aniónicos. 35
XI. Análisis de diferencia significativa en la adsorción analizada, entre reactivos de carácter catiónico y aniónico. 36

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
atm	Atmósfera, medida de presión
σ	Desviación estándar
°C	Grados Celcius de temperatura
L	Litro
m^2	Metros cuadrados
mg	Miligramos
mL	Mililitro
mmHg	Milimetro de mercurio
s	Varianza

GLOSARIO

Adsorbato Sustancia adsorbida en la superficie de un adsorbente. El adsorbato se adhiere al adsorbente por un proceso de adsorción.

Adsorbente Sustancia, generalmente sólida y esponjosa, con gran capacidad de adsorción.

Aniónico Ión con carga o carácter negativo.

Catiónico Ión con carga o carácter positivo.

Contaminante Sustancia que se encuentra en un medio al que no pertenece o se encuentra en niveles que pueden causar efectos negativos en el ambiente y la salud.

Industria Conjunto de operaciones materiales ejecutadas para la obtención, transformación o transporte de uno o varios productos.

Ion Átomo o conjunto de átomos que por pérdida o ganancia de uno o más electrones, adquiere carga eléctrica.

Rastro Sitio donde se mata y desuella el ganado destinado al abasto público.

Res	Animal cuadrúpedo, destinado al área doméstica, como el ganado vacuno.
Tamiz	Dispositivo con aberturas determinadas para clasificar material mediante el tamaño de partícula del mismo.

RESUMEN

Se investigó si el fenómeno fisicoquímico de adsorción se daba en huesos de res molidos, dentro de un dispositivo cilíndrico de flujo continuo, sin algún proceso de activación o tratamiento previo, más que una limpieza para eliminar grasas y otras materias orgánicas que pudieran afectar el estudio. La molienda de los huesos de res, se realizó en la sección de Maderas del Centro de Investigación de Ingeniería, y las pruebas y determinaciones de reactivos, se realizó en el Laboratorio Unificada de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina, Facultad de Ingeniería, Usac.

Para aumentar la probabilidad de obtener resultados positivos, respecto a la adsorción, se emplearon siete reactivos, de carácter catiónico (aluminio, calcio, hierro y magnesio) y aniónico (cloruro, sulfato y carbonato). considerando concentraciones iniciales de reactivo, bajo criterios de presencia de los mismos en el agua y la permisividad de cada método de determinación. La determinación de cada reactivo se fundamentó en el manual Standard Methods[1], este presenta métodos de determinación aceptados internacionalmente para los reactivos empleados y bajo las condiciones en las que se trabajó.

La adsorción dio resultados positivos en todas las pruebas, con los reactivos de carácter catiónico se obtuvieron los mayores porcentajes de adsorción (hierro: 90 %) y en los aniónicos los menores (cloruro: 12 %); al

[1] APHA, AWWA y WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* p. 97.

realizar un análisis de electronegatividad de cada ión estudiado, es posible considerar mayor adsorción iónica, en referencia a los otros tipos de adsorción.

Los resultados fueron diversos dentro de cada grupo y entre cada grupo de reactivos, pero a pesar de ello, se identificó un mayor efecto de adsorción en el grupo de reactivos catiónicos, donde se demostró mediante la prueba estadística de Fisher o prueba F, que existe una diferencia significativa entre los resultados de cada grupo, con un 95 % de confianza.

.

OBJETIVOS

General

Determinar la capacidad de adsorción de los huesos de res, sin procesos de activación previos.

Específicos

1. Obtener el porcentaje de adsorción de los huesos de res con reactivos de carácter catiónico, mediante su determinación iónica: calcio, magnesio, hierro y aluminio.

2. Determinar el efecto de los tamaños de partícula empleados (número de tamiz: 8, 10 y 16) en el fenómeno de adsorción.

3. Estimar el porcentaje de adsorción de los huesos de res con reactivos de carácter aniónico, mediante su determinación iónica: sulfato, carbonato y cloruro.

4. Realizar la comparación de los porcentajes de adsorción entre los dos grupos de reactivos empleados.

5. Determinar la relación entre área superficial y adsorción, de cada solución empleada.

Hipótesis

Las partes óseas de res, de propósito cárnico, pueden ser utilizadas como agente adsorbente, posterior a un secado, limpieza, molienda y tamizado de la materia mencionada, donde el proceso de adsorción sería útil para remover contaminantes de tipo catiónico y aniónico.

Hipótesis nula:

H_o: existe alguna diferencia significativa entre la concentración inicial y final de las soluciones de carácter catiónico y aniónico, evaluadas en el proceso de adsorción.

Hipótesis alternativa:

H_a: no existe alguna diferencia significativa entre la concentración inicial y final de las soluciones de carácter catiónico y aniónico, evaluadas con el proceso de adsorción.

INTRODUCCIÓN

El tema ambiental va tomado fuerza en los últimos años, esto debido a que durante la industrialización no se ha realizado un enfoque en las consecuencias de tal efecto; las consecuencias no fueron visibles inicialmente, pero al desarrollarse las industrias, la contaminación aumentó de manera exponencial a tal grado que ya no era posible ocultar tales problemas.

El problema principal en este caso, fue y ha sido la contaminación desmedida de recursos hídricos, por parte de industrias, hogares e instituciones, Guatemala en contexto, posee normas débiles en cuanto a estos temas, donde aunado a esto, el sistema de justicia cuenta con agentes públicos corruptos, resulta en un paraíso para las empresas con ausencia de valores, siendo la mayoría, lamentablemente.

Esta situación hace que los esfuerzos ambientales se concentren en el vital líquido, donde las plantas de tratamiento “al final del tubo” toman importancia, ya que la empresa debe comprometerse a desechar el recurso hídrico, en las mismas condiciones que ingresaron a la empresa.

Reflejo de lo descrito, es ver instituciones públicas, que deberían estar llamadas a ejemplificar valores y buenas prácticas, contaminando igual o más que instituciones privadas, ejemplo de esto son los rastros o mataderos, donde cada municipalidad debe contar con un rastro municipal para el uso público, pero estos carecen de normas ambientales para la disposición de los desechos, por lo que estos terminan en un río, generalmente.

Parte importante de esa contaminación, son los huesos de res, que al ser material orgánico, no representan peligro, con una degradación natural, pero debido a la sobrepoblación, los huesos de res se desechan en cantidades exageradas, ocasionando así una contaminación a los alrededores de los rastros.

Analizando está situación, se planteó la investigación para revertir este carácter contaminante de los huesos de res y poder obtener un uso efectivo de los mismos en otras áreas; este estudio se centra en la utilización de los mismos como un medio filtrante de adsorción, para adsorber reactivos que son contaminantes comunes en los recursos hídricos de Guatemala, esto con el fin de verificar si el fenómeno de adsorción se realiza o no, con los huesos simplemente secos, sin algún tratamiento previo de activación para aumentar su poder de adsorción.

La adsorción a evaluar se hará en un dispositivo de flujo continuo, esto por el posible uso del mismo en hogares, instituciones, empresas con operaciones de flujo continuo, donde un dispositivo de efecto estático generaría lentitud en procesos de producción y una mayor inversión por la infraestructura necesaria para ese propósito.

1. ANTECEDENTES

La búsqueda de materias que ayuden a una descontaminación de medios que han sido afectados por diferentes actividades industriales, domésticas u otro tipo, se ha incrementado en los últimos años, debido a una mayor percepción en los efectos de dicha contaminación, lo que ha provocado preocupación en la comunidad científica. Para esto se han realizado pruebas previas a materiales y de esta manera analizar la aplicación de los mismos en actividades pro-ambientales. La mayoría de estudios privilegia la descontaminación de cuerpos de agua como: ríos, lagos, lagunas, flujos de agua subterráneos, entre otros que han sido contaminados por el hombre.

En este caso, el estudio se centra en el análisis de propiedades de adsorción de huesos de res para reactivos que generalmente forman parte de contaminantes comunes en la industria, lo que representa una etapa previa a estudios específicos que consideren la aplicación de los resultados obtenidos.

El estudiante de maestría, Omar Órnelas Dávila junto con los doctores María de la Paz Elizalde González y Martín Marino Dávila Jiménez del área de Ciencias Químicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) de México, realizaron una investigación acerca de las propiedades de adsorción del hueso o semilla de aguacate en aguas residuales, mediante un previo tratamiento químico aplicado a las semillas, obteniendo resultados satisfactorios, incluso, creando una patente internacional (Estados Unidos de América, México y España); este estudio tuvo lugar entre 2006 y 2009.

Los investigadores: Yesid S. Murillo, Liliana Giraldo y Juan Carlos Moreno, realizaron un estudio de la cinética que acompaña la adsorción de huesos de res, calcinando y tratando con nitrógeno gaseoso (N_2), donde dicha calcinación y posterior tratamiento con nitrógeno produce una activación de dicha materia, provocando un proceso de adsorción hacia el componente 2,4-di-nitrofenol. Dicho estudio tuvo lugar en la Universidad Nacional de Colombia, finalizando el estudio en el 2010 y publicado en el 2011.

El ingeniero Químico Télam Javier Gómez del Río, del área de Química de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) de Argentina, ha realizado investigaciones acerca de la adsorción de los huesos de res respecto a metales pesados, obteniendo resultados positivos, los cuales han alentado a otros investigadores a poder aplicar los huesos de res en filtros para aguas subterráneas en dicho país, donde la industria metal-mecánica es considerable y la mayoría de desechos de esta industria son metales pesados que contaminan los cuerpos de agua; el estudio anterior se publicó en el 2012.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Contaminación

La contaminación refiere a cualquier componente orgánico o no orgánico, que se vierta o deseche en un área de manera excesiva o la sola presencia del mismo desecho por no ser nativo del área. Es decir, que cualquier componente puede ser un contaminante y cuando se dice componente, se refiere a metales pesados, soluciones de reactivos, grasas animales, cadáveres animales, entre otros.

La evolución de las distintas industrias ha influido proporcionalmente en la contaminación del medio ambiente, donde la evolución ha sido guiada por la presión productiva o utilitaria de las empresas, más no ha evolucionado en los factores de desechos. La cultura contaminante se da a nivel general, donde la responsabilidad de los niveles contaminantes no solo debe recaer en la industria, sino en todos, es decir, industria y hogares.

2.1.1. Contaminación hídrica

La contaminación se puede clasificar respecto a los desechos o al medio que estos desechos pueden afectar, en este caso se centrará el medio del agua.

Uno de los medios más propensos a la contaminación es el agua, debido a que este medio tiene la capacidad de arrastrar los desechos mediante cuencas o divisiones de las mismas, comúnmente llamados ríos; por esta

razón, las empresas poseen tubos de desechos de manufactura que depositan los contaminantes directamente en los ríos. Además de las empresas, muchas comunidades utilizan arroyos y ríos como alcantarillado de aguas negras.

Latinoamérica junto con África son dos regiones que poseen una infraestructura inadecuada en todo nivel, por lo que la población tiene pocas opciones o solamente tiene una opción al momento de disponer de sus desechos, como heces fecales y basura doméstica. Aunque esto se da porque muchas poblaciones o comunidades carecen de alcantarillado para aguas negras y un proceso de disposición de cualquier desecho.

2.1.2. Contaminación industrial

Las industrias poseen procesos de manufactura que requieran de agua, aire y otros recursos, además de las materias que son procesadas, lo que se traduce en la captación de agua para el proceso y el desecho del recurso posterior al proceso de producción, lo que resulta en agua contaminada sí esta no fue tratada antes de su desecho.

Los empresarios ven un tratamiento de desechos como una pérdida para la empresa, por esta razón, las empresas no dedican esfuerzos a este factor de contaminación. En la mayoría de países latinoamericanos, las leyes sobre las empresas respecto a la contaminación no existen o no poseen un carácter de aplicación prioritario, por esta razón las empresas no aplican dichas leyes.

El carácter jurídico sobre la contaminación industrial debería quedar en un lugar secundario donde prevalecería el factor moral como responsabilidad social, esto debido a la importancia que tienen los ríos y los diferentes cuerpos de agua en los diferentes ecosistemas y especialmente en las poblaciones que

se abastecen de los mismos, para poder llevar una vida con los recursos necesarios.

2.1.2.1. Tratamientos de aguas de origen industrial

El tratamiento de aguas contaminadas de origen industrial es un proceso particular para cada tipo de industria, ya que cada tipo de industria desecha diferentes componentes, dentro de los tratamientos de aguas de origen industrial, se pueden clasificar dos tipos, estos son:

- Tratamientos físicoquímicos
- Tratamientos biológicos

A pesar que los tratamientos mencionados son distintos, muchas veces se aplican de manera secuencial, es decir, se inicia con un tratamiento físicoquímico y se finaliza con un tratamiento biológico, o viceversa según los requerimientos.

Los tratamientos físicoquímicos consisten en eliminar o separar materia blanda o dura dentro del agua mediante filtros y membranas, también se ocupan de la floculación o precipitación mediante compuestos floculantes. Además de los procesos mencionados, es posible aplicar procesos más profundos, como un proceso de cloración para eliminar patógenos que no se hayan eliminado con anterioridad y un proceso de filtrado con carbón activado, sí los requerimientos así lo exigen.

Los tratamientos biológicos se encargan de eliminar la mayor cantidad de materia orgánica y organismos o microorganismos dentro de los cuerpos de agua desechados, para esto se aplican diversos procesos donde generalmente

se realiza un filtrado y extracción de lodos, para luego airear el cuerpo de agua para que se desarrollen los organismos vivos y puedan digerir la materia orgánica, para que esta sedimente junto con los organismos y así se puedan extraer de una mejor manera.

2.2. Industria cárnica

La industria cárnica es la que se ocupa de la producción de carne de distinto origen, como carne de ganado porcino, bovino, equino y otros; donde esta industria comprende la crianza, procesamiento y distribución de las carnes; en algunos casos la crianza se reemplaza por la cacería.

La industria cárnica se ve favorecida por el casi 84 % de la población mundial que consume productos de esta industria, siendo el resto vegetarianos y veganos. Donde se puede observar una tendencia decreciente del porcentaje mencionado, pero la demanda aún es enorme, por lo que esta industria tiene garantías de continuidad.

2.2.1. Mataderos o rastros

La industria cárnica requiere que los animales sean matados para poder procesarlos, la etapa de matar a los animales y hasta cierto punto dar una limpieza superficial, se da en instalaciones llamadas “mataderos” o rastros, estas instalaciones deben de contar con límites de contaminación para lograr un proceso higiénicamente adecuado.

En estas instalaciones se lleva a cabo el proceso de lavado del animal, se mata al animal mediante cortes en venas principales para un desangrado

rápido, extracción de vísceras, extracción de huesos y envío al siguiente proceso.

Lo mencionado anteriormente representa un matadero o rastro ideal, en el caso de la región latinoamericana, la mayoría de los rastros son públicos y bajo condiciones insalubres, donde la industria privada se encarga de la crianza y posee sus propios mataderos.

2.2.2. Desechos en la industria cárnica

La industria cárnica como todas las industrias, al momento de procesar la materia prima, se obtienen componentes que no poseen alguna utilidad posterior, por esta razón se desechan de forma correcta o incorrecta.

El producto de la industria cárnica, como su nombre lo indica, es la carne, por esta razón los subproductos como la sangre, huesos, heces fecales, algunas vísceras, entre otros son considerados como desechos, procediendo así a su respectivo procedimiento de desecho. El procedimiento puede ser muy adecuado, como la creación de abono a partir de los mismos, hasta ser totalmente inadecuados como desecharlos en ríos o simplemente enterrarlos.

Debido a la demanda que esta industria tiene a nivel mundial, la cantidad de desechos es cada vez mayor, siendo preocupantes los niveles de contaminación por causa de este tipo de producción.

Los desechos son menos aprovechados en instalaciones como los mataderos o rastros, ya que en estos estos lugares no se ejerce presión para una adecuada disposición de los desechos, por lo que simplemente se entierran o se desechan en ríos.

2.2.2.1. Huesos de res

Los huesos de res son unos de los mayores desechos en la industria cárnica, debido a su inutilidad en procesos posteriores al destace y al limitado o nulo consumo de los mismos, a pesar de su riqueza en fósforo, calcio, magnesio, flúor, entre otros.

La forma de desecho de los huesos, generalmente, es mediante cuerpos de agua, se entierran en lugares no permitidos o se envían a algún relleno sanitario, contribuyendo así con las miles de toneladas diarias que se desechan.

2.3. Adsorción

La adsorción es un fenómeno fisicoquímico que es estudiado por la rama denominada: química de superficies; el estudio de la adsorción comprende las interacciones que existen entre dos componentes llamados: adsorbato y adsorbente, donde el primero se adhiere al segundo mediante interacciones que pueden ser de tres tipos: adsorción química, adsorción física y adsorción iónica.

Las características que debe tener el adsorbato y adsorbente son dependientes del proceso de adsorción que se desee, pero hay factores en el fenómeno de adsorción que no se pueden obviar, algunos factores son:

- Temperatura
- Selectividad
- Área superficial activa del adsorbente
- Tamaño de partícula

2.3.1. Adsorción química

Esta ocurre cuando el adsorbato y adsorbente generan una interacción que resulta en un enlace fuerte, lo que genera una adherencia del adsorbato al adsorbente rígida. Para que se de este tipo de interacción se debe considerar la afinidad de los compuestos que contenga el adsorbente para que se puedan generar los enlaces.

2.3.2. Adsorción física

También llamada, adsorción por interacción de Van der Waals, debido a que la razón de la adherencia entre adsorbente y adsorbato, es por interacciones de Van der Waals. La interacción generada por fuerzas de Van der Waals, es menos fuerte que un enlace químico, por esta razón la adherencia es dinámica, es decir, el adsorbato se mueve a lo largo de toda la superficie adsorbente.

2.3.3. Adsorción iónica

Como su nombre lo indica, este tipo de adsorción se da por interacciones iónicas entre el adsorbente y adsorbato; el tipo de interacción en esta adsorción, exige características iónicas particulares en los dos componentes.

La adsorción se puede dar entre diferentes tipos de materia, donde el adsorbato puede ser líquido o gaseoso, pero el adsorbente debe ser sólido y poseer ciertas características que favorezcan la adherencia del adsorbato. La razón de la limitación del adsorbente, se debe a que de otra manera se estaría dando una interacción en forma de solución, es decir, se estaría dando una disolución entre los dos agentes.

2.3.4. Adsorción en procesos de descontaminación hídrica

Se ha investigado y aplicado diversos procesos descontaminantes en cuerpos de agua, pero estos requieren de procesos de manufactura que revierten el proceso descontaminante que realizan en contaminante, un ejemplo de lo mencionado, filtros de membranas, este tipo de filtros requieren de una manufactura donde se modifica la materia prima, se debe producir la estructura y ensamblar las piezas, con lo cual se ha revertido totalmente el proceso descontaminante.

Por la razón mencionada en el párrafo anterior, los huesos han sido estudiados como una alternativa a otros dispositivos de descontaminación hídrica, donde estos poseen características que pueden favorecer la adsorción de cierto tipo de componentes debido a la composición química de los huesos.

2.3.5. Medición de adsorción

La adsorción, generalmente, se puede estudiar de dos maneras, desde un enfoque químico-analítico o un enfoque fisicoquímico; donde un enfoque fisicoquímico estudiaría características como el calor que genera el proceso de adsorción mediante isotermas, área superficial de contacto entre adsorbente y adsorbato, competitividad de adsorbatos en la adsorción, entre otros. Mientras que el enfoque químico-analítico estudiaría la cantidad de adsorbato que se adhirió al adsorbente, esto mediante determinaciones analíticas según lo requiera el compuesto en cuestión.

De esta manera, la medición en un enfoque químico-analítico, consiste en evaluar la cantidad de adsorbato retenida mediante determinaciones analíticas, siempre que las propiedades de los componentes que interactúen lo permita, en

especial el adsorbato. Siendo la medición químico-analítica un factor práctico dentro de la adsorción y el enfoque fisicoquímico un factor teórico y de carácter predictivo, es decir, este se encarga de predecir la interacción entre un adsorbente y adsorbato, con base en la predicción interactiva y otros datos como el área superficial, densidad, porosidad, viscosidad del adsorbato, entre otros, se obtiene un valor teórico de la adsorción entre los dos componentes.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Para la evaluación de adsorción mediante partes óseas de res sin previo proceso de activación, se consideraron las siguientes variables:

3.1.1. Variables de operación

Se define como las características o atributos que admiten diferentes valores. Existen muchas formas de clasificación de las variables, no obstante, en esta sección se clasificarán de acuerdo con el sujeto de estudio y al uso de las mismas.

3.1.1.1. Temperatura

La temperatura a la que se realizó el estudio fue de 23 °C en promedio, oscilando entre 22 y 24 °C, al momento de realizar las pruebas. Y la temperatura de las soluciones, se determinó en 21 °C, es decir, la temperatura a la que se dio el fenómeno de adsorción fue a dicha temperatura.

3.1.1.2. Presión

La presión a la que se realizó el estudio, fue de 639,54 mmHg, la cual se considera normal para la ciudad de Guatemala. Debido a la investigación, esta se anotó como un dato más, sin darle una consideración mayor, ya que no influyó en el fenómeno que fue parte de estudio.

3.1.1.3. Volumen de control

El volumen empleado por prueba fue de 1 000 mL, se realizaron 3 pruebas por cada reactivo, considerando 7 reactivos, se obtuvo un total de 21 muestras analizadas, dando 21 000 mL.

3.1.1.4. Área superficial

El área superficial es dependiente de la cantidad de partes óseas empleada y del tamaño de partícula, debido a que a menor tamaño de partícula, mayor es el área superficial. Se empleó un pequeño cálculo para determinar el área superficial empleada. Siento este cálculo un aproximado, se asumió lo siguiente:

- Partículas circulares
- Peso individual homogéneo

El procedimiento fue el siguiente:

- Se tomaron 6 partículas de tamiz núm. 8.
- Empleando papel mantequilla, se midió la masa en una balanza digital.
- El resultado se promedió y se realizó la interpolación para la masa empleada en los dispositivos.
- Se realizó la correlación entre la masa individual interpolad y la masa total empleada por dispositivo, así se obtuvo el área superficial aproximado.
- Se repitió el procedimiento con los tamices núm. 10 y 16.

La siguiente tabla refleja los datos y resultados del área superficial aproximada, empleada en cada dispositivo.

Tabla I. **Datos medidos y resultados para la obtención del área superficial empleada en los dispositivos de adsorción**

Tamiz		Medición		Interpolación			Área superficial total por dispositivo (m^2)
	Área superficial individual (m^2)	Partículas	Masa (g)	Masa individual (g)	Masa empleada por dispositivo (g)	Área superficial por dispositivo (m^2)	
Núm. 8	0,0000175	6	0,1279	0,0213	140,00	0,1150	0,4346
Núm. 10	0,0000126	6	0,0619	0,0103	61,00	0,0746	
Núm. 16	0,0000044	6	0,0233	0,0039	217,14	0,2450	

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables de proceso

Información contextual que se crea con cada instancia de un proceso. No se modelan visualmente, pero pueden servir para identifica en que instancia de un proceso debemos efectuar una tarea.

3.1.2.1. Reactivos de análisis

Se emplearon dos grupos de reactivos, catiónicos y aniónicos, divididos de la siguiente manera:

- Catiónicos: cloruro cálcico, cloruro magnésico, sulfato alumnínico, cloruro férrico.

- Aniónicos: sulfato sódico, carbonato sódico, cloruro sódico.

3.1.2.2. Concentración de reactivos

Los reactivos tuvieron una concentración en solución determinada al inicio del proceso, pero al finalizar las pruebas la concentración de cada reactivo fue variable, la cual se analizó para medir el grado o porcentaje de adsorción. Las concentraciones iniciales de las siete soluciones correspondientes, se determinaron acorde a concentraciones comunes en aguas contaminadas, y asociadas con los límites que dictan los análisis de determinación de cada reactivo. Siendo las concentraciones iniciales, las siguientes:

Tabla II. **Concentraciones iniciales de cada solución**

Solución	Concentración Inicial	Dimensional
Grupo Catiónico		
Cloruro cálcico	42,00	mg/L
Cloruro magnésico	63,00	mg/L
Sulfato alumínico	2,28	mg/L
Cloruro férrico	2,95	mg/L
Grupo Aniónico		
Sulfato sódico	570,00	mg/L
Carbonato sódico	41,00	mg/L
Cloruro sódico	490,00	mg/L

Fuente: elaboración propia.

3.1.2.3. Número de tamiz

También llamado número de mesh, con esta variable se obtendrán tres grupos o tamaños de partículas, mesh números 8, 10 y 16; dentro del dispositivo; los tamices empleados cumplen con la Norma internacional ASTM.

Tabla III. **Cuadro de análisis de variables**

Núm.	Variable	Dimensional	Factor potencial de Estudio		Factores Perturbadores	
			Independiente	Dependiente	Controlable	No Controlable
Análisis de Ambiente Externo						
1	Temperatura	°C	X			X
2	Presión	mmHg	X			X
3	Tamaño de partícula	mm.	X		X	
Análisis de Experimentación						
4	Volumen	L	X		X	
5	Concentración	mg/L		X		X

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

Instancia reflexiva donde el campo de investigación es un referente empírico que además está compuesto por ámbitos físicos, actores, comportamientos, percepciones, entre otros.

3.2.1. Industria cárnica

La recolección de partes óseas de res se realizó en el rastro de destace artesanal de reses ubicado en la cabecera departamental de Retalhuleu, donde se desechan dichas partes y en dos fincas ganaderas.

3.2.2. Proceso

El proceso de limpieza y secado de las partes óseas, se dará en Retalhuleu y la molienda, tamizado, observación y análisis del estudio, se

llevará a cabo en las instalaciones del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la misma Facultad.

3.3. Recursos humanos disponibles

Lo más frecuente es llamar así al sistema o proceso de gestión que se ocupa de seleccionar, contratar, formar, emplear y retener al personal de la organización. Estas tareas las puede desempeñar una persona o departamento en concreto junto a los directivos de la organización.

- Persona que realiza el estudio:
  Br. Luis Carlos López Quintana
  Carnet 200924519

- Asesor:
  M.Sc. Ing. Zenon Much Santos
  Colegiado Núm. 420

3.4. Recursos materiales disponibles

Son los bienes tangibles que la organización puede utilizar para el logro de sus objetivos.

3.4.1. Equipo

- 1 soporte universal
- 1 protector auditivo
- 1 espectrofotómetro HACH - DR/2500 - N/S 050500009960, Software: versión: 2.15.

- Laboratorio Unificada de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina, Usac.

- 1 molino de martillos
  - Sección de Tecnología de la Madera, CII, Usac.

- 1 balanza analítica digital Sartorius CP2245
  - Sección de Microbiología, Laboratorio Unificada de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina, Usac.

- 1 mascarilla
- 1 par de guantes
- 1 bata de laboratorio
- 1 perilla de succión
- 1 par de gafas
- 1 probeta de plástico (como dispositivo de adsorción) 500 ml
- 1 gradilla para celdas de espectrofotómetro
- 3 tamices núm.: 8, 10 y 16. Norma ASTM

  - Laboratorio de Suelos, Facultad de Ingeniería, Usac.

3.4.2. Cristalería

La cristalería empleada, es parte del Laboratorio Unificada de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina, de la sección de docencia.

- 1 Balón aforado de 2 000 ml ±0,6 ml
  - Witeg

- 1 *beaker* de 1 000 ml ±5 %
    - P.K.

- 1 *beaker* de 2 000 ml
    - Marienfeld

- 1 *beaker* de 600 ml ±5 %
    - P.K.

- 2 probetas de 50 ml ±0,5 ml
    - Witeg

- 6 celdas para espectrofotómetro
- 1 pipeta de 5 ml ±0,1 ml
    - Nunc

- 2 buretas de 50 ml ±0,1 ml
    - Will

- Vidrio de reloj
- Espátula
- Pizeta
- Embudo

3.4.3. Reactivos y materia prima

- Cloruro de cálcico
- Cloruro magnésico
- Sulfato alumínico

- Cloruro férrico
- Sulfato sódico
- Carbonato sódico
- Cloruro sódico
- Partes óseas de res
- Ácido ascórbico kit HACH
    - Cat. 14577-99

- Aluver 3 kit HACH
    - Cat. 14290-99

- Blanqueador 3 kit HACH
    - Cat. 4294-49

- Ferrover kit HACH
- Cromato de potasio
- Nitrato de plata
- Hidroxicloruro de amonio
- Ácido etilendiaminotetracético (EDTA)
- Negro de ericromo T
- Hidróxido de sodio
- Purpurato de amonio (Murexida)
- Fenolftaleína
- Naranja de metilo
- Ácido sulfúrico

3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

Los métodos inductivos y deductivos tienen objetivos diferentes y podrían ser resumidos como desarrollo de la teoría y análisis.

3.5.1. Técnica cualitativa

Esta consistió en la sensación de olores, pero con mayor énfasis en los colores, debido a que algunas soluciones de algunos reactivos presentaron una coloración al inicio y otra al final del proceso, esto sirvió solamente como un indicador visual cualitativo, donde confirmaba que el proceso estaba resultando positivo, pero no era determinante, ya que en la mayoría de reactivos, esta coloración era inexistente.

3.5.2. Técnica cuantitativa

Previa y posteriormente al sometimiento de cada muestra de solución al dispositivo de adsorción, se realizó la determinación de cuánto reactivo había por unidad de volumen, es decir, concentración inicial y final del reactivo en las muestras.

Estos procedimientos específicos para cada reactivo, fueron indispensables para comprobar si en realidad se estaba dando el fenómeno de adsorción como tal y en que proporción se estaba dando, esto último es la medición de la eficiencia del dispositivo respecto al reactivo en estudio.

Mediante la prueba de Tukey, se determinó si existe alguna diferencia significativa entre los procesos de filtración para componentes catiónicos y aniónicos.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La recolección de datos consistió en la anotación de las determinaciones de concentración de los reactivos utilizados, antes y después del proceso de adsorción, para esto se evaluó el tamaño de partícula de los huesos y el reactivo a filtrar. El número de corridas empleadas para cada reactivo fue de 3, esto se determinó a partir del siguiente modelo estadístico:

$$n = \frac{z^2 pq}{e^2}$$

[Ec. 1]

Donde

n = número de corridas
z = confiabilidad de la prueba
p = probabilidad de éxito
q = probabilidad de fracaso
e = error empleado

Al sustituir los siguientes datos:

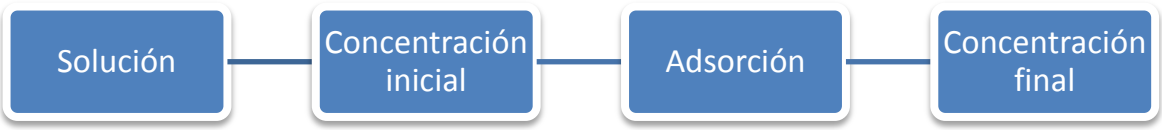
$z(90\ \%) = 1{,}65$ (Manual del Ingeniero Químico de Perry)
$p = 95\ \%$
$q = 5\ \%$
$e = 20\ \%$

En la ecuación núm.1, se tiene:

$$n = \frac{(1{,}65)^2(95)(5)}{(20)^2} = 3{,}23 \cong 3$$

Donde el dato obtenido determinó que las corridas necesarias para esta prueba son tres, con una confiabilidad del 95 %.

Figura 1. **Diagrama de recolección y ordenamiento de los datos para el proceso general**



Fuente: elaboración propia.

3.6.1. Determinación de las concentraciones de los reactivos de carácter catiónico empleados

Los reactivos se determinaron con lineamientos dictados por el manual internacional: Standard Methods, dichas secciones se definirán en cada procedimiento listado.

3.6.1.1. Determinación de calcio

La determinación de calcio, obtenido a partir de cloruro cálcico, se realizó mediante el método de titulación por EDTA (3500-Ca B)[2], con el indicador murexida. La ecuación simplificada de la determinación es la siguiente:

$$Ca^{2+} + H_2Y^{2-} \rightarrow CaY^{2+} + 2H^{+1}$$

[Ec. 2]

La reacción del EDTA se ve favorecida a un pH 10, por lo que se agregó dos mililitros de hidróxido de sodio a 1N.

3.6.1.2. Determinación de magnesio

La determinación de magnesio se realizó de manera similar a la determinación de calcio, pero para esta determinación se mezcló la muestra de calcio con la de magnesio, con el fin de tener resultados claros en la cantidad de magnesio determinada, entonces, se realizó una determinación de dureza total, es decir, presencia de calcio y magnesio, donde previamente se había realizado la determinación de calcio. El método empleado se denomina como método por cálculo (3500-Mg B)[3], ya que únicamente se resta el calcio a la dureza total para determinar el la concentración de magnesio. La ecuación química se da de la siguiente manera:

$$Mg^{2+} + Ca^{2+} + 2H_2Y^{2-} \rightarrow CaY^{2+} + MgY^{2+} + 4H^{+1}$$

[Ec. 3]

[2] APHA, AWWA y WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* p. 112.
[3] Ibíd.

El indicador empleado fue el ericromo negro T y se empleo hidroxicloruro de amonio, como solución *buffer*, ya que la reacción se ve favorecida a un pH de 10±0,1. El reactivo empleado fue cloruro magnésico.

3.6.1.3. Determinación de aluminio

El aluminio se puede determinar mediante métodos volumétricos, pero uno que posee mayor exactitud y es uno de los aceptados por Standard Methods, es el denominado método de eriocromo cianina R (3500-Al B)[4]; este método se fundamenta en la colorimetría del aluminio en presencia de un pH de 6,0, donde la solución adquiere una tonalidad rosa/roja, dependiendo de la concentración del aluminio. Para este proceso, se utilizó el espectrofotómetro indicado en la sección de equipo y como reactivo, se empleó sulfato alumínico. Se empleó el *kit* de Aluver que incluye: ácido ascórbico, Aluver 3 y blanqueador (EDTA); listados previamente en la sección de Reactivos.

3.6.1.4. Determinación de hierro

Para determinar las concentraciones de hierro, se empleó cloruro férrico como reactivo para la solución a estudiar; existen métodos de determinación de hierro un tanto complejos, por el equipo que se emplea, pero uno de los más aceptados y utilizados, es el método por espectrofotometría que se empleo en este estudio, se denomina método de fenantrolina (3500-Fe B)[5], en el cual se utilizó el *kit* Ferrover.

[4] APHA, AWWA y WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* p. 147.
[5] Ibíd.

3.6.2. Determinación de las concentraciones de los reactivos de carácter aniónico empleados

Al igual que las determinaciones de reactivos de carácter catiónico, las determinaciones de reactivos de carácter aniónico se rigieron por el Standard Methods.

3.6.2.1. Determinación de sulfato

La determinación de sulfato, se dio por el método turbidimétrico (4500-SO_4^{2-} E)[6], mediante el *kit* para espectrofotometría llamado Sulfaver, que no es más que cloruro de bario. De está manera el bario forma cristales homogéneos con el sulfato, formando sulfato de bario, estos cambios en la turbidez de la solución lo percibe el espectrofotómetro y la reacción se da como lo muestra la siguiente ecuación:

$$SO_4^{2-} + Ba^{2+} \rightarrow BaSO_{4\,(S)}$$

[Ec. 4]

Para esta prueba se empleó sulfato sódico, como reactivo inicial en solución.

3.6.2.2. Determinación de carbonato

Empleando carbonato cálcico como reactivo inicial, se utilizó el método de titulación para alcalinidad (2320 B)[7], aunque únicamente se consideró la titulación para el indicador fenolftaleína, siendo este el que determina la

[6] APHA, AWWA y WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* p. 156.
[7] Op cit p. 182.

presencia de carbonatos, como lo explica el método en la referencia indicada; la siguiente ecuación detalla la reacción que se consideró con el viraje de fenolftaleína como indicador:

$$H^{1+} + CO_3^{2-} \rightarrow HCO_3^-$$

[Ec. 5]

Se considera esta reacción química como una neutralización parcial, debido al interés en la determinación de carbonatos y no de bicarbonatos o alcalinidad total; la siguiente tabla indica de forma esquemática el tipo de alcalinidad neutralizada en dependencia del volumen de los indicadores:

Tabla IV. **Relaciones de alcalinidad para componentes e indicadores**

Resultado de la titulación	Alcalinidad de hidróxidos como $CaCO_3$	Alcalinidad de carbonatos como $CaCO_3$	Concentración de bicarbonatos como $CaCO_3$
$P = 0$	0	0	T
$P < {}^1/_2T$	0	2P	$T - 2P$
$P = {}^1/_2T$	0	2P	0
$P > {}^1/_2T$	$2P - T$	$2(T - P)$	0
$P = T$	T	0	0

* Clave: P = alcalinidad de fenolftaleína; T = alcalinidad total.

Fuente: APHA, AWWA y WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* p. 182.

3.6.2.3. Determinación de cloruro

El reactivo inicial para esta prueba fue cloruro sódico, utilizando el método argentométrico (4500-Cl^- B)[8], donde se emplea una solución de nitrato de plata estandarizada junto con cromato de potasio, como indicador. La reacción se ve representada por la siguiente ecuación:

$$Ag^{\mathbf{1+}} + Cl^{1-} \rightarrow AgCl_{(s)}$$

[Ec. 6]

3.7. Análisis estadístico

Debido a que la investigación incluyó repeticiones en las pruebas para cada reactivo, como dos grupos de reactivos de carácter diferente (aniónico y catiónico); se empleó como un factor importante e interesante, el analizar la diferencia entre el fenómeno de adsorción entre el grupo de reactivos con carácter catiónico y aniónico, asumiendo las limitaciones del caso, es decir, no se emplearon todos, ni la mayoría de reactivos de cada grupo, por lo que no es posible mencionar un análisis entre los dos grupos, pero si es posible mencionar un análisis entre los reactivos empleados de cada grupo, en este estudio.

Para lo anterior, se debió evaluar factores estadísticos simples para obtener un análisis que diera resultados con un criterio más definido para obtener conclusiones concretas. Para el fin mencionado, se realizó una prueba de Fisher o F, con el fin de obtener si hay una diferencia significativa en el

[8] APHA, AWWA y WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* p. 198.

fenómeno de adsorción reflejado entre los reactivos de carácter aniónico y catiónico.

Previo a la prueba F, se calcularon los valores para la media, desviación estándar y varianza, siendo necesario el conocimiento de los valores mencionados para la prueba descrita.

Tabla V. **Valores de media, desviación estándar y varianza; para el estudio del grupo de catiónicos**

Compuesto	Pruebas	Adsorción (%)	Media (%)	Desviación estándar (σ) (%)	Desviación estándar general (σ) (%)	Varianza (s) (%)	Varianza general (s_1) (%)
Aluminio	1	66,39	80,85	10,23	27,05	104,73	731,91
	2	88,67					
	3	87,48					
Hierro	1	80,31	85,27	4,11		16,90	
	2	90,37					
	3	85,12					
Calcio	1	26,19	25,40	2,97		8,82	
	2	21,43					
	3	28,57					
Magnesio	1	39,22	36,38	2,41		5,79	
	2	33,33					
	3	36,60					

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Valores de media, desviación estándar y varianza; para el estudio del grupo de aniónicos**

Compuesto	Pruebas	Adsorción (%)	Media (%)	Desviación estándar (σ) (%)	Desviación estándar general (σ) (%)	Varianza (s) (%)	Varianza general (s_2) (%)
Cloruro	1	12,24	14,29	2,20	7,15	4,86	51,18
	2	17,35					
	3	13,27					
Sulfato	1	25,45	27,27	5,35		28,65	
	2	34,55					
	3	21,82					
Carbonato	1	30,49	27,64	2,07		4,30	
	2	25,61					
	3	26,83					

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Límites de exclusión de resultados, mediante prueba de desviación estándar**

Compuesto	Pruebas	Adsorción (%)	2σ (%)	Límite Superior (%)	Límite Inferior (%)
Aluminio	1	66,39	20,47	101,31	60,38
	2	88,67			
	3	87,48			
Hierro	1	80,31	8,22	93,49	77,05
	2	90,37			
	3	85,12			
Calcio	1	26,19	5,94	31,34	19,46
	2	21,43			
	3	28,57			
Magnesio	1	39,22	4,81	41,20	31,57
	2	33,33			
	3	36,60			
Cloruro	1	12,24	4,41	18,69	9,88
	2	17,35			
	3	13,27			
Sulfato	1	25,45	10,71	37,98	16,57
	2	34,55			
	3	21,82			
Carbonato	1	30,49	4,15	31,79	23,50
	2	25,61			
	3	26,83			

Fuente: elaboración propia.

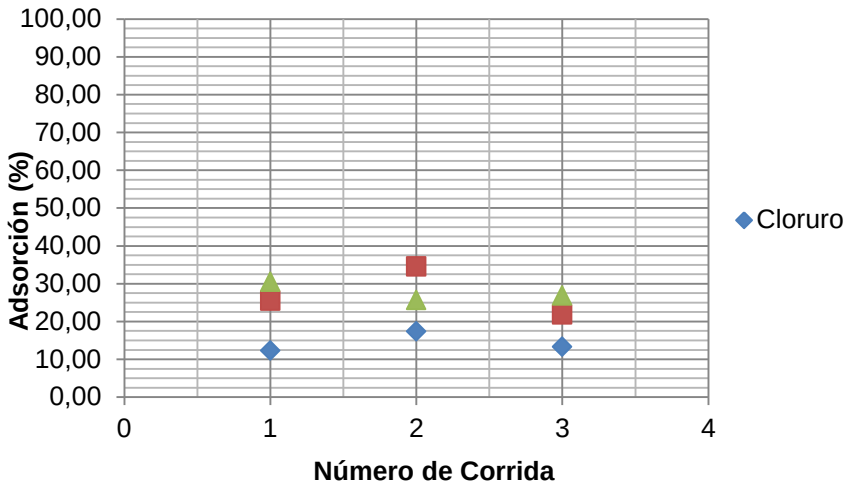
Tabla VIII. **Datos para realizar la comparación entre los grupos aniónico y catiónico, mediante la prueba F o método de Fisher**

S_1^2	S_2^2	Valores de F		Resultado
		Calculado (F_c)	Tabulado (F_t)	
535 696,49	2 619,32	204,52	3,35	$F_c > F_t$

Fuente: elaboración propia.

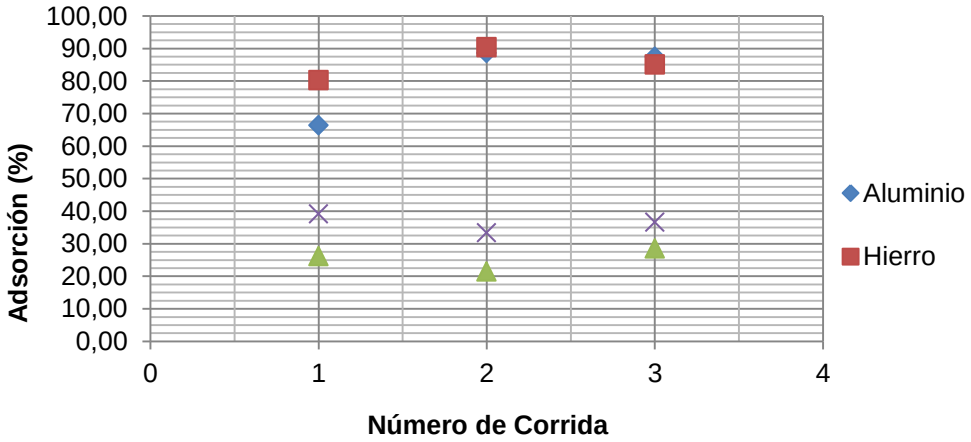
4. RESULTADOS

Figura 2. **Eficiencia de la adsorción en reactivos aniónicos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Eficiencia de la adsorción en reactivos catiónicos**



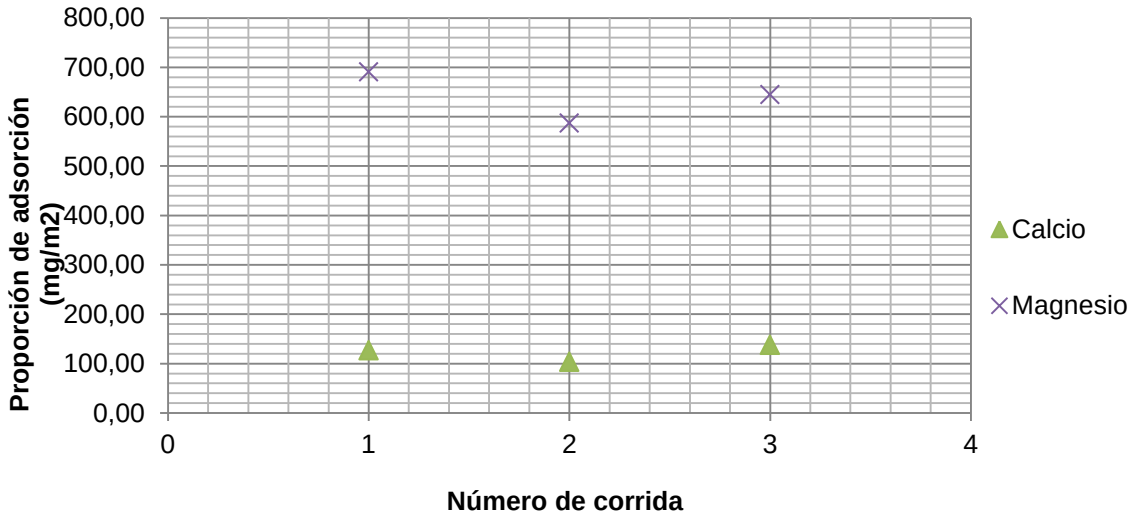
Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Adsorción relativa al área superficial del material adsorbente, para reactivos catiónicos**

Compuesto	Media de adsorción relativa (mg/m^2)
Aluminio	4,25
Hierro	4,48
Calcio	122,72
Magnesio	640,44

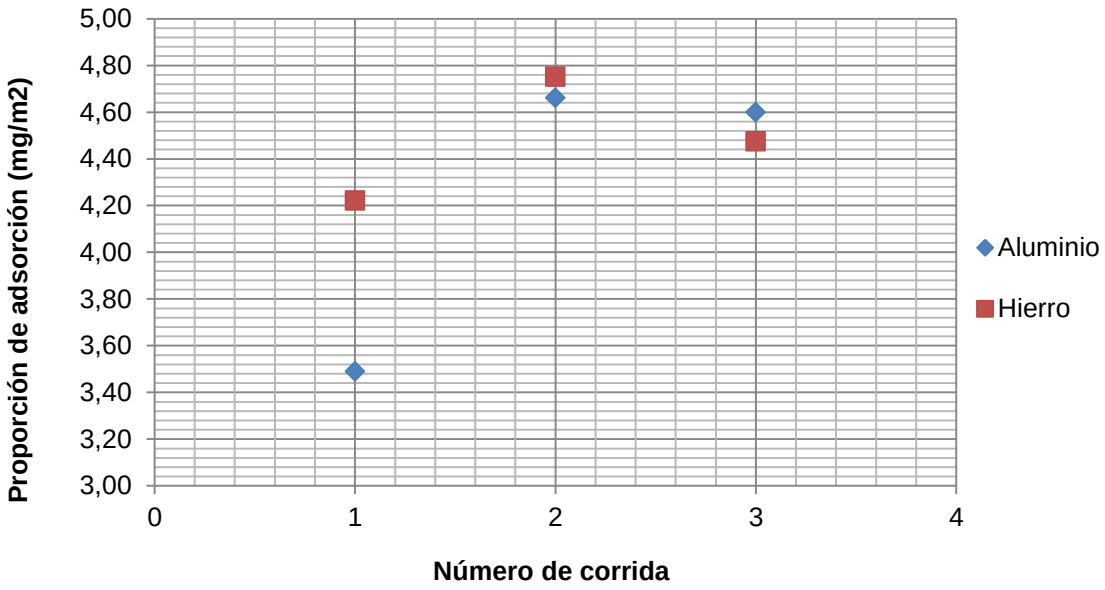
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Adsorción relativa al área superficial del material adsorbente, para calcio y magnesio**



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Adsorción relativa al área superficial del material adsorbente, para hierro y aluminio**



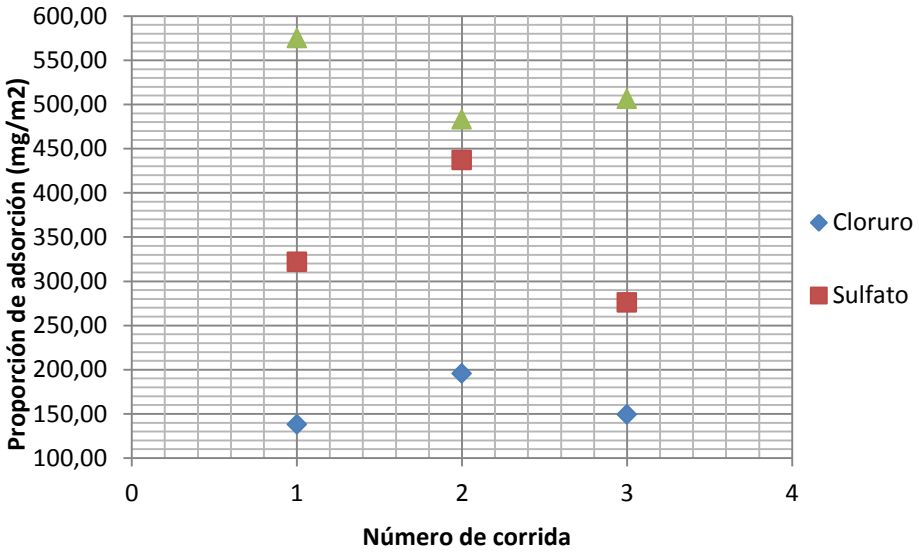
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Adsorción relativa al área superficial del material adsorbente, para reactivos aniónicos**

Compuesto	Media de adsorción relativa (mg)
Cloruro	161,07
Sulfato	345,14
Carbonato	521,55

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Adsorción relativa al área superficial del material adsorbente, para aniónicos**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Análisis de diferencia significativa en la adsorción analizada, entre reactivos de carácter catiónico y aniónico**

Valores de F		Resultado
Calculado (F_c)	Tabulado (F_t)	
204,52	3,35	$F_c > F_t$

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El estudio de varios tipos de reactivos (cloruro cálcico, cloruro magnésico, sulfato alumínico, cloruro férrico, sulfato sódico, carbonato sódico, cloruro sódico) refleja uno de los propósitos de esta investigación, determinar si se da el fenómeno de adsorción y el segundo propósito, cuantificar dicho fenómeno, si este se dio. Según los resultados obtenidos, dicho fenómeno se dio y se cuantifico.

Se emplearon siete reactivos mencionados anteriormente, de estos tres de carácter aniónico y cuatro de carácter catiónico; la figura 2 describe los resultados para los reactivos de carácter aniónico: cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}) y carbonato (CO_3^{2-}). Los porcentajes de adsorción reflejados para este grupo de reactivos, oscila entre 12 y 34 %, donde el sulfato obtuvo los mayores porcentajes de adsorción y el cloruro los menores.

Por otra parte, figura 3 refleja los resultados para el grupo de reactivos de carácter catiónico: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), hierro (Fe^{3+}) y aluminio (Al^{+3+}). El menor porcentaje de adsorción fue de 21 % y el mayor fue de 90 %. La diversidad en los resultados, refleja una ausencia en la tendencia de los mismos y por lo tanto no es posible correlacionar estos resultados a un grupo de reactivos específico. A pesar de la diversidad, los resultados describen un mayor efecto de adsorción en los reactivos de carácter catiónico. El marco teórico describe de forma muy escueta, la composición cualitativa de los huesos de res, donde resaltan: calcio, flúor, fósforo y magnesio. El flúor y fósforo presentan carga positiva y lo contrario para el magnesio y calcio, esto puede crear adsorción de tipo iónico, al ser mayores los porcentajes de adsorción para

los catiónicos, se puede asumir mayor presencia de flúor y fósforo en la materia adsorbente. Adicional a lo anterior, se tiene que los reactivos con mayores porcentajes, son hierro y aluminio, donde la electronegatividad de estos es mayor a la del calcio y magnesio, que obtuvieron los rendimientos más bajos dentro de los catiónicos.

Esto puede sostener que se dio el fenómeno de adsorción por atracción iónica, sin descartar la presencia de otro tipo de adsorción. En los aniónicos, el menor porcentaje de adsorción lo obtuvo el cloruro, donde este es el que posee menor carga negativa de los tres reactivos, debido a que el sulfato (SO_4^{2-}) y carbonato (CO_3^{2-}), poseen mayor carga negativa, esto favorece la hipótesis que la presencia de adsorción iónica fue mayor a una adsorción de otro tipo, sin descartar otro tipo de adsorción como se mencionó anteriormente.

El análisis estadístico se efectuó con el fin de obtener parámetros descriptivos del estudio, la comparación entre los dos grupos de reactivos en la investigación era importante, para establecer variaciones y tendencias del fenómeno bajo las condiciones del estudio. La comparación de los dos grupos, se realizó bajo la prueba de Fisher o prueba F, donde esta prueba depende de las varianzas de los dos grupos obtenidos. La comparación se realiza entre grupos, por esta razón se consideran parámetros homogéneos de cada grupo, como lo demuestran las tablas V y VI. A partir de estas tablas se obtienen los valores necesarios para realizar la prueba.

El resultado de la prueba F se describe en la tabla XI, donde los resultados no dan lugar a confusiones, la diferencia entre los grupos de reactivos empleados durante la investigación, es significativa con un 95 % de confianza. Es decir, el carácter iónico de los reactivos es un factor importante dentro del fenómeno de adsorción bajo las condiciones del estudio.

Al confirmar el fenómeno de adsorción en la investigación, se realizó el cálculo de la eficiencia del material para el proceso de adsorción, para esto se calculó el área superficial de materia prima, o el área susceptible a presentar el efecto de adsorción, el resultado fue de 0,43 m^2 (tabla I). La disponibilidad de materia prima fue aproximadamente la misma en todas las pruebas, por lo que la adsorción relativa al área superficial de materia prima, es una proporción de la adsorción obtenida inicialmente para cada reactivo. El resultado es específico para cada reactivo, no se puede considerar una adsorción relativa al área superficial general, esto sería un error; además de considerar estos resultados como propios del estudio en cuestión.

Las observaciones cualitativas se centraron en los cambios que pudieran notarse en el proceso de estudio, en la sección de anexos se listaron fotografías donde se nota la diferencia visual entre una solución previo y posterior al proceso de adsorción, siendo notable a simple vista el efecto en estudio.

La investigación requería de tres repeticiones por prueba, esto para obtener un 95 % de confianza en el estudio; estas repeticiones en las pruebas podían poseer errores considerables de origen humano o de equipo; con el fin de excluir resultados que no siguieran una tendencia clara o que estuvieran fuera de un rango delimitado, se realizó una prueba de exclusión mediante una prueba de desviación estándar, considerando más y menos dos desviaciones estándar como inclusivas, donde resultados que fueran mayores o menores a estos límites, quedarían fuera de cualquier análisis para fines de la investigación.

La tabla VII posee los resultados para la prueba de exclusión de datos junto con los límites superior e inferior permisibles; dentro de está misma tabla, se puede observar que todos los datos se encuentran dentro de los parámetros

permisibles, por lo que todos los resultados obtenidos fueron considerados en todos los análisis de la investigación.

CONCLUSIONES

1. Existe una diferencia significativa entre los resultados de adsorción para reactivos de carácter catiónico y aniónico; por lo tanto se aceptó la hipótesis nula.

2. Los mejores resultados del fenómeno de adsorción se presentaron en reactivos de carácter catiónico y en menor porcentaje, los de carácter aniónico.

3. El ión hierro obtuvo el mayor porcentaje de adsorción (90,37 %) y el cloruro fue el que tuvo menor porcentaje de adsorción (12,24 %).

4. Debido a los resultados y a la tendencia de estos, es posible asumir que el tipo de adsorción con mayor presencia en la investigación, fue la adsorción de tipo iónico.

5. El área superficial de materia disponible para cada prueba fue de 0,42 m^2. por dispositivo, generando adsorciones relativas al área superficial para cada reactivo empleado.

6. Mediante la prueba F o de Fisher, se determinó que sí existe una diferencia significativa entre los resultados de adsorción para reactivos de carácter catiónico y aniónico, con un 95 % de confianza.

7. Se consideraron todos los datos obtenidos durante la investigación, ya que estos se encontraban dentro de los límites determinados por dos desviaciones estándar.

RECOMENDACIONES

1. Debido al desconocimiento en la presencia de adsorción en los resultados, se diversificó la investigación con distintos reactivos, pero esto limita los factores cuantitativos, ya que uno de los objetivos principales era cualitativo. El estudio con un reactivo y variar factores en dependencia del reactivo en cuestión y del dispositivo, brindaría resultados concretos en cuanto a la materia prima y el sistema de adsorción empleado.

2. El empleo de distintas concentraciones, como en el presente caso (tabla II), en dependencia de cada reactivo, limitaba la comparación en un análisis estadístico posterior; porque al variar las concentraciones iniciales, cambian las condiciones homogéneas para realizar una comparación entre reactivos y concentraciones; esto cambia al emplear un reactivo y distintas concentraciones o una concentración de reactivo con distintos tamaños de partículas, por ejemplo; incluso un estudio podría incluir ambos análisis y esto resultaría en tendencias y valores referencia del dispositivo.

3. El utilizar reactivos con alta solubilidad en agua o sales muy electronegativas (p.e.: cloruros, sulfatos y nitratos) garantiza la disociación completa del mismo en la solución, mejorando así el contacto entre adsorbato y adsorbente.

4. Concentraciones fácilmente permisibles por métodos de determinación, disminuyen las diluciones, eliminando así, errores humanos y de equipo en este proceso de dilución, favoreciendo la exactitud del estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. APHA; AWWA; WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* Clescerl, Leonore; Grennberg, Arnold; Eton, Andrew. 20a ed. USA: American Public Health Associatons, 1999. 1220 p. ISBN-10: 0875532357.

2. BROWN, Theodore L., et al. *Química la ciencia central.* 11a ed. México: Pearson, 2009. 1152 p. ISBN: 9702604680.

3. CHRISTIAN, Gary D. *Química analítica*. Álvarez, Rodolfo (Revisión). 6a ed. México: McGraw-Hill, 2009. 818 p. ISBN: 978-970-10-7234-9.

4. ELIZALDE GONZÁLEZ, María de la Paz, *Investigadores de la BUAP patentan proceso para eliminar materiales tóxicos de aguas residuales.* [en línea]. <http://www.contraparteinformativa. com/ despliegue -noticia.php?-Noticias-Puebla--Investigadores-de-la-BUAP-patentan- proceso-para-eliminar-materiales-t%F3xicos-de-aguas-residuales&id_noticia=47912>. [Consulta: 22 de enero de 2014].

5. MEISER, John H. LAIDLER, Keith J. *Fisicoquímica*. Aguilar Ortega, María Teresa (Trad.). México: Continental, 1995. 973 p. ISBN: 968-26-1309-4.

6. MURILLO, Yesid; GIRALDO, Liliana; MORENO, Juan Carlos. *Determinación de la cinética de adsorción de 2,4-dinitrofenol en carbonizado de hueso bovino por espectrofotometría UV-VIS* [en línea], <http://www.redalyc.org/ articulo.oa?id=309026686007>. [Consulta: 27 de marzo de 2 011].

7. PERRY, Robert H. et al. *Manual del Ingeniero Químico.* 4a ed. España: McGraw-Hill Interamericana de España, 2001. 816 p. ISBN: 9788448130084.

8. Secretaría de Comunicación Pública. *Desarrollan en CNEA un filtro orgánico para descontaminar el agua subterránea* Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina, [en línea], <http://www. prensa. argentina. ar/2012/02/04/27901-desarrollan-en-cnea-ufiltro organico - para - descontaminar - el - agua - subterranea .php >. [Consulta: 4 de febrero de 2012].

9. TURK, Amos; TURK, Jonathan; WITTES, Janet T. *Ecología, contaminación y medio ambiente.* Estados Unidos de América: McGraw-Hill, 1973. 227 p. ISBN-10: 9682500885.

10. WALPOLE, Ronald E, et al. *Probabilidad y estadísitica para ingeniería y ciencias.* 8a ed. México: Pearson, 2007. 840 p. ISBN: 978-970-26-0936-0.

APÉNDICES

Apéndice A

Datos obtenidos u originales

Datos obtenidos para reactivos de carácter catiónico

Corrida	Aluminio	Hierro	Calcio	Magnesio
	Espectrofotometría (mg/L)	Espectrofotometría (mg/L)	Titulación (mL)	Titulación (mL)
Blanco	0,46	0,59	4,20	15,30
1	0,77	0,45	3,10	9,30
2	0,26	0,22	3,30	10,20
3	0,29	0,34	3,00	9,70

Fuente: elaboración propia.

Datos obtenidos para reactivos de carácter aniónico

Corrida	Cloruro	Sulfato	Carbonato
	Titulación (mL)	Titulación (mL)	Titulación (mL)
Blanco	9,80	110,00	8,20
1	8,60	82,00	5,70
2	8,10	72,00	6,10
3	8,50	86,00	6,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice B

Datos Calculados

Datos calculados para reactivos de carácter catiónico

Aluminio

Corrida	Espectrofotometría (mg/L)	Dilución	Relación de conversión	Concentración (mg/L)	Adsorción	
					mg	%
Blanco	0,46	1/5	1	2,29		
1	0,77	1/1		0,77	1,52	66,39
2	0,26			0,26	2,03	88,67
3	0,29			0,29	2,00	87,48

Fuente: elaboración propia.

Hierro

Corrida	Espectrofotometría (mg/L)	Dilución	Relación de conversión	Concentración (mg/L)	Adsorción	
					mg	%
Blanco	0,59	1/5	1	2,97		
1	0,45	1/1		0,45	1,84	80,31
2	0,22			0,22	2,07	90,37
3	0,34			0,34	1,95	85,12

Fuente: elaboración propia.

Calcio

Corrida	Titulación (mL)	Dilución	Relación de conversión	Concentración (mg/L)	Adsorción	
					mg	%
Blanco	4,20	1/5	10	210,00		
1	3,10			155,00	55,00	26,19
2	3,30			165,00	45,00	21,43
3	3,00			150,00	60,00	28,57

Fuente: elaboración propia.

Magnesio

Corrida	Titulación (mL)	Dilución	Relación de conversión	Concentración (mg/L)	Adsorción	
					mg	%
Blanco	15,30	1/5	10	765,00		
1	9,30			465,00	300,00	39,22
2	10,20			510,00	255,00	33,33
3	9,70			485,00	280,00	36,60

Fuente: elaboración propia.

Datos calculados para reactivos de carácter aniónico

Cloruro

Corrida	Titulación (mL)	Dilución	Relación de conversión	Concentración (mg/L)	Adsorción	
					mg	%
Blanco	9,80	1/10	5	490,00		
1	8,60			430,00	60,00	12,24
2	8,10			405,00	85,00	17,35
3	8,50			425,00	65,00	13,27

Fuente: elaboración propia.

Sulfato

Corrida	Titulación (mL)	Dilución	Relación de conversión	Concentración (mg/L)	Adsorción	
					mg	%
Blanco	110,00	1/5	1	550,00		
1	82,00			410,00	140,00	25,45
2	72,00			360,00	190,00	34,55
3	86,00			430,00	120,00	21,82

Fuente: elaboración propia.

Carbonato

Corrida	Titulación (mL)	Dilución	Relación de conversión	Concentración (mg/L)	Adsorción	
					mg	%
Blanco	8,20	1/5	20	820,00		
1	5.70			570,00	250,00	30,49
2	6,10			610,00	210,00	25,61
3	6,00			600,00	220,00	26,83

Fuente: elaboración propia.

Datos calculados para la adsorción relativa al área superficial del material adsorbente, para reactivos catiónicos

Compuesto	Pruebas	Adsorción relativa (mg/m^2)
Aluminio	1	3,49
	2	4,66
	3	4,60
Hierro	1	4,22
	2	4,75
	3	4,48
Calcio	1	126,55
	2	103,54
	3	138,06
Magnesio	1	690,29
	2	586,75
	3	644,27

Fuente: elaboración propia.

Datos calculados para la adsorción relativa al área superficial del material adsorbente, para reactivos con carácter aniónico

Compuesto	Pruebas	Adsorción relativa (mg/m²)
Cloruro	1	138,06
	2	195,58
	3	149,56
Sulfato	1	322,14
	2	437,18
	3	276,12
Carbonato	1	575,24
	2	483,20
	3	506,21

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Materia prima junto al molino, previo a la molienda en la Sección de Maderas del Centro de Investigación de Ingeniería

Fuente: Sección de Maderas, CII.

Partes óseas de res molidas, en proceso de tamizado

Fuente: Sección de Maderas, CII.

Materia ósea tamizado, lista para almacenarse

Fuente: Sección de Maderas –CII-.

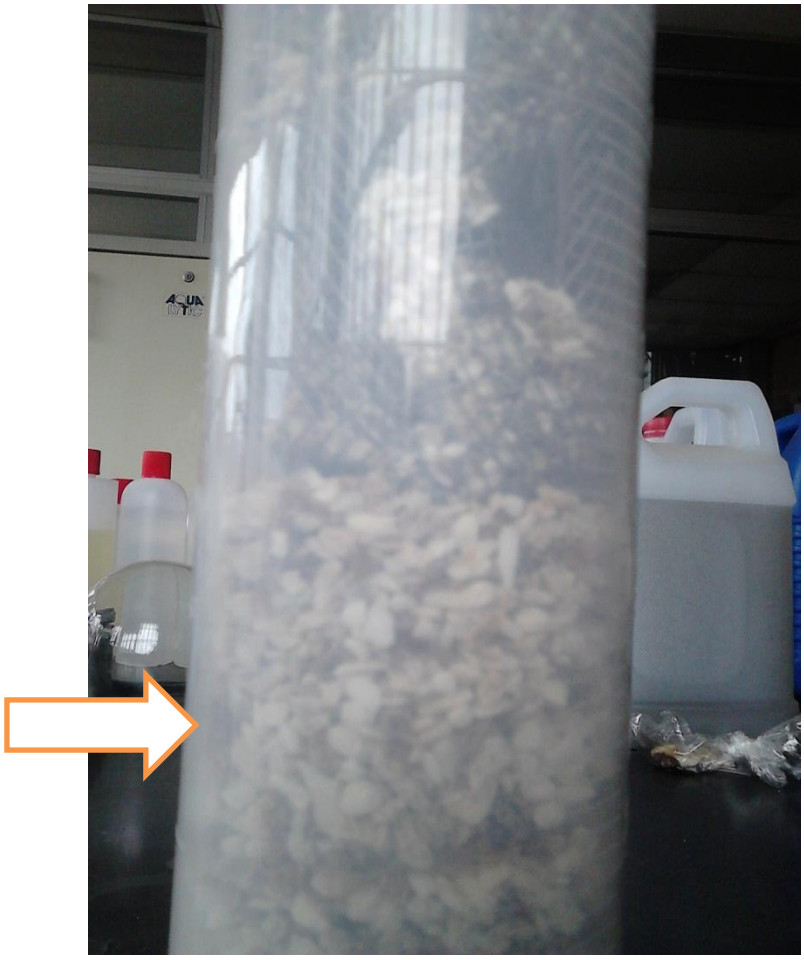
Materia prima clasificada y almacenada en bolsas

Fuente: Sección de Maderas, CII.

Dispositivo de adsorción armado para el proceso de adsorción

Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”, CII.

Descripción donde se dividen las partículas de diferente tamaño

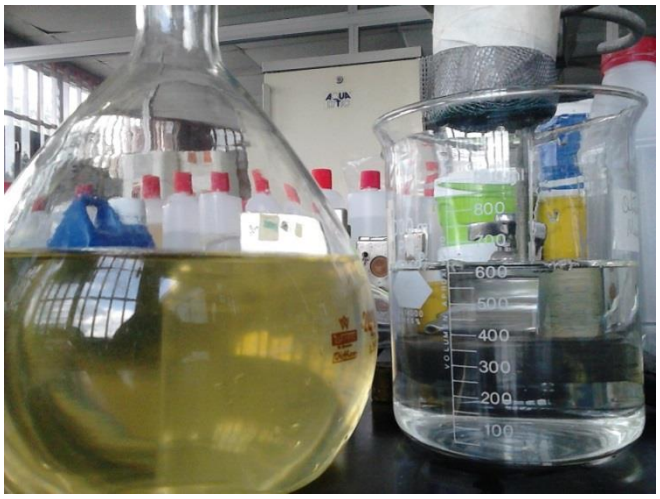


Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”, CII.

Sistema armado para realizar el análisis de adsorción

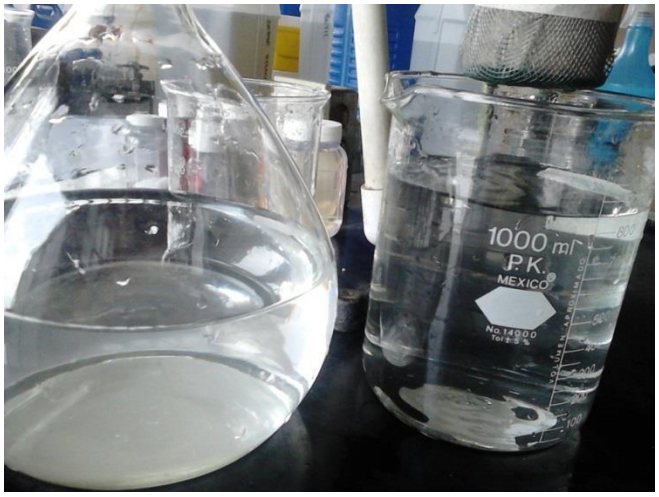
Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”, CII.

Observación cualitativa de la adsorción en el hierro, a la izquierda la solución y en el beaker, la solución después del efecto de la adsorción



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”, CII.

Observación cualitativa de la adsorción en el sulfato, a la izquierda la solución y en el beaker, la solución después del efecto de la adsorción



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”, CII.

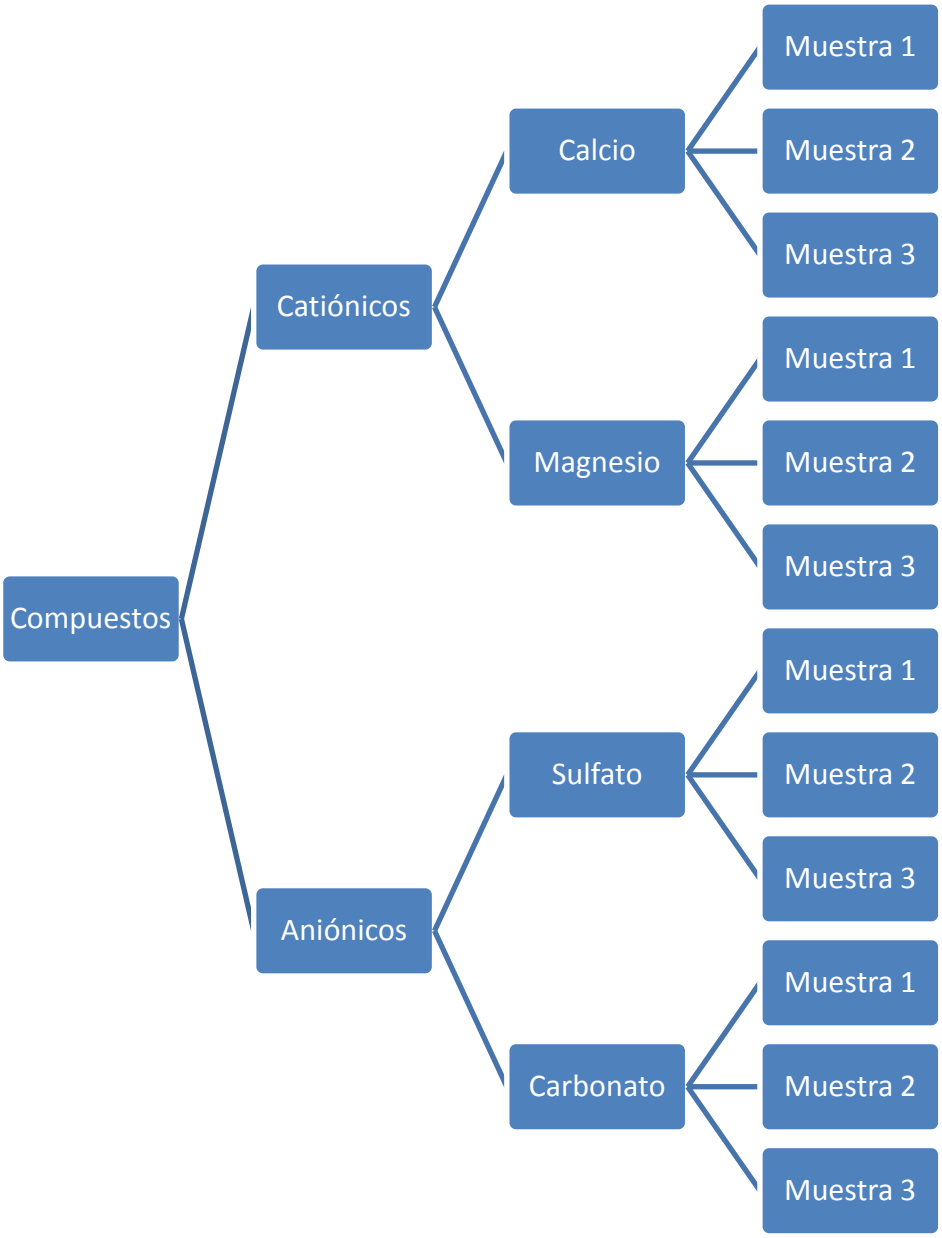
Viraje del indicador de fenolftaleína en la determinación de carbonatos por alcalinidad

Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”, CII.

Espectrofotómetro empleado para realizar las mediciones por espectrofotometría

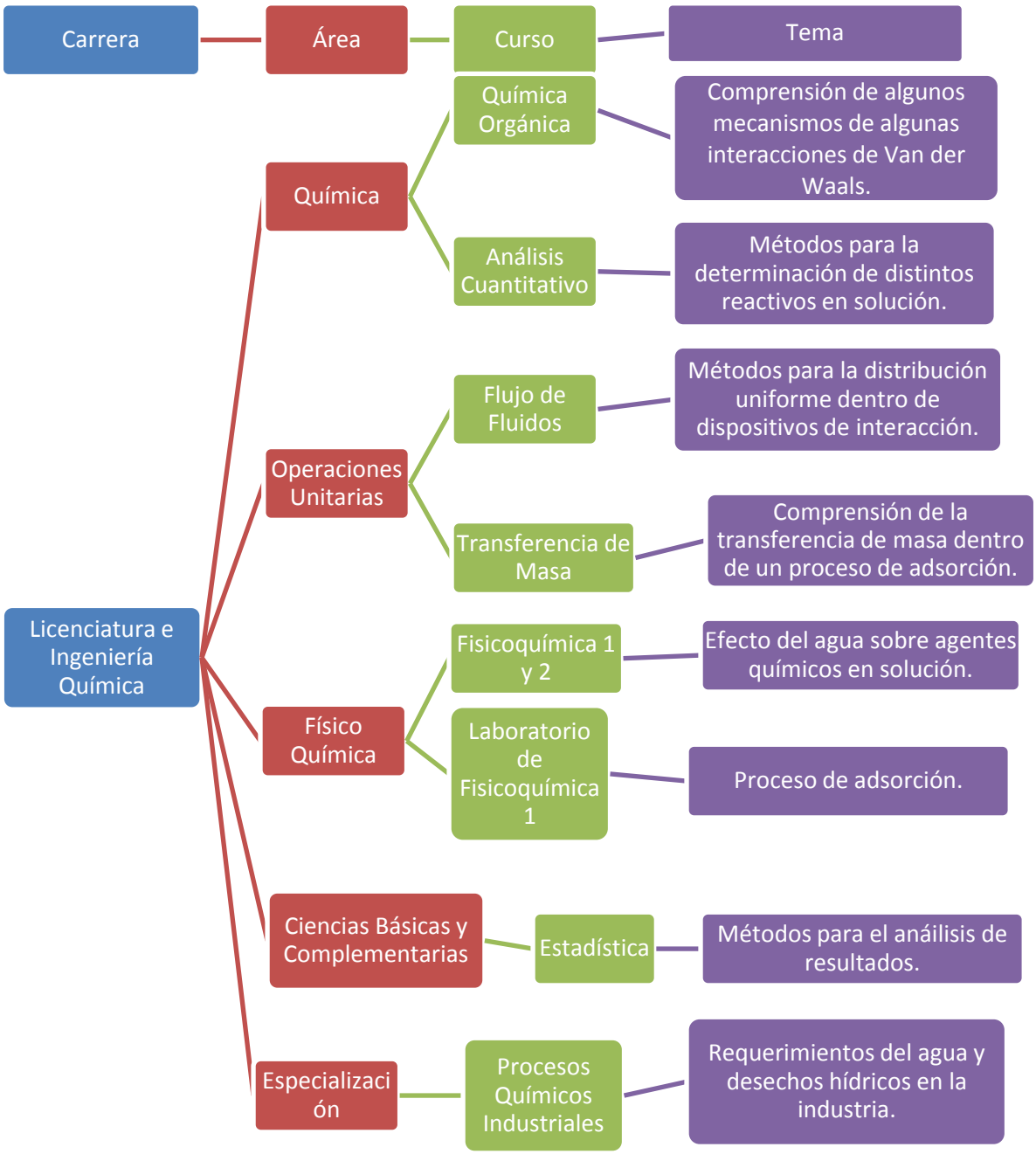
Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”, CII.

Esquema de la elaboración práctica del estudio



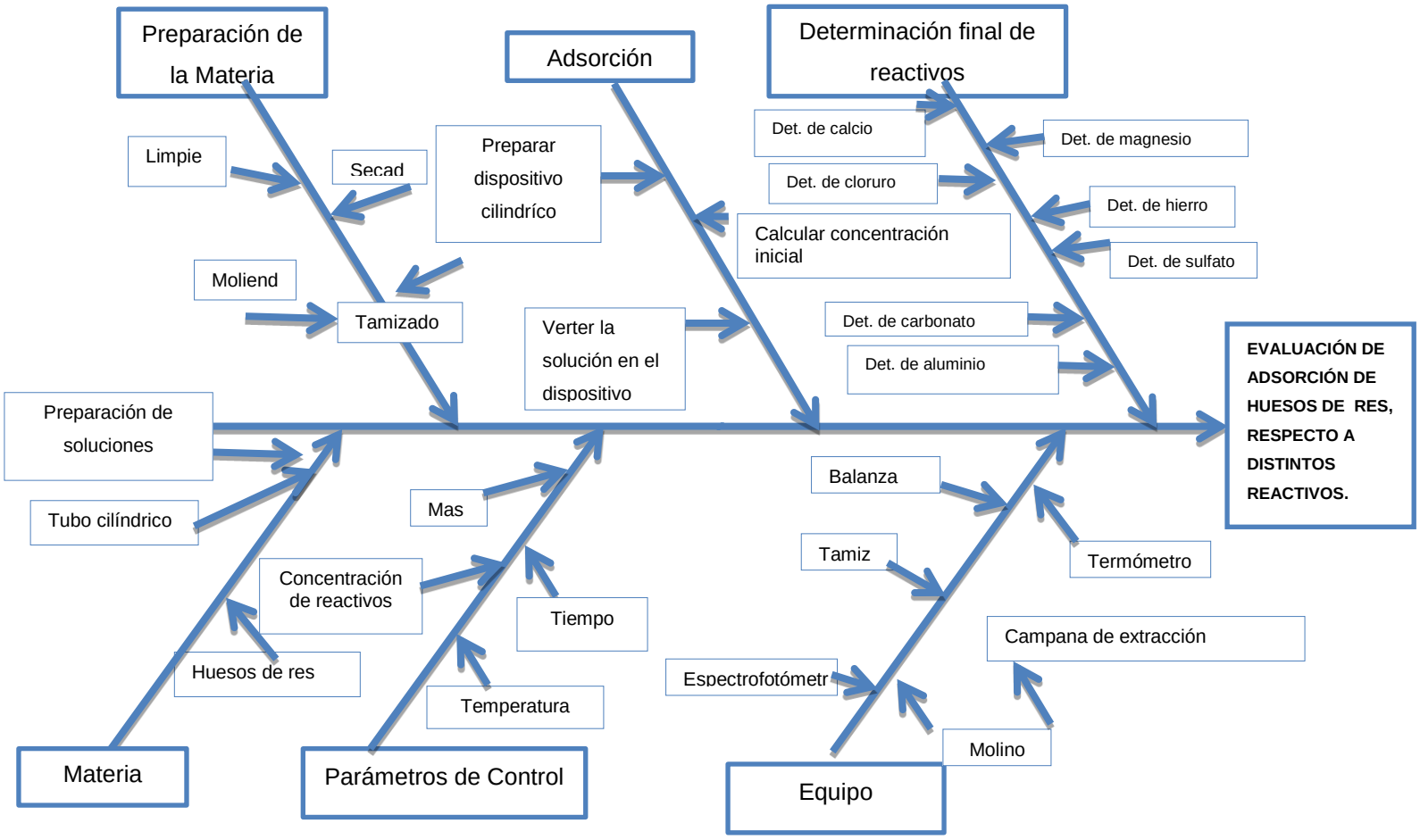
Fuente: elaboración propia, empleando pensum de estudios para la carrera de Ingeniería Química.

Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia, empleando pensum de estudios para la carrera de ingeniería Química.

Diagrama Ishikawa



Fuente: elaboración propia, empleando pensum de estudios para la carrera de ingeniería Química.