



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE BIOADSORCIÓN EN  
LA CÁSCARA DE NARANJA PARA LA REMOCIÓN DE CADMIO  
EN AGUAS RESIDUALES DE DOS FÁBRICAS DE TEXTILES EN  
EL CANTÓN PELILEO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Presentado para optar el grado académico de:**  
**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA: DAISY CAROLINA AGUIRRE CAMPOVERDE**  
**DIRECTOR: DRA. CUMANDÁ CARRERA BELTRÁN**

**Orellana – Ecuador**  
**2017**

**© 2017, Daisy Carolina Aguirre Campoverde**

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

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Investigación: “DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE BIOADSORCIÓN EN LA CÁSCARA DE NARANJA PARA LA REMOCIÓN DE CADMIO EN AGUAS RESIDUALES DE DOS FÁBRICAS DE TEXTILES EN EL CANTÓN PELILEO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”, de responsabilidad de la señorita Daisy Carolina Aguirre Campoverde, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

DRA. CUMANDÁ CARRERA BELTRÁN

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

ING. DANIEL CHUQUIN VASCO

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Daisy Carolina Aguirre Campoverde declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

**Riobamba, 19 de Julio de 2017**

Daisy Carolina Aguirre Campoverde

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado en primera instancia a DIOS, quien me ha dado la fuerza y sabiduría para lograr mis objetivos.

Al motor principal de mi vida, MI FAMILIA, por ser mi motivación de esfuerzo y sacrificio diario para alcanzar las metas que me he propuesto.

A una persona que hoy ya no me acompaña en esta vida, pero que siempre tuvo consejos sabios llenos de palabras de ánimo e impulso para seguir formándome profesionalmente sin dejar de lado mis principios y valores, FRANCISCO CAMPOVERDE.

**Carolina**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, ser supremo que con sus bendiciones me ha permitido llegar a este momento y lograr el objetivo de convertirme en una profesional, sueño que un día me lo propuse y hoy lo hago realidad de la mano de Él.

A mis padres y hermanos, por siempre brindarme su apoyo incondicional en cada momento.

A mi esposo y a mi hijo, testigos y compañeros de sacrificio y dedicación durante la realización de este trabajo de titulación.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Extensión Norte Amazónica, por brindarme la oportunidad de forjarme académicamente, a sus catedráticos por compartir sus conocimientos con paciencia y dedicación.

A la Dra. Cumandá Carrera y al Ing. Daniel Chuquin, quienes en calidad de Tutora y Miembro de Tribunal con su experiencia, conocimientos y motivación han sabido guiarme en la realización del presente trabajo.

**Carolina**

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
TABLA DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I	
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Justificación de la investigación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Objetivos de la investigación.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1 General.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2 Específicos.....</b>	<b>4</b>
CAPÍTULO II	
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Industria Textil.....</b>	<b>5</b>

2.1.1	<i>Industria Textil en la Provincia de Tungurahua</i> .....	5
2.1.2	<i>Contaminación de la industria textil</i> .....	6
2.1.2.1	<i>Características fisicoquímicas de efluentes provenientes de la industria textil</i> .....	7
2.2	<b>Aguas residuales</b> .....	8
2.2.1	<i>Agua Residual Industrial</i> .....	8
2.2.2	<i>Normativa ambiental para descargas a cuerpos de agua dulce</i> .....	9
2.2.3	<i>Consideraciones para el muestreo de agua</i> .....	9
2.3	<b>Metales Pesados</b> .....	10
2.3.1	<i>Cadmio</i> .....	10
2.4	<b>Operaciones Unitarias</b> .....	11
2.4.1	<i>Adsorción</i> .....	11
2.4.2	<i>Parámetros que influyen en el proceso de adsorción</i> .....	12
2.5.1	<i>Composición de la cáscara de la naranja</i> .....	15
2.5.2	<i>Naranja variedad “valencia”</i> .....	16
2.5.3	<i>La cáscara de naranja como sorbente</i> .....	17
 CAPÍTULO III		
3.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	18
3.1	<b>Zona de estudio</b> .....	18
3.1.1	<i>Lugar de la investigación</i> .....	18
3.2	<b>Tipo de investigación</b> .....	18

3.2.1	<i>Identificación de variables e hipótesis</i> .....	19
3.2.2	<i>Diseño Cuasi – experimental</i> .....	20
3.2.3	<i>Proceso</i> .....	22

#### CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	35
4.1	<b>Caracterización del agua</b> .....	35
4.2	<b>Caracterización de la cáscara de naranja</b> .....	36
4.3	<b>Concentraciones finales de Cadmio para el efluente 1 y 2 posterior a la implementación de los tratamientos</b> .....	37
4.4	<b>Porcentaje de adsorción de la cáscara de naranja en los efluentes 1 y 2</b> .....	40
4.4.1	<i>Efluente 1</i> .....	38
4.4.2	<i>Efluente 2</i> .....	40
4.6	<b>Influencia del pH</b> .....	49
4.6.1	<i>Efluente 1</i> .....	51
4.6.2	<i>Efluente 2</i> .....	55

#### CONCLUSIONES

#### RECOMENDACIONES

#### BIBLIOGRAFÍA

#### ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Comparación de la capacidad de intercambio catiónico de la cáscara de naranja con otros absorbente	22
<b>Tabla 1-3:</b>	Diseño Factorial	23
<b>Tabla 2-3:</b>	Diseño completamente al azar	24
<b>Tabla 3-3:</b>	Análisis de elementos básicos del bioadsorbente	27
<b>Tabla 4-3:</b>	Cantidad de bioadsorbente para 300 mL de afluente	34
<b>Tabla 1-4:</b>	Caracterización de los efluentes de la industria textil	38
<b>Tabla 2-4</b>	Porcentajes de C, H y N del material bioadsorbente	39
<b>Tabla 3-4:</b>	Concentración final de cadmio – efluente	40
<b>Tabla 4-4:</b>	Concentración final de cadmio – efluente 2	41
<b>Tabla 5-4:</b>	Porcentaje de adsorción del efluente 1	42
<b>Tabla 6-4:</b>	Porcentaje de adsorción del efluente 2	44
<b>Tabla 7-4:</b>	Análisis de varianza - efluente 1	46
<b>Tabla 8-4</b>	Comparación de medias – g/L	47
<b>Tabla 9-4:</b>	Comparación de medias - Tamaño de partícula	47
<b>Tabla 10-4</b>	Comparación de medias tamaño de partícula * relación g/L	49
<b>Tabla 11-4:</b>	Análisis de varianza - efluente 2	49
<b>Tabla 12-4</b>	Comparación de medias - g/L	50
<b>Tabla 13-4:</b>	Comparación de medias - Tamaño de partícula	50
<b>Tabla 14-4</b>	Comparación de media - Tamaño de partícula - g/L	51
<b>Tabla 15-4:</b>	Concentración de Cd modificando el pH Efluente 1	51

<b>Tabla 16-4</b>	Porcentaje de adsorción– Efluente 1	51
<b>Tabla 17-4:</b>	Capacidad de adsorción de los tratamiento	52
<b>Tabla 18-4:</b>	Concentración de Cd modificando el pH Efluente 2	52
<b>Tabla 19-4</b>	Porcentaje de adsorción - Efluente 2	53
<b>Tabla 20-4:</b>	Capacidad de adsorción de los tratamiento	54
<b>Tabla 21-4:</b>	Análisis de varianza - Efluente 1	55
<b>Tabla 22-4</b>	Comparación de medias - efluente 1	58
<b>Tabla 23-4:</b>	Análisis de varianza - Efluente 2	58
<b>Tabla 24-4:</b>	Comparación de media – Efluente 2	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-3:</b>	Esquema del proceso.....	22
<b>Figura 2-3:</b>	Reducción de tamaño del material bioadsorbente.....	25
<b>Figura 3-3:</b>	Lavado y secado de la cáscara de naranja.....	26
<b>Figura 4-3:</b>	Secado del material bioadsorbente.....	26
<b>Figura 5-3:</b>	Reducción y clasificación por tamaños del material bioadsorbente .....	27
<b>Figura 7-3:</b>	Encendido y configuración inicial del equipo.....	29
<b>Figura 8-3:</b>	Preparación de blancos de calibración .....	29
<b>Figura 9-3:</b>	Obtención de resultados finales .....	30
<b>Figura 10-3:</b>	Recolección de muestra del efluente.....	23
<b>Figura 11-3:</b>	Ubicación geográfica .....	24
<b>Figura 12-3:</b>	Análisis de laboratorio .....	24
<b>Figura 13-3:</b>	Pesaje del bioadsorbente .....	32
<b>Figura 14-3:</b>	Implementación de experimentos .....	33
<b>Figura 15-3:</b>	Modificación del pH de los experimentos .....	34

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b>	Comparación de los porcentajes de adsorción – efluente 1 .....	41
<b>Gráfico 2-4:</b>	Comparación de los porcentajes de adsorción – efluente 2 .....	43
<b>Gráfico 3-4:</b>	Porcentajes de adsorción del efluente 1 con pH 3 y 5 .....	52
<b>Gráfico 4-4:</b>	Porcentaje de adsorción del efluente 2 con pH 3 y 5 .....	54

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación determinó la capacidad de bioadsorción en la cáscara de naranja para la remoción de Cadmio en aguas residuales de dos fábricas de textiles en el Cantón Pelileo Provincia de Tungurahua. Para esto se caracterizó los elementos básicos C, H, y N de la cáscara de naranja, con el método automatizado de combustión Dumas, en el equipo FLASSH 2000 Series CHNS/S; los efluentes se recolectaron en función a lo establecido por la norma INEN 2169; se realizó un análisis físico-químico de los efluentes; para la concentración del Cadmio se implementó el método TNT852 del Laboratorio de Servicios Ambientales, en el espectrofotómetro de absorción atómica; la capacidad de adsorción se determinó a partir de dos ensayos experimentales, en el primero de tipo factorial se usó dos tamaños de partícula en tres relaciones g/l, los resultados favorables fueron los del ensayo donde se determinó un mayor porcentaje de adsorción, este se utilizó en el segundo ensayo donde se evaluó la influencia del pH acidificando las muestras a 3 y 5 con un diseño completamente al azar (DCA); los resultados obtenidos indicaron que un menor tamaño de partícula (3 mm) con una mayor relación gramos de bioadsorbente por litro de efluente (20 g/l) y con un pH de 5, se obtiene una reducción en la concentración del cadmio, de 12.21 mg/l de cadmio en el efluente 1 se redujo a una concentración de 6.51 mg/l con un porcentaje de adsorción de 46.65% y de 11.37 mg/l se redujo a 5.77 mg/l lo que representa una adsorción del 49.22%, los resultados son concluyentes la cáscara de naranja es capaz de adsorber los iones de Cadmio, mejorando los resultados al acidificar el efluente, por lo que puede ser considerada como una alternativa en el tratamiento de efluentes de la industria textil.

**Palabras clave:** <BIOTECNOLOGÍA>, <ANÁLISIS DE AGUA>, <CADMIO (METAL PESADO)> <CÁSCARA DE NARANJA> <ADSORCIÓN> <INDUSTRIA TEXTIL> <ACIDIFICACIÓN> < POTENCIAL HIDRÓGENO (pH) >.

## ABSTRACT

The present investigation work determined the capacity of bio-absorption in the orange peel for the removal of Cadmium in waste waters of two textile factories in the Pelileo canton, Tungurahua province. For this, the basic elements C, H and N of the orange peel were characterized with the automated combustion method Dumas, in the equipment FLASSH 2000 Series CHNS/S; the effluents were collected in function of the established statement by the INEN 2169 norm; a physical-chemical analysis of the effluents was carried out; for the Cadmium concentration, the TNT 852 method of the Environmental Services Lab was implemented in the spectrophotometer of atomic absorption; the absorption capacity was determined from two experimental essays; in the first factorial-type one two particle sizes were used in three relations g/l; the favorable results were those of the assay where a major absorption percentage was determined; this was used in the second essay where the influence of the pH was evaluated acidifying the samples to 3 and 5 with a completely at random design (DCA); The results indicated that a lower particle size (3mm) with a higher relation of grams of bio-absorbent per liter of effluent (20g/l) and with a pH of 5, a reduction in the Cadmium concentration is obtained, from 12.21 mg/l Cadmium in the effluent 1 was reduced to a concentration of 6.51 mg/l with an adsorption percentage of 46.65% and from 11.37 mg/l, it was reduced to 5.77 mg/l which represents an absorption of 49.22%; the results are conclusive; the orange peel is capable of absorbing the Cadmium ions, improving the results upon acidifying the effluent; this is why; it can be considered to be an alternative in the treatment of effluents from the textile industry.

**Key Words:** <BIOTECHNOLOGY>, <WATER ANALYSIS>, <CADMIUM (HEAVY METAL)>, <ORANGE PEEL>, <ABSORPTION>, <TEXTILE INDUSTRY>, <ACIDIFYING>, <HYDROGEN POTENTIAL (pH)>.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las industrias que requiere una gran cantidad del recurso hídrico para sus procesos productivos es la industria textil; el proceso de elaboración de productos textiles requiere de un elevado número de operaciones unitarias ya que se utilizan diversas materias primas de origen natural y sintético, el impacto ambiental de sus efluentes líquidos es muy variado, por la gran variedad de reactivos utilizados, encontrando moléculas de colorantes utilizados en la actualidad de estructuras muy variadas y complejas. Dentro de los principales metales pesados hallados en aguas residuales de la industria textil se encuentra el Cadmio (Cd), que a más de provocar un impacto ambiental en los cuerpos de agua, también provocan efectos nocivos en los seres vivos, uno de los problemas más graves es su acumulación dentro de la cadena trófica, ya que al no ser biodegradables se mantienen a nivel molecular dentro de cada especie, aumentando su toxicidad por cada nivel que avanzan en la cadena, siendo el humano el último nivel y el más expuesto a elevadas concentraciones de los mismos causando enfermedades crónico-degenerativas.

El problema aumenta debido a que dar tratamiento a las aguas residuales involucra recursos, principalmente económicos, debido a que la mayoría de los sistemas de tratamiento basados en métodos químicos o físicos son costosos y requieren de gran cantidad de energía y reactivos por lo que no es factible llevarlos a cabo, por esta razón en la actualidad los procesos investigativos han ido desarrollando nuevos métodos de remediación para los distintos problemas ecológicos que aquejan al planeta, uno de estos y que ha tomado mayor relevancia es la biosorción, proceso por el cual se adsorbe los metales presentes en el ambiente a través de biomasa viva o muerta; este proceso es considerado como una técnica limpia en la eliminación de metales pesados, ya que para el mismo no se requiere de energía extra, ni adición de químicos y lo más importante es posible recuperar el metal adherido a la biomasa, a estos beneficios se deben sumar el hecho de que su implementación requiere de un costo bajo y es eficiente para bajas concentraciones.

La presente investigación se llevó a cabo en dos Fábricas de Textiles del cantón Pelileo, Provincia de Tungurahua, en cuyos efluentes se recolectó las muestras de agua aplicando los

procedimientos establecidos por la norma INEN 2169, a las muestras recolectadas se les realizó una caracterización basándose en el método TNT852 del Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH, determinando así una concentración de Cadmio de 12.210 mg/L y 11.370 mg/L y pH de 8.6 y 7.9 para el efluente 1 y 2 respectivamente, dichos valores sobrepasan significativamente los límites permisibles dispuestos para Cadmio y pH (0.02 mg/L, 6-9) en la Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, de la Reforma al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA, reformado mediante Acuerdo Ministerial No.061(Ver Anexo1A), estos valores se pueden justificar su presencia debido a que en la industria textil se emplean diferentes compuestos químicos que alteran las condiciones del agua. “Dentro de la industria textil el Cadmio está presente principalmente en la gran variedad de pigmentos y colorantes que se utilizan en los procesos de coloración, dentro de estos tenemos, los colorantes poliamidas, mismos que actúan utilizando el proceso de agotamiento, a partir de un teñido continuo, con gel o en masa, dentro de estos pigmentos inorgánicos, los más utilizados son el dióxido de titanio, el sulfuro de Cadmio y el cadmio sulfoseleniuro; con lo que respecta al sulfuro de Cadmio este se utiliza de forma individual para dar una coloración amarillo o naranja, los sulfuros de selenio y Cadmio en conjunto se utilizan para conseguir tonalidades rosas, rojas y marrones; estos pigmentos son particularmente útiles para aplicaciones que requieren altas temperaturas o presiones” (Sedlak, 2017)

La cáscara de naranja fue recolectada seleccionando las de mejor aspecto, y se les dio un pretratamiento de lavado y secado para evitar su degradación y contaminación. Se empleó la cáscara de la naranja de la variedad Valencia en forma de polvo para ser analizado en el equipo FLASH 2000 por el Método Combustión DUMAS para conocer el contenido de C, H, N (47.53% de C, 8.13% de H, y 0.95% de N).

La cáscara de naranja se aplicó en los efluentes en dos tamaños de partícula 3 y 5 mm, en tres relaciones g/L (10, 15 y 20), se determinó la concentración de cadmio y los resultados obtenidos fueron: concentración de Cadmio 10.963 mg/L con porcentaje de adsorción de 10.210 para el efluente 1, y 9.983 mg/L de Cadmio con porcentaje de adsorción de 12.196 para el efluente 2, se compararon en un diseño factorial el cual se procesó en el software InfoStat, la combinación con mayor porcentaje de adsorción fue aquella en la que se aplicó la cáscara de naranja en tamaño de 3 mm con la relación 20 g de cáscara de naranja por litro de aguase.

En la segunda etapa se evaluó si al modificar el pH se puede mejorar la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja, es importante recalcar que se aplicó también la mejor combinación de la primera etapa, los resultados obtenidos fueron, para el efluente 1 una concentración de

Cadmio de 6.513 mg/L dando así un porcentaje de adsorción de 46.656 y capacidad de adsorción de 0.285 mg/g y, para el efluente 2 una concentración de Cadmio de 5.773 mg/L dando así un porcentaje de adsorción de 49.223 y capacidad de adsorción de 0.280 mg/g.

Todo el proceso de laboratorio se realizó a temperatura 18°C y se determinó la capacidad de adsorción a las 2 horas.

A más de generar alternativas eficientes en la remediación de efluentes de la industria textil, con la presente investigación se busca abarcar otra problemática identificada en los pobladores tanto de las zonas rurales como urbanas del país, la generación de residuos orgánicos y la falta de una reutilización óptima de estos; entre estos se encuentra la cáscara de naranja, que es desechada principalmente por los negocios y la industria alimenticia de producción de extractos, pulpas, jugos entre otros, junto con los residuos comunes sin obtener provecho alguno; varios estudios han demostrado que la pectina procedente de la cáscara de naranja posee propiedades adsorbentes de los iones de varios metales pesados considerados como contaminantes del medio ambiente, razón por la cual el presente trabajo investigativo busca determinar el porcentaje de adsorción de Cadmio en efluentes textiles y la capacidad de adsorción que tiene esta biomasa residual utilizando una técnica sencilla pero eficiente, que pueda ser presentada como una opción de biorremediación para la industria textil del país.

### **1.1 Justificación de la investigación**

La peligrosidad de los metales pesados usados en la Industria Textil es mayor al no poder ser degradados química o biológicamente, una vez liberados al ambiente pueden permanecer cientos o miles de años. En general, los metales pesados pueden llegar al ser humano a través de los alimentos, el agua, el aire e incluso a través de la piel, además del grave daño que ocasionan al ambiente ya que altera la dinámica de los ecosistemas, al existir especies tanto vegetales como animales que son sensibles a concentraciones altas de metales pesado con el Cadmio.

Por lo anteriormente indicado, es necesario buscar alternativas para remediar estos impactos, una de ellas es usar la cáscara de naranja ya que diferentes autores reportaron que es un excelente material bioadsorbente de iones Cadmio, este material se lo encuentra en forma de desecho de los distintos mercados, negocios, hogares, entre otros; por lo que darle un segundo uso, aprovechando esta capacidad que tiene la cáscara, solucionaría dos problemas ambientales, disminuyendo la contaminación producida por los efluentes de la industria textil por metales

pesados como el Cadmio y la contaminación ocasionada por la cáscara como residuo sólido a pesar de ser un material biodegradable. Con este trabajo investigativo se pretende generar alternativas ecológicas para disminuir los impactos negativos en los cuerpos de agua por la recepción de aguas residuales contaminadas con Cadmio, aprovechando los residuos orgánicos, como la cáscara de naranja, que por su abundancia y bajo costo permite llevar a cabo este proyecto a través de un método económico y beneficioso para toda la sociedad.

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 General:**

Determinar la capacidad de bioadsorción en la cáscara de naranja para la remoción de Cadmio en aguas residuales de dos fábricas de textiles en el Cantón Pelileo Provincia de Tungurahua.

### **1.2.2 Específicos:**

- Caracterizar las aguas residuales de dos fábricas de textiles, para determinar la concentración de Cadmio (Cd) y pH.
- Evaluar las propiedades de la cáscara de naranja, para determinar la presencia de Carbono (C), Hidrógeno (H) y Nitrógeno (N).
- Determinar las mejores condiciones para la adsorción, variando del tamaño de partícula de la cáscara de naranja y la relación gramos de bioadsorbente por litro de agua.
- Determinar el pH óptimo para alcanzar el mejor porcentaje de adsorción.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Industria Textil

Agrupar las actividades dedicadas a la fabricación y obtención de fibras, hilado, tejido, tintado, y finalmente el acabado y confección de las distintas prendas (Varela, 2013).

##### *2.1.1 Industria Textil en la Provincia de Tungurahua*

Según la Cámara de Industrias de Tungurahua esta provincia es un lugar en el que se centra una gran cantidad de empresas dedicadas a la fabricación de prendas de vestir, actualmente el número de empresas legalmente registradas son de 76 de las cuales un 9 conforman empresas textiles y de confección de jeans.

La provincia de Tungurahua es eminentemente manufacturera, en la cual se centra empresas dedicadas a la fabricación de prendas de vestir en la que se desarrolla diferentes actividades generando fuentes de trabajo y contribuyendo al desarrollo económico de país mediante el pago de tributos al fisco.

Existen fábricas que cuentan ya con procesos industrializados en nuestro medio lo cual permite mejorar los controles de producción e incrementar la productividad de las mismas, pero por otra parte aún existen fábricas que lo realizan de manera artesanal debido a que no cuentan con un capital de trabajo que permita cubrir la inversión que representa adquirir equipos industrializados.

Estas fábricas no han logrado tener márgenes de rentabilidad puntuales debido a que no llevan un control adecuado de los costos de producción, puesto que poseen un sistema de costeo deficiente o inexistente y solo aplican los costos implícitos en la producción de manera arbitraria sin contar con una adecuada aplicación de controles, normas y procedimientos. (CCP, 2014)

### ***2.1.2 Contaminación de la industria textil***

La industria textil es una industria que requiere de grandes cantidades de agua, energía y productos químicos complementarios, además produce una gran cantidad de agua residual; estos efluentes poseen elevadas concentraciones de colorantes, contaminantes orgánicos refractarios, compuestos tóxicos, componentes inhibidores, tensoactivos, componentes clorados. Por esta razón, se considera uno de los efluentes de más difícil tratamiento. Investigaciones realizadas por Ghoreischi (2001) indican que estos efluentes producen efectos carcinogénicos, mutagénicos y el deterioro al medio ambiente por los colorantes contenidos al ser dispuestos en fuentes superficiales (Salazar et al., 2009).

La industria textil consume diariamente grandes cantidades de agua en la mayoría de sus procesos. Dichos efluentes se caracterizan generalmente por su elevada demanda química de oxígeno (DQO), elevada temperatura, alto contenido en color, pH inestables, sólidos en suspensión y compuestos orgánicos clorados. Estas aguas, una vez tratadas, generalmente son vertidas al alcantarillado público. La necesidad de gestionar racionalmente los limitados recursos hídricos y la agresión ambiental que comportan las aguas contaminadas, ha causado que a lo largo de los años se hayan introducido leyes cada vez más restrictivas que exigen a las industrias del sector tratar sus aguas, antes de verterlas. Este hecho ha forzado al desarrollo e investigación de tecnologías para el tratamiento de aguas usadas en aplicaciones industriales (Varela, 2013).

Son todavía pocas las industrias que se proponen la reutilización en algún punto del proceso industrial como en el caso del lavado, refrigeración, etc. La tendencia actual va encaminada hacia la implementación de tecnologías de remediación eficaces que logren alcanzar un nivel de depuración suficiente como para reutilizar las aguas tratadas y reducir el consumo del recurso hídrico (Varela, 2013).

### 2.1.2.1 *Características fisicoquímicas de efluentes provenientes de la industria textil*

Las características de las aguas residuales generadas en una planta textil dependerán de las operaciones específicas que se realicen, principalmente del tipo de fibra tratada y de la maquinaria utilizada. A pesar de la gran variedad de procesos y de productos químicos utilizados, las aguas residuales producidas en la industria de fibras naturales presentan unas características comunes, a excepción de los procedentes del lavado de la lana. Los efluentes de fibras naturales se caracterizan por una gran variabilidad de caudal y de carga contaminante, así como un bajo contenido de materias en suspensión y coloidales. Generalmente son coloreadas, su carga orgánica media es aproximadamente el doble que el de un agua residual urbana y no acostumbra a contener productos tóxicos ni microorganismos patógenos. Además, acostumbran a ser deficientes en nutrientes, principalmente en nitrógeno (López, 2017).

De los 200 mil millones de m<sup>3</sup> de agua dulce disponible para la industria a nivel mundial, 2.5 mil millones de m<sup>3</sup> es decir el 1.25% corresponde a industrias textiles, la cual estará altamente contaminada después de los procesos. Para la fabricación de una tonelada de producto textil se consume aproximadamente 200 toneladas de agua y del total de productos químicos utilizados el 90% aproximadamente es vertido como desecho después de cumplir su misión. Las operaciones que contribuyen con la mayor descarga de desechos líquidos son el lavado, la tintura, el estampado y el acabado. Las aguas residuales textiles son irregulares y variables en su composición ya que dependen de la unidad de proceso y la operación que se efectuó. Las industrias textiles son contaminantes en términos de volumen y complejidad de sus efluentes ya que cada una de las actividades que realizan genera agua residual de características muy variables. Además, las aguas residuales textiles se caracterizan por tener pH que varía de acuerdo al proceso, altos valores de DQO, DBO, altos niveles de color, turbiedad, una alta concentración de sólidos suspendidos y descargas a altas temperaturas. Valores típicos de DQO y DBO para industrias dedicadas al acabado textil son 1700 mg O<sub>2</sub>/L y 550 mg O<sub>2</sub>/L. Las aguas residuales de teñido y de procesos de acabado de la industria textil con una demanda química de oxígeno que exceda 1600 mg O<sub>2</sub>/L y que tenga un color muy oscuro es considerada agua residual altamente contaminada y fuente significativa de contaminación (López, 2017).

### *2.1.2.2 Agentes químicos utilizados en el proceso de tinturado de la industria textil*

Los químicos utilizados en la industria textil variarán de acuerdo a los procesos empleados en las textileras, así, por ejemplo, la carga contaminante del desengomado está dada por sólidos suspendidos y disueltos, grasas y aceites, esta etapa contribuye aproximadamente en un 50% del total de sólidos suspendidos producidos por la planta; en el mercerizado también se emplea soda cáustica causando los mismos efectos sobre la carga contaminante que el desengomado; en la etapa de descruce se emplea hidróxido de sodio o soda cáustica, que causa una elevada alcalinidad y color grisáceo en el agua residual (color que es justificado por las impurezas aun presentes en la tela), por lo general no es posible recuperar este agente químico por los altos costos que esto conlleva (Maldonado, 2011).

El blanqueo es realizado con peróxido de hidrógeno contribuye poco con la carga contaminante. El aporte a la carga contaminante de los procesos de teñido es muy significativo y depende del tipo de colorante utilizado en la tintura, por lo general se presentan bajas cantidades de sólidos suspendidos y altas cantidades de DQO y DBO (Maldonado, 2011).

## **2.2 Aguas residuales**

Es el agua de composición variada proveniente de uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de otra índole, sea público o privado y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original (Tulsma, 2015).

### ***2.2.1 Agua Residual Industrial***

Agua de desecho generada en las operaciones o procesos industriales (Tulsma, 2015).

### ***2.2.2 Normativa ambiental para descargas a cuerpos de agua dulce***

De acuerdo a la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, mediante Acuerdo Ministerial 061 del 4 de Mayo de 2015. Del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097 A (Ver Anexo1A).

### ***2.2.3 Consideraciones para el muestreo de agua***

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169, una muestra proveniente de agua residual generada por cualquier industria debe cumplir ciertos requisitos para ser confiable y representativa, la cual será analizada en el laboratorio, determinando la concentración del Cadmio o cualquier otro parámetro físico, químico y biológico, para esto se deben considerar los siguientes aspectos técnicos:

- Precisión de la persona que toma la muestra, por lo que se recomienda que sea una sola persona para evitar su contaminación.
- Uso correcto de equipos y materiales
- Aplicar los protocolos de preservación y transporte de muestras
- En muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, llenar los frascos completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra. Esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte (así se evita la modificación del contenido de dióxido de carbono y la variación en el valor del pH, los bicarbonatos no se conviertan a la forma de carbonatos precipitables; el hierro tienda a oxidarse menos, limitando las variaciones de color, etc.).

En un efluente líquido industrial es necesario conocer el volumen de producción, tipo y antecedentes de la industria, horas de trabajo, área exacta donde se produce el contaminante, lugar de descarga donde se va a obtener las muestras a ser analizadas y tratadas, para esto se debe identificar un punto de descarga accesible, de no tenerlo se optará por el más representativo (Arce et al., 2007).

## **2.3 Metales Pesados**

Los metales pesados se conforman de aproximadamente 40 elementos químicos, tienen un peso atómico alto (mayor a 44 UMA) con una densidad que es mayor o igual que  $5 \text{ g/cm}^3$  (descartando a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Varios metales pesados son básicos para el normal funcionamiento de los organismos vivos, entre estos tenemos: V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, y Mo, pero en concentraciones altas tienen efectos tóxicos en las células, modificando principalmente el funcionamiento de proteínas o su desnaturalización. Los metales más tóxicos son plomo, mercurio y Cadmio, para esto no se ha registrado una función biológica específica (Tejada et al., 2012).

### **2.3.1 Cadmio**

Es un metal blanco que posee masa molar relativa es 112.4 g/mol, se funde a 321 °C y entra en estado ebullición a 767 °C. No se encuentra libre en la naturaleza sino forma parte de las sales o está coligado a varios minerales de Zn, Pb y Cu. El Cadmio a ecosistemas acuáticos llega producto de los desechos de industrias de galvanizados metálicos, de baterías de Cadmio-níquel, de fertilizantes fosfatados, amalgamas dentarias, lámparas incandescentes, minería, pigmentos, estabilizantes, etc. También son fuentes contaminantes las centrales atómicas en donde se utiliza como adsorbente de neutrones en los reactores nucleares (Colangelo et al., 2003).

#### *2.3.1.1 Efectos del cadmio en el medio ambiente y la salud de las personas*

El Cadmio y sus distintas variaciones se encuentran formando parte del grupo de las sustancias cancerígenas para el ser humano y debido a su elevada toxicidad sus concentraciones se encuentran regidas a una de las legislaciones más severas en el campo ambiental y de salud humana. En el agua el cadmio eleva su toxicidad al actuar sinérgicamente con otros compuestos químicos presentes y puede formar parte del torrente sanguíneo de los peces a través de dos vías principales: ingestión e introducción en las escamas (Sánchez, 2016).

### *2.3.1.2 Uso del cadmio en la industria textil*

Los pigmentos a base de Cadmio al ser obtenidos a altas temperaturas presentan una mayor estabilidad al calor y una mejor solidez a la intemperie, esta es una de las principales razones para su uso generalizado en la industria textil, dentro de estos tenemos el verde cadmio, rojo cadmio amarillo cadmio y naranja cadmio, una vez usados en los procesos de producción y coloración, de un 10 a 15 por ciento de los colorantes usados son vertidos como desechos contaminantes, estos poseen una gran persistencia y son tóxicos, por lo que deben ser degradados o al menos neutralizados antes de ir al ambiente (Serrano, 2015).

Dentro de la industria textil el Cadmio está presente principalmente en la gran variedad de pigmentos y colorantes que se utilizan en los procesos de coloración, dentro de estos tenemos, los colorantes poliamidas, mismos que actúan utilizando el proceso de agotamiento, a partir de un teñido continuo, con gel o en masa, dentro de estos pigmentos inorgánicos, los más utilizados son el dióxido de titanio, el sulfuro de Cadmio y el cadmio sulfoseleniuro (Sedlak, 2017); con lo que respecta al sulfuro de Cadmio este se utiliza de forma individual para dar una coloración amarillo o naranja, los sulfuros de selenio y Cadmio en conjunto se utilizan para conseguir tonalidades rosas, rojas y marrones; estos pigmentos son particularmente útiles para aplicaciones que requieren altas temperaturas o presiones, por eso se utilizan comúnmente en la fabricación de plásticos, cerámicos, pinturas y textiles (Morales, 2008).

## **2.4 Operaciones Unitarias**

Una operación unitaria se define como un área del proceso o equipo donde se incorporan materiales, insumos o materias primas, y ocurre una función determinada ya sean actividades básicas que forman parte del proceso (Seader, 2006).

### **2.4.1 Adsorción**

Operación unitaria física regida por la transferencia de materia. Consiste en la eliminación de algún componente de una fase fluida mediante un sólido que lo retiene.

La adsorción es un fenómeno de superficie. En la superficie del sólido se dan interacciones que hacen que las moléculas del fluido queden retenidas.

Los sólidos empleados han de tener una gran superficie de adsorción como es el caso del carbón activo, gel de sílice, alúmina activada.

Las características principales de la adsorción son:

- La adsorción es altamente selectiva. La cantidad adsorbida dependerá en su mayoría de la naturaleza, del tratamiento antes que se haya sometido a la superficie del adsorbente y de la naturaleza de la sustancia adsorbida.
- Es un proceso rápido cuya velocidad se acelera cuando la temperatura lo hace, pero disminuye cuando aumenta la cantidad adsorbida.
- Dado que los procesos de adsorción son básicamente exotérmicos, al acrecentar la temperatura se reduce la cantidad adsorbida (Seader, 2006).

## ***2.4.2 Parámetros que influyen en el proceso de adsorción***

### *2.4.2.1 Influencia del pH*

El valor del pH de la fase acuosa es el factor más importante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto distinto en ambos casos. Así, mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4.5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1.5 y 4 (Kuyucak et al., 2008).

Existen tres vías de influencia del pH en la adsorción del metal:

- a) El estado químico del sitio activo podría cambiar con el valor del pH.

Cuando los grupos de unión en el metal son débilmente ácidos o básicos, la disponibilidad de los lugares libres depende del pH. Los grupos ácidos tienden a liberar protones, en especial en los medios básicos, mientras que los grupos básicos los captan cuando están en un medio ácido. De esta forma pueden crearse cargas positivas o negativas en la superficie del bioadsorbente (Schiewer, 2009).

b) Valores extremos de pH, como los empleados para la regeneración de sorbente

Podría afectar la estructura del material generando pérdidas significativas de peso y la disminución de la capacidad de adsorción, son algunos de los efectos registrados por varios investigadores (Aldor et al., 1995).

c) La especiación del metal en solución depende del pH

En pH bajos los cationes están como iones, pero a pH elevados se pueden generar otros compuestos que puede precipitar, para establecer el rango de pH de trabajo se ocupa el software Hydra y medusa (Schiewer, 2009).

#### 2.4.2.2 *Tiempo de equilibrio*

Es el tiempo en el cual el biosorbente se satura y no se incrementa la adsorción del metal. Para lo cual se debe ejecutar un estudio del efecto del tiempo de contacto para poder obtener el tiempo de equilibrio y complementar con un estudio cinético para determinar la naturaleza del proceso. Los investigadores en su mayoría indican que la biosorción es un proceso rápido que se da entre los 15 y 30 minutos donde se remueve la mayor cantidad de los metales pesados (Blázquez et al., 2005).

En función a lo antes descrito, (Gong et al., 2005) determinó que la máxima retención de plomo con *Spirulina* se da a los 60 minutos de tiempo de contacto; Gode y Pehlivan (2005) en la biosorción de cromo con carbón, obtuvo un equilibrio a los 15 minutos del contacto inicial. Para la biosorción de Cadmio con hueso de aceituna se registró como el proceso también es rápido, debido a que, a los 20 minutos se ha removido el 80% del Cadmio en disolución y el equilibrio se logró antes de los 120 minutos del inicio de la investigación.

#### 2.4.2.3 *Influencia del tamaño de la partícula*

El tamaño de partícula modifica tanto a la capacidad de adsorción, así como el tiempo de la reacción. La presencia de un mayor número de centros activos presentes para la reacción y la gran facilidad con que el adsorbato puede acceder a ellos, con una disminución de la limitación

a la difusión en la parte interna de los poros, son las causas del incremento de la capacidad de retención con la disminución del tamaño de partícula.

Se ha determinado que un incremento en el tiempo de equilibrio se da alrededor de 20 min a 2 horas, al aumentar el tamaño de partícula de 0.5-1.0 mm, para la bioadsorción de Cu en pulpa de remolacha azucarera, además en investigaciones ejecutadas con la cáscara de naranja, al ocupar un menor tamaño de partícula se lograron tiempos de equilibrio tras 30 minutos de implementado el experimento, mientras que con un mayor tamaño se requirió entre una y dos horas para lograr la máxima saturación (Gérente et al., 2000).

### **2.4.3 Bioadsorción**

Es el proceso de captación pasiva de iones metálicos o de otras sustancias. Se basa en el beneficio de la capacidad que poseen varios tipos de biomasa inactivas o muertas para enlazar y acumular a estos elementos a partir de mecanismos de intercambio iónico, adsorción física y complejación (Volesky, 2003).

Las ventajas de la bioadsorción son:

- Es un proceso de bajo costo, por el poco gasto de material bioadsorbente, la nula necesidad de reactivos y un consumo energético menor en el proceso.
- Presenta una gran eficiencia, en especial cuando la concentración de metal en el agua residual es poca, ya que las técnicas usuales son ineficaces.
- Es posible recuperar un gran número del biosorbente y se puede utilizar en ciclos continuos de adsorción-desorción.
- Se puede recuperar el metal luego del proceso de biosorción.
- No se produce lodos (Volesky, 2003).

#### **2.4.3.1 Biosorbentes**

Los Biosorbentes se clasifican en dos tipos:

- **Biomasa microbiana.** Está conformada por las algas, bacterias, hongos y levaduras que las encontramos disponibles y en grandes proporciones en la naturaleza. La inmovilización de

la misma en una estructura sólida genera un material con el tamaño, resistencia mecánica, rigidez y porosidad necesaria para ambientes específicos.

- **Residuos vegetales.** originarios de procesos agroindustriales (Volesky, 2003).

## 2.5 Naranja

La naranja específicamente conocida como *Citrus sinensis*, es una de las más exquisitas frutas subtropicales del mundo. El fruto es globoso y achatado, con una anchura de 6,5 a 9,5 cm. El epicarpio exterior es de color naranja cuando está maduro, mientras que el mesocarpio interno es blanco y esponjoso y no aromático.

Tradicionalmente, las cáscaras de naranja 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 cosméticos. Hoy en día, se han reportado diversas aplicaciones en el ámbito farmacéutico, gracias a sus propiedades antioxidantes germicida. Sin embargo, la aplicación de estos componentes es limitada debido a que la demanda global de estos productos con valor agregado es relativamente insignificante (Foo, 2011).

### 2.5.1 Composición de la cáscara de la naranja

#### 2.5.1.1 Celulosa

Polímero de cadenas largas sin ramificaciones de  $\beta$ - D-Glucosa y se diferencia del almidón por estar conformada por grupos hidroximetil  $-CH_2OH$  alternando por arriba y por debajo del plano de la molécula. La falta de cadenas laterales permite a las moléculas de celulosa juntarse unas a otras para generar estructuras rígidas (Tomme et al., 1995).

### 2.5.1.2 *Hemicelulosa*

Polisacáridos que conforman las paredes celulares de la vegetación y se pueden obtener con soluciones alcalinas diluidas. Las hemicelulosas conforman aproximadamente una tercera parte de los carbohidratos en las zonas maderables de las plantas. La estructura química de las hemicelulosas está conformada por cadenas largas con una gran variedad de pentosas, hexosas, y ácidos úronicos (Brummell, 2001).

### 2.5.1.3 *Pectina*

Son una combinación de polímeros ácidos y neutros muy ramificados. Forman el 30% del peso seco en la pared celular primaria de células de las plantas. Establecen la porosidad de la pared, y por tanto el grado de disponibilidad de los sustratos de las enzimas comprometidas en las modificaciones de la misma. Las pectinas también generan superficies cargadas que mantienen el pH y el balance iónico (Tapia, 2003).

## 2.5.2 *Naranja variedad “valencia”*

Es la variedad de naranja que tiene mayor demanda a nivel mundial y una de las más cultivadas en el Ecuador.

Da frutos de tamaño mediano, corteza un tanto gruesa, dura y coriácea. Superficie lisa, ligeramente áspera, jugo abundante y menos de seis semillas por fruto. Se mantiene bien en el árbol después de madurar y si se riega puede llegar a reverdecer. Es de madures tardía y excelente para la industria de jugos. De todas las variedades comerciales, es la que posee el mayor rango de adaptación climática.

### ***2.5.3 La cáscara de naranja como sorbente***

En las últimas décadas la utilización de desechos o residuos generados por el comercio ha incrementado, en especial en el país se ha incrementado su cantidad debido a un aumento en el comercio de jugo de naranja, generando gran cantidad de desechos y que habitualmente no tienen ninguna utilidad; entre los desechos se encuentran principalmente la cáscara de naranja que está constituida por dos partes visibles, la parte externa que se caracteriza por su color amarillo (el flavedo) y la parte interna que es distinguida por ser esponjosa y de color blanco (el albedo), este último es de importancia dentro de los estudios de sorción ya que contiene pectina en su estructura y que junto con las manzanas y uvas son consideradas como potenciales materiales sorbentes, pero además se ha determinado que el fruto cítrico es la de mayor relevancia entre las mencionadas (Soto, 2009).

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Zona de estudio

La presente investigación se realizó en dos fábricas de textiles del cantón Pelileo, provincia de Tungurahua.

##### 3.1.1 *Lugar de la investigación*

Las muestras de agua fueron tomadas en los tanques de sedimentación de las fábricas de textiles. La implementación y análisis de los tratamientos se realizó en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

#### 3.2 Tipo de investigación

La investigación es de tipo cuasi-experimental ya que se desconoce la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja del Cadmio existente en las muestras de agua de efluente de las fábricas de textil y el punto de muestreo se tomó a elección del investigador; explicativa ya que se analizó los efectos del cambio de pH en el efluente, la relación g/L (cantidad del adsorbente por litro del efluente) y el tamaño de la partícula.

### **3.2.1 Identificación de variables e hipótesis**

#### 3.2.1.1 Variables

##### 3.2.1.1.1 Dependiente

- Concentración inicial de Cadmio

##### 3.2.1.1.2 Independiente

- Tamaño de la partícula.
- Relación g/L
- pH

#### 3.2.1.2 Hipótesis

##### 3.2.1.2.1 Alternante

¿La cáscara de naranja posee la capacidad de adsorber el Cadmio presente en aguas de efluentes de la industria textil?

¿El nivel de pH en los efluentes incide en un aumento en la tasa de adsorción de la cáscara de naranja?

##### 3.2.1.2.2 Nula

¿La cáscara de naranja no posee la capacidad de adsorber el Cadmio presente en aguas de efluentes de la industria textil?

¿El nivel de pH en los efluentes no incide en un aumento en la tasa de adsorción de la cáscara de la naranja?

### **3.2.2 Diseño Cuasi – experimental**

Esta investigación se desarrolló en dos etapas, donde se determinó si existe diferencias significativas en la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja, esto se evaluó a partir del porcentaje de adsorción: en una primera etapa se usó dos tamaños de partícula en tres relaciones g/L, los resultados favorables fueron los del experimento donde se observó un mayor porcentaje de adsorción, este experimento a la postre se utilizó en la segunda etapa para evaluar la influencia del pH en la capacidad de adsorción.

#### **3.2.2.1 Tipo de diseño**

El primer diseño experimental fue de TIPO FACTORIAL con tres relaciones gramos de cáscara de naranja por litro de agua, y dos tamaños de partícula de naranja; el segundo diseño es de tipo DCA (Diseño Completamente al Azar) para comparar dos niveles de pH; con un total de tres repeticiones para cada diseño, datos que se distribuyeron de la siguiente forma:

#### **Diseño 1 (Tabla 1-3)**

##### **Tamaño de la cáscara de naranja/ Nomenclatura = T**

- T1 = Tamaño – 3 mm
- T2 = Tamaño – 5 mm

##### **Relación g/L / Nomenclatura = R**

- R1 = Relación 1 – 10 g/L
- R2 = Relación 2 – 15 g/L
- R3 = Relación 3 – 20 g/L

**Repeticiones / Nomenclatura = r** - Se realizó un total de tres repeticiones

**Tabla 1-3.** Diseño Factorial

Tamaño de la partícula	Relación g/L	r1	r2	r3
T1	R1	T1R1r1	T1R1r2	T1R1r3
T1	R2	T1R2r1	T1R2r2	T1R2r3
T1	R3	T1R3r1	T1R3r2	T1R3r3
T2	R1	T2R1r1	T2R1r2	T2R1r3
T2	R2	T2R2r1	T2R2r2	T2R2r3
T2	R3	T2R3r1	T2R3r2	T2R3r3

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**Diseño 2 (Tabla 2-3)**

**pH / Nomenclatura = P**

- P1 = pH 1 – 3
- P2 = pH 2 – 5

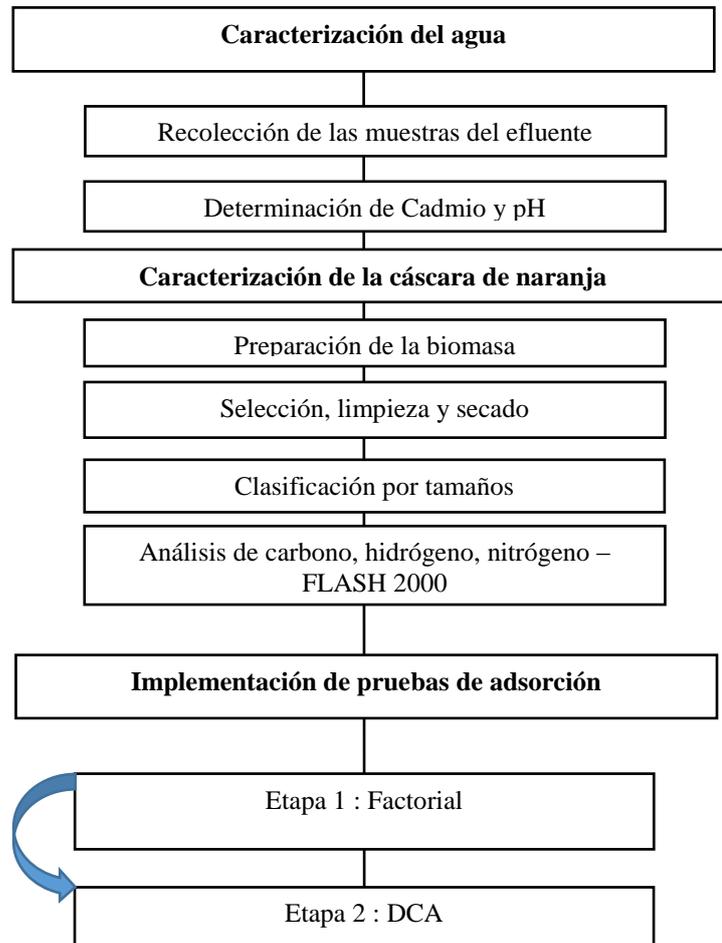
**Repeticiones / Nomenclatura = r** - Se realizó un total de tres repeticiones

**Tabla 2-3.** Diseño completamente al azar

pH	r1	r2	r3
P1	P1r1	P1r2	P1r3
P2	P2r1	P2r2	P2r3

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

### 3.2.3 Proceso



**Figura 1-3.** Esquema del proceso

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

### 3.2.3.1 Caracterización del agua

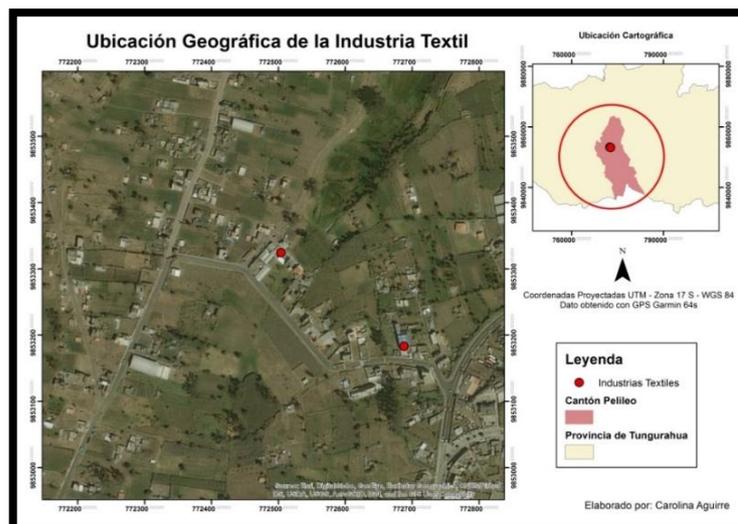
#### **Recolección de las muestras del efluente**

Las muestras se recolectaron en los tanques de sedimentación de las fábricas (Figura 10-3), se utilizó una botella de 4 litros previa desinfección, la botella se sumergió y vació por dos ocasiones en el efluente, en la tercera iteración se realizó el llenado con la muestra y se selló herméticamente.



**Figura 2-3.** Recolección de muestra del efluente

**Elaborado por:** Aguirre, D. 2017



**Figura 3-3.** Ubicación geográfica de las fábricas

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

### Determinación de Cadmio y pH

Se determinó la concentración de Cadmio en el espectrofotómetro de absorción atómica y el pH utilizando un pH- metro (Figura 12-3)



**Figura 4-3.** Caracterización de los efluentes

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

### 3.2.3.2 Caracterización de la cáscara de naranja

#### Preparación de la cáscara de naranja

Para caracterizar el material bioadsorbente e implementar los experimentos, se ejecutó un tratamiento previo a la misma, esto con el fin de eliminar elementos extraños u otros compuestos que a la postre afectarían el proceso de adsorción, para lo cual se requirió aplicar a la cáscara de naranja un proceso de disminución de su tamaño, de lavado y secado.

El material bioadsorbente que se recolectó, fue la cascara de naranja de la variedad valencia, para luego ser sometido al proceso descrito a continuación:

**Selección.** Se tuvo que tener en cuenta como requisito indispensable que el estado de la biomasa sea de calidad, para impedir la descomposición y tener la garantía de un proceso de secado del material en condiciones adecuadas. Se obtuvo una muestra de 1000 g de cáscara. A las cáscaras se le redujo su tamaño a 1 cm aproximadamente, de forma manual (Figura 2-3), con esto se facilitó la manipulación en las posteriores etapas.



**Figura 5-3.** Reducción de tamaño del material bioadsorbente

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

- **Limpieza.** La cáscara de naranja se sometió a un lavado con abundante agua destilada y se lo dejar secar en una cámara aislante para eliminar el agua del lavado y evitar la contaminación de la misma, por un tiempo aproximado de 1 hora (Figura 3-3).



**Figura 6-3.** Lavado y secado de la cáscara de naranja

**Elaborado por:** Aguirre, D. 2017

- **Secado.** -Una vez limpia las cáscaras de naranja y eliminado el agua del lavado, se inició un tratamiento de secado, para esto se usó un horno, con una temperatura de  $90^{\circ}\text{C}$ , en un tiempo de 1 h hasta tener un peso constante para la cáscara de naranja (Figura 4-3).



**Figura 7-3.** Secado del material bioadsorbente

**Elaborado por:** Aguirre, D. 2017

**Clasificación por tamaños.** Se generó dos matrices de 3 mm y 5 mm a partir de estas se recortó la cáscara de naranja hasta alcanzar los pesos establecidos en el apartado de diseño cuasi experimental (Figura 5-3).



**Figura 8-3.** Reducción y clasificación por tamaños del material bioadsorbente

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

### **Análisis de Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno**

Una vez clasificado, reducido y secado el material bioadsorbente se realizó la caracterización del mismo, este proceso consistió en determinar los elementos básicos presentes en la estructura de la cáscara de naranja C, H y N (Tabla 3-3).

**Tabla 3-3.** Análisis de elementos básicos del bioadsorbente

<b>PARÁMETROS</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>LUGAR DE REALIZACIÓN</b>
Carbono, (%)	Combustión Dumas Automatizado	Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.
Hidrógeno, (%)	Combustión Dumas Automatizado	Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.
Nitrógeno, (%)	Combustión Dumas Automatizado	Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

El procedimiento es el utilizado por el Laboratorio de Servicios ambientales, denominado “Combustión Dumas Automatizado”, el cual consta de dos etapas, primera consiste en la preparación de las muestras y la segunda consta de la calibración y el análisis en el equipo FLASH 2000 Series CHNS/S, mismas que se describe a continuación.

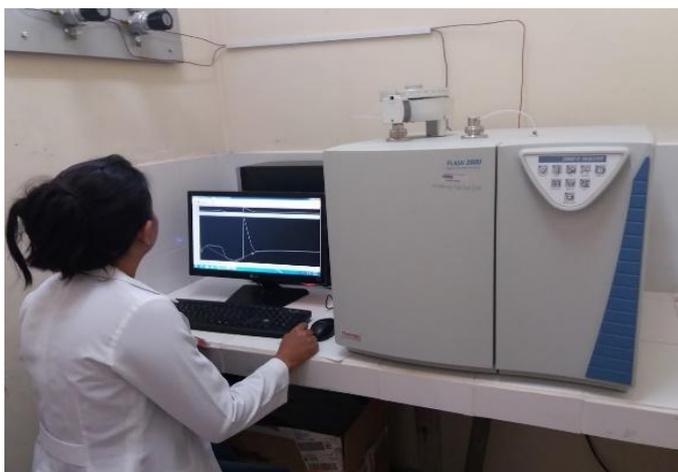
### **Etapas 1 - Preparación de la muestra**

- a) Las muestras de cáscara de naranja se colocaron en la estufa a 105°C por 1 hora.
- b) Las muestras se trituraron en un mortero hasta alcanzar un polvo fino (Figura 6-3).
- c) Se pesan muestras de entre 10 mg y 15 mg, y se colocan en las cápsulas de aluminio suministradas por el fabricante, en total se prepararon 10 muestras.

### **Etapas 2 - Calibración del equipo y obtención de resultados**

El equipo forma parte del laboratorio de servicios ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, los protocolos de funcionamiento y calibración para los análisis de describen a continuación:

- a) Antes de comenzar los análisis el equipo se calentó hasta alcanzar una temperatura de 950°C (Figura 7-3).



**Figura 9-3.** Encendido y configuración inicial del equipo

**Elaborado por:** Aguirre, D. 2017

- b) La calibración del equipo se la realizó a través de los blancos o standard de calibración, para esto se usó un total de cinco blancos, estos blancos fueron pesados y colocados en las cápsulas de aluminio: en la primera se colocó de 2-3 mg de BBOT (6.51% N, 72.53% C, 6.09% H y 7.44% S), en la segunda no se colocó nada, para las siguientes tres cápsulas se pesaron de 2-3 mg de BBOT + 10 mg de pentóxido de vanadio (Figura 8-3).

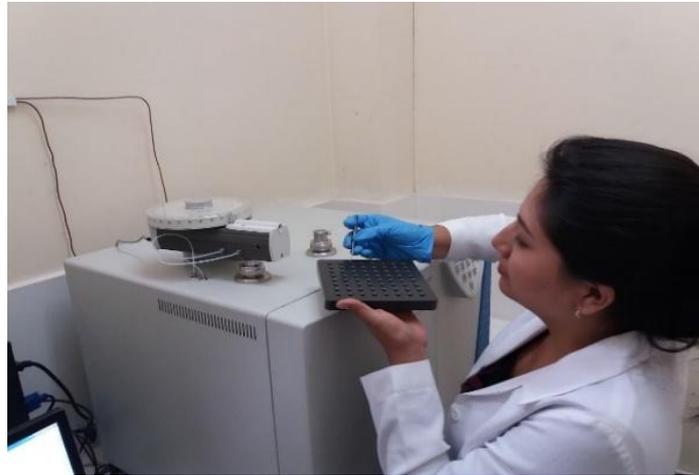


**Figura 10-3.** Preparación de blancos de calibración

**Elaborado por:** Aguirre, D. 2017

- c) Después de colocar las 5 cápsulas de calibración se colocaron las cápsulas que contienen las muestras de cáscara de naranja.

- d) Todas las muestras son colocadas en el anillo de distribución del equipo y se dio inicio al proceso de análisis, para cada muestra el equipo tarda aproximadamente un tiempo de 12 minutos, los resultados entregados se encuentran expresados en porcentajes de N, C, H (Figura 9-3).



**Figura 11-3.** Obtención de resultados finales

**Elaborado por:** Aguirre, D. 2017

### 3.2.3.3 Implementación de pruebas de adsorción

Dentro de las pruebas se calcularon dos parámetros:

#### **Porcentaje de adsorción**

Se determinó el porcentaje de adsorción del Cadmio, para esto se comparó la concentración inicial y final del Cadmio a partir de la siguiente ecuación (Monge et al., 2009):

$$\% \text{ de adsorción de cadmio} = \frac{\text{inicial de cadmio} - [\text{final de cadmio}]}{[\text{final de cadmio}]} * 100$$

#### **Capacidad de adsorción**

Se pudo determinar la concentración de Cadmio retenida por el bioadsorbente, para esto se aplicó la siguiente ecuación (Sánchez et al., 2014).

$$q \left( \frac{mg}{g} \right) = \frac{(C_o - C_f) * V}{m}$$

**Dónde:**

q = Capacidad de adsorción mg de Cadmio por gramos de cáscara de naranja)

V = Volumen de la solución (L)

C<sub>0</sub> = Concentración inicial del Cadmio (mg/L)

C<sub>f</sub> = Concentración final del Cadmio (mg/L)

m = Masa del bioadsorbente (g)

Se usó como concentración inicial de Cadmio la determinada en la caracterización de los efluentes en estudio.

**Cuasi experimento Factorial (Etapa 1)**

Se comparó los porcentajes de adsorción tomando en cuenta dos variables de tamaño de la partícula el cual fue de 3 mm - 5 mm y tres distintas relaciones g/L establecidas en la parte de diseño experimental, para facilitar la implementación de los experimentos se utilizó 300 mL de efluente, por lo que se calcularon las nuevas cantidades de bioadsorbente, de acuerdo con el líquido a utilizar (Tabla 4-3).

**Tabla 4-3.** Cantidad de bioadsorbente para 300 mL de afluente

Relación g/L	g (bioadsorbente) /mL (efluente)
10	3/300
15	4.5/300
20	6/300

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

A partir de las nuevas relaciones, se realizó el siguiente procedimiento:

- a) En la balanza analítica se pesó 3 g, 3.5 g y 6 g de la cáscara de naranja en los tamaños de partícula establecidos para los experimentos (3 mm y 5 mm) (Figura 13-3)



**Figura 12-3.** Pesaje del bioadsorbente

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

- b) Para cada experimento se colocó en un Erlenmeyer 300 mL del efluente en conjunto con la cáscara de naranja (Figura 14-3).



**Figura 13-3.** Implementación de experimentos

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

- c) Se dejó en reposo por 2 horas a temperatura ambiente de laboratorio ( $18^{\circ}\text{C}$ ), finalizado el tiempo se calculó las concentraciones de Cadmio.
- d) Se determinó a partir de la prueba de separación de medias de TUKEY qué experimento presentó el mejor porcentaje de adsorción.

### **Cuasi Experimento DCA (Etapa 2)**

Seleccionado el mejor porcentaje de adsorción se realizó un nuevo ensayo, para esto se evaluó dos niveles de pH 3 y 5, de acuerdo a lo descrito en las fuentes bibliográficas, que indican que en medios ácidos se obtiene una mejor capacidad adsorción, por ende, un mejor porcentaje de adsorción, para esto se aplicó el siguiente procedimiento:

- a) En la balanza analítica se pesó la cáscara de naranja con el tamaño de partícula y peso seleccionado en el primer ensayo.
- b) Para cada experimento se colocó en un Erlenmeyer 300 ml del efluente en conjunto con la cáscara de naranja.
- c) Con la adición de HCl 0.1M se llevó los experimentos a los niveles de pH establecidos para este ensayo, se dejó en reposo por 2 horas a temperatura ambiente de laboratorio ( $18^{\circ}\text{C}$ ), el

pH de los experimentos fue revisado periódicamente en post de obtener resultados exactos, finalizado este tiempo se calculó las concentraciones de Cadmio (Figura 16-3).



**Figura 14-3.** Modificación del pH de los experimentos

**Elaborado por:** Aguirre, D. 2017

- d) Se determinó a partir de la prueba de separación de medias de TUKEY qué experimento presentó el mejor porcentaje de adsorción.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Caracterización del agua

Los resultados obtenidos en la caracterización de las muestras de agua, son los siguientes;

**Tabla 1-4.** Caracterización de los efluentes de la industria textil

<b>Id</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Efluente 1</b>	<b>Efluente 2</b>	<b>L.M.P</b>
1	Potencial hidrógeno	-	8.6	7.9	6 -9
2	Sólidos suspendidos totales	mg/L	453	424	130
4	Cadmio	mg/L	12.210	11.370	0.02
5	Demanda bioquímica de oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L	490	450	100
6	Demanda química de oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L	750	690	200
10	Cloruros	mg/Cl <sup>-</sup>	2531.34	2496.56	1000

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

#### **Discusión:**

Los análisis de laboratorio indicaron valores que sobrepasan los límites máximos permitidos por la legislación actual para Descargas en Cuerpos de Agua Dulce (Ver Anexo 1A), en lo que respecta al Cadmio para el efluente 1 se registró una concentración de 12.210 mg/L de Cadmio

y pH 8.6; y para el efluente 2 fue de 11.370 mg/L de Cadmio y pH 7.9; siendo el límite permisible para Cadmio 0.02 mg/L y pH 6-9.

Estos valores probablemente se deben a los diferentes productos químicos empleados en las diferentes operaciones de las fábricas de textiles.

Dentro de la industria textil el Cadmio está presente principalmente en la gran variedad de pigmentos y colorantes que se utilizan en los procesos de coloración, dentro de estos tenemos, dióxido de titanio, el sulfuro de Cadmio y el cadmio sulfoseleniuro, con lo que respecta al sulfuro de Cadmio este se utiliza de forma individual para dar una coloración amarillo o naranja, los sulfuros de selenio y Cadmio en conjunto se utilizan para conseguir tonalidades rosas, rojas y marrones. Y el pH básico se puede deber a que el proceso de teñido de telas se realiza en pH comprendidos entre 9.5 y 11, empleando carbonato de sodio.

#### 4.2 Caracterización de la cáscara de naranja

Los resultados obtenidos para carbono se encuentran dentro de los parámetros descritos por la literatura cuyos rangos fluctúan entre el 40.99% - 48.75%, el registrado en la presente investigación es 47.53%, este porcentaje en conjunto con los obtenidos para hidrógeno, nitrógeno favorecerán en el proceso de adsorción de la cáscara de naranja (Tabla 7-4)

**Tabla 2-4.** Porcentajes de C, H y N del material bioadsorbente

<b>Id</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
1	Carbono	47.53%
2	Hidrógeno	8.13%
3	Nitrógeno	0.95%

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**Discusión:** En lo referente a la caracterización de la cáscara de la naranja, nos permite inferir que el material es apto para realizar procesos de adsorción al tener un porcentaje de carbono de 47.53%, hidrógeno de 8.13% y nitrógeno de 0.95%, valores que concuerdan por lo reportado

por Pinzón y Cardona (2008), estos elementos químicos como en cualquier otro material vegetal forman parte de la celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina, polímeros de cadenas largas ramificadas son los responsables de la adsorción de los iones metálicos (Tejada. et al., 2015).

El albedo de la cáscara de naranja es rico en pectina, la misma que está formada por grupos carboxilo de largas cadenas, los mismos que presentan sitios activos para el contaminante.

#### **4.3 Concentraciones finales de Cadmio para el efluente 1 y 2 posterior a la implementación de los tratamientos.**

En la tabla 3-4 y 4-4 se presenta las concentraciones de Cadmio (mg/L) obtenidas después de las 2 horas de la implementación de los experimentos para los efluentes en estudio, como se detallaron en el diseño experimental.

**Tabla 3-4.** Concentración final de Cadmio – efluente 1

<b>Experimento</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>Medias</b>
T1R1r1	11.270	11.203
T1R1r2	11.190	
T1R1r3	11.150	
T1R2r1	11.160	11.177
T1R2r2	11.130	
T1R2r3	11.240	
T1R3r1	10.910	10.963
T1R3r2	10.970	
T1R3r3	11.010	
T2R1r1	11.230	11.257
T2R1r2	11.250	
T2R1r3	11.290	
T2R2r1	11.190	11.190
T2R2r2	11.170	
T2R2r3	11.210	
T2R3r1	11.050	11.036
T2R3r2	11.033	
T2R3r3	11.025	

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**T1** = 3 mm      **R1** = 10 g/L      **r** = Repetición  
**T2** = 5 mm      **R2** = 15 g/L  
**R3** = 20 g/L

**Tabla 4-4.** Concentración final de Cadmio – efluente 2

<b>Experimento</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>Medias</b>
T1R1r1	10.410	10.443
T1R1r2	10.450	
T1R1r3	10.470	
T1R2r1	10.290	10.273
T1R2r2	10.320	
T1R2r3	10.210	
T1R3r1	9.890	9.983
T1R3r2	9.970	
T1R3r3	10.090	
T2R1r1	10.390	10.356
T2R1r2	10.310	
T2R1r3	10.370	
T2R2r1	10.270	10.276
T2R2r2	10.290	
T2R2r3	10.270	
T2R3r1	10.220	10.230
T2R3r2	10.230	
T2R3r3	10.240	

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**T1** = 3 mm

**R1** = 10 g/L      **r** = Repetición

**T2** = 5 mm

**R2** = 15 g/L

**R3** = 20 g/L

Para ámbos efluentes se determina los mejores resultados de concentración de cadmio al utilizar 20 gramos de cáscara de naranja de 3 mm por litro de solución.

#### 4.4 Porcentaje de adsorción de la cáscara de naranja en los efluentes 1 y 2

##### 4.4.1 Efluente 1

En la tabla 5-4 se muestra la tasa de adsorción calculada para cada experimento y el porcentaje de adsorción; se calculó la media por cada repetición realizada.

**Tabla 5-4.** Porcentaje de adsorción del efluente 1

Experimentos	Tasa de adsorción	Porcentaje de adsorción	Media
T1R1r1	0.077	7.699%	8.245%
T1R1r2	0.084	8.354%	
T1R1r3	0.087	8.681%	
T1R2r1	0.086	8.600%	8.463%
T1R2r2	0.088	8.845%	
T1R2r3	0.079	7.944%	
T1R3r1	0.106	10.647%	10.210%
T1R3r2	0.102	10.156%	
T1R3r3	0.098	9.828%	
T2R1r1	0.080	8.026%	7.808%
T2R1r2	0.079	7.862%	
T2R1r3	0.075	7.535%	
T2R2r1	0.084	8.354%	8.354%
T2R2r2	0.085	8.518%	
T2R2r3	0.082	8.190%	
T2R3r1	0.095	9.500%	9.615%
T2R3r2	0.096	9.640%	
T2R3r3	0.097	9.705%	

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**T1** = 3 mm

**R1** = 10 g/L

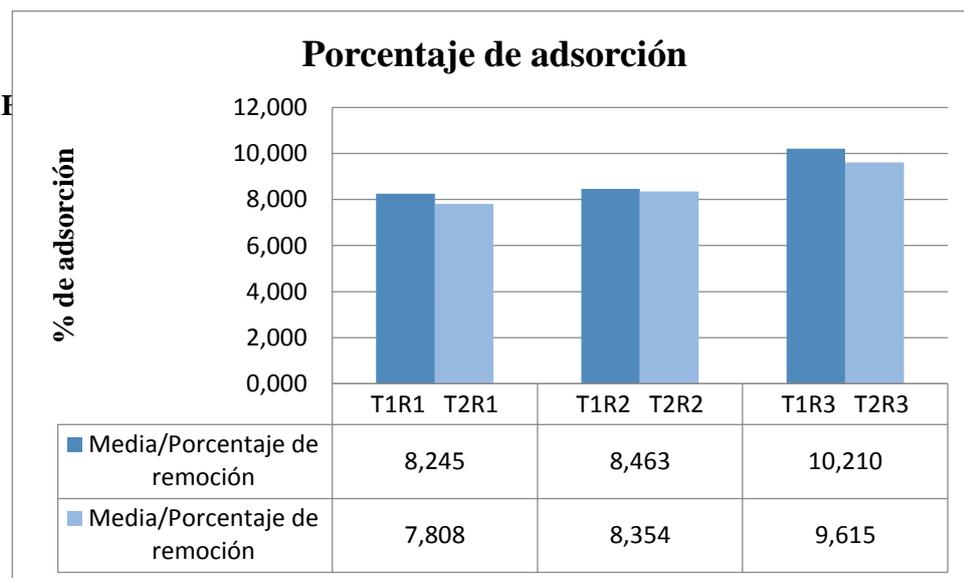
**r** = Repetición

**T2** = 5 mm

**R2** = 15 g/L

**R3** = 20 g/L

En el gráfico 1-4 se compara las medias del porcentaje de adsorción obtenido para cada experimento de los distintos relaciones g/L establecidos para los tamaños de partícula propuestos, se observó que el juego de experimentos T1R3 (10.210%) y el juego de experimentos T2R3 (9.615%) presentan un mayor porcentaje de adsorción respecto a los otros experimentos, dentro de estos dos experimentos el correspondiente a T1R3 presentó un aumento en el porcentaje de adsorción con respecto a T2R3, con una diferencia de 0.595%.



**Gráfico 1-4.** Comparación de los porcentajes de adsorción – efluente 1

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**T1** = 3 mm

**R1** = 10 g/L

**r** = Repetición

**T2** = 5 mm

**R2** = 15 g/L

**R3** = 20 g/L

#### 4.4.2 Efluente 2

En la tabla 6-4 se muestra la tasa de adsorción calculada para cada experimento y el porcentaje de adsorción; se calculó la media por cada repetición realizada.

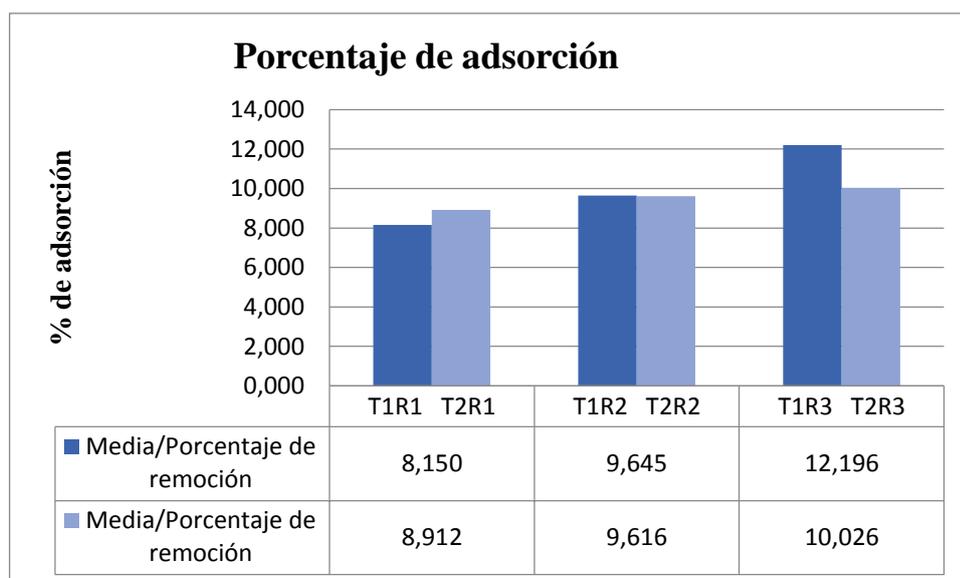
**Tabla 6-4.** Porcentaje de adsorción del efluente 2

<b>Experimento</b>	<b>Tasa de adsorción</b>	<b>Porcentaje de adsorción</b>	<b>Media</b>
T1R1r1	0.084	8.443%	8.150%
T1R1r2	0.081	8.091%	
T1R1r3	0.079	7.916%	
T1R2r1	0.095	9.499%	9.645%
T1R2r2	0.092	9.235%	
T1R2r3	0.102	10.202%	
T1R3r1	0.130	13.017%	12.196%
T1R3r2	0.123	12.313%	
T1R3r3	0.113	11.258%	
T2R1r1	0.086	8.619%	8.912%
T2R1r2	0.093	9.323%	
T2R1r3	0.088	8.795%	
T2R2r1	0.097	9.675%	9.616%
T2R2r2	0.095	9.499%	
T2R2r3	0.097	9.675%	
T2R3r1	0.101	10.114%	10.025%
T2R3r2	0.100	10.026%	
T2R3r3	0.099	9.938%	

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**T1** = 3 mm**R1** = 10 g/L**r** = Repetición**T2** = 5 mm**R2** = 15 g/L**R3** = 20 g/L

Con lo que respecta al efluente 2 (Gráfico 2-4), se presentó una misma tendencia en los porcentajes de adsorción donde los experimentos T1R3 (12.196%) y T2R3 (10.025%) presentaron un mayor porcentaje de adsorción con respecto a los otros tratamientos; dentro de estos dos experimentos, T1R3 presentó nuevamente un mayor porcentaje de adsorción con una diferencia de 2.171%.



**Gráfico 2-4.** Comparación de los porcentajes de adsorción – efluente 2

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**T1** = 3 mm                      **R1** = 10 g/L                      **r** = Repetición  
**T2** = 5 mm                      **R2** = 15 g/L  
**R3** = 20 g/L

En una primera etapa se realizó una comparación entre los distintos tamaños de cáscara de naranja (3, 5 mm) a distintas relaciones g/L (10,15,20) sin alterar el pH propio de las muestras de los efluentes, esto permitió determinar que la mejor combinación fue la de 3 mm con 20 g/L para los dos efluentes, en el primero se obtuvo una concentración de Cadmio de 10.963 mg/L con porcentaje de adsorción de 10.210 ; y en el segundo efluente 9.983 mg/L de Cadmio con porcentaje de adsorción de 12.196.

**Discusión:** Estos resultados concuerdan con diversos estudios realizados con cáscara de naranja y otros bioadsorbentes donde con una mayor cantidad de adsorbente obtuvieron mejores porcentajes de adsorción en efluentes contaminados con metales pesados, Bedoya y Cardona (2010) obtuvieron un 61.201% de adsorción con cáscara de naranja, Higuera et al. (2009) un 88% con hoja de café y Garg y Gupta (2004) un 92.212% con aserrín, debido a que una mayor cantidad de adsorbente a menor tamaño aumenta la cantidad de sitios activos para la adsorción reflejándose mayor disminución en la concentración del metal, , por lo que el grado de adsorción es proporcional a la superficie específica, es decir la parte de la superficie total que

está a disposición de la adsorción, la disminución del tamaño de la partícula conlleva a un aumento en el área superficial y por ende mejoran las oportunidades de adsorción en la superficie externa, por esta razón a menor tamaño de partícula y mayor cantidad de biomasa usada, el porcentaje de adsorción aumenta, ya que se genera una mayor posibilidad de adhesión de iones de Cadmio.

#### **4.5 Análisis estadístico de los experimentos en el efluente 1 y 2**

Se validó la primera hipótesis establecida para la investigación, ya que la cáscara de naranja tuvo la capacidad de adsorber el Cadmio presente en los efluentes en estudio, con un porcentaje de adsorción medio entre todos los juegos de experimentos de 8.782% en el efluente 1 y de 9.758% para el efluente 2; con el análisis estadístico se determinó como la relación g/L y el tamaño de la partícula en los experimentos influyó en el porcentaje de adsorción calculado.

##### ***4.5.1 Efluente 1***

Ho: Todos los tratamientos son iguales;  $p > 0.05$

Hi: Al menos un tratamiento es diferente;  $p \leq 0.05$

Mediante el análisis de varianza se estableció la diferencia real entre los experimentos implementados, se comparó el tamaño de partícula y la relación g/L; respecto a la relación g/L el p-valor es de  $< 0.0001$  por lo tanto existe una diferencia significativa en el porcentaje de adsorción al aplicar distintas relaciones en una misma muestra; en relación al tamaño de partícula el p-valor es de 0.0400 esto indicó que existe una diferencia significativa en los porcentajes de adsorción al variar el tamaño de la partícula. El p-valor obtenido para la relación entre g/L - tamaño de la partícula fue de 0.4928 demostrándose que entre tratamientos combinados no existe una diferencia significativa (Tabla 12-4), como al comparar individualmente las diferencias existentes entre g/L y tamaño de partícula se registró que esta es significativa, para determinar cuál es el mejor tratamiento se recurrió a la separación de medias con la prueba de TUKEY.

**Tabla 7-4.** Análisis de varianza - efluente 1

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	12.77	5	2.55	20.78	< 0.0001
Tamaño de la partícula	0.65	1	0.65	5.30	0.0400
Relación g/L	11.94	2	5.97	48.56	< 0.0001
Tamaño de la Partícula * Relación g/L	0.18	2	0.09	0.75	0.4928
Error	1.47	12	0.12		
Total	14.25	17			

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

### Comparación de medias por g/L

La prueba de TUKEY indicó que entre 10 g/L y 15 g/L no existe una diferencia notable, entre las tasas de adsorción, a diferencia del experimento donde se aplicó 20 g/L, el cual con una calificación de B presentó una mayor diferencia, por su mayor porcentaje de adsorción (Tabla 13-4).

**Tabla 8-4.** Comparación de medias - g/L

<b>Tratamiento</b>	<b>Medias</b>	<b>N</b>	<b>E.E.</b>	
R1	8.03	6	0.14	A
R2	8.41	6	0.14	A
R3	9.91	6	0.14	B

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**R1 = 10 g/L    R2 = 15 g/L    R3 = 20 g/L**

### Comparación de medias por tamaño de partícula

Las medias con respecto al tamaño de la partícula indicaron que existe una diferencia palpable al comparar sus tasas de adsorción, donde el experimento en el cual se usó un tamaño de 3 mm, presentó la mayor tasa de adsorción (Tabla 14-4).

**Tabla 9-4.** Comparación de medias - Tamaño de partícula

Tratamiento	Medias	N	E.E.	
T2	8.59	9	0.12	A
T1	8.97	9	0.12	B

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

T1 = 3 mm      T2 = 5 mm

### Comparación de medias tamaño de partícula \* relación g/L

El análisis correspondiente a la relación tamaño de partícula \* relación g/L que las combinaciones de 20 g/L con tamaños de partícula de 3 y 5 mm, fueron los que mayor porcentaje de adsorción presentaron, tomando en cuenta estos porcentajes se concluye que, con un tamaño de partícula de 3 mm y 20 g/L de esta, se obtiene los mejores resultados (Tabla 15-4).

**Tabla 10-4.** Comparación de medias tamaño de partícula \* relación g/L

<b>Tamaño</b>	<b>Relación</b>	<b>Medias</b>	<b>N</b>	<b>E.E.</b>	
T2	R1	7.81	3	0.20	A
T1	R1	8.24	3	0.20	A
T2	R2	8.35	3	0.20	A
T1	R2	8.46	3	0.20	A
T2	R3	9.62	3	0.20	B
T1	R3	10.21	3	0.20	B

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**T1** = 3 mm                      **R1** = 10 g/L  
**T2** = 5 mm                      **R2** = 15 g/L  
   **R3** = 20 g/L

#### **4.5.2 Efluente 2**

Ho: Todos los tratamientos son iguales;  $p > 0.05$

Hi: Al menos un tratamiento es diferente;  $p \leq 0.05$

Los valores obtenidos para los experimentos en el efluente 2, corroboraron los datos registrados en el efluente 1; los datos indicaron la existencia de una diferencia significativa entre las medias de los porcentajes de adsorción para el tamaño de partícula con un p-valor de 0.0466 y la relación g/L con un p-valor de  $< 0.0001$ ; en lo referente a la relación entre tamaño de partícula – relación g/L, a diferencia del efluente 1 el análisis de varianza reportó que existe diferencias significativas entre las medias de los experimentos con un p-valor de 0.0004, se determinó el mejor tratamiento a partir de la separación de medias de TUKEY (Tabla 16-4).

**Tabla 11-4.** Análisis de varianza - efluente 2

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	28.05	5	5.61	26.76	<0.0001
Tamaño	1.03	1	1.03	4.92	0.0466
Peso	20.11	2	10.06	47.96	<0.0001
Peso * Tamaño	6.90	2	3.45	16.47	0.0004
Error	2.52	12	0.21		
Total	30.56	17			

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

### Comparación de medias por g/L

En la tabla se muestra que el experimento que presentó mejor porcentaje de adsorción fue en el que se aplicó 20 g/L de la partícula, los restantes experimentos presentaron una diferencia significativa entre sí, en relación con el experimento que presentó el mayor porcentaje de adsorción (Tabla 17-4).

**Tabla 12-4.** Comparación de medias - g/L

<b>Experimento</b>	<b>Medias</b>	<b>N</b>	<b>E.E.</b>	
R1	8.53	6	0.19	A
R2	9.63	6	0.19	B
R3	11.11	6	0.19	C

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**R1** = 10 g/L    **R2** = 15 g/L    **R3** = 20 g/L

### Comparación de medias por tamaño de partícula

Al igual que con el primer efluente existió una diferencia entre las medias del porcentaje de adsorción por tamaño de partícula, repitiendo el tamaño de 3 mm como el que presentó el porcentaje más alto de adsorción (Tabla 18-4).

**Tabla 13-4.** Comparación de medias - Tamaño de partícula

Experimento	Medias	N	E.E.	
T2	9.52	9	0.15	A
T1	10.00	9	0.15	B

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**T1 = 3 mm      T2 = 5 mm**

### Comparación de medias tamaño de partícula \* g/L

La separación de medias para el segundo efluente fue más marcada a la obtenida en el primer efluente, en la tabla 19-4 se observa que existe una mayor diferencia entre las medias de los porcentajes de adsorción, a pesar de esto el experimento que más destacó fue T1R3 correspondiente a la combinación de 20 g/L con un tamaño de partícula de 3 mm, el cual posee el mayor porcentaje de adsorción (Tabla 19-4).



#### 4.6.1 Efluente 1

**Tabla 15-4.** Concentración de Cd modificando el pH. Efluente 1

pH	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Medias
3	6.720	6.340	6.600	6.553
5	6.530	6.570	6.440	6.513

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

#### Porcentaje de adsorción

Los porcentajes de adsorción con la regulación de pH se presentan en la tabla 21-4, implementado el segundo diseño experimental propuesto para esta investigación.

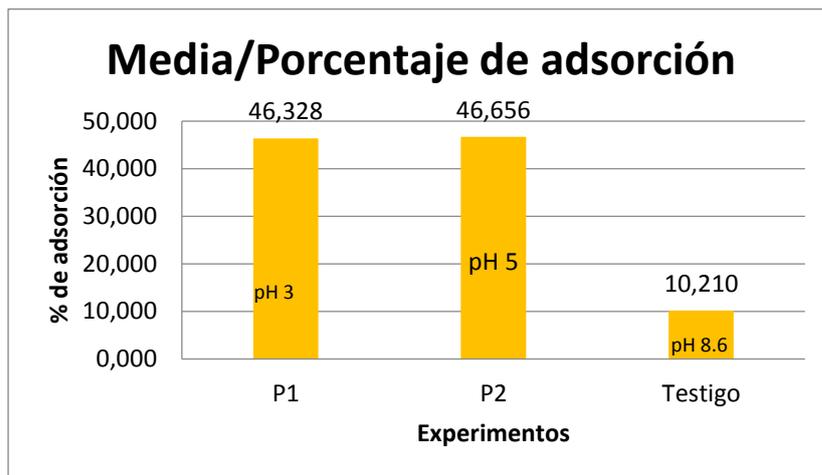
**Tabla 16-4.** Porcentaje de adsorción– Efluente 1

Tratamiento	Tasa de adsorción	Porcentaje de adsorción	Media
P1r1	0.450	44.963%	46.328%
P1r2	0.481	48.075%	
P1r3	0.459	45.946%	
P2r1	0.465	46.519%	46.656%
P2r2	0.462	46.192%	
P2r3	0.473	47.256%	
Testigo			10.210%

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

$$P1 = \text{pH} - 3 \quad P2 = \text{pH} - 5$$

En el grafico 3-4 se comparó los resultados obtenidos con el porcentaje de adsorción calculado en el primer efluente con un pH sin modificar (8.6), se observó un cambio considerable en la adsorción al acidificar la muestra a un pH de 3 y 5, dando mejor resultado al aplicar el pH 5 con un aumento aproximado del 36.446% en el porcentaje de adsorción.



**Gráfico 3-4.** Porcentajes de adsorción del efluente 1 con pH 3 y 5

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**P1 = pH - 3    P2 = pH - 5    Testigo = % de adsorción pH 8.6 sin modificación**

### Capacidad de adsorción

La capacidad de adsorción media de los tratamientos fue de 0.283 mg/g para pH 3 y de 0.285 mg/g para pH 5 (Tabla 22-4).

**Tabla 17-4.** Capacidad de adsorción de los tratamientos

Tratamiento	Capacidad de adsorción (mg/g)	Media
P1r1	0.275	0.283
P1r2	0.294	
P1r3	0.281	
P2r1	0.284	0.285
P2r2	0.282	
P2r3	0.289	

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**P1 = pH = 3    P2 = pH = 5**

#### 4.6.2 Efluente 2

**Tabla 18-4.** Concentración de Cd modificando el pH. Efluente 2

<b>pH</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	<b>Media</b>
3.000	6.010	5.980	6.090	6.027
5.000	5.890	5.740	5.690	5.773

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

#### Porcentaje de adsorción

Los porcentajes de adsorción con la acidificación del pH se presentan en la tabla 24-4, implementado el segundo diseño experimental propuesto para esta investigación.

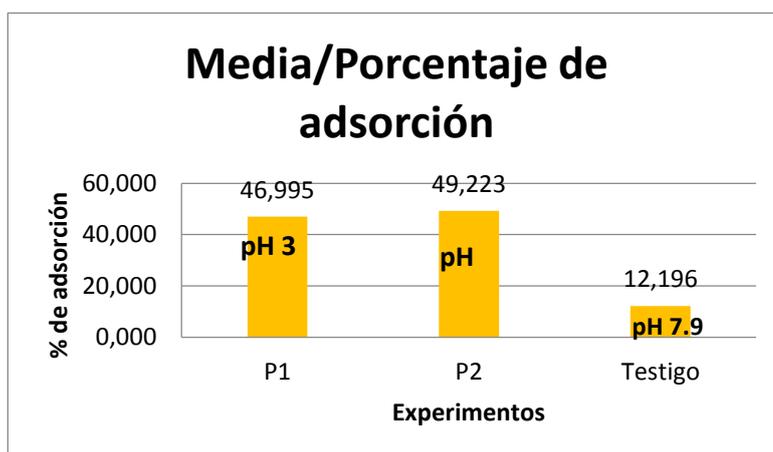
**Tabla 19-4.** Porcentaje de adsorción - Efluente 2

<b>Tratamiento</b>	<b>Tasa de adsorción</b>	<b>Porcentaje de adsorción</b>	<b>Media</b>
P1r1	0.471	47.142%	46.995%
P1r2	0.474	47.405%	
P1r3	0.464	46.438%	
P2r1	0.482	48.197%	49.223%
P2r2	0.495	49.516%	
P2r3	0.500	49.956%	
<b>Testigo</b>			12.196%

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**P1 = pH - 3      P2 = pH - 5**

Para el efluente 2 se observó el mismo comportamiento que en el efluente 1 (Gráfico 4-4), se dio un aumento considerable en el porcentaje de adsorción al modificar el pH a 5 respecto al obtenido con pH sin modificar (7.9) en el efluente 2, este aumento es del 37.027%



**Gráfico 4-4.** Porcentaje de adsorción del efluente 2 con pH 3 y 5

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

**P1** = pH - 3      **P2** = pH - 5      **Testigo** = % de adsorción pH 7.9 sin modificación

### Capacidad de adsorción

La capacidad de adsorción de los tratamientos media fue de 0.267 mg/g para pH 3 y de 0.280 mg/g para pH 5 (Tabla 25-4).

**Tabla 25-4.** Capacidad de adsorción

Tratamiento	Capacidad de adsorción	Media
P1R1	0.268	0.267
P1R2	0.270	
P1R3	0.264	
P2R1	0.274	0.280
P2R2	0.282	
P2R3	0.284	

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

Las comparaciones estadísticas en los dos efluentes demostraron que la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja se encuentra directamente relacionada con el nivel de pH, donde se registró un aumento en el porcentaje de adsorción al acidificar la muestra disminuyendo su pH a 3 y 5, con escasa diferencia resulta mejor el pH 5, para el cual se registró el mejor porcentaje de adsorción del 46.656 y capacidad de adsorción de 0.285 mg/g % en el primer efluente y para el efluente 2 un porcentaje de adsorción de 49.223% y capacidad de adsorción de 0.280 mg/g.

**Discusión:** Esta mayor retención en niveles ácidos del efluente, se puede deber a que el Cadmio en el efluente se transforma en un ion aniónico y a pH ácidos los grupos Carboxilo que conforman la cáscara de naranja sufren protonación por lo que se cargan positivamente de esta forma se genera una atracción entre el adsorbente cargado por acción del pH y el ión metálico, sin embargo, hay que considerar que la disminución del pH a valores menor a 5 de pH inicial se hace menos considerable debido a que el exceso de iones H<sup>+</sup> en la solución evita que la mayoría de los grupos carboxílicos se desprotonen, es la razón por la que al bajar el pH a 3 fue disminuyendo la capacidad de adsorción.

#### **4.7 Análisis estadístico de la influencia del pH**

La segunda hipótesis planteada para este estudio fue aceptada, el análisis estadístico indicó una diferencia significativa en el aumento del porcentaje de adsorción al modificar el pH de las muestras.

## Efluente 1

Ho: Todos los tratamientos son iguales;  $p > 0.05$

Hi: Al menos un tratamiento es diferente;  $p \leq 0.05$

Para los análisis de varianza, como referencia comparativa se utilizaron los porcentajes de adsorción obtenidos del efluente 1 (relación – 20 g/L / tamaño – 3 mm); de esta forma se obtuvo un p-valor de  $< 0.0001$ ; este nos indicó que existe una diferencia significativa entre los experimentos (Tabla 26-4).

**Tabla 26-4.** Análisis de varianza - Efluente 1

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	2942.60	2	1471.3	1397.61	$< 0.0001$
Tratamiento	2942.60	2	1471.3	1397.61	$< 0.0001$
Error	6.32	6	1.05		
Total	2948.92	8			

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

## Comparación de medias por pH

El análisis de TUKEY nos indicó una clara diferencia del porcentaje de adsorción obtenido para el pH sin modificar con los experimentos donde se modificó el pH; en el caso de los experimentos donde se modificó el pH no existió una diferencia apreciable entre las medias de los porcentajes de adsorción (Tabla 27-4).

**Tabla 20-4.** Comparación de medias - efluente 1

<b>Tratamiento</b>	<b>Medias</b>	<b>N</b>	<b>E.E.</b>	
pH sin modificar	10.210	3	0.59	A
3	46.33	3	0.59	B
5	46.66	3	0.59	B

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

## Efluente 2

Ho: Todos los tratamientos son iguales;  $p > 0.05$

Hi: Al menos un tratamiento es diferente;  $p \leq 0.05$

El comportamiento del análisis de varianza del efluente 2 fue el mismo presentado en el efluente 1; de igual forma se usaron los mejores porcentajes de adsorción obtenidos para el efluente 2 (relación – 20 g/L / tamaño – 3 mm) por motivos de comparación; el p-valor obtenido fue de  $< 0.0001$  esto nos indicó una diferencia significativa entre experimentos (Tabla 28-4).

**Tabla 21-4.** Análisis de varianza - Efluente 2

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	2766.85	2	1383.42	3232.13	$< 0.0001$
Tratamiento	2766.85	2	1383.42	3232.13	$< 0.0001$
Error	2.57	6	0.43		
Total	2769.42	8			

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

## Comparación de medias por pH

La separación de medias a diferencia del efluente 1 nos indicó que entre los experimentos P2 y P3 existe una diferencia apreciable entre las medias de los porcentajes de adsorción; lo que sí quedó constatado es la diferencia existente con el afluente donde no se modificó el pH (Tabla 29-4)

**Tabla 22-4.** Comparación de media – Efluente 2

Experimentos	Medias	N	E.E.	
pH sin modificar	12.196	3	0.38	A
3	47.00	3	0.38	B
5	49.223	3	0.38	C

Elaborado por: Aguirre, D. 2017

## CONCLUSIONES

- En el efluente 1 se determinó una concentración de Cadmio de 12.210 mg/L y pH 8.6, mientras que el efluente 2 una concentración de Cadmio de 11.370 mg/L y pH 7.9.
- El proceso de caracterización de la cáscara de naranja indicó que el carbono tiene una presencia del 47.53%, el hidrógeno de 8.13% y el nitrógeno de 0.95%.
- Se obtuvieron mejores resultados de porcentaje de adsorción al combinar el tamaño de partícula de 3 mm, y relación 20 g de bioadsorbente por litro de agua para los dos efluentes.
- Se determinó que el pH óptimo para obtener resultados significativos de adsorción es 5.
- La cáscara de naranja posee una gran capacidad de adsorción de cadmio, al modificar el pH de 5 y usando la cáscara de naranja en 3 mm de tamaños de partícula y 20 gramos por litro de agua, lo que corresponde a un porcentaje de adsorción de 46.656% y una capacidad de adsorción 0.285 mg/g para el efluente 1, mientras que en el efluente 2 se tuvo una adsorción del 49.223% y una capacidad de adsorción de 0.280 mg/g, esto a las 2 horas de haber aplicado el tratamiento.

## RECOMENDACIONES

- Realizar nuevos estudios de adsorción de Cadmio usando distintos bioadsorbentes, para comparar la eficiencia de cada uno de estos con la cáscara de naranja, determinando cuál es el mejor tratamiento para este contaminante.
- Implementar modificaciones en la cáscara de naranja o complementarla con otros sustratos buscando mejorar los porcentajes de adsorción obtenidos por la presente investigación.
- Usar tamaños de partícula más pequeños que permitan determinar cuán influyente es esta variable a la hora de adsorber el contaminante, de la misma forma probar con la relación de g/L aumentando o disminuyendo la cantidad de cáscara de naranja por litro de efluente, buscando obtener mayores porcentajes de adsorción.
- Realizar un Plan de Muestreo previo a la ejecución del proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALDOR, Ana; et al. Volesky:** *Desorption of cadmium from algal biosorbent.*, Canadá: The Canadian Journal of Chemical Engineering, 1995, pp. 516 - 522.
- ARCE, Luisa; et al. Tomassini:** *Fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales.*, Mexico: Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua, 2007, pp. 33-48.
- BAE SEOK, Jin; SUNG DONG, Kim,** *Influences of new azo dyes to the aquatic ecosystem.*, England: Fiber Polymer, 2006, pp. 30-35.
- BEDOYA, M Y CARDONA , A.** *Influencia del pH en la bioadsorción de Cr(III) sobre cáscara de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo.* [En línea] Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia. 2010. Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, pp. 45 - 53. [Consulta: 7 de Mayo de 2017]. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90315226003>
- BLÁZQUEZ, G.H.** *Removal of cadmium ions with olive stones: the effect of some parameters.*, Canadá: Process Biochemistry, 2005, pp. 2649 - 2654.
- CORTAZAR, Adriana. et al.,** *Contaminación generada por colorantes de la industria textil.* [En línea] (Tesis). (Maestría), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mexico. 2014. [Consulta: 7 de Mayo de 2017]. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/e1.html>.
- GARCÉS, Luz y COAVAS, Susana.** *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.* [En línea] (Tesis). (Maestría) Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. 2012. [Consulta: 8 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/140/1/tesis%20Garces-Coavas.pdf>.
- GARG, V.R.** *Adsorption of chromium from aqueous solution on treated sawdust.*, Canadá: Bioresource Technology, 2004, pp. 79 - 81.
- GÉRENTE, Claire. et al. Pierre:** *Removal of metal ions from aqueous solution on low cost natural polysaccharides.*, London: React. Funct. Polym, 2000, pp. 135 - 144.

- PEHLIVAN, A.E.** *Adsorption of Cr (III) ions by turkish brown coals.*, London: Fuel Processing Technology, 2005, pp. 875 - 884.
- HIGUERA, O.** *Estudio de la biosorción de cromo con hoja de café*, Revista de ingeniería e investigación, 2005, Colombia, pp. 59 - 64.
- LÓPEZ, Víctor Y CRESPI, Martín.** Gestión de los efluentes de la industria textil. *Asociación Peruana de Técnicos Textiles*. [En línea] 2017. [Consulta: 7 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://aptperu.com/gestion-los-efluentes-la-industria-textil/>.
- MALDONADO, Andrea y MOLINA, Renato.** Estudio para la reducción de colorantes de las aguas residuales de la industria textil a través de procesos electroquímicos. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador*. 2011. [Citado el: 7 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1508/13/UPS-CT002191.pdf>.
- MORALES, Diana y RUIZ, Katherine.** Determinación de la capacidad de remoción de cadmio, plomo y níquel por hongos de la podredumbre blanca inmovilizados. *Pontificia Universidad Javeriana*. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia*. 2008. [Citado el: 7 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis148.pdf>.
- PINZÓN, Martha; y CARDONA, Angélica.** *Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente*, Bistua, 2008, pp. 28 - 37.
- Residuos Profesional.** <http://www.residuosprofesional.com/proponen-el-uso-de-cascaras-de-naranja-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/>. [En línea] 2013. [Citado el: 12 de 02 de 2016.] <http://www.residuosprofesional.com>.
- SÁNCHEZ, Deysi. et al.,** *Estudio de la cinética de biosorción de iones cadmio (II) en pectina reticulada proveniente de cáscaras de naranja*. 2014, Revista de la Sociedad Química del Perú, págs. 298 - 307.
- SÁNCHEZ, Nervo.** Biosorción en tanque agitado de Cd y Pb con cascara de cacao. [En línea] (Tesis). (Maestría). *Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador*. 2016. [Citado el: 8 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25242/3/Tesis.pdf>.
- SEADER, J Y HENLEY, E.** *Separation process principles*. [ed.] J Welter, P McFadden y T Kulesa. Segunda. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, 2006.

**SEDLAK, Dieter.** Manual de química/Industria textil. *AG AfirmGroup*. [En línea] 2017.  
<http://www.afirm-group.com/wp-content/uploads/2013/07/Apendice-F-Manual-de-Guia-Quimica.pdf>.

**SERRANO, Pablo y ZÁRATE, Oscar.** Daños causados por los colorantes textiles en la salud. [En línea] (Tesis). (Maestría). *Benemerita Universidad Autonoma de Puebla. Puebla, Mexico*. 2015. [Consulta: 15 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://dddsfsfgdfgdhdf.blogspot.com/>.

**SOTO, Edgar.** Estudio de la remoción de Cu (II) en medio acuso utilizando el albedo de la cáscara de naranja. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Univerdidad Nacional de Ingeniería, Lima, Peru*. 2009. [Consulta: 15 de Mayo de 2017]. Disponible en: [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1055/1/soto\\_he.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1055/1/soto_he.pdf).

**TECNUN.** Origen de la contaminación de las aguas. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad de Navarra, Navarra, España*. 2010. [Consulta: 7 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/120ProcC.htm>.

**VARELA, Diana.** Evaluación de la viabilidad técnica y de costos de la aplicación de un proceso avanzado de oxidación fotocatalítico en el tratamiento de aguas residuales del sector textil de Bogotá. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia*. 2013. [Consulta: 7 de Mayo de 2017.] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/45620/1/53154918.2013.pdf>.

**VIZCAÍNO, Lissette y FUENTES, Natalia.** *Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pre tratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna*. 2014, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, pp. 43 - 60.

**YALCINKAYA, Y.** *Biosorption of cadimum from aquatic systems by carboxymethylcellulose and immobilized Trametes versicolor*. Canadá: Hydrometallurgy, 2008, pp. 31- 40.

## ANEXOS

### ANEXO A. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

**Tabla 1A.** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	30
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro total	B	mg/L	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/L	0,1
Cinc	Zn	mg/L	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/L	1 000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 mL	2000
Color real	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub>	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/L	200
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fósforo Total	P	mg/L	10,0
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/L	20,0
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0

Nitrógeno Amoniacal	N	mg/L	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales.	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/L	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	130
Sólidos totales	ST	mg/L	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	1000
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/L	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0
1 La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida			

**Fuente:** Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

## ANEXO B. Certificado

### Gráfico 1B. Certificación de obtención de resultados en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN (UNACH - ICITS) <i>"Soil Organic Carbon Evaluation and Sequestration in Ecuadorian Paramo Ecosystem"</i></p> <p style="text-align: right;">Riobamba 5 de mayo, 2017</p> <p style="text-align: center;"><b>CERTIFICADO</b></p> <p>A petición verbal de la parte interesada:</p> <p>Certifico que la señorita AGUIRRE CAMPOVERDE DAISY CAROLINA, portadora de la cedula de identidad No. 210051693-5, ha formado parte del proyecto de investigación "Soil Organic Carbon Evaluation and Sequestration in Ecuadorian Paramo Ecosystem" de la Universidad Nacional de Chimborazo como tesista, con el tema "DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE BIOADSORCIÓN EN LA CÁSCARA DE NARANJA PARA LA REMOCIÓN DE CADMIO EN AGUAS RESIDUALES DE DOS FÁBRICAS TEXTILES EN EL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA".</p> <p>Para la ejecución del tema antes mencionado a utilizado los laboratorios de la institución para las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Determinación de la concentración de cadmio en efluentes de la industria textil</li><li>• Determinación de C N y H de una muestra de cascara de naranja.</li></ul> <p>Dichas actividades las ha realizado de forma responsable y con un correcto uso de los equipos bajo la supervisión de los técnicos de laboratorio. En lo que respecta a los parámetros de caracterización del efluente de igual manera fueron realizados en el laboratorio de la institución por los técnicos del mismo, la señorita Aguirre Campoverde Daisy Carolina participo como ayudante del proceso de caracterización.</p> <p>Es todo lo que puedo decir en honor a la verdad, la interesada podrá utilizar el presente documento, para los fines que crea conveniente.</p> <p style="text-align: center;"> ..... Ing. Marco Rodríguez Llerena Coordinador del Proyecto</p> <p style="text-align: center;"><small>Campus Universitario Ms. Edison Riera: km 1 ½ vía a Guano. Tel. 2364-315/ 2364-314 Ext. 214 -211</small></p>
---